

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»**



МАТЕРІАЛИ

VI Міжнародної науково-практичної конференції



Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті

**22 жовтня 2026 року
Київ**

УДК 656.7
П 234

Редакційна колегія збірника

Головний редактор – д.т.н., професор, в.о. декана ФТЛ Шевчук Д.О.
Відповідальний редактор – к.е.н., доцент кафедри ТТС Докієнко Л.М.
PhD, доцент, в.о. зав. кафедрою ТТС Чередніченко К.В.
д.т.н., професор кафедри ТТС Лямзін А.О.
д.т.н., професор кафедри ТТС Мацюк В.І.

Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті: Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції – м. Київ, 22 жовтня 2026 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Київський авіаційний інститут». – К.: КАІ, 2026. – 200 с.

*Затверджено рішенням Науково-методично-редакційної ради
Факультету транспорту і логістики (протокол №11 від 27.10.2026 р.)*

Конференція спрямована на комплексне висвітлення науково-практичних результатів досліджень, акумуляція передового міжнародного досвіду та вироблення стратегічних рішень щодо відновлення, адаптації та сталого розвитку авіаційної галузі в умовах сучасних глобальних викликів і невизначеності.

The conference is aimed at comprehensive coverage of scientific and practical research results, accumulation of best international experience and development of strategic decisions regarding recovery, adaptation and sustainable development of the aviation industry in the conditions of modern global challenges and uncertainty.

Відповідальність за достовірність, об'єктивність та обґрунтованість розміщених матеріалів несуть виключно їх автори. Редакція може не поділяти точку зору авторів, викладену у матеріалах.

Організаційний комітет:

Шевчук Д.О., д.т.н., професор, в.о. декана факультету транспорту і логістики – голова організаційного комітету

Чередніченко К.В., PhD, доцент, в.о. зав. кафедрою транспортних технологій і систем – співголова організаційного комітету

Докієнко Л.М., к.е.н, доцент кафедри транспортних технологій і систем – співголова організаційного комітету

Іваннікова В.Ю., к.т.н., професор Dublin City University, Ірландія – співголова організаційного комітету (за згодою)

Марінцева К.В., д.т.н., професор University of Doha for Science and Technology, Катар – співголова організаційного комітету (за згодою)

Наумовець Д., керівник відділу авіаперевезень DHL Логістика, Україна – співголова організаційного комітету (за згодою)

Лазарець В.І., авіакомпанія «Аеровіз», Україна – співголова організаційного комітету (за згодою)

Резніченко О., Авіакомпанія «FlySky Airlines», Україна – співголова організаційного комітету (за згодою)

Члени організаційного комітету:

Лямзін А.О., д.т.н., професор кафедри транспортних технологій і систем

Мацюк В.І., д.т.н., професор кафедри транспортних технологій і систем

Гончаренко А.В., д.т.н., професор кафедри транспортних технологій і систем

Павленко П.М., д.т.н., професор кафедри транспортних технологій і систем

Антонова А.О, к.т.н., професор кафедри транспортних технологій і систем

Соколова О.Є., к.т.н., професор кафедри транспортних технологій і систем

Клименко В.В., к.е.н., доцент кафедри транспортних технологій і систем

Ніколаєнко І.В., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій і систем

Пронь С.В., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій і систем

ПЕРЕДМОВА

Сучасна авіаційна галузь та глобальна логістична система функціонують у період безпрецедентних трансформацій, зумовлених безпековими ризиками, воєнним станом, закриттям цивільного повітряного простору України та перебудовою міжнародних ланцюгів постачання. У цих умовах особливої ваги набуває пошук адаптивних науково-практичних рішень, спрямованих на забезпечення операційної стійкості авіапідприємств, збереження транспортного потенціалу країни та підготовку до післявоєнного відновлення й євроінтеграції галузі.

Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми організації перевезень та управління на повітряному транспорті» (22 жовтня 2026 року), організованої кафедрою транспортних технологій і систем факультету транспорту і логістики НУ «КАІ» у партнерстві із провідними закордонними закладами вищої освіти та авіаційно-логістичними компаніями, відображають комплексний підхід наукової спільноти та практиків до розв'язання нагальних проблем сектору. Науковий доробок учасників охоплює широке коло питань: оптимізація та управління авіаційними перевезеннями; розвиток аеропортової діяльності та наземної інфраструктури; антикризовий менеджмент та безпека авіації; цифровізація, стійкість та сталий розвиток авіаційного транспорту; економіка авіаперевезень в умовах невизначеності; авіаційна логістика та інтегровані ланцюги постачання.

В збірнику висвітлено ключові виклики та інноваційні шляхи розвитку авіатранспортної галузі в умовах воєнного стану та геополітичної невизначеності. Представлені результати досліджень і практичні рекомендації становлять високу цінність для науковців, здобувачів вищої освіти, фахівців авіакомпаній, аеропортів та логістичних операторів, сприяючи підвищенню безпеки, гнучкості та конкурентоспроможності транспортної системи України, а також підтверджують високий потенціал української авіаційної науки і окреслюють чіткі векторні напрями для відбудови і цифровізації транспортно-логістичної інфраструктури України у післявоєнний період.

Організаційний комітет висловлює щирі вдячність усім учасникам за глибокі та змістовні дослідження, а також науковим керівникам за підтримку молодих талантів. Сподіваємося, що опубліковані матеріали стануть підґрунтям для нових наукових дискусій, міжнародних колаборацій та реальних виробничих впроваджень.

Зичимо авторам невичерпного натхнення, нових наукових звершень та впевненого руху вперед шляхом інновацій!

Голова організаційного комітету:

д. т. н., професор

в.о. декана факультету транспорту і логістики

Дмитро ШЕВЧУК

ЗМІСТ

Автори та назва тез	Стор.
<i>Оптимізація та управління авіаційними перевезеннями</i>	
1. Антонова А.О. ВПЛИВ СЕЗОННОСТІ НА ПОКАЗНИКИ АВІАКОМПАНІЇ TURKISH AIRLINES.....	9
2. Бутинкевич А.В., Валько А.М. ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЯ ПАСАЖИРСЬКИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ЗАКРИТТЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ: ЕКОНОМІЧНІ ТА ОПЕРАЦІЙНІ НАСЛІДКИ І НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ.....	12
3. Козодой Д.С. ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ НА ЗАСАДАХ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ.....	15
4. Ковріга К.А., Осмак В.Є. ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ НАЗЕМНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАКІВ (TURNAROUND TIME / ТАТ) ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	18
5. Лупина Н., Спекторук А., Вінюков-Прощенко А.С. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УМОВАХ ЗАКРИТОГО ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УКРАЇНИ ТА СУЧАСНИХ ГЕОПОЛІТИЧНИХ ВИКЛИКІВ.....	21
6. Лямзін А.О., Шелест С.М. ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В УМОВАХ АЕРОПОРТІВ...	24
7. Мазур Є., Валько А.М. ПАМ'ЯТЬ ПРО ПОЛІТ: ЯК ПРАВИЛО «ПІК–КІНЕЦЬ» МОЖЕ ЗМІНИТИ УПРАВЛІННЯ КОМФОРТОМ ПАСАЖИРІВ.....	26
8. Майко Ю., Варламова М., Докієнко Л.М. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ НА МІЖНАРОДНИХ І ВНУТРІШНІХ РЕЙСАХ.....	29
9. Matviienko T.O., Nikolaienko I.V. ANALYSIS OF THE SPECIFICS OF DOCUMENTATION AND CUSTOMS CLEARANCE FOR IMPORTED SPORTS GOODS.....	31
10. Мацюк Н., Мацюк М.І МІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА СИСТЕМОЮ БАГАТЬОХ ОДИНИЦЬ.....	34
11. Новальська Н.І., Клименко В.В. СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ.....	37
12. Pron S.V., Herasymenko I.M. SPECIFIC FEATURES OF THE AIR TRANSPORTATION OF LIVE ANIMALS.....	39
13. Татаренко Є.В. Докієнко Л.М. СОЦІАЛЬНІ ІНІЦІАТИВИ АВІАКОМПАНІЙ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....	42
14. Яцина В. Волошин С., Докієнко Л.М. ОЦІНЮВАННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВНУТРІШНІХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ АВІАЦІЙНИМ ТА ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ УКРАЇНИ.....	45
<i>Розвиток аеропортової діяльності та наземної інфраструктури</i>	
15. Боярко Д.Л., Осмак В.Є. ОЦІНЮВАННЯ АДАПТИВНОСТІ АЕРОПОРТОВИХ ВАНТАЖНИХ ХАБІВ ДО ЗМІН ПОПИТУ ТА ПОРУШЕНЬ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ.....	48

16. Габрієлова Т.Ю., Шинкарук С. ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ БАГАЖУ В АЕРОПОРТАХ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ.....	51
17. Herasymenko I.M., Pron S.V., Pron M.O. POST-WAR RECOVERY OF UKRAINE'S AIR TRANSPORT AND AIRPORT INFRASTRUCTURE.....	54
18. Hrabchak V.H., Antonova A.O. ANALYSIS OF NON-AERONAUTICAL REVENUE AT TALLINN AIRPORT.....	56
19. Коваль А., Борець І.В. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В ТЕРМІНАЛАХ АЕРОПОРТІВ.....	59
20. Краснокутський В.М., Комар С.В., Краснокутський М.В. МОБІЛЬНИЙ АВТОНОМНИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР ДЛЯ АЕРОДРОМІВ РОЗОСЕРЕДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ОБ'ЄКТІВ УКРЗАЛІЗНИЦІ.....	61
21. Лямзін А.О., Подорожний А.Ю. ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В АЕРОПОРТАХ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ.....	64
22. Marintseva K., Dixon S., Bradley P. UNCERTAINTY IN DECISION-RELEVANT AIRPORT FORECASTING: METHODOLOGICAL LESSONS.....	66
23. Соколова О.Є., Красноштан О.О. ПЕРСПЕКТИВИ ФОРМУВАННЯ АЕРОПОРТОЦЕНТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УРБАНІЗОВАНИХ СИСТЕМ.....	70
<i>Антикризовий менеджмент та безпека авіації</i>	
24. Yeriutin D.O., Klymenko V.V. ENHANCING THE ANTI-CRISIS RESILIENCE OF AIRPORT TERMINALS.....	74
25. Кочетков В.М., Білоног А.П. ІНСТРУМЕНТИ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ В УМОВАХ ГЕОПОЛІТИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	77
26. Pavlenko I., Klymenko V.V. RISKS IN TRANSPORTING LITHIUM-ION BATTERIES BY AIR TRANSPORT.....	81
27. Сульжик К.С., Докієнко Л.М. УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ БОРТПРОВІДНИКІВ ІЗ ПАСАЖИРАМИ В КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	83
<i>Цифровізація, стійкість та сталий розвиток авіаційного транспорту</i>	
28. Bezpalkiv K., A.Viniukov-Proshchenko ADAPTIVE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MULTIMODAL TRANSPORTATION UNDER CRISIS CONDITIONS.....	87
29. Борець І.В., Борець О.Г. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПІДПРИЄМСТВ ІКТ-ГАЛУЗІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОЇ ЛОГІСТИКИ.....	89
30. Varlamova M., Maiko Y., Borets I. AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN AVIATION PERSONNEL TRAINING.....	91
31. Varlamova M., Maiko Y., Valko A. IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES IN AVIATION AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT.....	94
32. Висоцький Ф.Є., Висоцька І.І. ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ В ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ.....	97

33. Hudz M., Viniukov-Proshchenko A. DIGITALIZATION OF INTERACTION BETWEEN AIR CARGO PARTICIPANTS.....	100
34. Догадіна В.С., Осьмак В.Є., УДОСКОНАЛЕННЯ МІЖВІДОМЧОЇ КООРДИНАЦІЇ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ.....	102
35. Докієнко Л.М. ТРАНСФОРМАЦІЯ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ.....	106
36. Дудорова Д.С., Войченко Т.О. ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ДІЯЛЬНОСТІ АЕРОПОРТІВ.....	109
37. Kolomiichuk S. ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DECISION SUPPORT IN AVIATION OPERATIONS.....	113
38. Кушка І.С, Бусилко О.А. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЗМІННОГО СТРУМУ АЕРОДРОМНОГО ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ АПА-5Д ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ.....	117
39. Miedviedieva N., Miedviedieva K. THE SOCIAL DIMENSION OF ESG IN TRANSPORTATION.....	119
40. Павленко П.М., Чередніков О.М., Петров В.В. ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИРІШЕННЯ.....	122
41. Pavlenko I., Viniukov-Proshchenko A. CONCEPTUAL APPROACHES TO EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF AUGMENTED REALITY SYSTEMS IN AVIATION CARGO LOGISTICS.....	126
42. Полюхович Н, Габрієлова Т.Ю. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ.....	129
43. Пристінський С.М. УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ АЕРОПОРТІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ.....	131
44. Соколенко Д.А., Ярова Д.А., Гриценко С.І. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ В АВІАЦІЇ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ.....	134
45. Стригун В., Докієнко Л.М. ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ.....	138
46. Чопко П.Р., Докієнко Л.М. ЦИФРОВІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНОЇ ЛОГІСТИКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕГРОВАНИХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ.....	141
47. Швець А.В., Гирман Д.О. ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ.....	143
48. Shutishyna A., Viniukov-Proshchenko A. PASSENGER SERVICE INFORMATION SYSTEMS IN THE MODERN AVIATION INDUSTRY AMID GLOBAL CRISES AND CHALLENGES.....	145
Економіка авіаперевезень в умовах невизначеності	
49. Viniukov-Proshchenko A., Kutiavin Ye. PRATT & WHITNEY PW1000G GEARED TURBOFAN (GTF) ISSUES INFLUENCE ON SHORT AND LONG TERM AIRCRAFT DEMAND FORECASTS.....	149
50. Глущенко С.Д., Кочетков В.М. ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ СОБІВАРТОСТІ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА НЕСТАБІЛЬНИХ ЦІН НА ПАЛИВО.....	152

51. Гриценко Н.В. ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ АДАПТАЦІЇ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОБОТИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ.....	154
52. Shyshka A.O., Shevchuk D.O. APPLICATION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES TO OPTIMIZE TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES IN MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORTATION.....	158
53. Shutishyna A., Klymenko V. REVENUE MANAGEMENT STRATEGIES IN AIR CARGO TRANSPORTATION: BALANCING PROFITABILITY AND CAPACITY UTILISATION.....	161
Авіаційна логістика та інтегровані ланцюги постачання	
54. Akmal'dinova V.Ye., Volkovska H.H. MULTIMODAL TRANSPORTATION AS A FACTOR IN INCREASING THE EFFICIENCY OF MODERN SUPPLY CHAINS.....	166
55. Білоус Т.М., Гриценко С.І. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАЧАННЯ СТАЛОГО АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА ДО АЕРОПОРТІВ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ.....	169
56. Volkovska H.H., Akmal'dinova V.Ye. DECENTRALIZATION OF MULTIMODAL HUBS AS A FACTOR IN ENSURING THE RESILIENCE OF UKRAINE'S LOGISTICS SYSTEM UNDER WARTIME CONDITIONS.....	172
57. Кушка І.С, Бусилко О.А. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СКЛАДУ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ.....	176
58. Левченко М.Г., Шевчук Д.О. ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ПРО МІСЬКІ ЗАТОРИ В СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ АЕРОПОРТОВИМИ СКЛАДАМИ МІСТ-ХАБІВ.....	178
59. Лозова Г.М. ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНИХ АВІАБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ГЛОБАЛЬНІ ЛАНЦЮГИ СТВОРЕННЯ ВАРТОСТІ.....	182
60. Мацюк В., Циганій С., Каламбет А. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В АВІАЦІЙНО-АВТОМОБІЛЬНОМУ СПОЛУЧЕННІ.....	187
61. Naumovets D. AIR CARGO OPERATIONS IN UKRAINE UNDER MARTIAL LAW: CHALLENGES, ADAPTATIONS AND LOGISTICS RESILIENCE.....	190
62. Nikolaienko I.V., Khara M.V. ANALYSIS OF NATIONAL EXPERIENCE IN ENSURING MOBILITY AND TRANSPORT ACCESSIBILITY FOR PEOPLE WITH DISABILITIES.....	192
63. Полюхович Н., Докієнко Л.М. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОЇ ЛОГІСТИКИ УКРАЇНИ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ЧАС В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ.....	195
64. Соколенко Д.А., Ярова Д.А., Висоцька І.І. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СИСТЕМІ ЛОГІСТИКИ.....	197

1. Оптимізація та управління авіаційними перевезеннями

УДК 338.27:656.71

ВПЛИВ СЕЗОННОСТІ НА ПОКАЗНИКИ АВІАКОМПАНІЇ TURKISH AIRLINES

*Антонова А.О., к.т.н., професор.
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: пасажиро-кілометри, пасажиропотік, прогноз, ARIMA, сезонність

Сезонні явища істотно впливають на показники роботи аеропортів та авіакомпаній [1]. Для оцінки їх ролі необхідна детальна і якісна база статистичних даних. Прикладом такої бази є статистичні дані, які надає авіакомпанія Turkish Airline [2]. Це дозволяє досліджувати часові ряди авіаційних перевезень пасажирів, кількості приземлень, пасажиро-кілометрів та ін. В [2] приведено такі дані по семи регіональним напрямках: Domestic (внутрішні), Europa (Європа), Middle East (Близький Схід), Far East (Далекий Схід), Africa (Африка), North America (Північна Америка), South America (Південна Америка), а також дані про загальні перевезення (Total). Їх статистичний аналіз дозволяє відтворити весь спектр роботи авіакомпанії Turkish Airline.

В цій роботі ми проаналізуємо властивості часових рядів пасажиро-кілометрів (Revenue Passenger Km) для всіх регіонів в період січня 2013 р. до грудня 2019 р., а також з січня 2023 р. по грудень 2025 р. і зробимо прогноз на 2026 р. Дані Covid -19 (2020-2022 рр.) звісно мають нерегулярний характер і не розглядаються.

Місячна часова динаміка Revenue Passenger Km для всіх зазначених регіонів в 2013-2019 рр. показана на рис. 1a-1h. Одиниця виміру по вісі ординат - тисяча пасажиро-кілометрів. Як видно, сезонні паттерни з періодом 12 місяців характерні для Європи, Північної Америки та внутрішніх перевезень. Решта напрямків не має чіткої періодичності, хоча їх часова поведінка є дуже цікавою. Оскільки більша частина Revenue Passenger Km припадає на сезонні паттерни, то загальні пасажиро-кілометри (Total) також мають сезонний паттерн з періодом 12 місяців.

На рис.2a-2d показана місячна часова динаміка Revenue Passenger Km для сезонних паттернів в 2023-2025 рр. Ці дані використані для прогнозу на 2026 р. Прогноз було виконано в пакеті R [3] за допомогою програми auto.arima. Отримані моделі часових рядів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Моделі часових рядів

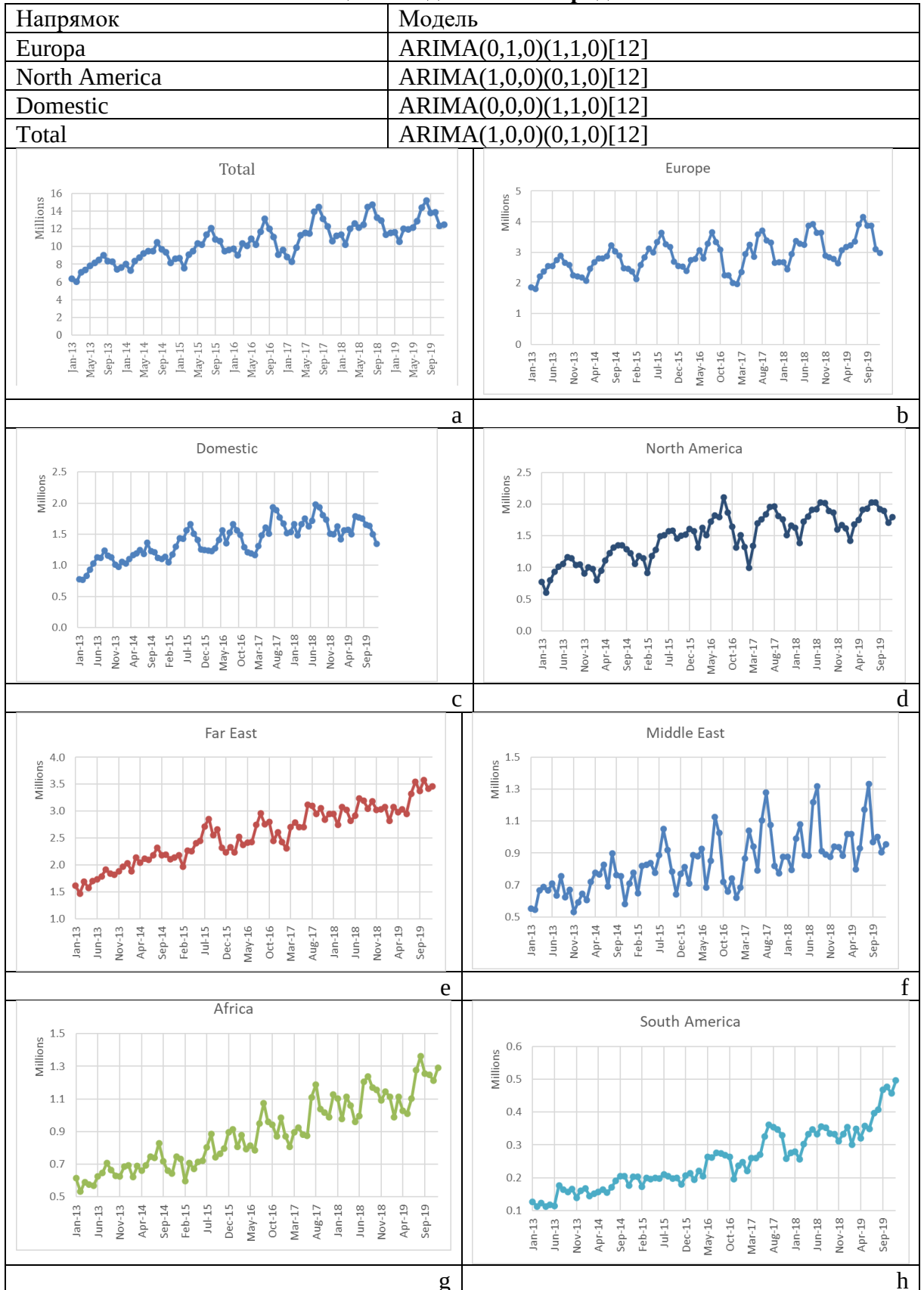


Рис.1. Місячні часові динаміки Revenue Passenger Km в 2013-2019 рр.

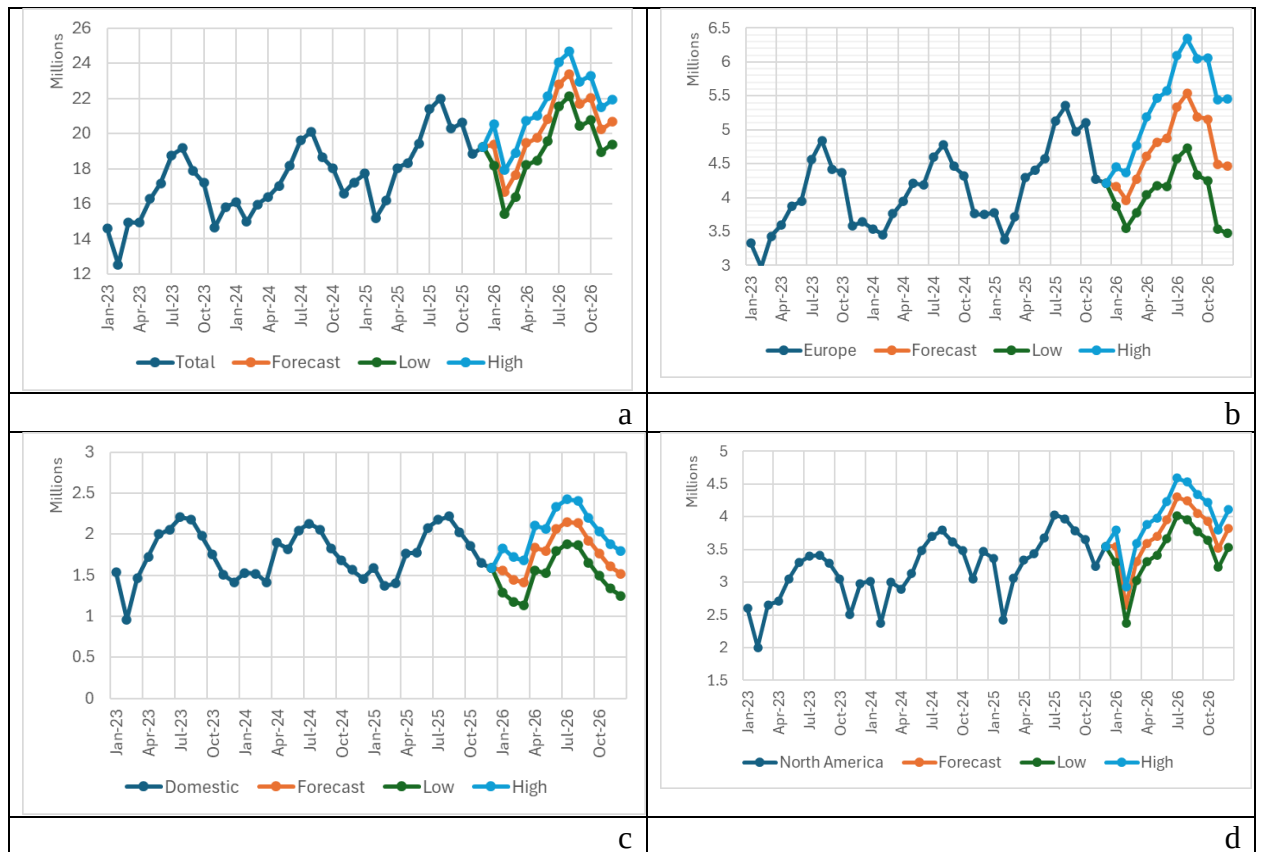


Рис.2. Місячні часові динаміки Revenue Passenger Km в 2023-2026 рр.

Висновок

Проведений аналіз показує, що якщо є повні статистичні дані про окремі складові часового ряду, то доцільно розглядати моделі часових рядів окремих складових і робити їх прогнози. Прогнозування сумарного часового ряду може давати сумнівні результати, якщо серед компонент є складові з істотно різною часовою поведінкою.

Список використаних джерел

1. Dobruszkes, F., Decroly, J. M., & Suau-Sanchez, P. The monthly rhythms of aviation: A global analysis of passenger air service seasonality. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2022. V 14. P. 100582.
2. Turkish Airlines. Monthly traffic update. URL: <https://investor.turkishairlines.com/en/financial-and-operational/traffic-results>
3. Hyndman, R. J. (2014). Forecasting: Principles & Practice. URL: <https://robjhyndman.com/uwafiles/fpp-notes.pdf>

УДК 656.7:355.422(043.2)

ПЕРЕМАРШРУТИЗАЦІЯ ПАСАЖИРСЬКИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ЗАКРИТТЯ ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ: ЕКОНОМІЧНІ ТА ОПЕРАЦІЙНІ НАСЛІДКИ І НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ

*Бутинкевич А.В.,
здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Валько А.М., PhD, доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: перемаршрутизація, закриття повітряного простору, пасажирські авіаперевезення, зони конфлікту, авіаційна безпека.

У дослідженні розглянуто вплив закриття повітряного простору над зонами збройних конфліктів на маршрутизацію пасажирських авіаперевезень. На основі даних EUROCONTROL, IATA та наукових публікацій оцінено операційні, економічні й екологічні наслідки перемаршрутизації для авіакомпаній. Обґрунтовано напрями удосконалення системи маршрутизації: попереднє планування альтернативних коридорів, мережева координація та облік додаткових витрат і викидів.

Збройні конфлікти все частіше змушують авіакомпанії змінювати усталену маршрутну мережу. Після повномасштабного вторгнення в Україну у 2022 р. значну частину повітряного простору Європи й Азії закрито або обмежено для західних перевізників [1]. З 28 лютого 2026 р. до цього додалося закриття повітряного простору Ірану, Ізраїлю, Іраку та низки держав Перської затоки, після чого було активовано Європейську групу координації авіаційних криз [2]. Перемаршрутизація перестала бути епізодичною операцією та стала елементом стратегічного планування, що зумовлює актуальність даної роботи.

Важливе обґрунтування напрямів удосконалення системи маршрутизації та перемаршрутизації пасажирських авіаперевезень в умовах закриття повітряного простору.

Рішення про закриття повітряного простору ухвалюють держави, адже кожна з них має повний і виключний суверенітет над повітряним простором над своєю територією [3]. Авіакомпанії змушені адаптувати маршрути, а рекомендації щодо оцінки ризиків польотів над зонами конфлікту або поблизу них містить Doc 10084 ICAO [4].

Масштаб наслідків показують дані EUROCONTROL: обсяг польотів між Європою та Близьким Сходом скоротився більш ніж наполовину, а понад тисяча рейсів щодоби потребувала перемаршрутизації [2]. Це означає сотні тонн додаткового палива й близько двох тисяч тонн викидів CO₂ щодня. На схід сформувалися два коридори: вузький північний через Туреччину, Грузію та Азербайджан і ширший південний через Саудівську Аравію та Оман. Навантаження на повітряний простір окремих держав змінилося суттєво (рис. 1), тому перемаршрутизація потребує мережевої координації [2].

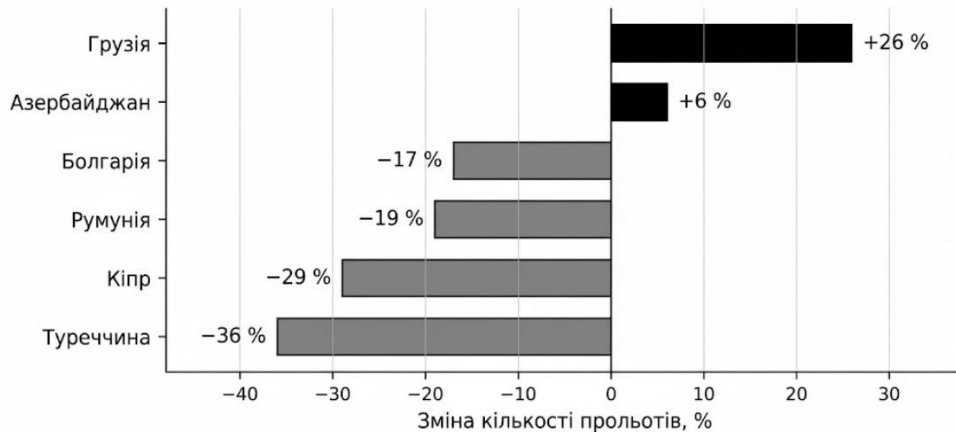


Рис. 1. Зміна кількості польотів над окремими державами після 28.02.2026

Джерело: побудовано за даними [2]

Економічні наслідки посилює подорожчання пального, яке за кілька тижнів зросло більш ніж удвічі відносно докризового рівня [2]. За прогнозом IATA, прибуток авіаіндустрії у 2026 р. скоротиться приблизно вдвічі, а авіакомпанії Близького Сходу очікують збитків [5]. Окремі перевізники, зокрема Wizz Air, повністю припинили польоти до регіону.

Досвід закриття українського та російського повітряного простору підтверджує масштаб проблеми: за оцінками В. Іванникової зі співавторами, на окремих європейсько-азійських маршрутах витрати й викиди CO₂ зростали на 18–40 % [1]. Перевізники, на яких поширюються обмеження, витрачають більше палива, ніж ті, що зберегли доступ до російського повітряного простору, що створює конкурентну асиметрію, а загалом, за підсумками дослідження G. Dannet та ін., обмеження через конфлікти збільшили глобальні викиди CO₂ авіації у 2023 р. приблизно на 1 % [6, 7].

Аналіз дозволяє виокремити чотири групи заходів для удосконалення системи перемаршрутизації:

1) Правові та безпекові: оцінка ризиків за методикою ICAO Doc 10084, а також врахування бюлетенів EASA щодо зон конфлікту (CZIB) і NOTAM під час планування маршрутів [4].

2) Операційні: заздалегідь підготовлені альтернативні коридори та координація з Мережевим менеджером EUROCONTROL і суміжними районними диспетчерськими центрами [2].

3) Економічні: хеджування палива й облік додаткових витрат у плануванні розкладу та ціноутворенні [5].

4) Пасажирські та екологічні: організація перебронювання та репатріаційних рейсів, а також облік додаткових викидів [6, 7].

Висновок

Закриття повітряного простору перетворює перемаршрутизацію на постійний елемент операційної діяльності авіакомпаній. Вона зачіпає понад тисячу рейсів щодоби лише в європейській мережі. Наслідками є додатковий наліт, витрати палива й викиди, а також посилення фінансових ризиків галузі. Ефективність реагування залежить від проактивного планування

альтернативних коридорів, мережевої координації та точного обліку додаткових витрат.

Для України тема набуває додаткової ваги у зв'язку з необхідністю планувати маршрутну мережу на період відновлення використання національного повітряного простору. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення моделі вибору маршруту за критерієм мінімуму сукупних витрат, що поєднує паливну, часову та ризикову складові.

Список використаних джерел

1. Ivannikova V., Sokolova O., Cherednichenko K. How the War in Ukraine Impacts Global Air Transportation Ecosystem: Assessment and Forecasting of Consequences. *Transportation Science and Technology: Proceedings of the 14th International Conference TRANSBALICA XIV*. Cham: Springer, 2024. P. 386–401. DOI: 10.1007/978-3-031-52652-7_38.
2. EUROCONTROL. Impact of the current Middle East Crisis on European Aviation. European Aviation Trends. Issue 11. Brussels, 31 March 2026. URL: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2026-03/eurocontrol-aviation-trends-issue-11.pdf>
3. Конвенція про міжнародну цивільну авіацію 1944 р. Верховна Рада України. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_038
4. ICAO. Doc 10084. Risk Assessment Manual for Civil Aircraft Operations Over or Near Conflict Zones. 3rd ed. Montreal: ICAO, 2023.
5. IATA. Middle East disruptions and high fuel prices halve airline industry profitability: press release, 7 June 2026. URL: <https://www.iata.org/en/pressroom/2026-releases/06-07-middle-east-disruptions-high-fuel-prices-halve-airline-industry-profitability/>
6. Zengerling Z. L., Kumpa S., Cloccoceanu M. et al. Assessing Climate Effects Resulting From Airspace Closures Following the Ukrainian Crisis. *Journal of Open Aviation Science*. URL: <https://journals.open.tudelft.nl/joas/article/download/8152/6419?inline=1>
7. Dannel G., Bellouin N., Boucher O. Airspace restrictions due to conflicts increased global aviation's carbon dioxide emissions in 2023. *Communications Earth & Environment*. 2025. Vol. 6.

УДК 656.7:502.1:614.8

ОПТИМІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ НА ЗАСАДАХ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТІЙКОСТІ

*Козодой Д.С. к.т.н., доцент
Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків*

Ключові слова: авіаційні перевезення, оптимізація, управління, авіаційна безпека, безпека життєдіяльності, екологічна стійкість, цифровий двійник, штучний інтелект, SAF, багатокритеріальна оптимізація.

Сучасний розвиток авіаційних перевезень супроводжується одночасним зростанням вимог до безпеки, економічної ефективності та екологічної відповідальності. Авіаційна галузь залишається одним із складних для декарбонізації секторів, а її вплив пов'язаний не лише з викидами CO₂, а й з оксидами азоту, твердими частинками, шумом та іншими non-CO₂ ефектами. За даними EASA, авіація у 2023 р. формувала близько 2,5% глобальних викидів CO₂, що посилює необхідність пошуку операційних і технологічних способів зменшення її екологічного навантаження [1,3].

Мета дослідження полягає в обґрунтуванні сучасних підходів до оптимізації управління авіаційними перевезеннями з одночасним урахуванням показників безпеки, операційної ефективності та впливу на навколишнє середовище.

Традиційна модель управління авіаційними перевезеннями переважно орієнтується на мінімізацію витрат, затримок і простоїв. Проте сучасні умови потребують переходу до багатокритеріальної моделі, у якій економічні показники розглядаються разом із безпековими та екологічними параметрами. Такий підхід передбачає оптимізацію маршрутів, розкладу польотів, використання повітряних суден, завантаження флоту, управління наземними операціями та повітряним простором [2].

Перспективним напрямом є використання цифрових двійників, штучного інтелекту та прогнозової аналітики. Цифрові технології дають можливість моделювати операційні процеси в реальному часі, прогнозувати затримки, оцінювати ризики та вибирати оптимальні варіанти управлінських рішень. Дослідження 2025 р. показало, що застосування цифрового двійника для оптимізації вильотів дозволяє одночасно зменшувати затримки та викиди CO₂[4].

Важливим є формування багатокритеріальної функції оптимізації, яку можна представити у математичному вигляді (1):

$$F = w_1C + w_2D + w_3R + w_4E \rightarrow \min, \quad (1)$$

де C - операційні витрати; D - затримки; R - рівень операційного ризику; E - екологічне навантаження; w₁–w₄ - вагові коефіцієнти відповідних критеріїв.

При цьому безпека має розглядатися не як обмеження після економічної оптимізації, а як базовий критерій, що визначає допустимі межі прийняття рішень. Особливо це важливо під час оптимізації маршрутів та управління повітряним рухом. Дослідження 2024 р. показують, що кліматично оптимізовані траєкторії можуть зменшувати екологічний вплив, але водночас підвищувати складність повітряного руху та створювати додаткові ризики для безпеки. Тому екологічна оптимізація повинна здійснюватися лише за умови збереження встановленого рівня безпеки [3].

Окрему роль відіграє оптимізація наземного обслуговування. Рациональний розподіл стоянок, виходів, руліжних маршрутів і злітно-посадкових смуг дозволяє скоротити час руління, споживання палива, викиди та шумове навантаження. Сучасні моделі вже передбачають одночасне врахування якості обслуговування, операційної ефективності, викидів CO₂ та шумового впливу [4].

Ще одним напрямом оптимізації є підвищення паливної ефективності та використання сталого авіаційного палива (SAF). ICAO визначає операційні вдосконалення, SAF, низьковуглецеві енергетичні технології та CORSIA як ключові елементи довгострокового зменшення впливу авіації на клімат[3]. Водночас IATA зазначає, що масштабування SAF залишається проблемним через обмежені виробничі потужності та високу вартість такого палива.

Таким чином, оптимізацію авіаційних перевезень доцільно здійснювати на основі інтегрованої системи показників:

- безпекові: рівень ризику, кількість інцидентів, відповідність вимогам Safety Management System;
- економічні: операційні витрати, собівартість рейсу, завантаження флоту, прибутковість;
- операційні: затримки, тривалість польоту, використання повітряного простору та флоту;
- екологічні: викиди CO₂ та non-CO₂, витрати палива, шумове навантаження, якість повітря.

Автором пропонується удосконалити підхід до управління авіаційними перевезеннями шляхом інтеграції економічних, операційних, безпекових та екологічних критеріїв у єдину багатокритеріальну модель оптимізації. Запропонований підхід передбачає використання цифрових двійників і прогнозової аналітики для оперативного коригування маршрутів, розкладу та використання флоту з урахуванням обмежень безпеки та екологічного навантаження.

Практичне застосування запропонованого підходу в Україні може здійснюватися з урахуванням особливостей функціонування національної авіаційної системи, зокрема необхідності відновлення та подальшого розвитку цивільних авіаційних перевезень, модернізації аеропортової інфраструктури й підвищення рівня авіаційної безпеки. Після відновлення повноцінного функціонування цивільної авіації багатокритеріальна модель може бути використана авіакомпаніями, операторами аеропортів та організаціями з

управління повітряним рухом для оптимізації маршрутів, розкладу польотів, використання повітряних суден і наземної інфраструктури.

Зокрема, цифрові двійники можуть застосовуватися для моделювання роботи українських аеропортів та оцінювання різних сценаріїв організації польотів. Прогнозна аналітика та штучний інтелект можуть використовуватися для прогнозування затримок, оптимального розподілу ресурсів, планування технічного обслуговування повітряних суден та оцінювання операційних ризиків. Це дозволить приймати управлінські рішення з одночасним урахуванням безпеки, економічної доцільності та екологічних показників.

Окреме практичне значення запропонована модель має для відновлення та модернізації аеропортової інфраструктури України. Під час проектування та реконструкції аеропортів доцільно враховувати не лише пропускну спроможність, а й тривалість наземного обслуговування, маршрути руління, енергоефективність, рівень шумового навантаження та обсяги викидів. Такий підхід сприятиме формуванню більш стійкої авіаційної інфраструктури та відповідатиме сучасним європейським тенденціям розвитку авіації.

В умовах інтеграції України до європейського авіаційного простору запропонована багатокритеріальна модель також може використовуватися для поступового наближення управлінських процесів до європейських вимог у сфері авіаційної безпеки, екологічної ефективності та цифровізації. Перспективним є поетапне впровадження системи показників, що дозволить оцінювати кожне управлінське рішення за критеріями безпеки, вартості, часу та екологічного впливу.

Висновок

Отже, практична цінність запропонованого підходу для України полягає у можливості його використання як інструменту планування відновлення авіаційної галузі, модернізації аеропортів і підвищення ефективності майбутніх авіаційних перевезень. Застосування цифрових технологій та багатокритеріальної оптимізації дозволить одночасно підвищувати операційну ефективність, підтримувати належний рівень безпеки та поступово зменшувати екологічне навантаження авіаційної діяльності.

Оптимізація авіаційних перевезень у сучасних умовах повинна базуватися на комплексному поєднанні безпеки, економічної ефективності та екологічної стійкості. Використання цифрових технологій, багатокритеріальної оптимізації, прогнозової аналітики та SAF створює можливості для зниження витрат, затримок і негативного впливу авіації на довкілля без погіршення рівня безпеки. Перспективним напрямом подальших досліджень є розроблення адаптивної моделі управління авіаперевезеннями, здатної в реальному часі реагувати на зміни попиту, погодних умов, завантаження повітряного простору, технічного стану флоту та екологічних обмежень.

Список використаних джерел

1. Overview of key environmental outcomes from the 42nd Session of the ICAO Assembly. Outcomes from the 42nd Session of the ICAO Assembly (A42). <https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2025/Final-ENV-REPORT-A42.pdf>
2. Krömer M. M., Topchishvili D., Schön C. Sustainable airline planning and scheduling. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 434. Art. 139986. DOI: [10.1016/j.jclepro.2023.139986](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139986).
3. Wen X., Chung S.-H., Ma H.-L., Khan W. A. Airline crew scheduling with sustainability enhancement by data analytics under circular economy. *Annals of Operations Research*. 2024. Vol. 342, No. 1. P. 959–985. DOI: [10.1007/s10479-023-05312-7](https://doi.org/10.1007/s10479-023-05312-7).
4. Uy J. G., San Juan J. L. Multi-objective optimization of airline fuel loading problem considering sustainable aviation fuel and book-and-claim. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 482. Art. 144241. DOI: [10.1016/j.jclepro.2024.144241](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144241)

УДК 629.7.08:656.71

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ НАЗЕМНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ЛІТАКІВ (TURNAROUND TIME / TAT) ЯК ФАКТОР ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ

Ковріга К.А.,
здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Осьмак В.Є., к.т.н., доц.
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: Turnaround Time, TAT, наземне обслуговування, авіаперевезення, регулярність польотів

Ефективність авіаперевезень значною мірою залежить від раціональної організації використання повітряних суден та узгодженості технологічних процесів в аеропортах. Одним із важливих показників організації експлуатації повітряних суден є час наземного обслуговування (Turnaround Time, TAT) — період між прибуттям повітряного судна на стоянку та його підготовкою до наступного вильоту. Скорочення необґрунтованих затримок упродовж цього періоду створює передумови для ефективнішого використання повітряних суден, дотримання розкладу та підвищення регулярності польотів.

Процес наземного обслуговування охоплює комплекс взаємопов'язаних операцій, зокрема висадку та посадку пасажирів, обробку багажу й вантажів, управління повітряного судна, прибирання салону, виконання передбачених процедур технічного обслуговування та підготовку до вильоту. Несвоєчасне

виконання окремих операцій, недостатня координація між учасниками обслуговування або затримка обміну оперативною інформацією можуть впливати на загальну тривалість наземного обслуговування та спричиняти відхилення від запланованого часу вильоту. Водночас можливості скорочення ТАТ залежать від типу повітряного судна, технології обслуговування, наявних ресурсів і дотримання вимог безпеки [1; 2].

Одним із напрямів удосконалення цього процесу є впровадження спільного прийняття рішень в аеропорту (Airport Collaborative Decision Making, A-CDM), що передбачає координацію дій аеропорту, авіакомпаній, наземних операторів та органів обслуговування повітряного руху на основі своєчасного обміну оперативною інформацією. Такий підхід сприяє підвищенню передбачуваності наземних операцій і раціональнішому використанню наявних ресурсів [2]. Додаткові можливості пов'язані з цифровим моніторингом виконання технологічних операцій та вдосконаленням їх послідовності.

Метою роботи є визначення основних напрямів оптимізації часу наземного обслуговування повітряних суден на основі вдосконалення координації технологічних операцій, застосування цифрових засобів моніторингу та використання принципів A-CDM для підвищення ефективності організації авіаперевезень.

Тривалість наземного обслуговування повітряного судна визначається узгодженістю виконання технологічних операцій, своєчасністю залучення персоналу та засобів наземного обслуговування, а також ефективністю інформаційної взаємодії між учасниками процесу. Затримка однієї операції може вплинути на початок наступних робіт або перенести запланований час готовності повітряного судна до вильоту. Тому оптимізація ТАТ має передбачати не лише прискорення окремих операцій, а й удосконалення організації всього процесу наземного обслуговування.

Одним із напрямів удосконалення є «паралельне виконання технологічних операцій». За традиційної організації частина робіт виконується послідовно, хоча деякі з них можуть відбуватися одночасно. Наприклад, за відповідних організаційних і технічних умов прибирання салону, підготовка багажного обладнання та інші допоміжні роботи можуть плануватися паралельно. Це дає змогу зменшити загальну тривалість обслуговування без необґрунтованого скорочення часу, необхідного для виконання кожної операції. Водночас можливість одночасного виконання заправлення, пасажирських і вантажних операцій має визначатися затвердженими процедурами, вимогами безпеки та умовами роботи конкретного аеропорту. Визначальним критерієм оптимізації повинно залишатися безпечне виконання всіх обов'язкових процедур [3].

Другим напрямом є застосування концепції спільного прийняття рішень в аеропорту (Airport Collaborative Decision Making, A-CDM). Вона передбачає обмін актуальною інформацією між оператором аеропорту, авіакомпаніями, наземними операторами та іншими залученими учасниками. Важливим

елементом A-CDM є відстеження ключових подій під час наземного обслуговування та своєчасне оновлення прогнозів щодо готовності повітряного судна до вильоту. Це дає змогу раніше виявляти відхилення від плану, узгоджувати використання персоналу й обладнання та зменшувати невизначеність під час підготовки рейсу [4].

Третім напрямом є цифровізація контролю наземних операцій. Використання електронних контрольних списків, систем реєстрації часу виконання робіт і засобів оперативного моніторингу дає змогу фіксувати початок і завершення окремих етапів обслуговування. На основі цих даних можна визначати операції, які найчастіше спричиняють затримки, виявляти повторювані відхилення та оцінювати завантаженість ресурсів. Додаткові можливості забезпечують системи автоматизованого збору даних, зокрема комп'ютерний зір, за умови перевірки достовірності отриманої інформації та належного контролю з боку персоналу. Таким чином, цифровізація не усуває людський фактор повністю, але може зменшити залежність від ручного внесення даних і сприяти своєчасному виявленню проблем.

Результативність зазначених заходів доцільно оцінювати за фактичними даними наземного обслуговування. До основних показників належать середня тривалість TAT, відхилення фактичного часу готовності до вильоту від запланованого, частота затримок окремих операцій та використання ресурсів наземного обслуговування. Порівняння цих показників до і після впровадження змін дасть змогу визначити, які заходи забезпечують найбільший ефект за конкретних умов експлуатації. Досвід застосування A-CDM у європейських аеропортах також підтверджує доцільність оцінювання результатів на основі операційних показників, зокрема використання ресурсів і затримок [4; 5].

Отже, оптимізація часу наземного обслуговування повітряних суден має ґрунтуватися на комплексному поєднанні раціональної організації технологічних операцій, координації учасників обслуговування та цифрового контролю виконання робіт. Конкретне скорочення TAT залежатиме від початкової організації процесу, типу повітряного судна, наявних ресурсів і результатів практичного впровадження запропонованих заходів.

Висновок

Оптимізація часу наземного обслуговування повітряних суден є важливим напрямом підвищення ефективності організації авіаперевезень. Основними заходами вдосконалення цього процесу визначено раціональне поєднання технологічних операцій, застосування концепції спільного прийняття рішень в аеропорту (A-CDM) та цифровізацію контролю виконання наземних робіт. Комплексне використання цих підходів сприяє своєчасному виявленню затримок, кращій координації учасників обслуговування та ефективнішому використанню наявних ресурсів.

Практичне оцінювання запропонованих заходів доцільно здійснювати на основі порівняння фактичної тривалості наземного обслуговування, відхилень від запланованого часу готовності до вильоту та частоти затримок окремих

операцій до і після впровадження змін. Подальші дослідження мають бути спрямовані на кількісне визначення ефективності зазначених заходів з урахуванням типу повітряного судна, технології обслуговування та умов експлуатації аеропорту.

Список використаних джерел

1. IATA Ground Operations Manual (IGOM). International Air Transport Association. URL: <https://www.iata.org/en/publications/manuals/iata-ground-operations-manual/>
2. Purohit P. Y., Langner J. E. B., Feuerle T., Hecker P. Optimizing Aircraft Turnaround Operations Through Intelligent Technology Integration: A Comprehensive Analysis of the INTACT System's Impact on Flight Efficiency and Economic Performance. *Aerospace*. 2026. Vol. 13, No. 2. Art. 132. DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace13020132>.
3. EUROCONTROL. Airport CDM Implementation Manual. Version 5.0. 2017. URL: https://www.eurocontrol.int/archive_download/all/node/10373
4. EUROCONTROL. Airport collaborative decision-making (A-CDM). URL: <https://www.eurocontrol.int/concept/airport-collaborative-decision-making>
5. EUROCONTROL Specification for Airport Collaborative Decision Making (A-CDM) 2025. URL: <https://www.eurocontrol.int/publication/eurocontrol-specification-airport-collaborative-decision-making-cdm>

УДК 656.7.07(477):315.814.32:327.5(043.2)

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УМОВАХ ЗАКРИТОГО ПОВІТРЯНОГО ПРОСТОРУ УКРАЇНИ ТА СУЧАСНИХ ГЕОПОЛІТИЧНИХ ВИКЛИКІВ

Лупина Назарій, Спекторук Артем
здобувачі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Вінюков-Проценко А.С., к.е.н., доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: закрите повітряне небо, авіаперевезення, управління перевезеннями, авіаційна логістика, транскордонна співпраця, штучний інтелект, мультимодальні хаби.

Через повномасштабне вторгнення повітряний простір нашої країни є закритий для цивільних літаків уже кілька років, і це порушило пасажирські та вантажні перевезення всередині України. Для всієї логістики - це головна проблема. Через те, що українські аеропорти не працюють, компаніям доводиться шукати інші маршрути й літати через аеропорти сусідніх країн таких як: Польща, Румунія, Словаччина, Угорщина та Молдова. Це питання варто досліджувати, адже наслідки відчутні: вищі ціни, довші маршрути,

проблеми на кордоні. Мета нашої роботи – розібрати труднощі, пов'язані із закритим небом, і запропонувати, як їх можна вирішити [1, с. 64; 2, с. 1].

Управління авіаперевезеннями в умовах закритого неба найбільше ускладнюють такі чинники [1, с. 66–67]:

- цивільні аеропорти в Україні не працюють, тому доводиться залежати від наземного транспорту та інфраструктури сусідніх держав.

- маршрути стали значно довшими, і тому на пунктах пропуску утворюються черги, а перевезення значно здорожчали.

- виникають також юридичні та митні труднощі з погодженням перевезень через кордон, а єдиних правил спільного користування інфраструктурою немає.

- бракує кваліфікованих працівників, адже частина людей виїхала або пішла на службу, а інвестицій стало значно менше.

Перевезення, що поєднують наземний транспорт і авіацію, складно узгоджувати, тому на кордонах бувають затори, а обставини часто змінюються. Тому планування на інтуїції вже не працює у нашій ситуації. Потрібно розраховувати, через які пункти пропуску й аеропорти краще направити вантаж, де можуть утворитися черги та як розподілити наявні ресурси. Для таких задач використовують математичні методи (наприклад, лінійне програмування й теорію масового обслуговування), а також штучний інтелект і машинне навчання [1, с. 68; 3, с. 14].

Ось приклади того, як це працює у світовій практиці:

1. Маршрути в реальному часі (Flight Ops). Авіакомпанія Alaska Airlines користується III-платформою Flyways, яка коригує траєкторію польоту просто під час рейсу. На 64% рейсів це дає змогу економити пального й польотний час [3, с. 15].

2. Збої в графіку (IRROPS). У KLM працює система підтримки рішень на випадок порушення розкладу. Вона скорочує зайві витрати на 20–30%, а затримки — на 30% [3, с. 24].

3. Наземне обслуговування (Turnaround Management). В аеропортах Мюнхена (MUC) та Берліна (BER) нейромережі й комп'ютерний зір відстежують понад 70 етапів обслуговування літака на пероні. Завдяки цьому час вильоту прогнозують точніше, більш ніж на 30% [4, с. 74].

4. Пасажири та біометрія. У європейських аеропортах використовують концепцію Single Token: автоматичні e-gates і розпізнавання облич. Паспортний контроль і перевірка пасажира займають менше ніж 20 секунд [5, с. 10]. Ці рішення створені для аеропортів, які працюють у штатному режимі, але їхні принципи можна застосувати й за умови закритого неба, зокрема для відстеження вантажів, прогнозування затримок і роботи прикордонних хабів [1, с. 68; 2, с. 2].

Проаналізувавши тему, ми виділили п'ять напрямів, які могли б покращити управління перевезеннями за умови закритого неба [1, с. 67–68]:

- розвивати співпрацю з європейськими транспортними мережами та спільні маршрути біля кордону;

- запровадити платформи для відстеження вантажів у реальному часі, електронний документообіг і цифровий трекінг;
- привести правила транскордонної логістики у відповідність до законодавства ЄС;
- побудувати мультимодальні логістичні хаби на кордоні з ЄС, щоб вантажі оброблялися швидше;
- навчати фахівців цифровим навичкам, роботі в кризових ситуаціях і управлінню ризиками.

Висновок

У даній роботі розглянуто, з якими складнощами стикається управління авіаперевезеннями після закриття повітряного простору. Головні з них є непрацюючі українські аеропорти, вимушені маршрути через сусідні країни, черги на кордонах, митні та юридичні неузгодженості, а також брак професійних кадрів та інвестицій. Через це перевезення стали дорожчими, а планувати їх у цій ситуації значно складніше, тому ситуація змінюється занадто часто, і компаніям раз у раз доводиться підлаштовувати логістику під нові ситуації. Щоб хоч якось частково полегшити ці проблеми і ми пропонуємо п'ять практичних кроків. Перший – тісніше працювати з європейськими транспортними мережами. Другий – запровадити цифрові платформи для відстеження вантажів і електронний документообіг. Третій – узгодити правила транскордонних перевезень із законодавством ЄС. Четвертий – створити мультимодальні хаби на кордоні. П'ятий – готувати фахівців до роботи в кризових умовах і з новими цифровими інструментами. На нашу суб'єктивну думку, саме поєднання цих заходів із сучасною аналітикою та цифровими рішеннями має допомогти зменшити втрати від закритого неба й поступово інтегрувати український авіатранспорт у європейський простір.

Список використаних джерел

1. Гордійчук Р. В., Позняк О. В., Суворова І. М. Управління перевезеннями в авіаційному ланцюзі постачання: сучасні виклики та перспективи розвитку. *Київський економічний науковий журнал*. 2025. № 9. С. 64–69.
2. Сікірда Ю. В. Методи оптимізації авіаційних транспортних технологій: конспект лекцій. Кропивницький: ЛА НАУ, 2021. 107 с.
3. Марінцева К. В. Оптимізація технології обслуговування пасажирів в аеропортах. *Науковий вісник Національного авіаційного університету*. 2012. № 4(33). С. 65–69.
4. Pilon R. V. Artificial Intelligence in Commercial Aviation: Use Cases and Emerging Strategies. London: Routledge, 2023. 248 p.
5. A Practitioner's Guide to Safe & Compliant AI Solutions in Airport Operations. ACI EUROPE, Airport Intelligence, Jetpack.AI, 2024. 88 p.

УДК 656.71:656.025:004.89

ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ В УМОВАХ АЕРОПОРТІВ

Лямзін А.О., д.т.н., професор.

Шелест С.М., аспірант

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: автоматизоване управління, аеропорт, транспортні потоки, цифровий двійник, прогнозування, оптимізація, наземне обслуговування.

Аеропорт є багатокомпонентним транспортно-логістичним вузлом, у якому взаємодіють потоки пасажирів, вантажів, спеціалізованої наземної техніки та автомобільного транспорту. Нерівномірність прибуття рейсів, часові обмеження наземного обслуговування, обмежена пропускна спроможність технологічних доріг і випадкові відмови техніки формують динамічне середовище управління. Статичні графіки диспетчеризації недостатньо враховують поточні зміни попиту, тому актуальним є поєднання оперативного моніторингу, прогнозування та адаптивної оптимізації.

Об'єкт дослідження – транспортно-технологічні потоки наземної інфраструктури аеропорту.

Предмет – моделі та методи автоматизованого розподілу транспортних ресурсів і маршрутизації за часових, ресурсних та безпекових обмежень.

Метою є розроблення концептуального підходу до оптимізації автоматизованого управління транспортними потоками аеропорту з урахуванням прогнозованого навантаження та технічної готовності рухомого складу. Для досягнення мети визначено такі завдання: сформувати структуру інформаційного обміну; запропонувати багатокритеріальну модель; встановити алгоритм оперативного перепланування; визначити показники оцінювання результативності.

Запропонована авторська структурна схема (рис.1) об'єднує шість функціональних складових. Дані GPS/IoT, диспетчерських систем і спільного ухвалення рішень в аеропорту (A-CDM) надходять до інтеграційного модуля. Прогнозний модуль оцінює майбутню інтенсивність потоків, тривалість операцій та імовірність недоступності техніки. Оптимізаційний модуль формує план призначення транспортних засобів і маршрутів; цифровий двійник перевіряє сценарії. Диспетчерський модуль передає рішення виконавцям, а фактичні КРІ повертаються в контур коригування.

Математична модель оптимізації. Нехай I - множина транспортних завдань, K - множина доступних транспортних засобів, E - множина допустимих ділянок мережі. Бінарна змінна x_{ik} дорівнює 1, якщо завдання i призначено засобу k ; y_{ke} дорівнює 1, якщо засіб k використовує ділянку e . Час початку завдання позначимо s_i , прогнозовану тривалість - t_{ik} , час очікування - d_i , експлуатаційні витрати - c_{ik} , ризик затримки чи відмови - r_{ik} .

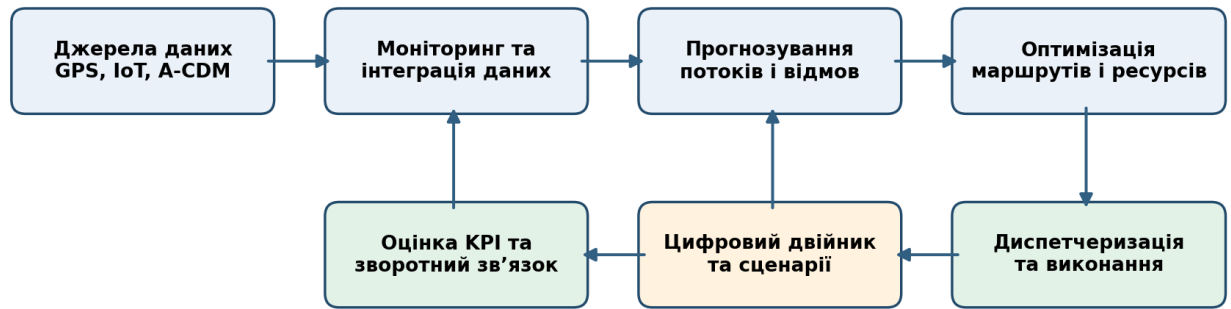


Рис. 1. Авторська структурна схема автоматизації управління транспортними потоками аеропорту

Для порівняння різнорозмірних критеріїв вводяться нормовані показники $\bar{T}$, $\bar{C}$, $\bar{D}$, $\bar{R}$. Цільова функція має вигляд:

$$F(X) = w_1 T(X) + w_2 C(X) + w_3 D(X) + w_4 R(X) \rightarrow \min, \quad \text{при} \quad w_j \geq 0, \sum w_j = 1. \quad (1)$$

Нормування може виконуватися відносно базового сценарію або встановлених допустимих значень. Для кожного завдання вводиться умова однозначного призначення:

$$\sum_k x_{ik} = 1, \quad \forall i \in I; \quad x_{ik} \in \{0, 1\}. \quad (2)$$

Додатково враховуються часові вікна $a_i \leq s_i \leq b_i$, сумісність типу техніки із завданням, неперетинання робіт одного транспортного засобу, місткість дорожніх ділянок $q_e(\tau) \leq Q_e$ та обмеження безпеки руху. Для техніки з прогнозованою ймовірністю готовності p_k на період планування доцільно вводити умову $p_k \geq p_{\min}$ для критичних операцій або штраф ризику до $\bar{R}(X)$. Значення $p_{\min}$ має встановлювати експлуатант залежно від критичності завдання.

Алгоритм адаптивного управління. На кожному горизонті планування система:

- 1) отримує поточні координати, статуси завдань і стан техніки;
- 2) прогнозує надходження заявок та тривалість операцій;
- 3) формує допустимі призначення й маршрути;
- 4) мінімізує $F(X)$ з урахуванням обмежень;
- 5) перевіряє альтернативи у цифровому двійнику;
- 6) передає план диспетчеру та відстежує відхилення.

За появи затримки рейсу, перекриття ділянки або відмови техніки запускається позачергове перепланування з фіксацією змін для забезпечення простежуваності рішень.

Оцінювання ефективності та практична реалізація. Перевірку доцільно проводити шляхом імітаційного моделювання на однакових сценаріях попиту для базового диспетчерського алгоритму й запропонованої системи. Основні KPI: середня тривалість транспортної операції, сумарний простій, частка

своєчасно виконаних завдань, коефіцієнт використання техніки, число конфліктних ситуацій та витрати на виконання операцій. Порівняння результатів слід здійснювати за декількома сценаріями інтенсивності й технічної готовності; числові переваги потребують експериментального підтвердження.

Висновок

Наукова новизна запропонованого концептуального підходу полягає у включенні прогнозованої технічної готовності наземної техніки до багатокритеріального контуру управління транспортними потоками та використанні цифрового двійника для перевірки планів до їх виконання. Це створює передумови для переходу від реактивної диспетчеризації до проактивного управління ресурсами.

Отже, інтеграція моніторингу, прогнозування, математичної оптимізації та цифрового моделювання формує основу адаптивної автоматизованої системи управління транспортними потоками аеропорту. Подальші дослідження передбачають калібрування моделі на фактичних даних, вибір методу розв'язання задачі в реальному часі та оцінювання стійкості рішень за умов невизначеності.

Список використаних джерел

1. Запорожець В. В., Шматко М. П. Аеропорт: організація, технологія, безпека: навч. посіб. Київ: Дніпро, 2002. 168 с.
2. Павелко В. Ю. Ринок послуг з наземного обслуговування в аеропортах України та практичні напрями його реформування. *Modern Economics*. 2022. № 36 (2022). С.103-107. [https://doi.org/10.31521/modecon.V36\(2022\)-15](https://doi.org/10.31521/modecon.V36(2022)-15)
3. Бугайко Д. О., Терещенко А. В. Взаємодія суб'єктів транспортного ринку в міжнародних аеропортах. *Наукоємні технології*. 2009. № 2. С. 29-32.

УДК 656.7.025

ПАМ'ЯТЬ ПРО ПОЛІТ: ЯК ПРАВИЛО «ПІК–КІНЕЦЬ» МОЖЕ ЗМІНИТИ УПРАВЛІННЯ КОМФОРТОМ ПАСАЖИРІВ

Мазур Є.А.,
здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Валько А.М., PhD, доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: комфорт пасажирів, правило «пік–кінець», спогад про політ, кабіний екіпаж, сервісне відновлення.

Авіакомпанії, як правило, прагнуть підвищувати комфорт рівномірно впродовж усього польоту та оцінюють його середніми балами в анкетах. Проте пасажир не підсумовує години польоту: він згадує окремі яскраві епізоди.

Якщо так, то рівномірні витрати на комфорт можуть бути менш ефективними, ніж цілеспрямоване проєктування того, що саме пасажир запам'ятає.

Актуальність теми зумовлена тим, що комфорт безпосередньо пов'язаний із готовністю пасажирів літати з тією самою авіакомпанією повторно [1], а враження від польоту пасажир переказують іншим, формуючи репутацію перевізника. За умов жорсткої конкуренції на ринку авіаперевезень авіакомпанії потребують недорогих інструментів впливу на лояльність, які не вимагають оновлення парку чи перепланування салону.

Дослідження комфорту авіапасажирів переважно зосереджені на чинниках, що діють у процесі польоту: простір для ніг, гігієна, увага екіпажу та особистий простір; якість обслуговування в авіакомпаніях розглядають і вітчизняні автори.

У психології встановлено, що оцінка пережитого досвіду визначається насамперед його найсильнішим моментом («піком») і завершенням, а не тривалістю чи середньою інтенсивністю відчуттів. У класичному експерименті учасники віддавали перевагу довшій неприємній процедурі, якщо вона закінчувалася менш різко, тобто завершення переважило тривалість. Правило найкраще працює для досвіду з чітким початком і кінцем, а політ є саме таким: має посадку, основну фазу та висадку. У розглянутих працях з комфорту авіапасажирів цей ефект як інструмент управління не використовується, тому його перенесення на авіаційне обслуговування становить новизну запропонованого підходу.

Пропонується розрізняти комфорт «переживання» (те, що пасажир відчуває в польоті) та комфорт «спогаду» (те, що він пам'ятає й розповідає іншим). Для вимірювання розриву між ними вводиться коефіцієнт спотворення пам'яті (КСП):

$$\text{КСП} = R_{\text{п}} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n r_j, \quad (1)$$

де $R_{\text{п}}$ – оцінка польоту, яку пасажир дає через 24 години після посадки; r_j – оцінки комфорту в n контрольних точках польоту (наприклад, три швидкі оцінки за QR-кодом: після зльоту, в середині польоту та перед посадкою).

Додатне значення КСП означає, що авіакомпанія «виграє» у спогаді, від'ємне – що погані моменти затьмарили загалом хороший політ. Такий показник доповнює середні бали анкет і дозволяє побачити, на які рейси варто звернути увагу в першу чергу.

На основі цього пропонується «режисура спогаду» – набір недорогих дій екіпажу, спрямованих на пік, фінал і швидке відновлення після негативних подій (табл. 1). Екіпаж у такій моделі виконує роль не лише виконавця стандартних процедур, а й «режисера» запам'ятовуваного досвіду пасажирів.

Таблиця 1. Інструменти «режисури спогаду» для екіпажу

Інструмент	Що робить екіпаж	Момент польоту
«Пік»	одна заздалегідь спланована мікро-подія: персональне вітання за іменем, коротка розповідь про маршрут, несподіваний приємний жест для пасажирів	середина польоту
«Фінал»	ритуал прощання, чітка інформація про вихід, наземний транспорт і видачу багажу, увага до тих, кому потрібна допомога	останні 15–20 хвилин та висадка
«П'ять хвилин»	після негативної події (затримка, турбулентність, помилка сервісу) бортпровідник протягом п'яти хвилин повертається до пасажирів з поясненням і рішенням	одразу після події

Особливу роль відіграє інструмент «П'ять хвилин». Негативний момент (затримка, турбулентність, помилка сервісу) здатен стати «піком» усього польоту, тому швидка й щира реакція бортпровідника, який пояснює ситуацію та пропонує вирішення, зменшує його вагу в пам'яті. Інструмент «Фінал» важливий тим, що закінчення польоту (висадка, очікування багажу, пошук транспорту) часто є найбільш стресовою його частиною, а отже, саме воно закарбується останнім.

Припустімо, що рейс вилетів із затримкою, а в середині польоту була помірна турбулентність. За традиційного підходу пасажирів, імовірно, оцінять політ низько, незалежно від подальшого обслуговування. Якщо ж екіпаж одразу після турбулентності підійде до пасажирів із поясненням, а наприкінці польоту ясно проінформує про видачу багажу й транспорт та по-людськи попрощається, то негативний пік буде пом'якшено, а фінал стане позитивним. У такому разі очікується, що значення КСП буде вищим, хоча фактичні умови польоту не змінилися.

Принципова відмінність підходу полягає в тому, що ресурси екіпажу спрямовуються нерівномірно: на кілька ключових моментів, а не на весь політ. Це може бути економічно вигідним, оскільки більшість цих дій потребує не додаткового обладнання, а підготовки бортпровідників. Водночас «режисюра спогаду» не замінює якісного базового обслуговування й безпеки: її мета – підсилити позитивне враження, а не приховати реальні недоліки, і застосовувати її слід чесно щодо пасажирів.

Перевірку підходу передбачається виконати в кілька етапів:

- а) визначити контрольні точки польоту та розробити короткі анкети;
- б) опитати пасажирів двічі: під час польоту та через добу після нього;
- в) обчислити КСП для рейсів, де екіпаж застосовував «режисюру спогаду», та для рейсів без неї;
- г) порівняти результати й оцінити економічну доцільність впровадження.

Обмеженнями дослідження є невелика вибірка, вплив культурних відмінностей пасажирів і необхідність дотримання вимог щодо захисту

персональних даних під час опитування. Слід також зазначити, що чинність правила «під–кінець» в авіаційному обслуговуванні є гіпотезою, яка потребує емпіричного підтвердження.

Висновок

Запропоновано розглядати комфорт пасажира не лише як сукупність параметрів польоту, а й як спогад, яким можна керувати. Введення коефіцієнта спотворення пам'яті та інструментів «режисури спогаду» створює основу для нового напрямку вдосконалення системи забезпечення комфорту пасажирів із відносно невеликими витратами для авіакомпанії. Практична значущість полягає в тому, що результати можуть бути використані службами бортового обслуговування авіакомпаній для навчання екіпажів і для доповнення систем оцінювання якості обслуговування.

Список використаних джерел

1. Vink P., Bazley C., Kamp I., Blok M. Possibilities to improve the aircraft interior comfort experience. *Applied Ergonomics*. 2012. Vol. 43, No. 2. P. 354–359.
2. Semchenko N.O., Ukrainskyi Y.O. Passenger service quality by airlines in airport complexes. *Systems and Technologies*. 2023. No. 66(2). P. 108–116.
3. Kahneman D., Fredrickson B.L., Schreiber C.A., Redelmeier D.A. When more pain is preferred to less: adding a better end. *Psychological Science*. 1993. Vol. 4, No. 6. P. 401–405.
4. Kahneman D. Thinking, fast and slow. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011. 499 p.

УДК 656.7.072.6(043.2)

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ РІЗНИХ КАТЕГОРІЙ НА МІЖНАРОДНИХ І ВНУТРІШНІХ РЕЙСАХ

*Майко Юлія, Варламова Марія,
здобувачі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Докієнко Л.М., к.е.н., доц.
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: обслуговування пасажирів, VIP-сервіс, пасажирів з інвалідністю, сім'ї з дітьми, авіаційний сервіс, бортовий супровід.

Сучасна авіаційна індустрія функціонує в умовах високої конкуренції, де якість обслуговування пасажирів стає одним із головних чинників успіху авіакомпанії. На міжнародних та внутрішніх рейсах все більшої ваги набуває індивідуальний підхід до різних категорій пасажирів, зокрема VIP-клієнтів, пасажирів з інвалідністю та обмеженою мобільністю, а також сімей з маленькими дітьми. Кожна з цих груп має специфічні потреби, що вимагає від авіаперевізника та екіпажу чітко налагодженої технології обслуговування на всіх етапах подорожі [1].

Обслуговування VIP-пасажирів передбачає високий рівень персоналізації, надання окремих зон очікування, прискорене проходження формальностей та підвищений комфорт на борту. Для пасажирів з інвалідністю вирішальним є забезпечення безбар'єрності, наявність спеціального обладнання (крісел-колясок, амбуліфтів) та професійна допомога персоналу. Сім'ї з дітьми потребують особливої уваги щодо розміщення в салоні, надання дитячого харчування, колисок та розважальних наборів [2].

Водночас, теперішні технології обслуговування нерідко стикаються із затримками, недостатньою координацією між наземними службами та бортпроводниками, а також відсутністю єдиного цифрового супроводу особливих запитів пасажирів на всьому шляху прямування.

Для підвищення якості та оперативності обслуговування особливих категорій пасажирів пропонується:

1. Впровадження єдиної цифрової картки у мобільному додатку авіакомпанії, де пасажир при бронюванні вказує всі нюанси (харчування, характер обмеження мобільності, дитячий візочок). Це дозволить автоматично інформувати старшого бортпроводника заздалегідь.

2. Оптимізація процедури попередньої посадки для сімей з дітьми та пасажирів з інвалідністю та обмеженою мобільністю з виділенням персонального асистента з числа бортпроводників для супроводу в салоні.

3. Створення спеціальних мультимедійних та інтерактивних наборів для дітей різного віку на борту для зниження рівня стресу під час тривалих перельотів.

Таблиця 1. Специфіка та напрями удосконалення обслуговування різних категорій пасажирів

Напрямок безпеки	Наявний стан	Пропозиції щодо удосконалення
Управління кризами та евакуація	Стандартні тренування на наземних симуляторах	Інтеграція VR-технологій для симуляції високого рівня стресу
Перша медична допомога	Базовий комплект аптечки та теоретичні знання	Оснащення літаків дефібриляторами AED та поглиблені практичні тренінги
Психологічний супровід	Акцент переважно на технічні інструктажі	Створення програми Peer Support та обов'язковий дебрифінг після інцидентів

Систематизація наведених даних свідчить про те, що комплексна реалізація запропонованих заходів дозволить суттєво мінімізувати часові затримки при обслуговуванні особливих категорій пасажирів як на внутрішніх, так і на міжнародних рейсах. Зокрема, автоматизація обміну інформацією між наземними службами та кабіним екіпажем знижує ризик виникнення комунікаційних збоїв на 30–35%, а також покращує суб'єктивну оцінку якості сервісу з боку пасажирів [3]. Окрім цього, впровадження спеціальних протоколів посадки забезпечує додатковий рівень безпеки та психологічного комфорту, що є визначальним фактором для формування сучасної безбар'єрної авіаційної інфраструктури.

Висновок

Впровадження запропонованих рішень дозволить підвищити рівень задоволеності пасажирів, скоротити час посадки та створити позитивний клієнтський досвід, що прямо впливає на лояльність до авіакомпанії та її конкурентоспроможність.

Список використаних джерел

1. Докієнко Л., Осмак В., Трюхан О. Обслуговування пасажирів на борту літака як чинник формування конкурентоспроможності авіакомпанії. *Економіка: реалії часу*. 2023. № 2(66). С. 26-35.
2. Кулаков О. В. Інформаційні технології в управлінні авіаційними перевезеннями. Київ: НАУ, 2021. 156 с.
3. Грищенко І. М. Цифровізація транспортної галузі: сучасні тенденції та перспективи розвитку. *Економіка та держава*. 2022. №5. С.45–49.

UDC 658.788:339.543

ANALYSIS OF THE SPECIFICS OF DOCUMENTATION AND CUSTOMS CLEARANCE FOR IMPORTED SPORTS GOODS

Matviienko T.O.,

a student of the first (bachelor's) level of higher education

Scientific supervisor: Nikolaienko I.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor

National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv

Keywords: sports goods, import, customs clearance, documentary support, risk

The organization of multimodal transportation in international trade is a highly complex technological process that imposes strict requirements for documentation and customs procedures. Because the transportation of sports goods, such as apparel and footwear, from Asian countries to Ukraine crosses multiple borders, each with its own customs laws, the legal aspect is governed by international transportation laws.

The fundamentals of these are International Commercial Terms (Incoterms 2020), which precisely outline where the goods and customs risks are transferred from one party to another [1]. FOB (Free on Board) is the most popular Incoterms for transportation from China, and FCA (Free Carrier) is used for countries like Bangladesh. When it comes to EXW (EX Works), it is the least used by the European side due to significant regulatory barriers with the Asian side, especially when not using local agents.

Aside from a clear understanding and the right choice of Incoterms, we also need all the documentary support for the goods being transported, as they will cross multiple borders and modes of transport. The primary financial document is the Commercial Invoice, agreed upon by the exporting and importing parties before cargo loading. It has a key role in customs checks, because it has full information

about articles with description that are transported, price per unit, total price, gross weight, net weight, HS codes, and is used to calculate the amount that the importer will be taxed. Then we have a supporting document – Packing List. It doesn't include financial indicators but is crucial for logistics and warehouse operations because it provides detailed information on how much of each article is transported by size, its volumetric characteristics, and sometimes even the pre-planned destination (shop format or the wholesale client's name).

Last but not least is the Certificate of Origin. This document has official status and certifies that certain goods originate in the country where they were manufactured, which may directly affect taxation and the application of customs duties. The government closely monitors the acquisition procedure. In today's digital world, most countries have moved to online platforms, where the exporter's data is fixed and linked to commercial invoices, Harmonized System (HS) Commodity codes, the destination country, and the date of issue. After receiving the document as a PDF, it can be printed if needed, and its authenticity can be verified by scanning the QR code each COO receives. With this complete set of documents, there should not be any problems during customs operations in any transit or destination countries [2].

One of the actual hardest parts of import operations is the documentary support of transit through different countries. After the container is unloaded at a European port, its movement through the European Union's customs territory to the Ukrainian border is strictly regulated. According to modern procedures, transit movement is monitored and granted digitally through the New Computer Transit System (NCTS). It is also important to note that registering the European transit declaration (T1) in NCTS is a separate process and doesn't change individual local customs requirements [3].

For the legal entry of a truck into the Ukrainian customs territory, the broker should submit a Pre-Declaration. This document serves as a basic financial guarantee that the importing party will pay customs duties during the container's local transit from the road border crossing point to the customs terminal [4].

Uninterrupted final stage – customs clearance of goods and their release into stock circulation is directly dependent on proactive and correct preparation of documentation. To avoid truck detentions, a special documentation package (Table 1) is prepared and pre-issued by a customs broker before the vessel even arrives at a European port.

The hard part of declaring fashion goods is paying close attention to non-tariff regulations and detailed characterization. Base commercial invoice fixes only financial characteristics and amounts of transportation, which is not enough for customs inspections. The importer needs to create a separate file for the broker that includes the local specification of the class of goods, material percentages, gender, and age groups. In addition to that, customs can demand a Material Letter which proves those material percentages (for example, leather to textile ratio in shoe tops and rubber to foam in shoe soles, and a Sizing Letter which proves how many goods of each size are transported in a truck (usually for kids' sizes). These exact

characteristics are decisive in assigning a specific 10-digit Ukrainian Classification of Goods for Foreign Economic Activity code, which determines the final amount of customs duties and tariffs [2].

Table 1. Document preparation checklist for customs broker

Document or data	Responsible	When is it provided	Usage
Commercial invoice, Packing list	Sender (draft), importer (final version up to their standards)	Before the collection of goods	Base for the creation of the Pre-Declaration and Customs Declaration
Bill of Lading	Sea freight logistics service partner	After the arrival of the vessel	Proof of owning goods and transportation route
Contract, price list, bills	Importer	Before Pre-Declaration	Proof of customs value
Sizing letter and Materials letter	Importer	Before Customs Declaration	Exact classification to give customs codes to goods
Transit documents (T1 and CMR)	Road transport operator	After receiving goods in port	Proof of internal transit being legal

After submitting the Customs Declaration, customs perform automated tariff controls through Risk Control, comparing the given prices with the indicated base to determine whether someone is trying to minimize their customs duties.

After completing customs operations, a truck with a container is allowed to proceed to the receiver's warehouse in Ukraine, where it will be unloaded. Goods will be stocked after calculating their total cost, including the starting price on the seller's or manufacturer's invoice, transportation costs, customs duties, broker's fee, and terminal fee.

Conclusion

Documentation and customs clearance are mandatory steps in international trade that ensure the legality of moving imported sports apparel and footwear across Ukraine's border, their release into free circulation, and proper accounting.

Properly prepared documents minimize cargo delays at the Ukrainian border, which, in turn, facilitates proper customs clearance and helps avoid risks associated with incorrect documentation or violations of customs regulations.

References

1. FCA & EXW Incoterms 2020 explained: Key differences. ICC Academy – Learn online with the International Chamber of Commerce. URL: <https://academy.iccwbo.org/incoterms/article/incoterms-2020-exw-or-fca/>
2. Common Export Documents. International Trade Administration / Trade.gov. URL: <https://www.trade.gov/common-export-documents>
3. Common Transit (NCTS). State Customs Service. URL: <https://customs.gov.ua/rezhim-spilnogo-tranzitu-ncts>
4. Customs Code of Ukraine: Code of Ukraine No. 4495-VI of March 13, 2012: as of September 17, 2026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4495-17#Text>

УДК 656.22:004.942

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІСЬКИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА СИСТЕМОЮ БАГАТЬОХ ОДИНИЦЬ

Мацюк Надія, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

Мацюк Макар,

здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Ключові слова: міська кільцева залізниця, агентне моделювання, дискретно-подієва імітація, електропоїзд, провізна спроможність.

Організація міських пасажирських перевезень залізничним транспортом потребує узгодження провізної спроможності з нерівномірним попитом упродовж доби та тижня. Найбільше навантаження виникає у ранкові й вечірні пікові періоди робочих днів, тоді як між пікові години, вихідні та святкові дні характеризуються зниженням інтенсивності пасажиропотоків. Використання незмінних інтервалів руху та складів електропоїздів постійної місткості за цих умов може призводити до нераціонального використання рухомого складу й зростання експлуатаційних витрат [1, 2].

Одним із перспективних способів адаптації системи до коливань попиту є організація руху електропоїздів за системою багатьох одиниць, що передбачає оперативну зміну кількості модулів у складі поїзда. Під час пікових навантажень використовуються електропоїзди більшої пасажиромісткості, а за зниження попиту — меншої. При цьому регулювати можна як складність поїздів, так і інтервали їх руху. Оцінювання ефективності таких рішень потребує відтворення стохастичного надходження пасажирів і динаміки обігу електропоїздів у межах реальної транспортної мережі.

Мета дослідження — розроблення та експериментальне застосування імітаційної моделі міської залізничної транспортної системи, що враховує добову й тижневу нерівномірність пасажиропотоків, для визначення раціональних інтервалів руху, місткості складів і потрібного парку електропоїздів. Об'єктом дослідження обрано систему міських залізничних перевезень Київського залізничного вузла.

Методичну основу становить поєднання агентного та дискретно-подієвого моделювання. Агентний підхід дає змогу описати динамічне середовище транспортної системи й взаємодію її підсистем з урахуванням стохастичної інтенсивності надходження пасажирів. Дискретно-подієвий підхід використано для відтворення технологічних операцій руху та обігу електропоїздів, їх простою в пунктах зупинки й обороту. Така комбінація дозволяє оцінювати взаємозв'язок режиму перевезень і потреби у рухомому складі [3].

Імітаційну модель реалізовано в середовищі AnyLogic University Researcher із використанням Java SE. За основу прийнято фактичну конфігурацію залізничної мережі Київського вузла з організацією кільцевого руху у двох напрямках. Позиціонування елементів інфраструктури та рухомого складу здійснено у геоінформаційному просторі з точністю до 10 м. За матеріалами дослідження, точність позиціонування у масштабі технологічних процесів становить близько 99,5 %. Перевірка адекватності моделі шляхом зіставлення результатів моделювання з фактичними даними перевезень показала приблизно 95 % відповідності.

У моделі задано планову провізну спроможність на рівні 25 млн пасажирів на рік. Базовою одиницею рухомого складу є тривагонний модуль місткістю 820 пасажирських місць; передбачено формування електропоїздів з одного або двох таких модулів (820 або 1640 місць). Прийнята технічна швидкість — 36 км/год, час стоянки на проміжних пунктах — 1 хв, у пунктах обороту — 10 хв. Параметри експлуатації для різних періодів тижня визначено за результатами імітаційних експериментів (табл. 1).

Таблиця 1. Результати імітаційного моделювання роботи міської кільцевої залізниці

Період	Інтервал руху в кожному напрямку, хв	Модулів у складі	Пасажиромісткість складу, місць	Необхідний парк, модулів
Ранковий пік (робочі дні)	20	2	1640	20
Денний міжпік (робочі дні)	44	1	820	6
Вечірній пік (робочі дні)	22	2	1640	20
Вихідні та святкові дні	52	1	820	2

Результати моделювання підтверджують доцільність поєднання регулювання інтервалів руху та пасажиромісткості електропоїздів. Для ранкового піка розрахунковий інтервал у кожному напрямку становить 20 хв, для вечірнього — 22 хв; в обох випадках доцільно застосовувати двомодульні склади. У денний міжпіковий період інтервал збільшується до 44 хв, а у вихідні та святкові дні — до 52 хв; за цих умов використовуються одномодульні склади. Відповідно, потреба у модулях змінюється від 20 у пікові години робочих днів до 6 у денний міжпіковий період і 2 у вихідні та святкові дні.

Під час імітаційних експериментів також визначено розрахункові значення провізної спроможності за періодами: 42 640 пасажирів у ранковий пік, 9 020 — удень, 43 460 — у вечірній пік робочих днів і 9 840 — у вихідний або святковий день. Нерівномірність цих показників зумовлює необхідність адаптивного формування складів. Коливання кількості електропоїздів, що одночасно перебувають на маршрутах, пов'язані також із дискретним характером визначення потрібного парку та особливостями обороту складів у Київському залізничному вузлі.

За результатами розрахунків визначено, що для забезпечення планового річного обсягу 25 млн пасажирів достатньо парку з 20 тривагонних модулів, тобто 60 вагонів. У пікові періоди зазначений парк використовується для формування електропоїздів із двох модулів, а за нижчої інтенсивності пасажиропотоків — із одного. Отже, зміна складу електропоїздів дає змогу адаптувати пропозицію транспортних послуг до попиту без пропорційного збільшення кількості поїздів на інфраструктурі.

Висновок

Розроблено агентно-дискретно-подієву імітаційну модель міських залізничних пасажирських перевезень, яка відтворює нерівномірність пасажиропотоків і технологію обігу електропоїздів за системою багатьох одиниць. На прикладі Київського залізничного вузла обґрунтовано диференціацію інтервалів руху та кількості модулів у складі залежно від періоду доби й дня тижня. Імітаційні експерименти показали можливість забезпечення річної провізної спроможності 25 млн пасажирів за наявності парку з 20 тривагонних модулів (60 вагонів). Одержані результати можуть використовуватися для обґрунтування режимів експлуатації та потреби у рухомому складі міських кільцевих залізниць. Кількісна оцінка економії експлуатаційних витрат потребує окремого дослідження.

Список використаних джерел

1. Awad F. A., Graham D. J., AitBihiOuali L., Singh R. Performance of urban rail transit: a review of measures and interdependencies. *Transport Reviews*. 2023. Vol. 43. P. 698–725. DOI: 10.1080/01441647.2023.2166146.
2. Paulo J., Teixeira R., Gunter U., Leva S., Chuwang D. D., Chen W. Forecasting daily and weekly passenger demand for urban rail transit stations based on a time series model approach. *Forecasting*. 2022. Vol. 4. P. 904–924. DOI: 10.3390/forecast4040049.
3. Mo B., Ma Z., Koutsopoulos H. N., Zhao J. Calibrating path choices and train capacities for urban rail transit simulation models using smart card and train movement data. *Journal of Advanced Transportation*. 2022. Art. 5597130. DOI: 10.1155/2021/5597130.

УДК 656.7.078

СТРАТЕГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ТА ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПЕРЕВЕЗЕННЯМИ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

Новальська Н.І., к.е.н., доцент,

Клименко В.В., к.е.н., доцент

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: оптимізація авіаперевезень, управління доходами, авіаційна логістика, цифрова трансформація.

Сучасна авіаційна індустрія функціонує в умовах безпрецедентних глобальних викликів. До них належать висока волатильність цін на енергоносії, геополітична нестабільність та необхідність жорсткого дотримання екологічних стандартів. За цих обставин традиційні підходи втрачають ефективність, тому системна оптимізація авіаперевезень стає головним чинником виживання ринку. Довгострокова фінансова стійкість компаній сьогодні напряму залежить від того, наскільки глибоко в їхні процеси впроваджується цифрова трансформація.

1. Динамічне управління доходами та персоналізація. Ключовим інструментом мінімізації фінансових ризиків є перехід на алгоритми динамічного ціноутворення на основі штучного інтелекту та великих даних. Інтелектуальне управління доходами дозволяє авіакомпаніям аналізувати терабайти комерційної та зовнішньої інформації в реальному часі й гнучко коригувати тарифи під поточний попит пасажирів [1].

Американська авіакомпанія Delta Air Lines використовує інтегровані AI-платформи для прогнозування поведінки клієнтів. Автоматизоване управління доходами допомагає компанії пропонувати пасажиром гіперперсоналізовані послуги, завдяки чому Delta утримує один із найвищих у галузі показників завантаження пасажирських крісел.

2. Інтелектуальне планування мережі та уніфікація флоту. Оптимізація маршрутів вимагає від менеджменту здатності швидко переформатувати логістичні ланцюжки. Сучасна авіаційна логістика базується на відмові від неефективних напрямків на користь гнучких моделей та уніфікації парку повітряних суден для мінімізації витрат.

Європейський лоукостер Ryanair використовує виключно літаки сімейства Boeing 737. Це спрощує постачання запчастин та технічне обслуговування. Завдяки чітким алгоритмам, у компанії досягнута максимальна оптимізація авіаперевезень на землі: час обороту літака в аеропорту становить лише 25 хвилин, що досягається завдяки швидкій посадці та висадці пасажирів [2].

3. Предиктивне технічне обслуговування. Незапланований ремонт через раптові поломки повітряних суден завдає авіакомпаніям колосальних збитків,

які вимірюються мільйонами доларів через простої, зриви графіків польотів та екстрену логістику запчастин. Традиційний реактивний підхід до ремонту за принципом «поламалося — лагодимо» стає занадто дорогим та неефективним для сучасної індустрії. Інноваційне управління авіаційною логістикою передбачає стратегічний перехід до предиктивного сервісу. Його основою є безперервний збір телеметрії з тисяч датчиків Інтернету речей, інтегрованих у вузли літака, які фіксують технічний стан усіх систем безпосередньо під час польоту.

Найбільш масштабним та успішним прикладом реалізації такої стратегії став проєкт німецької авіакомпанії Lufthansa, яка через свій підрозділ Lufthansa Technik розробила інноваційну цифрову платформу AVIATAR. Цей кейс переконливо доводить, що масштабна цифрова трансформація інженерних процесів дозволяє виявляти аномалії в роботі систем літака задовго до їх фактичної поломки. Платформа збирає та аналізує колосальні масиви телеметричних даних, які передаються з датчиків повітряного судна в режимі реального часу безпосередньо під час польоту.

4.«Зелена» логістика та паливна ефективність. Зростання екологічного тиску та суворі міжнародні стандарти, такі як програма CORSIA від ІКАО, роблять зниження витрат пального та зменшення вуглецевого сліду головним регуляторним і комерційним пріоритетом. Сучасна оптимізація авіаперевезень більше не обмежується лише модернізацією двигунів. Вона включає комплексний підхід: точне комп'ютерне моделювання профілів польоту, максимальне зниження ваги повітряного судна за рахунок використання новітніх композитних матеріалів та оптимізації бортового обладнання, а також поступовий перехід на екологічно чисте авіаційне паливо, яке здатне знизити викиди CO₂ до 80% порівняно з традиційним гасом. Завдяки цим заходам глобальна авіаційна логістика трансформується та стає значно менш шкідливою для довкілля.

Яскравим прикладом технологічного лідерства у цій сфері є авіакомпанія Emirates, яка активно впроваджує технологію гнучких треків. Спеціалізоване програмне забезпечення аналізує карту повітряних течій та метеорологічні дані в режимі реального часу безпосередньо перед вильотом. Замість фіксованих повітряних коридорів літак летить за динамічною траєкторією, яка максимально використовує попутний вітер і оминає зони сильного зустрічного опору. Це дозволяє економити сотні тонн пального та суттєво скорочувати час у дорозі на далекомагістральних рейсах.

Висновок

Управління сучасним авіаційним бізнесом вимагає відмови від застарілих інтуїтивних методів на користь рішень на основі даних. Досвід світових лідерів - Delta, Ryanair, Lufthansa та Emirates - підтверджує, що автоматизація систем, штучний інтелект та використання предиктивної аналітики безпосередньо трансформуються в операційну гнучкість, безпеку польотів та фінансову стабільність, які забезпечує кожна провідна авіакомпанія.

Список використаних джерел

1. Cook G. N., Billig B. G. [Airline Operations and Management: A Management Textbook](#). 2nd ed. London : Routledge, 2023. 394 p.
2. Kafle S. Short & Sharp: How Does Ryanair Achieve Its 25-Minute Aircraft Turnarounds? Jun 28, 2024. URL: <https://simpleflying.com/ryanair-aircraft-turnaround-guide>.

УДК 347.82:614.96 (043.2)

SPECIFIC FEATURES OF THE AIR TRANSPORTATION OF LIVE ANIMALS

Pron S.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Herasymenko I.M.

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor

National University «Kyiv Aviation Institute», Kyiv

Keywords: air transportation, live animals, animal welfare, IATA LAR, air cargo transportation.

Air transport is used to carry pets, farm animals and laboratory animals, as well as animals belonging to wild species. Its main advantage is speed; however, the transportation of live animals must be carefully planned. The animal's condition, temperature, ventilation, journey duration, transfers and waiting conditions must all be considered, as they may affect the animal's health and welfare. Therefore, such consignments require special procedures and coordination among all parties involved in the transport process: the shipper, freight forwarder, airline, ground handling services and veterinary authorities [1].

The main industry document governing the commercial air transportation of animals is the IATA Live Animals Regulations (LAR). It sets out key requirements concerning the responsibilities of the parties, advance booking, documentation, containers, marking, handling and care of animals. IATA requirements must be applied together with the national rules of the countries of origin, transit and destination, as well as the rules of the individual carrier. The updated edition of the LAR entered into force in 2026; IATA notes that the changes include updated requirements for containers and ventilation, and for training personnel who care for animals during transportation [1; 2]. In Ukraine, the air transportation of live animals is regulated by the Aviation Rules of Ukraine, in the section "Rules for the Air Carriage of Cargo" [6].

Preparation for transportation should begin by identifying the animal species, route and mode of transport. Depending on the species and the airline's carriage rules, a pet may travel in the cabin, in a designated hold compartment or as cargo. Before booking, it is necessary to confirm whether the selected carrier accepts the

animal on the specific flight; what restrictions apply to species, breed, weight and the number of containers; and whether the required facilities are available at transit and destination airports [3].

Veterinary preparation is an important part of transportation. Requirements for veterinary documents, identification, vaccination and, where necessary, laboratory tests and import permits should be checked well in advance. This check must cover every country on the route, including transit countries. Documents may be required for protected animal species under international rules governing trade in wild fauna and flora [2; 4].

Animals may be accepted for air transportation only if their physical condition allows them to withstand the planned journey. Their age, health, pregnancy, behavioural characteristics and sensitivity to heat or cold must be taken into account. Route planning should minimise delays, provide appropriate waiting conditions and reduce the time animals spend in cargo areas. Requirements vary by species; therefore, an assessment of the animal's condition and advice from a veterinary professional should form part of the transport planning process [4].

Containers used to transport animals must be appropriate for the species, size and number of animals, provide ventilation and safe accommodation, and allow inspection. The main principle cited by IATA for determining the internal dimensions of containers for pets is that an animal must be able to stand naturally, sit, turn around and lie down inside the container (Fig. 1). When selecting a container, bedding, the design of the door and locks, resistance to damage and marking requirements must also be considered. Specific rules apply to other animal species [3; 4].



Fig. 1. An animal transport container during loading onto an aircraft [7]

At acceptance and during ground handling, personnel check the animal's condition, its documents and the container in which it will travel, as well as compliance with temperature and ventilation requirements. During loading, the container must be positioned and secured in accordance with the carrier's requirements and the characteristics of the aircraft. The animals' health depends

directly on coordination among ground services, the quality of care provided in transit areas and personnel's ability to respond promptly to force majeure events and delays along the route [1; 4].

In conclusion, air cargo is the fastest way to transport live animals; however, it requires the highest level of responsibility and careful planning. The primary priority throughout the process is animal welfare and the protection of animal health at every stage of transportation. The safety and success of air transportation of live animal's rest on three key elements: strict compliance with international and national transport standards, comprehensive advance planning, and coordinated action by all parties involved in the transport process [2; 5; 6].

References

1. International Air Transport Association. Live Animal Handling & Transport URL: www-ade.iata.org/en/programs/cargo/live-animals/
3. IATA. Live Animals Regulations (LAR). URL: www.iata.org/en/publications/manuals/live-animals-regulations
4. IATA. Traveler's Pet Corner. URL: www.iata.org/en/programs/cargo/live-animals/pets/
5. World Organisation for Animal Health. Terrestrial Animal Health Code. Chapter 7.4: Transport of animals by air. URL: www.woah.org/fileadmin/Home/eng/Health_standards/tahc/2023/chapitre_aw_air_transpt.pdf
6. IATA. IATA Updates Cargo and Ground Operations Manuals. 27 October 2025 URL: www.iata.org/en/pressroom/2025-releases/2025-10-27-01/
7. Aviation Rules of Ukraine, "Rules for the Air Carriage of Cargo". Order No. 1795 of 19 November 2021. URL: [Про затвердження Авіаційних пра... | від 19.11.2021 № 1795](#)
8. SWISS WorldCargo. SWISS Live Animals: Air Cargo Transportation Service with Premium Care URL: <https://www.swissworldcargo.com/product/swiss-live-animals/>

УДК 338.47:656.7.025:364

СОЦІАЛЬНІ ІНІЦІАТИВИ АВІАКОМПАНІЙ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ДОСТУПНОСТІ ПОВІТРЯНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

*Татаренко Єлизавета,
здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Докієнко Л.М. к.е.н, доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: соціальна відповідальність, авіаперевезення, доступність, сталий розвиток, SkyUp

В умовах повномасштабного вторгнення в Україну соціальна роль підприємств транспортної галузі набуває особливого значення. Для авіакомпаній, які працюють у складному безпековому й економічному середовищі, важливо не лише забезпечувати комерційні перевезення, а й реагувати на потреби суспільства. Одним із напрямів такої діяльності є підтримка військовослужбовців і ветеранів, зокрема через механізми зниження вартості подорожі. Це питання доцільно розглядати в контексті соціальної складової сталого розвитку авіаційного транспорту та корпоративної соціальної відповідальності.

Метою роботи є узагальнення особливостей соціальної ініціативи SkyUp «Крила вдячності» та визначити її потенційне значення для підвищення фінансової доступності авіаперевезень і реалізації соціальної відповідальності авіакомпанії [3]. Методологічну основу становлять огляд офіційних матеріалів перевізника, аналіз оприлюднених умов програми та узагальнення наукових публікацій про соціальну відповідальність і сталий розвиток в авіаційній галузі.

Корпоративна соціальна відповідальність передбачає врахування впливу діяльності підприємства на працівників, клієнтів, громади та інші зацікавлені сторони. Для авіаційної галузі цей підхід не обмежується екологічними заходами або якістю обслуговування: він охоплює також соціальну підтримку та доступність послуг. У дослідженні К. Сорси та К. Бона-Санчеса зазначено, що науковий інтерес до соціальної відповідальності авіакомпаній зростає, а сучасні підходи дедалі більше пов'язують її зі сталим розвитком, взаємодією із зацікавленими сторонами та прозорою комунікацією [1]. Дослідження М. Перрімана та співавторів також підкреслює, що авіакомпанії можуть сприяти досягненню цілей сталого розвитку завдяки своїй ролі в забезпеченні мобільності та соціально-економічних зв'язків [2].

За офіційною інформацією SkyUp, програму започатковано 28 травня 2026 році для підтримки військовослужбовців і ветеранів, які мають статус учасника бойових дій, набутий у зв'язку із захистом України від російської збройної агресії [3]. Учасники, які відповідають критеріям і успішно

проходять перевірку документів, можуть оформити квиток на визначені регулярні рейси за спеціальним тарифом 1 євро плюс аеропортові збори. Квота становить до чотирьох місць на рейсі, а доступність тарифу залежить від наявності квоти та операційних умов. Правила передбачають включення однієї одиниці ручної поклажі вагою до 9 кг, а також можливість отримання додаткових сервісних переваг, зокрема вибору місця в салоні літака та пріоритетного обслуговування [3].

Для оформлення квитка пасажир звертається до контактного центру або іншого офіційного каналу, визначеного SkyUp, і надає документи для підтвердження особи та відповідного статусу. Після перевірки документів авіакомпанія з'ясовує, чи є доступне місце в межах спеціальної квоти. Отже, подання запиту саме по собі не гарантує оформлення квитка: важливими залишаються відповідність умовам програми та фактична доступність місць. Такий порядок дає змогу адресно спрямовувати підтримку, але водночас означає, що скористатися пропозицією можна не на будь-якому рейсі й не за будь-яких обставин.

В оприлюдненій на офіційній Instagram-сторінці SkyUp публікації, за 1 жовтня 2026 року, зазначено, що за перші чотири місяці дії програми було оформлено 325 квитків: 197 – для учасників бойових дій і 128 – для їхніх супроводжуючих [4]. Це становить відповідно близько 60,6% і 39,4% від загальної кількості оформлених квитків. Наведені дані свідчать про практичне використання програми, однак самі по собі не дають змоги оцінити її повний соціальний ефект: у відкритій публікації немає відомостей про загальну кількість звернень, відмови, географію подорожей або зміну доступності перевезень для учасників.

Таблиця 1. Кількість квитків, оформлених у межах програми «Крила вдячності» за перші чотири місяці 2026 року

Категорія пасажирів	Кількість квитків	Частка, %
Учасники бойових дій	197	60,6
Супроводжуючі особи	128	39,4
Разом	325	100,0

Джерело: складено автором на основі [4].

Перевагою програми є істотне зниження базової вартості квитка для визначеної категорії пасажирів. Вона також демонструє, як комерційний перевізник може інтегрувати соціальну підтримку у свою сервісну діяльність. Водночас доступність подорожі залежить не лише від ціни квитка, а й від аеропортових зборів, витрат на дорогу до аеропорту, розкладу рейсів і наявності місць за спеціальним тарифом. Тому програму коректніше характеризувати як інструмент часткового зниження фінансового бар'єра, а не як гарантію повністю доступної подорожі.

Доцільно підтримувати єдину й актуальну сторінку з простим описом критеріїв участі, переліком документів, етапами оформлення та поясненням обмежень квоти. Додатково можна запровадити добровільне опитування учасників щодо зрозумілості процедури й якості комунікації. Для подальшого

оцінювання результативності програми корисно регулярно публікувати узагальнені показники: кількість звернень та оформлених квитків, частку успішно підтверджених заявок, кількість рейсів із доступною квотою та оцінку задоволеності пасажирів. Збирання таких даних має відбуватися з дотриманням вимог щодо захисту персональних даних.

Висновок

Отже, програма SkyUp «Крила вдячності» є прикладом соціальної ініціативи авіакомпанії, спрямованої на підтримку військовослужбовців і ветеранів через спеціальний тариф на авіаперевезення. Опубліковані дані про 325 оформлених квитків за перші чотири місяці свідчать про фактичне використання програми, але для комплексної оцінки її ефективності потрібна ширша статистика. У контексті сталого розвитку така ініціатива поєднує соціальну відповідальність із практичними заходами для зниження вартості подорожі. Її подальше вдосконалення може бути пов'язане з підвищенням інформаційної доступності, зрозумілою комунікацією та систематичним оцінюванням досвіду пасажирів.

Список використаних джерел

1. Sorsa K., Bona-Sánchez C. Corporate Social Responsibility Trends in the Airline Industry: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 7. Article 2709. <https://doi.org/10.3390/su16072709>.
9. Perryman M., Besco L., Suleiman C., Lucato L. Ready for take-off: Airline engagement with the United Nations Sustainable Development Goals. *Journal of Air Transport Management*. 2022. Vol. 103. Article 102246. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2022.102246>.
10. SkyUp Airlines. Правила програми «Крила вдячності». URL: <https://skyup.aero/uk/wings-of-gratitude>
11. SkyUp Airlines. Легка, як хмаринка: бери безкоштовно із собою на борт валізу з колаборації SkyUp™ та Have A Rest. URL: https://www.instagram.com/p/Dd8XUQ2CGuh/?img_index=2
5. SkyUp Airlines. Сьогодні хочеться сказати просте: дякуємо вам. https://www.instagram.com/p/Dd8XUQ2CGuh/?img_index=2

УДК 656.7:656.2:338.47

ОЦІНЮВАННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ВНУТРІШНІХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ АВІАЦІЙНИМ ТА ЗАЛІЗНИЧНИМ ТРАНСПОРТОМ УКРАЇНИ

*Яцина Валерія, Волошин Сергій,
здобувачі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Докієнко Л.М., к.е.н, доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: регіональні авіаперевезення, залізничний транспорт, АTR 72-600, пасажирські перевезення, конкурентоспроможність, час подорожі, транспортна доступність.

В умовах майбутнього відновлення цивільної авіації України важливим завданням стане формування обґрунтованої мережі внутрішніх пасажирських перевезень. Повернення можливості виконувати польоти не означатиме необхідності відкривати авіарейси на всіх напрямках. Залізничний транспорт уже забезпечує сполучення між великими містами, тому перспективні авіамаршрути слід оцінювати за їхньою реальною цінністю для пасажирів. Особливий інтерес становлять напрямки Київ – Львів, Київ – Одеса, Київ – Харків та Київ – Полтава. На цих маршрутах можливі короткі регіональні польоти, однак існує і залізнична альтернатива. Висока швидкість літака сама по собі не гарантує переваги, адже пасажир витрачає час на трансфер до аеропорту, реєстрацію, контроль безпеки, посадку та вихід після прибуття.

Метою дослідження є порівняння часової й організаційної конкурентоспроможності авіаційного та залізничного транспорту на зазначених внутрішніх маршрутах України. Для цього використано принцип «від дверей до дверей» (door-to-door), який враховує всі етапи переміщення пасажирів.

Загальний час авіаційної та залізничної подорожі можна визначити за формулами:

$$T_{ав} = T_{д} + T_{пп} + T_{пол} + T_{пр}, \quad (1)$$

$$T_{зал} = T_{дв} + T_{оч} + T_{рух} + T_{вих}, \quad (2)$$

де $T_{д}$ – доїзд до аеропорту; $T_{пп}$ – передпольотні процедури; $T_{пол}$ – політ; $T_{пр}$ – вихід і трансфер після прибуття; $T_{дв}$ – доїзд до вокзалу; $T_{оч}$ – очікування поїзда; $T_{рух}$ – рух поїзда; $T_{вих}$ – вихід із вокзалу та подальший трансфер. Усі часові величини вимірюються в годинах.

Для моделювання обрано турбогвинтовий АTR 72-600, призначений для регіональних перевезень. Його максимальна крейсерська швидкість становить близько 510 км/год, пасажиромісткість – до 78 осіб залежно від компонування [1]. Для спрощеного розрахунку прийнято середню швидкість 450 км/год. Це

умовне значення, що частково враховує некрейсерські етапи, а не нормативний показник виробника.

У базовому сценарії на доїзд до аеропорту відведено 30 хв, передпольотні процедури – 60 хв, вихід після прильоту – 15 хв і трансфер у місто – 30 хв. Отже, фіксовані витрати становлять 2,25 год. Розрахункова формула набуває вигляду:

$$T_{ав} = 2,25 + \frac{L}{450}, \quad (3)$$

де L — умовна відстань повітряного маршруту, км.

Прийнято відстані: Київ – Львів – 470 км, Київ – Одеса – 440 км, Київ – Харків – 410 км, Київ – Полтава – 300 км. Вони не є офіційними довжинами маршрутів організації повітряного руху. Для залізниці прийнято орієнтовну тривалість прямого сполучення 5 год 40 хв, 8 год, 4 год 52 хв та 3 год 15 хв відповідно [2], додавши умовні 30 хв на доступ до вокзалу й посадку. Конкретні розклади змінюються; наведені дані є сценарними, а не перевіреним розкладом на визначену дату (табл.1).

Таблиця 1. Порівняння тривалості подорожі

Маршрут	Політ	Авіація, повністю	Залізниця, повністю	Економія літака
Київ – Львів	1 год 03 хв	3 год 18 хв	6 год 10 хв	2 год 52 хв
Київ – Одеса	59 хв	3 год 14 хв	8 год 30 хв	5 год 16 хв
Київ – Харків	55 хв	3 год 10 хв	5 год 22 хв	2 год 12 хв
Київ – Полтава	40 хв	2 год 55 хв	3 год 45 хв	50 хв

Джерело: авторські розрахунки за модельними припущеннями

Отримані результати показують меншу фізичну тривалість авіаподорожі в усіх чотирьох сценаріях, але не доводять її економічної чи організаційної переваги. На напрямку Київ – Полтава різниця становить лише 50 хв: затримка рейсу або довший трансфер можуть її нівелювати. На напрямках Київ – Харків і Київ – Львів літак потенційно заощаджує понад дві години, проте залізниця залишається зручною завдяки міському розташуванню вокзалів. Для Києва й Одеси формальна перевага авіації найбільша, однак нічний поїзд дозволяє пасажирові використати частину часу на сон.

Головною перевагою залізниці є доступність вокзалів у межах міста та простіша організація подорожі. Зазвичай пасажирові не потрібно прибувати настільки завчасно, як до аеропорту, а обмеження щодо багажу менш жорсткі. У вагоні можна вільніше пересуватися, працювати чи відпочивати. Особливе значення мають нічні поїзди: хоча вони довші за часом руху, частина дороги збігається з нічним відпочинком і не забирає активний час дня. Серед недоліків залізниці – збільшення тривалості поїздки на довших відстанях та залежність швидкості від стану колій, зупинок і графіка.

Авіація, натомість, забезпечує високу швидкість основного переміщення, особливо важливу для ділових пасажирові і віддалених регіонів. Зі збільшенням відстані фіксовані наземні процедури становлять меншу частку загального часу. Недоліками залишаються додаткові трансфери, контроль безпеки, обмеження багажу, потреба в аеропортовій інфраструктурі та чутливість до

метеорологічних й операційних затримок. На короткому маршруті навіть невелика затримка може позбавити літак часової переваги.

Таблиця 2. Якісне порівняння видів транспорту

Критерій	Авіація	Залізниця
Швидкість руху	Вища	Нижча, залежить від маршруту
Доступність вузла	Аеропорт може бути віддалений	Вокзал зазвичай у місті
Підготовка до рейсу	Триваліша	Простіша
Багаж і рух у салоні	Більше обмежень	Зазвичай зручніше
Нічний формат	Мала перевага	Можна спати в дорозі
Довгі маршрути	Часова перевага зростає	Час руху збільшується
Погодні затримки	Чутливіший транспорт	Зазвичай менш чутливий

Для оцінки відносної часової переваги можна застосувати коефіцієнт:

$$K_{\text{ч}} = \frac{T_{\text{зал}}}{T_{\text{ав}}} \quad (4)$$

За $K_{\text{ч}} > 1$ авіація швидша за повним часом подорожі, але остаточний вибір пасажирів залежить також від ціни, розкладу й комфорту. Більш комплексний підхід передбачає узагальнену вартість:

$$G = C + \beta \cdot T \quad (5)$$

де G — узагальнена вартість; C — прямі грошові витрати; β — грошова оцінка години часу; T — загальна тривалість подорожі.

Для ділового пасажирів висока цінність часу може виправдати дорожчий авіаквиток, тоді як для туриста або пасажирів нічного поїзда дешевше залізничне сполучення може бути привабливішим. Станом на жовтень 2026 року використання повітряного простору України для цивільних польотів залишається обмеженим [3]. Тому всі авіамаршрути в роботі розглянуто як перспективні сценарії, а не чинні рейси. Оцінювання фактичної доцільності їх відкриття потребує даних про попит, тарифи, частоту перевезень, доступність аеропортів і технічну готовність інфраструктури.

Висновок

Універсального переможця між регіональною авіацією та залізницею немає. На коротких маршрутах швидкість літака частково нівелюється наземними процедурами; на довгих маршрутах його часова перевага зростає. Залізниця водночас забезпечує зручний доступ до міських центрів, простішу посадку, гнучкіше перевезення багажу та можливість нічних подорожей.

Отже, відновлення внутрішніх авіарейсів доцільно планувати не за принципом дублювання залізничних напрямків, а там, де авіація створює достатню додаткову цінність для пасажирів з урахуванням часу, ціни й зручності.

Список використаних джерел

1. ATR. ATR 72-600 Aircraft. Technical Specifications. URL: <https://www.atr-aircraft.com/regional-mobility/regional-aircraft/atr-72-600/>
2. Rail Ukraine. Розклад поїздів. URL: <https://railukraine.com/uk/rozklad-poizdiv/>
3. EASA. Airspace of Ukraine. Conflict Zones Information Bulletin. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-operations/czibs/czib-2022-01r14>

2. Розвиток аеропортової діяльності та наземної інфраструктури

УДК 656.7:656.073

ОЦІНЮВАННЯ АДАПТИВНОСТІ АЕРОПОРТОВИХ ВАНТАЖНИХ ХАБІВ ДО ЗМІН ПОПИТУ ТА ПОРУШЕНЬ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

*Боярко Д.Л.,
здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Осьмак В.Є., к.т.н., доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: авіаційна логістика, вантажний хаб, адаптивність, вантажопотоки, цифровізація, логістичні процеси, операційна гнучкість.

У сучасних умовах розвитку міжнародної торгівлі та глобальних ланцюгів постачання авіаційні вантажні перевезення відіграють важливу роль у забезпеченні швидкого переміщення товарів між країнами та регіонами. Особливе значення мають аеропорти — вантажні хаби, які забезпечують концентрацію, обробку, сортування та подальше транспортування вантажопотоків. Водночас їхня діяльність залежить від коливань попиту, зміни маршрутів перевезень, нерегулярності авіарейсів, обмежень інфраструктури та виникнення непередбачуваних логістичних порушень.

За таких умов важливою характеристикою ефективного вантажного хаба є адаптивність, тобто здатність оперативно реагувати на зміни зовнішнього середовища, перебудовувати операційні процеси та підтримувати безперервність вантажних перевезень. Недостатній рівень адаптивності може призводити до накопичення вантажів, збільшення часу їх обробки, зростання логістичних витрат і зниження якості обслуговування клієнтів.

Метою дослідження є визначення основних чинників адаптивності аеропортових вантажних хабів до змін попиту та порушень логістичних процесів, а також розроблення системи показників для оцінювання їхньої операційної гнучкості й обґрунтування заходів щодо підвищення ефективності управління вантажними операціями.

Адаптивність аеропорту — вантажного хаба доцільно розглядати як його здатність своєчасно виявляти зміни операційного середовища, коригувати використання ресурсів, перебудовувати логістичні процеси та відновлювати належний рівень обслуговування вантажів за умов порушень. На відміну від стійкості, яка характеризує спроможність системи витримувати вплив несприятливих чинників і відновлюватися після них, адаптивність акцентує увагу на оперативному пристосуванні до нових умов.

Важливим науковим підґрунтям дослідження є праця S.-J. Hong, W. Kim та B. Hiatt «Examining airport agility at air cargo hub airports» (2025), у якій проаналізовано чинники операційної гнучкості вантажних хабів на прикладі міжнародного аеропорту Інчхон (Південна Корея). Автори застосували модель структурних рівнянь для оцінювання взаємозв'язків між характеристиками діяльності аеропорту та його адаптивністю. За результатами дослідження визначено чотири важливі групи чинників: цифрову трансформацію, авіаційне сполучення, обмін інформацією та комунікацію, а також місце розташування і транспортну доступність. Водночас гнучкість реагування на відхилення в розкладі рейсів та можливості використання термінальної інфраструктури також розглядалися в межах дослідницької моделі [1].

Цифровізація є одним із ключових інструментів підвищення адаптивності вантажного хаба. Використання інтегрованих інформаційних систем, електронного документообігу, автоматизованого відстеження вантажів і прогнозової аналітики дає змогу оперативніше виявляти відхилення від планових показників та узгоджувати рішення між учасниками перевезень. Зокрема, прогнозування вантажопотоків на основі історичних даних і поточних замовлень сприяє завчасному плануванню персоналу, складських площ та обробних потужностей.

Другим важливим чинником є доступність і регулярність авіаційного сполучення. Достатня частота вантажних рейсів і наявність альтернативних маршрутів розширюють можливості пере напрямлення вантажів у разі скасування рейсів або перевантаження окремих напрямків. Водночас ефективність цього механізму залежить від доступної провізної спроможності, комерційних умов перевезення та узгодженості розкладів.

Не менш важливим є обмін інформацією між адміністрацією аеропорту, авіакомпаніями, експедиторами, наземними операторами, митними органами та автомобільними перевізниками. Своєчасне інформування про затримки, зміну обсягів вантажів і доступність інфраструктури сприяє скороченню часу прийняття рішень та зменшенню ризику накопичення вантажів у терміналах. Отже, адаптивність залежить не лише від внутрішніх можливостей аеропорту, а й від рівня координації всіх учасників логістичного ланцюга.

Окрему роль відіграють транспортна доступність і гнучкість використання інфраструктури. Зручне сполучення з автомобільними та залізничними шляхами, логістичними центрами й промисловими районами полегшує зміну маршрутів доставки. Можливість оперативно перерозподіляти складські площі, організовувати тимчасові зони накопичення вантажів і змінювати порядок обробки відправлень дає змогу пристосовуватися до нерівномірного навантаження без негайного розширення фізичної інфраструктури.

На основі узагальнення результатів дослідження [1] можна зробити висновок, що пріоритетним напрямом підвищення адаптивності є поєднання цифрової трансформації з оперативним обміном даними та гнучким плануванням авіаційних і наземних операцій. Водночас результати

дослідження аеропорту Інчхон не слід автоматично переносити на всі вантажні хаби, оскільки ефективність відповідних рішень залежить від масштабу аеропорту, структури вантажопотоків, географічного положення та доступних ресурсів.

Для підвищення адаптивності аеропортових вантажних хабів пропонується реалізувати комплекс таких заходів:

1. Запровадження інтегрованої системи моніторингу вантажопотоків. Доцільно об'єднати дані про прогнозовані й фактичні обсяги вантажів, розклад рейсів, завантаженість терміналів та доступність наземного транспорту. Це дасть змогу оперативно виявляти ризики перевантаження та завчасно коригувати операційні плани.

2. Розроблення сценаріїв реагування на порушення. Для типових ситуацій, зокрема скасування рейсів, затримок, різкого зростання попиту або тимчасової недоступності складських зон, необхідно визначити альтернативні маршрути, відповідальних осіб і послідовність управлінських дій.

3. Підвищення гнучкості термінальної інфраструктури. Доцільно передбачити резервні площі для тимчасового зберігання, можливість зміни функціонального призначення окремих зон і гнучке планування змін персоналу відповідно до прогнозованого навантаження.

4. Розвиток партнерської взаємодії. Створення єдиного інформаційного середовища для аеропорту, авіакомпаній, експедиторів і наземних операторів сприятиме узгодженню графіків, прискоренню обміну інформацією та координації дій під час порушень.

5. Формування системи оцінювання адаптивності. Для контролю результативності запропонованих заходів доцільно використовувати показники середнього часу обробки вантажу, тривалості відновлення операцій після порушення, частки вантажів, доставлених у запланований строк, рівня використання термінальних потужностей і часу перенаправлення вантажу на альтернативний маршрут.

Реалізація цих заходів має відбуватися поетапно: від визначення базових показників і виявлення критичних операційних процесів до впровадження цифрових інструментів, перевірки сценаріїв реагування та оцінювання отриманих результатів. Такий підхід дасть змогу узгодити інвестиції з реальними потребами аеропорту й визначити найбільш результативні напрями вдосконалення.

Висновок

Адаптивність аеропортових вантажних хабів є важливою передумовою безперервності авіаційних перевезень і надійності інтегрованих ланцюгів постачання в умовах коливань попиту та логістичних порушень. Узагальнення результатів дослідження Hong, Kim та Hiatt засвідчує значення цифрової трансформації, авіаційного сполучення, обміну інформацією й транспортної доступності для підвищення операційної гнучкості вантажних аеропортів.

Практичним результатом роботи є обґрунтування комплексу заходів, що передбачає цифровий моніторинг вантажопотоків, планування реагування,

гнучке використання термінальної інфраструктури, координацію учасників перевезень і систематичне оцінювання результативності управлінських рішень. Їх упровадження може сприяти скороченню затримок, раціональнішому використанню ресурсів і підвищенню надійності вантажного обслуговування.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням комплексної методики кількісного оцінювання адаптивності аеропортів, визначенням вагомості окремих чинників для різних типів вантажних хабів і перевіркою ефективності запропонованих заходів на основі фактичних операційних даних. Це створить підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень щодо розвитку аеропортової інфраструктури та підвищення конкурентоспроможності авіаційної логістики.

Список використаних джерел

1. Hong S.-J., Kim W., Hiatt B. Examining airport agility at air cargo hub airports. *Journal of Air Transport Management*. 2025. Vol. 122. Art. 102710.
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2024.102710>
2. Hwang C.-C., Shiao G.-C. Analyzing air cargo flows of international routes: an empirical study of Taiwan Taoyuan International Airport. *Journal of Transport Geography*. 2011. Vol. 19, No. 4. P.738–744.
<https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2010.09.001>
3. Lotti R., Caetano M. The airport choice of exporters for fruit from Brazil. *Journal of Air Transport Management*. 2018. Vol. 70. P. 104–112.
<https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2018.05.003>
4. Dittfeld H., Scholten K., van Donk D. P. Proactively and reactively managing risks through sales & operations planning. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 2021. Vol. 51, No. 6. P. 566–584.
<https://doi.org/10.1108/IJPDLM-07-2019-0215>

УДК 656.71.073.42(043.2)

ПРОБЛЕМИ ОБРОБКИ БАГАЖУ В АЕРОПОРТАХ ТА ШЛЯХИ ЇХ МІНІМІЗАЦІЇ

Габрієлова Тетяна, к.е.н., доцент

Шинкарук Софія

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: багажні операції, аеропорт, наземне обслуговування, автоматизація, відстеження багажу.

Затримка, пошкодження або втрата багажу є одними з проблем, з якими стикаються пасажирів під час авіаперевезень. Незважаючи на використання автоматизованих систем сортування та сучасних технологій відстеження,

повністю уникнути таких випадків не вдається. Причини можуть виникати на різних етапах обробки багажу — від його реєстрації до видачі в аеропорту призначення. Для пасажирів це означає додаткові незручності, а для авіакомпаній та аеропортів — необхідність організовувати пошук і доставку багажу, розглядати претензії та нести додаткові витрати.

Масштаб проблеми відображають дані SITA Baggage IT Insights 2026. За оцінками компанії, у 2025 році витрати світової авіаційної галузі, пов'язані з порушеннями обробки багажу, становили близько 6,3 млрд дол. США [1]. Це підтверджує, що питання надійності багажних операцій має не лише організаційне, а й економічне значення.

Метою дослідження є аналіз основних причин порушень обробки багажу в аеропортах і визначення заходів, які можуть сприяти зменшенню їх кількості.

Обробка багажу складається з кількох послідовних операцій: приймання, реєстрації, ідентифікації, сортування, транспортування, завантаження на повітряне судно, розвантаження та видачі пасажирам. На кожному етапі існують ризики виникнення помилок. Наприклад, неправильне зчитування багажної бирки може призвести до спрямування валізи на інший рейс, а недотримання правил вантажно-розвантажувальних робіт — до її пошкодження. Окремою проблемою є обробка трансферного багажу, коли за обмежений час необхідно перемістити його з одного повітряного судна на інше.

Важливість організації взаємодії між учасниками багажного обслуговування розглядають R.S.A.Nounou та I.A.Shaban [2]. У своєму дослідженні автори аналізують розподіл відповідальності між авіакомпаніями й аеропортами, звертаючи увагу на проблеми координації та технологічні обмеження. Зокрема, труднощі можуть виникати тоді, коли інформація про багаж несвоєчасно надходить до відповідальних служб. У таких умовах навіть справне обладнання не завжди забезпечує своєчасне виконання операцій, оскільки результат залежить також від узгодженості дій персоналу.

Технічні проблеми багажних систем досліджували I.Alsyouf та співавтори [3] на прикладі авіакомпанії Об'єднаних Арабських Еміратів. Автори виявили недоліки, пов'язані з надійністю системи та значною кількістю одиниць багажу, які потребували ручного введення ідентифікаційних даних. Для аналізу причин порушень і вдосконалення роботи системи було застосовано методологію Lean Six Sigma. Це дослідження показує, що проблеми можуть бути пов'язані не лише з несправностями обладнання, а й із необхідністю виконання додаткових ручних операцій, які уповільнюють обробку багажу.

Розглянуті причини можна об'єднати у дві групи. Перша охоплює організаційні недоліки, зокрема помилки персоналу, недостатню координацію служб і порушення планування операцій. До другої належать технічні несправності, помилки автоматизованого зчитування та обмеження систем контролю багажу. Водночас чітко розмежувати ці проблеми не завжди можливо. Якщо обладнання не розпізнає багажну бирку, працівникам

доводиться вводити дані вручну. Це потребує додаткового часу, а за великого пасажиропотоку може спричинити накопичення багажу та затримки його сортування.

Для зменшення кількості таких випадків важливо мати інформацію про проходження багажем основних етапів перевезення. Цей принцип закладено в IATA Resolution 753 [4], яка передбачає фіксацію даних про зареєстрований багаж у чотирьох контрольних точках: під час приймання від пасажирів, завантаження на повітряне судно, передачі в процесі трансферу та повернення пасажирів. Завдяки цьому можна визначити останній зафіксований етап переміщення багажу й звузити зону його пошуку в разі затримки або втрати.

Для ідентифікації багажу використовують автоматизоване зчитування штрихкодів, а також технологію радіочастотної ідентифікації (RFID). Остання дозволяє зчитувати інформацію з електронних міток без необхідності прямої видимості штрихкоду, що може бути корисним під час сортування великих обсягів багажу. Проте впровадження таких технологій потребує відповідного обладнання та узгодженої роботи інформаційних систем. Крім того, IATA Resolution 753 не встановлює обов'язкового використання RFID, а визначає вимоги до фіксації переміщення багажу [4].

Вибір заходів для зменшення кількості порушень має залежати від проблем, характерних для конкретного аеропорту. Якщо найчастіше затримується трансферний багаж, необхідно насамперед перевірити організацію його передачі між рейсами та своєчасність обміну інформацією. У разі частих помилок ідентифікації варто оцінити роботу систем зчитування багажних бирок. Регулярні несправності сортувального обладнання свідчать про потребу вдосконалення його технічного обслуговування. Водночас зменшення випадків пошкодження багажу значною мірою залежить від дотримання правил виконання вантажно-розвантажувальних операцій. Таким чином, перш ніж упроваджувати нове обладнання, доцільно визначити, на яких саме етапах виникає найбільше порушень і що є їх основною причиною.

Висновок

Аналіз наукових публікацій та рекомендацій IATA показав, що проблеми обробки багажу виникають через поєднання технічних несправностей, помилок персоналу та недоліків організації наземного обслуговування. Особливо складними залишаються операції з трансферним багажем, для яких важливе своєчасне виконання всіх технологічних процедур. Для зменшення кількості порушень недостатньо лише модернізувати обладнання. Необхідно також забезпечувати контроль переміщення багажу, належну взаємодію між службами та своєчасне виявлення причин затримок. Запропонований підхід передбачає вибір заходів залежно від характеру проблем, що дозволить раціональніше використовувати ресурси аеропорту та підвищувати якість багажного обслуговування.

Список використаних джерел

1. SITA. Baggage IT Insights 2026. 2026. URL: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/sita-baggage-it-insights/>

2. Nounou R. S. A., Shaban I. A. Passengers' baggage operations between airline responsibilities and airport authority – A review. *Journal of the Air Transport Research Society*. 2025. Vol. 5. Article 100089. <https://doi.org/10.1016/j.jatrs.2025.100089>.
3. Alsyouf I., Kumar U., Al-Ashi L., Al-Hammadi M. Improving baggage flow in the baggage handling system at a UAE-based airline using lean Six Sigma tools. *Quality Engineering*. 2018. Vol. 30, No. 3. P. 432–452. <https://doi.org/10.1080/08982112.2018.1437180>.
4. International Air Transport Association. Baggage Tracking: IATA Resolution 753 Implementation Guide. Issue 4.0. November 2023. URL: https://www.iata.org/contentassets/d22bcfe86aa54f22a2919b0e4224f68f/res/o753-implementation-guide---2023_issue-4.0.pdf

UDC 656.71:338.47(477)

POST-WAR RECOVERY OF UKRAINE'S AIR TRANSPORT AND AIRPORT INFRASTRUCTURE

*Herasymenko I.M.,
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Pron S.V.,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv
Pron M. O., Bachelor's degree student
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv*

Keywords: air transport, post-war recovery, airport infrastructure, transport management, aviation safety.

The restoration of air connectivity is an important component of Ukraine's economic recovery, international mobility, and integration into European logistics networks. At the same time, the overall scale of transport-sector recovery needs is substantial: the joint RDNA5 assessment estimates them at more than USD 96 billion. This figure covers the entire transport sector, not aviation alone, but it demonstrates the competition for investment resources and the need to define priorities clearly [1].

The organization of air transport during the recovery period will depend on addressing interconnected constraints: damage to aerodromes and terminals; restoration of navigation and meteorological equipment; the readiness of emergency and rescue services; the availability of insurance; staffing; and the capacity of ground transport infrastructure. A verified risk assessment and compliance with safety requirements must remain a decisive precondition for reopening airspace. As of October 2026, EASA's bulletin concerning Ukrainian airspace remains valid until

31 January 2027 [2]. Therefore, the resumption of commercial air services must be planned according to safety criteria rather than a predetermined calendar.

A phased model is appropriate for planning the restoration of air connectivity. The preparatory phase should include technical surveys of airports, prioritization of critical repairs, verification of air traffic management systems, and coordination of procedures with European partners. During the initial recovery phase, selected airports should be made ready, and operations should resume gradually only after safety conditions, relevant certifications, emergency response capability, and insurance coverage have been confirmed. Further expansion of the route network should reflect demand, infrastructure capacity, and demonstrated operational reliability.

Post-war recovery requires a fundamentally new approach to setting requirements for the air transport system. Safety must be addressed comprehensively, taking into account risk assessment, infrastructure resilience, emergency preparedness, and continuity of critical services. Airport energy independence should be supported by backup power sources, local energy systems, and energy storage. At the same time, the development of transport services should improve population mobility, service quality for passengers and cargo owners, and accessibility for persons with disabilities and other persons with reduced mobility. These characteristics should be incorporated into airport design requirements and monitored through measurable indicators.

Transport management requires an integrated coordination approach involving airports, airlines, the air navigation service provider, customs and border authorities, and ground transport operators. A shared digital data exchange should be developed for slots, passenger and cargo flows, baggage handling, customs clearance, and ground transfers. Such cooperation can reduce delays at interchanges and enable resources to be reallocated promptly when demand changes or restrictions arise.

Air cargo logistics should become a separate priority. During the recovery period, it can support the carriage of medical supplies, critical equipment, high-value products, and time-sensitive production components. Cargo capacity planning should be coordinated with road and rail routes to European hubs, while multimodal terminals and digital cargo tracking should be developed. This will help maintain logistics connectivity even when particular sections of the transport network are temporarily unavailable.

Investment decisions should be based on a transparent project portfolio that prioritizes safety, critical capacity, resilience to damage, and compatibility with European standards. Each project should have a designated operator, identified funding sources, implementation stages, and measurable performance indicators. This approach is consistent with the National Transport Strategy through 2030, which covers air transport and sets the overall direction for modernizing the transport system [3].

Implementing this approach requires specialists able to combine expertise in air transport and logistics, safety management, energy systems, digital technologies, universal design, and quality management. Their training should be based on

interdisciplinary educational programmes, practical cooperation between universities, airports, and carriers, and regular professional development.

Conclusions.

The post-war recovery of air transport should be based on fundamentally updated requirements for safety, energy independence, mobility, accessibility, and service quality. Meeting these requirements calls for phased infrastructure recovery, digital coordination among transport stakeholders, integration with other modes of transport, and the preparation of interdisciplinary transport specialists. The effectiveness of air connectivity recovery will depend on the system's ability to provide reliable, accessible, and resilient passenger and cargo services amid changing demand and the risks of the current period.

References

1. European Commission. *Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released*. 23 February 2026. URL: https://enlargement.ec.europa.eu/news/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released-2026-02-23_en
2. European Union Aviation Safety Agency (EASA). *Conflict Zone Information Bulletin CZIB-2022-01R14: Airspace of Ukraine*. Revised 24 July 2026; valid until 31 January 2027. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-operations/czibs/czib-2022-01r14>
3. Cabinet of Ministers of Ukraine. Resolution No. 1550 of 27 December 2024. *On Approval of the National Transport Strategy of Ukraine through 2030 and Approval of the Operational Plan of Measures for its Implementation in 2025–2027*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/npas/pro-skhhvalennia-natsionalnoi-transportnoi-stratehii-ukrainy-na-period-do-2030-roku-ta-zatverdzhennia-operatsiinoho-planu-zakhodiv-z-ii-realizatsii-u-20252027-rokakh-i271224-1550>

UDC 338.27:656.71

ANALYSIS OF NON-AERONAUTICAL REVENUE AT TALLINN AIRPORT

Hrabchak V.H.

student of the second (master's) level of higher education

*Scientific supervisor: Antonova A.O., PhD in Technical Sciences, Professor
National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv*

Key words: Non-aeronautical revenue, airport, seasonality, ETS forecast.

Non-aeronautical revenue (NAR) is an important part of an airport's financial stability, especially since aeronautical charges are often constrained by regulation. NAR consists of several components with different economic logic (ground handling services, rental income, passengers related services, and other non-aviation revenue), and each component can follow its own seasonal pattern.

Seasonality refers to a recurring, predictable pattern of variation within a time series that repeats at fixed intervals (e.g. quarterly, monthly) and that reflects systematic rather than random fluctuations in revenue.

This study uses quarterly data from Tallinn Airport (2022–2026) to compare the seasonal patterns of individual NAR components and to assess whether forecasting NAR by component gives a more reliable result than forecasting it as a single aggregated series.

An ETS model, built using Excel's Forecast Sheet tool (based on the FORECAST.ETS function), was applied to the aggregated NAR series (fig. 1). Despite the presence of a clear long-term upward trend in the data, the model was unable to identify a stable seasonal component at the aggregate level.

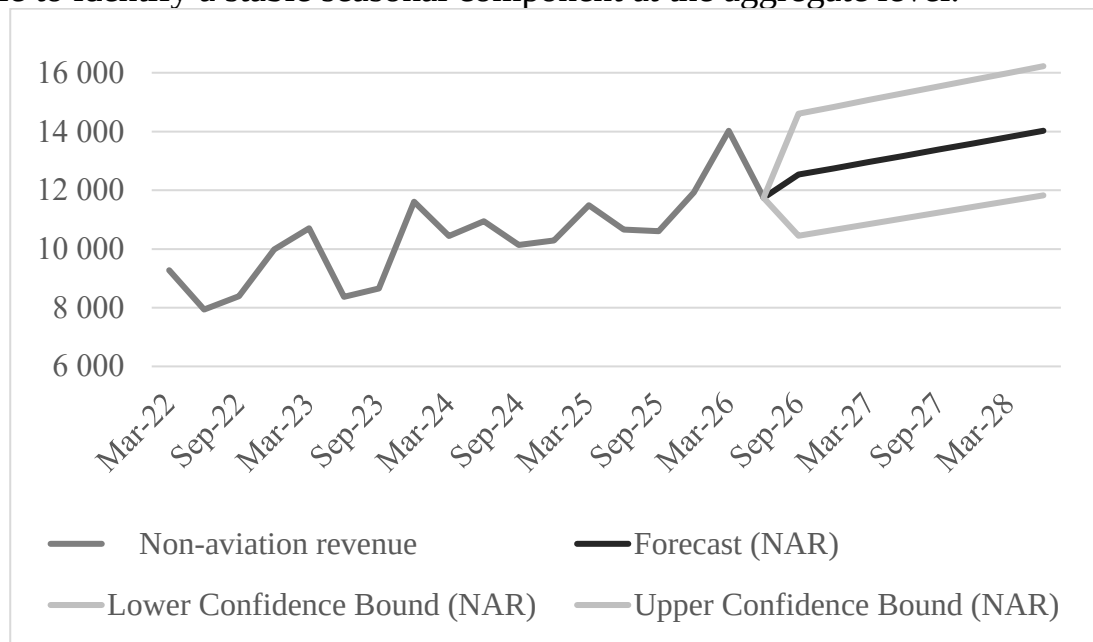


Fig. 1. Tallinn Airport NAR forecast

Source: Developed by the author

Instead of a forecast with a visible quarterly pattern, it produced a result close to a simple trend line. This raises the question of why the seasonality expected in airport revenue does not show up at the aggregate level, and points to the need to look at the individual components rather than the combined series.

Figure 2 shows the quarterly dynamics of the four NAR components separately. The components differ both in the amplitude of their fluctuations and in the timing of their seasonal peak. The ground handling services have peaks in a different quarter than passengers related services. Because these seasonal peaks do not coincide, they partly offset each other once the components are added together. This explains why the aggregated series shows little seasonal pattern even though seasonality is clearly present at the component level.

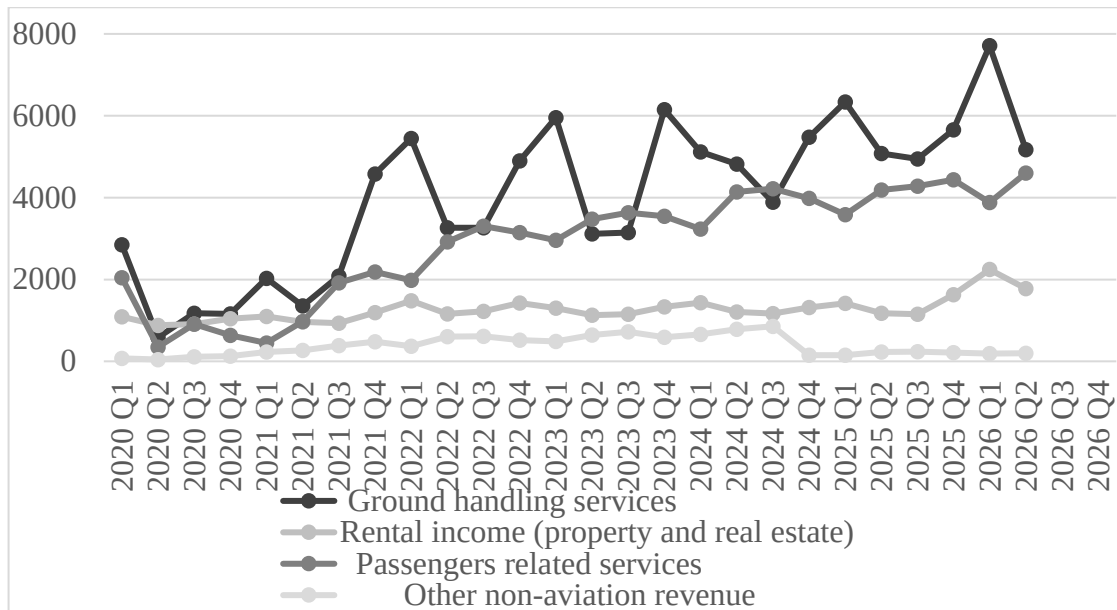


Fig. 2. Non-aeronautical revenue components

Source: developed by the author based on [1].

Ground handling services is the largest component, meaning its seasonal pattern has the strongest effect on the aggregated NAR series. Since ground handling services and passengers related services are both large enough to meaningfully shape total NAR (table 1).

Table 1. Average NAR components share through 2022-2025

	Ground handling services	Passenger related services	Rental income (property and real estate)	Other non-aviation revenue
1	2	3	4	5
NAR share, %	47,0	35,5	12,9	5,0

Source: developed by the author

Conclusion

The seasonal analysis shows that non-aeronautical revenue at Tallinn Airport is not seasonally uniform. NAR components follow different seasonal profiles. The flat, trend-like forecast obtained for aggregated NAR is not evidence of an absence of seasonality in non-aeronautical revenue as a whole. It is a result of offsetting seasonal patterns across its components. Ground handling services, as the largest component, has the strongest influence on the aggregated series, and passengers related services also holds a significant enough share to meaningfully affect it. This demonstrates that seasonal analysis conducted only at the aggregate level can conceal meaningful structure that is only visible once revenue is examined component by component, both in terms of its timing and its relative share of total income.

References

1. Tallinn Airport. Annual reports and statistics. Airport. URL: <https://airport.ee/en/corporate/annual-reports-and-statistics/>.
2. Graham A. Managing Airports: An International Perspective. 5th ed. London: Routledge, 2018. 451p URL:

<https://ndl.ethernet.edu.et/server/api/core/bitstreams/42795b38-c2b6-40c1-8e7b-54a875e5b877/content>.

УДК 656.71:656.072

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПАСАЖИРСЬКОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ В ТЕРМІНАЛАХ АЕРОПОРТІВ

Коваль Анастасія

здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Борець І.В., к.п.н., доцент,

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: авіаційна безпека, контроль пасажирів, автоматизація контролю, пропускна здатність, пасажиропотік.

Підвищення пропускної здатності зон контролю авіаційної безпеки є важливим напрямом удосконалення пасажирського обслуговування в аеропортах. Пропускна здатність визначає кількість пасажирів, яких термінал може обслуговувати за годину, а за даними Airport Service Quality (ASQ), швидкість проходження контролю є одним із ключових чинників задоволеності пасажирів [1].

Метою дослідження є оцінювання впливу впровадження інноваційних технологій контролю безпеки на пропускну здатність пасажиропотоку та якість обслуговування пасажирів в аеропортах на прикладі Міжнародного аеропорту імені Ференца Ліста (Будапешт) з урахуванням досвіду Міжнародного аеропорту Гонконгу.

Практичним прикладом технологічної модернізації є проєкт «HKIA Smart Security Ecosystem: A Nuctech-Powered Operational Revolution», розроблений компанією Nuctech Company Limited. У 2024 році в Терміналі 1 розпочато поетапне впровадження 50 каналів контролю та 32 повнотілесних сканерів. Система передбачає використання 3D-сканування та рентгенівських технологій із кутом огляду 360°, що дає змогу здійснювати перевірку без вилучення електронних пристроїв і рідин із ручної поклажі. За даними адміністрації аеропорту, очікуване підвищення пропускної здатності становило близько 20 %, а час сканування одного місця багажу становить близько 10 секунд [2-3].

В Міжнародному аеропорту імені Ференца Ліста передбачається впровадження інтелектуальної системи контролю пасажирів, що інтегруватиме СТ-сканери для перевірки ручної поклажі, повнотілі сканери та засоби моніторингу пасажиропотоків. Запровадження такої системи спрямоване на вдосконалення процедур контролю та підвищення ефективності обслуговування пасажирів відповідно до стратегії аеропорту [4].

Оцінювання потенційного ефекту здійснено за сценарним методом. За умовної продуктивності однієї смуги контролю на рівні 250 пас./год. за одночасної роботи 12 смуг контролю, що забезпечує загальну пропускну здатність 3000 пас./год. У разі підвищення продуктивності на 20% даний показник може зрости до 300 пас./год. на одну смугу, а загальна пропускна здатність – 3600 пас./год., що становить приріст на 600 пас./год. Значення є прогнозними, а не фактично зафіксованими результатами роботи аеропорту.

Реалізація проекту передбачає поетапний підхід: аналіз пасажиропотоків і завантаженості контрольних зон, модернізацію окремої ділянки термінала та інтеграцію відповідного обладнання, проведення тестування в реальних умовах і порівняння показників функціонування системи до та після впровадження. Критеріями оцінювання можуть бути пропускна здатність, час очікування, рівномірне навантаження і витрати на експлуатацію.

Обмеженнями впровадження системи є значні капітальні витрати на обладнання та програмне забезпечення, складність інтеграції з наявною інфраструктурою, підготовки персоналу й тимчасові обмеження в роботі термінала. Результативність упровадження системи визначатиметься з урахуванням завантаженості інших зон аеропорту та організації пасажирського обслуговування, а її практичне тестування дасть змогу оцінити ефективність і економічну доцільність реалізації проекту.

Таким чином, впровадження СТ-сканування та автоматизованого повнотілого сканування пасажирів має потенціал підвищення продуктивності контрольних смуг щонайменше на 20 % за досвідом HKIA Smart Security Screening. За сценарними розрахунками, одночасна робота 12 смуг може забезпечити збільшення пропускну здатності з 3000 до 3600 пас./год. Подальші дослідження передбачають уточнення розрахунків за фактичними даними аеропорту Будапешту та оцінювання технічно-економічної доцільності модернізації.

Список використаних джерел

1. Airport Customer Experience and ASQ. URL: <https://aci.aero/programs-and-services/asq/>;
2. Smart Security Screening Further Enhances Passenger Experience at HKIA. URL: https://www.hongkongairport.com/en/media-centre/press-release/2024/pr_1727;
3. Air Traffic Statistics. URL: <https://www.hongkongairport.com/en/the-airport/hkia-at-a-glance/fact-figures.page>;
4. Budapest Airport Introduces New Security Screening System. URL: <https://airportindustry-news.com/budapest-airport-introduces-new-security-screening-system/>.

УДК 629.7:621.31

МОБІЛЬНИЙ АВТОНОМНИЙ ТЕПЛОГЕНЕРАТОР ДЛЯ АЕРОДРОМІВ РОЗОСЕРЕДЖЕННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ТА ОБ'ЄКТІВ УКРЗАЛІЗНИЦІ

Краснокутський В.М. к.т.н., доцент,

Комар С.В. к.т.н. доцент,

Харківський національний університет Повітряних сил

ім. Івана Кожедуба, Харків

Краснокутський М.В., доктор філософії, начальник дистанції

ВП «Основ'янська дистанція колії» АО «Українська залізниця», Харків

Ключові слова: теплогенератор, підігрівач, автономний, вертольот.

Застосування автономних засобів підігріву на даний момент, коли знищуються об'єкти інфраструктури та теплогенерації, дозволить забезпечити обігрів наметів та інших приміщень на аеродромах розосередження авіації, а також залізничних об'єктів, тимчасових пунктів ремонтних бригад та місць евакуації пасажирів. Крім цього, такі засоби підігріву можна використовувати для підготовки авіаційної техніки до польотів при зледенінні.

Для кліматичної зони України у міжсезонний та зимовий період великою проблемою є намерзання інею та льоду на фюзеляжі та гвинтах вертольоту. Очевидно, що в такому стані машину не можна випускати в політ, так як це може призвести до катастрофи, причиною якої можуть стати погіршення аеродинаміки лопатей, небезпечні вібрації через дисбаланс, збільшена вага та інші. Тому видалення льоду перед вильотом є обов'язковою процедурою наземного обслуговування, від якої безпосередньо залежить справність техніки, безпека польотів, та життя екіпажу [1].

Основним методом видалення льоду з поверхні вертольоту є теплове обдування гарячим повітрям (температурою близько 70 – 90 °С) за допомогою наземних підігрівачів. Такі підігрівачі є на аеродромах базування, наприклад машини типу УМП-350 [2]. Однак вертольотам дуже часто приходится працювати з відривом від аеродрому з майданчиків, на які такі машини доставити неможливо. Тому для даного випадку актуальним є використання для наземного обігріву вертольотів мобільних теплогенераторів, які можна легко перебазовувати в грузовій кабіні і для обслуговування яких достатньо однієї або двох людей.

Очевидно, що потрапляння кіптяви і, особливо, іскор на вертольот (де є паливо та мастило) не допускається. Отже такі мобільні підігрівачі повинні мати закриту камеру згоряння та димар. Це дозволить продукти згоряння палива виводити в атмосферу, а на обігрів подавати чисте та сухе гаряче повітря.

Таким чином, конструктивна схема автономного мобільного теплогенератора має базуватися на принципі непрямого нагріву повітря за

допомогою рідинно-паливної суміші. Головна його особливість – повна незалежність від зовнішніх джерел електроенергії, завдяки використанню власного двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Конструкція мобільного теплогенератора складається з кількох взаємопов'язаних блоків та вузлів змонтованих на єдиній рамі оснащений колесами або полозами для транспортування.

1. Силова установка (джерело механічної енергії) обертає крильчатку вентилятора для створення потужного потоку повітря, а також приводить в дію паливний насос. Вона являє собою одноциліндровий чотирьохтактний бензиновий ДВЗ потужністю 4,0 кВт та має власний паливний бак місткістю 5л.

2. Теплообмінник та камера згоряння – це центральна частина теплогенератора, де відбувається регенерація тепла. Камера згоряння (жарова труба) непрямого нагріву виготовлена з товстостінної нержавіючої сталі (здатної витримувати температуру до 1000 – 1100 °С) в якій спалюється паливо, що подається пальником. Вона повністю ізольована від повітряного потоку, який іде на обігрів об'єкта, тому в підігріте повітря не потрапляють чадні та вихлопні гази. Зі сторони торця в камеру вмонтовано паливну форсунку та свічки розпалювання. Камера згоряння та теплообмінник об'єднані в єдиний моноблок. На стінках жарової труби зроблені спеціальні завихрювачі (регістри) для створення турбулентного факелу та оптимального змішування повітря з паливом. Теплообмінник являє собою систему металевих стінок і каналів. Холодне атмосферне повітря нагнітається вентилятором, обдуває розпечені стінки камери згоряння та теплообмінника із зовнішнього боку і виходить через випускний патрубок. Димохід – це окремий випускний патрубок для відведення продуктів згоряння в атмосферу. Теплообмінник безпосередньо охоплює камеру згоряння ззовні, формується системою циліндричних каналів та еліпсоїдних газових труб по яких рухаються вихлопні гази перед тим як вийти в атмосферу. Зовнішня поверхня теплообмінника має кільця і поздовжні ребра (згини) для збільшення площі теплопередачі.

3. Повітряний тракт – це система вентиляції та нагнітання за допомогою вентилятора, який приводиться в дію безпосередньо від валу ДВЗ. Забезпечує забір холодного повітря та подачу під тиском через теплообмінник до вихідних рукавів. Дифузор та повітроводи спрямовують повітряний потік навколо камери згоряння. Між зовнішнім кожухом повітряного тракту та гарячими стінками камери згоряння потужний вентилятор проганяє гаряче повітря.

4. Паливна система пальника рідкопаливна, форсуночного типу, забезпечує розпилення та стабільне горіння палива. Основний бак пальника ємністю 60 л. гарантує автономну роботу теплогенератора до 6 годин без дозаправки.

5. Система розподілу повітря являє собою дифузор (випускна горловина). Це передня частина теплогенератора куди виводиться чисте гаряче повітря.

Повітроводи являють собою брезентові або прорезинові гнучкі рукава довжиною 4 – 8 м. Через них підігріте повітря подається до споживачів.

6. Система керування та електрообладнання містить вбудований в ДВЗ генератор для живлення системи запуску і контролю роботи теплогенератора та пульт керування.

7. Спеціальні чохла, якими накривають обігріваний об'єкт (вертоліт), чим забезпечується утримання підігрітого повітря.

Принцип роботи теплогенератора полягає в наступному.

Осьовий вентилятор, що приводиться в рух ДВЗ, нагнітає повітря в теплообмінник двома каналами. Частина повітря надходить у пальник, одночасно паливо подається на форсунку, розпилюється в камері згоряння та підпалюється свічкою розпалювання, в подальшому пальник підтримує горіння. Стінки камери згоряння та теплообмінника під дією горючих газів, що утворилися, сильно нагріваються та обігрівають внутрішні стінки теплообмінника. Токсичні продукти згоряння палива виводяться назовні через власний вихлопний патрубок. Інша частина повітря (основна маса), обтікаючи ззовні теплообмінник нагрівається і через горловину передньої кришки корпусу теплогенератора надходить у повітроводи. Температура повітря на вході в рукава повинна бути не більше 120 °С і регулюється кількістю палива, що надходить у пальник. Контроль температури здійснюється за допомогою дистанційного термометра, встановленого у верхній частині корпусу теплогенератора.

Теплопродуктивність підігрівача має становити $(3,5 - 4,0) \cdot 10^5$ кДж, з подачею повітря 2500 – 3000 м³/год з температурою на виході з підігрівача 120 °С. Маса теплогенератора (без палива) – 200 ± 20 кг.

Висновок

Мобільний автономний теплогенератор запропонованої конструкції дозволить забезпечити підготовку авіаційної техніки на аеродромах розосередження, обігрів тимчасових пунктів залізничних ремонтних бригад та місць евакуації пасажирів. Також його можна використовувати для обігріву іншої техніки, наметів та тимчасових приміщень в яких працюють чи відпочивають люди.

Список використаних джерел

1. Довідник з вивчення та впровадження бойового досвіду за напрямком аеродромно-технічного забезпечення у ході російсько-української війни за період 2022-2025 років. Кав'юк В.В. та інші. Харків 2025. 87 с.
2. Засоби аеродромно-технічного забезпечення польотів авіації. Інформаційно-довідкове видання. Леоненко О.М. та інші. Харків-Вінниця 2024. 182 с.

УДК 656.7:656.073:004.8

ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ В АЕРОПОРТАХ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ УПРАВЛІННЯ

Лямзін А.О., д.т.н., професор

Подорожний А.Ю., аспірант

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: транспортно-експедиційна діяльність, авіаційна логістика, інтелектуальне управління, оптимізація вантажопотоків, цифровий двійник, транспортно-складський комплекс.

Сучасний розвиток авіаційної транспортної системи характеризується підвищенням вимог до оперативності, надійності та економічної ефективності транспортно-експедиційного обслуговування вантажопотоків. Особливого значення набуває оптимізація процесів взаємодії авіаційного, автомобільного та складського транспорту в межах аеропортових логістичних комплексів, функціонування яких супроводжується нерівномірністю надходження вантажів, обмеженістю виробничих ресурсів, часовими обмеженнями та необхідністю координації значної кількості учасників транспортного процесу.

Транспортно-експедиційна діяльність в аеропортах охоплює комплекс взаємопов'язаних операцій: приймання вантажів, документальне оформлення, консолідацію, тимчасове зберігання, митний супровід, комплектування вантажних партій, організацію наземного транспортування та передачу вантажів авіаційним перевізникам. Недостатня узгодженість операцій призводить до збільшення тривалості логістичного циклу, простоїв транспортних засобів, перевантаження складських потужностей і зростання експлуатаційних витрат.

Метою дослідження є підвищення ефективності транспортно-експедиційної діяльності аеропортових логістичних комплексів шляхом розроблення адаптивної моделі управління вантажопотоками із застосуванням інтелектуальних технологій прогнозування, оптимізації та оперативного розподілу ресурсів.

Для досягнення поставленої мети пропонується інтегрувати процеси транспортно-експедиційного обслуговування в єдину інформаційно-керуючу систему, що забезпечує синхронізацію роботи вантажних терміналів, складських комплексів, автомобільного транспорту, авіаперевізників і митних підрозділів.

Основу запропонованого підходу становить цифрова модель транспортно-логістичних процесів, яка передбачає прогнозування інтенсивності вантажопотоків, оцінювання завантаженості технологічного обладнання, визначення оптимальних маршрутів внутрішньоаеропортового

транспорту та формування раціональних графіків виконання експедиційних операцій.

Інформаційні потоки: авіаперевізники; експедитори; вантажні деревні; автотранспорт; митниця. Інтелектуальна система: прогнозування; цифровий двійник; оптимізаційні алгоритми. Розподіл ресурсів: планування операцій; управління маршрутами. Результати: скорочення простоїв; зниження витрат; підвищення надійності.

Математичну постановку задачі оптимізації доцільно представити у вигляді багатокритеріальної цільової функції:

$$F = \alpha C_{тр} + \beta C_{скл} + \gamma T_{оч} + \delta P_{пор} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $C_{тр}$ - транспортно-експедиційні витрати; $C_{скл}$ - витрати на складське обслуговування; $T_{оч}$ - сумарна тривалість очікування вантажів і транспортних засобів; $P_{пор}$ - показник ризику порушення встановлених термінів доставки; $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ - вагові коефіцієнти, що забезпечують узгодження критеріїв за розмірністю та пріоритетністю.

Оптимізація здійснюється з урахуванням обмежень пропускної спроможності вантажних терміналів, місткості складських приміщень, доступності транспортних засобів, графіків виконання авіарейсів, нормативних вимог до оброблення вантажів та часових інтервалів виконання технологічних операцій.

Застосування алгоритмів машинного навчання дозволяє прогнозувати нерівномірність надходження вантажів і завчасно адаптувати розподіл виробничих ресурсів. Методи дискретно-подійного моделювання забезпечують оцінювання альтернативних сценаріїв функціонування транспортно-складського комплексу, а оптимізаційні алгоритми - формування узгоджених планів експедиційних операцій.

Для оцінювання ефективності запропонованого підходу доцільно використовувати систему ключових показників (табл.1).

Таблиця 1. Система ключових показників ефективності

Показник	Критерій оптимізації
Тривалість оброблення вантажу	Мінімізація
Простій автомобільного транспорту	Мінімізація
Собівартість експедиційних операцій	Мінімізація
Коефіцієнт використання складських ресурсів	Раціональне завантаження
Своєчасність виконання замовлень	Максимізація
Імовірність порушення термінів доставки	Мінімізація

Наукова новизна запропонованого підходу полягає в концептуальному поєднанні прогнозування вантажопотоків, динамічного розподілу ресурсів і багатокритеріальної оптимізації транспортно-експедиційних операцій в єдиному адаптивному контурі управління аеропортовим логістичним комплексом. На відміну від статичного планування, запропонований підхід передбачає коригування управлінських рішень відповідно до поточного стану транспортно-складської системи.

Висновок

Оптимізація транспортно-експедиційної діяльності в аеропортах потребує комплексного підходу, заснованого на інтеграції інформаційних

потоків, інтелектуальному прогнозуванні та адаптивному управлінні технологічними процесами. Запропонована концепція створює передумови для скорочення непродуктивних простоїв, підвищення узгодженості роботи учасників логістичного процесу та зменшення експлуатаційних витрат. Кількісне оцінювання ефективності потребує подальшого імітаційного моделювання й експериментальної перевірки на даних реального аеропортового комплексу.

Список використаних джерел

1. Лямзін А. О., Український Є. О., Багрій М., Чайка Н., Українська Т. The Airport as a Technological Cluster for the Formation of Transport Services. *Modern Engineering and Innovative Technologies*. 2022. № 24-01. С. 87–90.
2. Докієнко Л. М., Лямзін А. О. Особливості та ключові складові сервісної діяльності в авіаційній галузі. *Системи та технології*. 2023. № 2 (66). С. 74–82. <https://doi.org/10.32782/2521-6643-2023.2-66.9>

656.71:005.521

UNCERTAINTY IN DECISION-RELEVANT AIRPORT FORECASTING: METHODOLOGICAL LESSONS

*Kristina Marintseva, PhD, Assistant Professor
University of Doha for Science and Technology, Doha, Qatar
Dr Sally Dixon, Azimuth Associates, United Kingdom
Peter Bradley, REXOR Technology Ltd, United Kingdom*

Keywords: airport demand forecasting; uncertainty; airport capacity; adaptive planning; Ukraine.

Airport passenger forecasts guide long-lived, capital-intensive infrastructure decisions. Overestimated demand can produce under-utilised assets, while underestimated demand may delay capacity investment and constrain connectivity. Forecast usefulness therefore depends not only on expected passenger numbers but on the ability to characterise alternative outcomes and identify decisions that remain robust when assumptions change. ACRP Report 76 and OECD/ITF advocate a decision-oriented approach to uncertainty that considers multiple plausible outcomes and their implications for planning decisions, moving beyond a single deterministic projection [1; 2]. Adaptive airport planning further links forecasts to observable signposts and pre-agreed responses [3]. This paper develops this argument from an empirical application in the UK and considers its implications for post-war recovery planning in Ukraine.

Theoretical basis and methodological framework

Uncertainty is not a single statistical property. *Aleatory* uncertainty concerns irreducible variability in outcomes; *epistemic* uncertainty arises from incomplete knowledge of parameters, model specification and future drivers; *deep* (ontological)

uncertainty concerns changes of regime for which historical frequencies cannot support defensible probabilities [4]. This distinction is particularly important when an airport's future operating environment may differ substantially from its past. Forecast prediction intervals remain conditional on a model and its assumed environment; they must not be interpreted as probabilities of fundamentally different political or structural futures [5].

Building on established forecasting and planning literature [1–6], the proposed decision-relevant framework distinguishes five operational sources: U1 residual disturbances, simulated recursively using centred residuals or Gaussian innovations; U2 parameter-estimation uncertainty, introduced through bootstrap re-estimation [7]; U3 model uncertainty, addressed by comparing credible specifications or pooling only within compatible information sets; U4 future-input uncertainty, introduced through alternative correlated paths for airline seats and wider-market demand; and U5 structural uncertainty, examined using separately reported conditional scenarios and stress tests. U1–U4 can generate conditional predictive distributions, whereas U5 changes the assumptions under which those distributions are meaningful.

The framework has two stages. Stage 1 specifies the planning decision and horizon, selects candidate forecasting methods and validates their point accuracy on a common hold-out. Stage 2 integrates uncertainty sources progressively, checks interval calibration and sharpness, compares simulated demand with available airport capacity, and translates results into exceedance probabilities, threshold-crossing years and monitoring triggers. As emphasised by Gneiting et al. [8], sharp intervals are useful only when evaluated alongside calibration. Forecast updates then feed back into the planning process.

UK evidence: department for transport approach to forecasting uncertainty

The UK Department for Transport (DfT) provides an example of integrating uncertainty into transport forecasting and infrastructure planning. It emphasises the importance of identifying, assessing and communicating uncertainty throughout the appraisal process.

The UK Aviation Forecast 2026 (DfT, 2026b) illustrates this approach by considering six plausible future scenarios without assigning probabilities to individual outcomes (Fig.1). These scenarios support the assessment of alternative demand trajectories and their implications for airport infrastructure planning.

Together, these publications demonstrate a shift towards scenario-based, decision-oriented forecasting that recognises multiple possible futures and supports flexible infrastructure investment decisions.

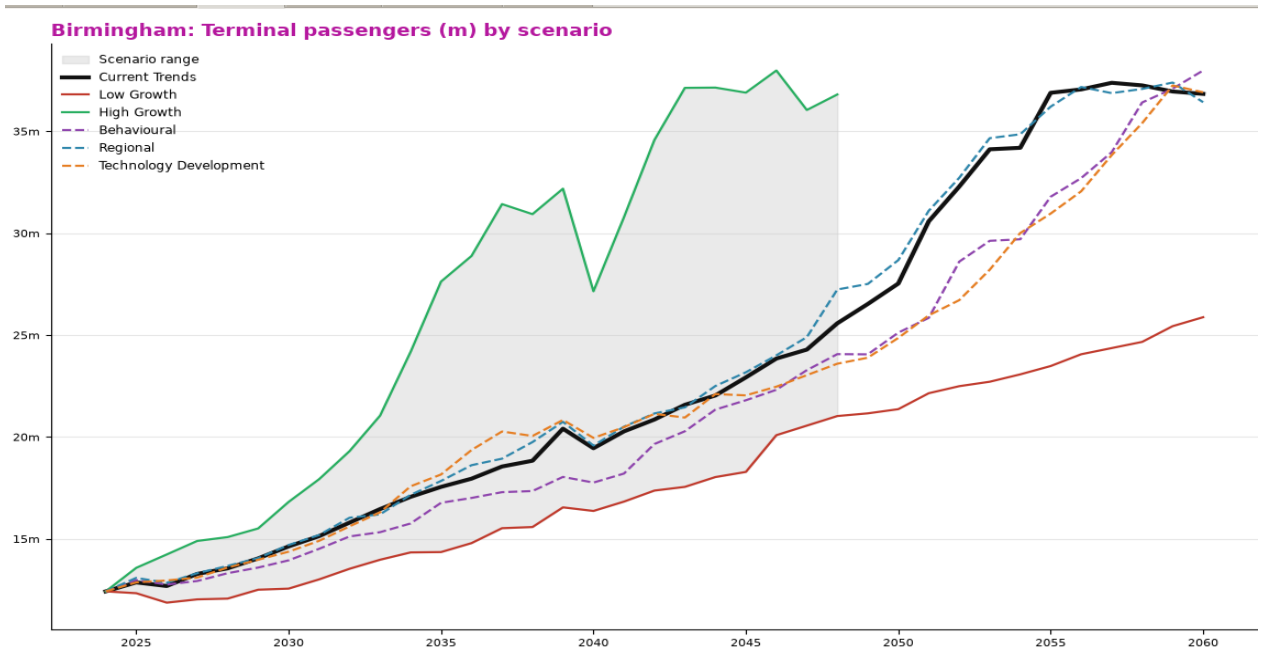


Figure 1. Projected terminal passenger demand at Birmingham airport under alternative DfT scenarios, 2024–2060

Source: Authors' visualisation based on DfT (2026) open data.

Application to Ukraine's airport recovery

Ukraine presents a setting in which structural uncertainty should precede probabilistic extrapolation. Civil traffic was interrupted in February 2022; the future reopening date, airline network, competition between Kyiv airports and the role of cargo infrastructure cannot be assumed from pre-war trends. The Kyiv Zhuliany (IEV) investor presentation envisages 2.4 million passengers in 2027 and 10 million by 2035 [10]. This is a conditional development path, not evidence of the probability of achieving that volume. Compared with 2.62 million passengers in 2019, the 2035 figure would be approximately 3.8 times the pre-war volume. Feasibility depends on airport-system allocation, carrier bases, operational capability and the pace of network re-establishment.

Historical route data illustrate the vulnerability of single-path forecasts. Zhuliany's nonstop destinations increased from approximately 30 in 2015 to 58 in 2019; Wizz Air accounted for about 59% of 2019 passengers [11]. Airline concentration creates both rapid-growth potential and downside exposure if a base is withdrawn. A scenario-led Kyiv analysis should therefore first differentiate reopening timing and metropolitan airport roles, for example, Boryspil as a national hub, Zhuliany as a city-focused airport, dedicated freight/logistics capacity, and separate general-aviation functions. These roles draw on the strategic discussion remain options for appraisal.

Within each structural scenario, U1–U4 can be applied to passenger and seat-supply ramp-up, airline entry and exit, demand recovery and operating constraints. Scenario-conditional outputs should be compared with terminal, stand and runway capacities. Monitoring signposts include airspace reopening and insurance availability, government decisions on airport roles, airline base commitments, route launches, and observed monthly recovery against scenario assumptions. Investment

can then be phased when credible operational signals emerge rather than mechanically following a single forecast trajectory.

Conclusion

A decision-relevant airport forecast should clarify what is known, what can be represented probabilistically and what requires explicit conditional scenarios. The UK DfT approach shows that the incremental value of uncertainty layers is uneven: statistical refinements can improve the credibility of capacity-risk estimates while structural changes can reverse the planning conclusion. In Ukraine, scenario definition should come before probability estimation because the post-war airport system may not reproduce its pre-war structure. Separating conditional predictive distributions from alternative strategic futures provides a transparent basis for revisable infrastructure and airline-network decisions.

References

1. Kincaid I., Tretheway M., Gros S., Lewis D. Addressing Uncertainty about Future Airport Activity Levels in Airport Decision Making. ACRP Report 76. Washington, DC: Transportation Research Board, 2012.
2. OECD/ITF. Airport Demand Forecasting for Long-Term Planning. Paris: OECD Publishing, 2016.
3. Kwakkel J. H., Walker W. E., Marchau V. A. W. J. Adaptive airport strategic planning. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. 2010. Vol. 10, no. 3. P. 249–273.
4. Department for Transport. TAG Uncertainty Toolkit. London: Department for Transport, 2026.
5. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice. 3rd ed. Melbourne: OTexts, 2021.
6. International Civil Aviation Organization. Manual on Air Traffic Forecasting. Doc 8991. 3rd ed. Montreal: ICAO, 2006.
7. Pascual L., Romo J., Ruiz E. Effects of parameter estimation on prediction densities: a bootstrap approach. *International Journal of Forecasting*. 2001. Vol. 17, no. 1. P. 83–103.
8. Gneiting T., Balabdaoui F., Raftery A. E. Probabilistic forecasts, calibration and sharpness. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B*. 2007. Vol. 69, no. 2. P. 243–268.
9. Marintseva K., Costa Sperb F. Incorporating Uncertainty into Decision-Relevant Passenger-Demand Forecasting: A London Luton Airport Case Study. Unpublished manuscript, 2026.
10. Kyiv International Airport. Open to the World: Strategic Infrastructure Investment Opportunity. Investor presentation, July 2026.
11. Cirium. FMTraffic O&D Summary Report: IEV, LWO, LCY and SEN, 2015–2026. Commercial aviation data extracts, 2026.
12. Dixon S. Reconnecting Kyiv: Aviation, Cargo and Logistics Partnerships for Airport Recovery. Discussion paper, 28 July 2026.

УДК 656.71:711.4:502.131.1

ПЕРСПЕКТИВИ ФОРМУВАННЯ АЕРОПОРТОЦЕНТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ УРБАНІЗОВАНИХ СИСТЕМ

Соколова О.Є., к.е.н., доцент

Красноштан О.О., аспірант

Національний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ

Ключові слова: аеропорт, аеропортоцентрична модель, урбосистема

Питання щодо пошуку ефективних інструментів забезпечення сталого розвитку мають значний інтерес у науково-практичному полі та є особливо актуальними в реаліях сьогодення. Як свідчить, науково-практичний досвід досягнути стійкого розвитку можливо лише забезпечивши балансування, а також раціональної взаємодії між природою та суспільством. При цьому, економіка відіграє ключове значення для здійснення цієї інтеграції як на локальному, регіональному, так і на глобальному рівнях шляхом створення оптимального середовища для функціонування різних форм територіально-розподільчих систем, використання ресурсозберігаючих технологій та соціальних комунікацій [1]. Прагнення до отримання позитивного ефекту в області природокористування пов'язано з прогнозуванням очікуваних наслідків від будівництва, запланованих заходів в різних галузях економіки, що у комплексі впливають на довкілля та населення [1-3].

Саме це, обумовило виникнення потреби у вирішенні завдань просторової організації урбосистем спрямованих на формування стійкого, безпечного та сприятливого середовища з урахуванням територіальних особливостей.

Не має сумнівів, що авіаційні перевезення відіграють важливу роль для формування сприятливого міського середовища, стимулюючи соціально-економічне зростання та розвиток урбанізованих територій завдяки активізації комерційної діяльності в межах аеропортових комплексів, а також через сприяння регіональним торгівельно-економічним відносинам, туризму та соціальної комунікації серед населення. Експерти ІКАО [4] підкреслюють, що наближеність розташування аеропортів до населених пунктів зумовила необхідність створення коридорів між об'єктами аеропортової інфраструктури та головними населеними пунктами. Низька вартість земельних ділянок прилеглих до аеропортів, обумовили розвиток міцного бізнес-каркасу вздовж та навколо таких коридорів, що концептуально змінює підходи до міського планування та збільшують синергетичний ефект від функціонування аеропорту для урбосистеми.

Дослідивши термінологічну сутність та змістовні характеристики поняття «урбосистеми» можна стверджувати, що дану категорію доцільно розглядати не тільки в якості штучно створеною людиною середовище [1;2], але як складну соціально-економічну та екологічну систему, що має нестійку

динамічну природно-антропогенну структуру та складається з архітектурних об'єктів соціального, транспортно-логістичного та виробничо-господарського призначення, міжгалузевих промислових комплексів, природних екосистем та населення, що взаємодіють між собою та зовнішнім середовищем через матеріальні, енергетичні та інформаційні потоки. Саме тому, і підходи до оцінювання її сталості мають базуватися не лише на встановлених цільових індикаторах, що передбачатимуть просторовий та часовий розвиток певних територій, зменшення забруднення довкілля та забезпечення ресурсозбереження окремих її елементів, але й на реалізації ключових принципів сталого розвитку, що полягають у досягненні системної гармонізації економічної, соціальної та екологічної її підсистем.

З огляду на це, аеропортові комплекси, що належать до такої урбанізованої екосистеми можуть стати її «ядром», де на основі інтегрованого підходу застосування ефективних механізмів та інструментів буде здійснюватися оцінювання, моніторинг, контролювання управління та прийняття оптимальних рішень щодо забезпечення її сталого екологічно безпечного розвитку.

Аеропортоцентрична модель урбосистеми є ключовою концепцією просторово-функціональної трансформації аеропортових комплексів, що передбачає розвиток в їх межах не лише комерційних структур та транспортно-логістичних об'єктів безпосередньо пов'язаних з авіаційним бізнесом, але й потребує інтегрованого системного планування та проектування прилеглих до аеропорту урбанізованих зон як привабливого мультифункціонального соціально-економічного та екологічного середовища (рис. 1).

Будучи «ядром» урбанізованої системи аеропорт не лише виконує авіатранспортні функції, а стає системно-просторовим інтегратором виробничо-логістичних активностей, транспортних потоків та соціальних об'єктів в межах певної території.

Залежно від масштабу, ступеня інтеграції та функціонального спрямування аеропортоцентричний розвиток урбосистем може здійснюватися за такими моделями як: аеротрополіс, аеропорт-сіті, аеропорт-коридор, аеропорт-логістичний центр. При цьому, аеротрополіс вважається найвищою формою реалізації аеропортоцентричної моделі, коли в залежності від містобудівних особливостей, а також ресурсних можливостей та обмежень навколо аеропорту формується «нове» місто з власною інфраструктурою, комерційною діяльністю, виробництвом та населенням, що мають свій діловий та комерційний коридор [5;6].

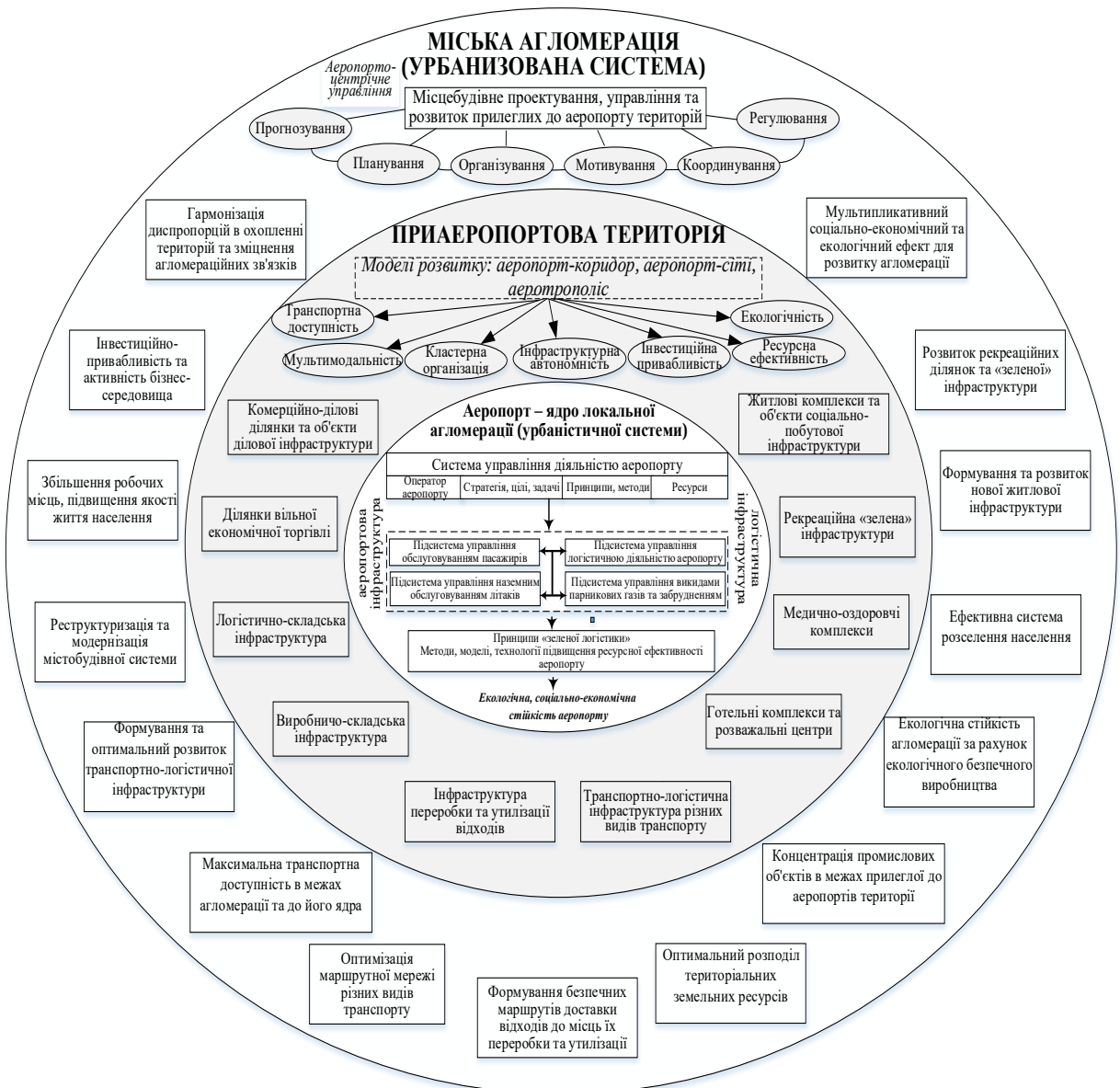


Рис. 1. Аеропортоцентрична структурна модель міської агломерації (урбанізованої системи)

Джерело: власна розробка на основі [5;6]

Висновок

Таким чином, аеропортоцентричну модель слід розглядати не лише як концепцію інфраструктурного перетворення урбосистеми, але й як ефективний інструмент забезпечення її сталого розвитку, що завдяки формуванню високотехнологічних кластерів та привабливого інвестиційного середовища, а також раціональному використанню земельних ресурсів навколо аеропортових комплексів на засадах поліцентричності, екологічності, компактності, доступності, технологічності, інклюзивності, соціальної стабільності та відповідальності дозволяє досягти збалансованого економічного зростання, соціальної справедливості та збереження навколишнього середовища. Разом з цим, широке застосування «розумних» цифрових і «зелених» ресурсоефективних технологій в аеропортоцентричних моделях відкриває можливості для централізованого управління впливом на

довкілля, підвищення ефективності технологічних процесів та створення платформи для впровадження новітніх інноваційних рішень.

Список літератури

1. Mersal A. Sustainable Urban Futures: Environmental Planning for Sustainable Urban Development. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 34. P. 49-61. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.005>
2. R.Bhuvanya et al. Revolutionizing Urban Planning. *Leveraging Urban Computing for Sustainable Urban Development*. 2025. P. 303-322. <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0761-9.ch013>
3. Bi C., Little J. C. Integrated assessment across building and urban scales: a review and proposal for a more holistic, multi-scale, system-of-systems approach. *Sustainable Cities and Society*. 2022. P. 103915. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103915>.
4. ICAO. Promoting Synergy between Cities and Airports for Sustainable Development. URL: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-05/Promoting%20Synergy%20between%20Cities%20and%20Airports%20for%20Sustainable%20Development.pdf>.
5. Freestone R., Baker D. Spatial Planning Models of Airport-Driven Urban Development. *Journal of Planning Literature*. 2011. Vol. 26, no. 3. P. 263-279. <https://doi.org/10.1177/0885412211401341>
6. Goetz A. R. The Airport as an Attraction: The Airport City and Aerotropolis Concept. *Air Transport: A Tourism Perspective*. 2019. P. 217-232. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812857-2.00016-6>

3. Антикризовий менеджмент та безпека авіації

UDC 656.71.086

ENHANCING THE ANTI-CRISIS RESILIENCE OF AIRPORT TERMINALS

Yeriutin D. O.

student of the second (master's) level of higher education

*Scientific supervisor: V. Klymenko, PhD in Economics, Associate Professor
National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv*

Key words: sustainability, airport, adaptability, sustainability index.

Modern airports (hubs) operate under conditions of high uncertainty and are frequently subject to extreme, unforeseen pressures. Events such as staff strikes, adverse weather, large-scale IT system failures, peak-load surges, and external threats necessitate a fundamental rethinking of how terminal infrastructure is managed.

Using Frankfurt Airport (FRA) as a case study, the operator Fraport AG demonstrates a shift from reactive responses to proactive resilience modeling. This study aims to systematize these organizational and technical solutions designed to enhance terminal adaptability, while also analyzing the effectiveness of the crisis-management measures employed.

To prevent an infrastructure collapse during the acute phase of a crisis, it is critically important to implement organizational, technical, and digital solutions for the allocation of terminal resources:

- Automated rebooking (self-service & AI): the implementation of intelligent systems that automatically generate alternative routes in the event of flight cancellations and send electronic boarding passes directly to passengers' smartphones, thereby preventing crowding at service counters.
- Digitalization of baggage logistics: algorithms for the automatic re-routing of checked baggage to new flights following a booking change.
- Biometric identification—the use of facial recognition technology during security checks and boarding—acts as a catalyst for throughput, mitigating the risk of critical queue build-ups.
- Predictive analytics: AI-driven forecasting of delays—based on weather data and strikes at interconnected hubs—to allow for proactive schedule adjustments before chaos ensues at the terminal.
- Passenger Flow Management (PFM): video analytics systems and sensors for monitoring crowd density, used to dynamically redirect passenger flows between terminals.

Enhancing resilience is impossible without a comprehensive modernization of the terminals. Fraport AG's strategy is based on the principle of modularity, as

implemented in the new Terminal 3. The architectural division into independent piers (G, H, J) allows Pier G to operate autonomously, utilizing its own dedicated check-in and baggage-handling infrastructure. This makes it possible to isolate damaged or congested areas without disrupting the operations of the entire aviation hub.

Resource autonomy plays an important role: rainwater harvesting systems can cover non-potable water needs for up to three days, while photovoltaic panels reduce energy consumption by 50%. Terminal 1 is undergoing an upgrade to its resilient power supply systems, and Terminal 2 will temporarily close for a major reconstruction starting in June 2026. These measures will help reduce vulnerability to energy price spikes or capacity shortages.

To evaluate the effectiveness of the proposed crisis-response solutions, a multi-criteria analysis method based on expert assessments (using a 10-point scale) was applied. In accordance with ICAO safety standards and the risk management priorities of Fraport AG, the following weighting coefficients (W_i) were assigned to the criteria:

Safety & Security Level ($W_1 = 0,30$) – highest priority is human life and perimeter protection;

2) Response Speed ($W_2 = 0,25$) – a critically important factor for containing the crisis in the first minutes;

3) Infrastructure Robustness ($W_3 = 0,20$) – the ability of an object to withstand impact and operate autonomously;

4) Delay Reduction ($W_4 = 0,15$) – main economic factor (minimization of fines and losses);

5) Passenger Satisfaction ($W_5 = 0,10$) – reputational factor.

The Total Resilience Index (TRI) was calculated using a weighted average formula:

$$TRI_j = \sum_{i=1}^n (B_{ji} \times W_i) \quad (1)$$

where TRI_j - final stability index for the j th anti-crisis solution; B_{ji} - expert assessment of the j th solution according to the i th criterion (from 1 to 10); W_i - weight coefficient of the i -th criterion; n - number of criteria ($n = 5$).

The matrix for evaluating the effectiveness of each solution is based on experience gained from aviation operations at Fraport AG. The matrix using weighting factors is presented in Table 1.

Based on the calculated Total Resilience Index (TRI), the highest score was achieved by the Autonomous Backup Communication System ($TRI = 8.95$), as the coordination of emergency services is impossible without independent communication channels. In second place is the AI-based Crisis Center ($TRI = 8.65$), which minimizes the time required to develop management decisions. These decisions ensure a high level of safety, rapid response, and the resilience of critical infrastructure. Another significant area is the implementation of the "green resilience" concept, which encompasses autonomous power supply systems, backup water supply, and the use of renewable energy sources. The modular design of the terminal renders the infrastructure both energy-efficient and autonomous.

Table 1. Crisis Resilience Efficiency Matrix (with weighting scoring)

Crisis Management Solution	Safety & Security Level (W= 0,3)	Response Speed (W= 0,25)	Infrastructure Robustness (W = 0,2)	Delay Reduction (W= 0,15)	Passenger Satisfaction (W = 0,1)	Total Resilience Index (TRI)
1. Autonomous Backup Communication	10	10	9	6	5	8,95
2. Mobile Energy Modules	9	8	10	7	7	8,45
3. AI-Based Crisis Management Center	8	9	8	10	9	8,65
4. Regional Transport Infrastructure Integration	6	7	7	9	10	7,30
5. "Green Resilience" System	7	5	10	5	6	6,70

The integrated implementation of these interconnected solutions transforms a modern airport terminal into a highly adaptive system that ensures seamless operation during crisis situations.

Conclusions

A modern aviation hub must function as a system capable of responding promptly to external threats, minimizing the impact of crises, and ensuring the continuity of terminal operations. Tools for enhancing resilience include automated crisis management systems, AI-driven predictive analytics, redundant communication systems, digital passenger flow management, and modular terminal architecture. A multi-criteria analysis of the effectiveness of crisis management solutions has confirmed that the most impactful measures include the implementation of redundant, autonomous communication systems; the establishment of an AI-powered crisis management center; and the integration of independent power supply systems, backup water supplies, and renewable energy sources. These solutions ensure a high level of safety, rapid response capabilities, and the resilience of critical infrastructure. The study demonstrates that strengthening the resilience of airport terminals against crises requires a comprehensive combination of digital, infrastructural, organizational, and energy-related solutions.

References

1. Corporate safety & security. URL: <https://www.fraport.com/en/business-areas/operations/corporate-safety-and-security.html>
2. Agapaki E. (2022). Airport Digital Twins for Resilient Disaster Management Response /Springer Nature 2021 LATEX template. URL: <https://arxiv.org/pdf/2205.03739>

3. General Airport Regulations - Fraport AG. URL: <https://sslapps.fraport.de/webportalAVS/pdf/General-Airport-Regulations.pdf>
2. Monitoring of Passenger Flow and Mitigation of Queues and Crowds at Airports. (2022). URL: <https://www.aci-europe.org/downloads/resources/Monitoring%20of%20Passenger%20Flows%20and%20Mitigation%20of%20Queues%20and%20Crowds%20at%20Airport%20s.pdf>
3. Gowda K. (2025). Understanding Airport Resilience & Adaptation: Insights from Airport Managers/ CHAPTER THIRTEEN Climate Adaptation & Resilience. 406-411 pp. URL: https://www.icao.int/sites/default/files/sp-files/environmental-protection/Documents/EnvironmentReport-2010/2025/Envreport2025_113.pdf
4. Building the Future. The New Terminal. URL: <https://terminal3.frankfurt-airport.com/en/legacy/building-the-future#:~:text=The%20company's%20targets%20include%20reducing,for%20more%20than%20three%20days.>
5. Airport User Regulations - Fraport AG. URL: <https://sslapps.fraport.de/webportalAVS/pdf/Airport-user-regulations.pdf>

УДК 656.7:005.334

ІНСТРУМЕНТИ АНТИКРИЗОВОГО УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ В УМОВАХ ГЕОПОЛІТИЧНОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Кочетков В.М., д.е.н., професор.

Білоног А.П.,

здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: антикризове управління, авіаційні підприємства, геополітична невизначеність, управління ризиками.

Авіаційна галузь особливо чутлива до змін міжнародного політичного середовища, оскільки її функціонування залежить від доступності повітряного простору, стабільності транспортної інфраструктури, безпеки польотів і міжнародної взаємодії. Воєнні конфлікти, обмеження авіасполучення, перебої в постачанні ресурсів та коливання попиту створюють додаткові ризики для авіакомпаній, аеропортів та інших підприємств авіаційної інфраструктури. За таких умов кризові явища впливають не лише на поточні результати діяльності, а й на здатність підприємств підтримувати безперервність операцій та планувати подальший розвиток. Важливість ідентифікації кризових явищ і визначення ризиків для функціонування світового ринку авіаційних перевезень підтверджується відповідними науковими дослідженнями [1].

Для України ця проблема має особливе значення через воєнні загрози, пошкодження транспортної інфраструктури, зокрема об'єктів, віднесених до критичної інфраструктури, та необхідність підготовки до відновлення цивільної авіації. Законодавство України визначає правові засади захисту критичної інфраструктури, до якої за встановленими критеріями можуть належати об'єкти транспортної сфери [2]. За таких обставин особливої ваги набуває завчасна підготовка до кризових ситуацій, оцінювання можливих загроз і розроблення рішень для підтримання критично важливих функцій. Антикризове управління має передбачати не лише усунення наслідків уже наявних проблем, а й попереднє визначення можливих сценаріїв розвитку подій, підготовку заходів реагування та організацію відновлення діяльності [3; 4].

Одним із ключових інструментів антикризового управління є сценарне планування. Воно передбачає розроблення альтернативних варіантів розвитку подій і визначення відповідних управлінських рішень. На відміну від планування, орієнтованого лише на очікуваний перебіг діяльності, сценарний підхід дає змогу враховувати можливі зміни зовнішнього середовища та заздалегідь готувати альтернативні дії.

Для авіаційного підприємства доцільно розробляти базовий, несприятливий і кризовий сценарії залежно від умов діяльності та можливих порушень ключових процесів. Для кожного сценарію необхідно визначити загрози, умови активації, відповідальних осіб, ресурси та заходи реагування. Сценарії слід регулярно переглядати з урахуванням змін безпекової ситуації та доступності інфраструктури. Такий підхід сприяє підвищенню стійкості аеропортів до непередбачуваних змін зовнішнього середовища [5].

Наступним інструментом є управління ризиками, яке охоплює виявлення потенційних загроз, оцінювання ймовірності їх виникнення, визначення можливих наслідків і вибір заходів реагування. Для авіаційних підприємств доцільно враховувати операційні, фінансові, технологічні, кадрові та інфраструктурні ризики. Їх систематизацію можна здійснювати за допомогою реєстру ризиків, у якому зазначаються характеристика загрози, ймовірність її виникнення, масштаб можливих наслідків, пріоритетність реагування, відповідальна особа та заплановані заходи контролю.

Оцінювання ризиків має відбуватися на регулярній основі, оскільки їхня значущість може змінюватися залежно від безпекової ситуації, доступності ресурсів, стану інфраструктури та діяльності партнерів. Передусім необхідно зосереджувати увагу на загрозах, здатних порушити критично важливі операції, спричинити значні фінансові втрати або створити небезпеку для польотів, а також визначати пріоритетність заходів реагування. Для ризиків із високим рівнем небезпеки важливо заздалегідь визначити конкретні дії та відповідальних за їх виконання. Випереджальне виявлення таких загроз створює основу для своєчасної підготовки заходів реагування та підвищення стійкості авіаційного транспорту [4].

Важливим доповненням до сценарного планування й управління ризиками є планування безперервності діяльності. Його призначення полягає у визначенні способів підтримання критично важливих функцій підприємства під час кризових подій та організації відновлення порушених процесів. Для цього необхідно визначити пріоритетні операції, розподілити відповідальність між працівниками, передбачити резервні ресурси, альтернативні канали обміну інформацією та процедури відновлення діяльності. Готовність до кризових ситуацій доцільно перевіряти шляхом навчання персоналу.

За умов тривалих перебоїв у доступності повітряного простору особливого значення набувають завчасний обмін інформацією, координація заходів реагування та планування відновлення нормального функціонування авіаційної системи. Відповідні підходи передбачені міжнародними галузевими рекомендаціями щодо підвищення стійкості системи аеронавігації [6]. Для авіаційних підприємств це підкреслює необхідність завчасної підготовки процедур реагування та узгодження дій із залученими учасниками авіаційної діяльності.

Розглянуті інструменти мають різне призначення, однак найбільшу практичну цінність становить їх узгоджене застосування. Основні завдання та напрями використання цих інструментів у діяльності авіаційних підприємств узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1. Інструменти антикризового управління авіаційними підприємствами

Інструмент	Основне завдання	Напрями практичного застосування	Очікуваний результат
Сценарне планування	Підготовка до альтернативних варіантів розвитку подій	Розроблення сценаріїв, визначення умов їх активації та відповідних управлінських рішень	Завчасна підготовка до можливих кризових ситуацій
Управління ризиками	Виявлення загроз і визначення пріоритетів реагування	Формування реєстру ризиків, оцінювання ймовірності та наслідків, визначення відповідальних осіб	Своєчасне виявлення загроз і обґрунтований вибір заходів реагування
Планування безперервності діяльності	Підтримання критично важливих процесів та організація відновлення роботи	Визначення критичних функцій, підготовка резервних ресурсів і процедур відновлення	Зменшення тривалості можливих перерв у діяльності та підвищення організаційної стійкості

Джерело: розроблено авторами на основі [3-6].

Як видно з табл. 1, сценарне планування дає змогу підготуватися до різних варіантів розвитку подій, управління ризиками допомагає визначити найбільш значущі загрози, а планування безперервності забезпечує практичну підготовку до підтримання та відновлення діяльності. Отже, ці інструменти доцільно розглядати як взаємопов'язані складові єдиної системи антикризового управління.

Для реалізації такого підходу підприємству необхідно визначити критично важливі функції, оцінити основні ризики та розробити сценарії розвитку подій із відповідними заходами реагування. Важливо також установити умови переходу до кожного сценарію, розподілити відповідальність між працівниками й передбачити необхідні ресурси. Готовність до кризових ситуацій слід періодично перевіряти за допомогою навчань і моделювання можливих порушень діяльності. Це допоможе виявляти недоліки в координації, уточнювати порядок дій персоналу та своєчасно переглядати плани з урахуванням змін зовнішнього середовища й вимог авіаційної безпеки.

Висновок

Готовність авіаційних підприємств до криз в умовах геополітичної невизначеності залежить від завчасного виявлення загроз і підготовки заходів реагування. Поєднання сценарного планування, управління ризиками та планування безперервності діяльності сприяє зваженому ухваленню рішень і підвищенню стійкості підприємств. Для української авіаційної галузі це особливо важливо під час підготовки до відновлення цивільних авіаперевезень і забезпечення стійкості критично важливих транспортних функцій. Водночас управлінські рішення мають відповідати вимогам авіаційної безпеки та рішенням уповноважених органів.

Список використаних джерел

1. Сидоренко К.В., Мандра В.В., Герман А.Л. Вплив криз на функціонування світового ринку авіаційних перевезень. *Економічний простір*. 2024. №190. С. 19–27. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/190-4>.
2. Про критичну інфраструктуру: Закон України від 16.11.2021 № 1882-IX : редакція від 21.09.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20>
3. Арєф'єва О.В., Сімкова Т.О. Механізми антикризового та стратегічного управління авіаційною галуззю в умовах деформації кризових впливів у післявоєнний період: інституційний аспект. *Економіка та суспільство*. 2025. №77. С. 215–223. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-77-99>.
4. Bugayko D.O., Shevchenko O.R., Perederii N.M., Sokolova N.P., Podrieza M.S., Bugayko D.D. Risk management of Ukrainian aviation transport post-war recovery and sustainable development. *Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management*. 2022. Vol. 16. P. 7–22. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2022-16-1>.
5. Hiney N., Efthymiou M., Morgenroth E. Adapting to Uncertainty: Black Swans, VUCA Challenges and Airport Resilience Strategies. *Journal of the Air Transport Research Society*. 2025. Vol. 4. Article 100068. <https://doi.org/10.1016/j.jatrs.2025.100068>.
6. International Civil Aviation Organization. *Fourteenth Air Navigation Conference. Draft Report on Agenda Item 1*. AN-Conf/14-WP/206. Montréal, 2024. URL: https://www.icao.int/Meetings/anconf14/Documents/WP/wp_206_en.pdf

UDC 656.7:621.355

RISKS IN TRANSPORTING LITHIUM-ION BATTERIES BY AIR TRANSPORT

Pavlenko Iryna,

student of the first (bachelor's) level of higher education

Scientific Supervisor: V. Klymenko, PhD in Economics, Associate Professor

National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv

Keywords: lithium-ion batteries, dangerous goods, air transport, risk assessment, aviation safety.

The transportation of dangerous goods is one of the most sensitive areas of logistics. Errors made during the packing, labeling, classification, and documentation of cargo can have serious consequences, including accidents, cargo loss, and direct threats to people and the environment. The list of dangerous goods also includes lithium-ion batteries, which are the primary power source for portable electronics, electric vehicles, and drones, so the volume of their transport is increasing. Batteries are transported as cargo, as part of equipment, and in passengers' luggage. The danger associated with their transport stems from the fact that overheating can trigger an uncontrolled chain reaction, and fires caused by batteries are difficult to extinguish using common methods. Therefore, the transport of such cargo is strictly regulated by the IATA Dangerous Goods Regulations (DGR).

The purpose of this study is to investigate and assess the risks associated with the air transport of lithium-ion batteries and to identify ways to reduce them. The study is based on an analysis of 274 incidents involving battery cargo that the FAA recorded from 2018 to 2023 [1]. Risks were assessed using a matrix method based on the ICAO and FAA probability and severity scales. Acceptability levels were divided into three groups: unacceptable, tolerable, and acceptable.

Causes of incidents are represented in table 1 and include the following:

- spontaneous combustion or overheating ranks first, accounting for 179 incidents (65.32%);
- passengers' or agents' ignorance of the rules – 38 incidents (second in number), accounting for 13.86%;
- damage to batteries caused by passenger's accounts for 29 incidents (10.58%);
- damage during handling accounts for 22 incidents (8.02%);
- mechanical damage from drops accounts for 6 incidents (2.18%).

It should be mentioned that passenger aircraft had approximately 3.72 times as many incidents as cargo aircraft. Incidents occur less frequently on cargo aircraft, but they are estimated to have more devastating consequences. Batteries in large clusters catch fire spontaneously, making them difficult to contain.

Table 1. Categories of causes for incidents involving lithium-ion batteries, 2018–2023

Causes for incidents	Number	Share, %
Spontaneous combustion or overheating	179	65.32
Passengers' or agents' ignorance of the rules	38	13.86
Damage caused by passengers	29	10.58
Damage during handling	22	8.02
Mechanical damage from a fall	6	2.18
Total	274	100

Source: [1]

Scientific researches identified and assessed 14 typical threats. None of the threats was classified as unacceptable. Eleven threats are at a tolerable level, while only three are at an acceptable level [1]. Tolerability is ensured by protective measures, namely special packaging, quantity restrictions, and carriers. If these measures fail or have not been implemented, the risk may exceed the acceptable level.

Positive effect on risks mitigating has mandatory crew training in accordance with IATA requirements, culminating in a final exam with a passing score of at least 80%. Additionally, there can be information campaigns for passengers regarding battery limits in checked baggage, fire-resistant cargo containers, and temperature monitoring in baggage compartments [2]. These measures intend to ensure awareness of the information and the effective use of equipment.

However, existing research data primarily pertains to flights within the United States or related to them [1]. The results depend on the sample and assumptions and may not be applicable to other types of batteries and carriers. Or the research is based on and verified by only one airline and includes input from 10 experts [2].

Recommendations to reduce risks:

1. Training staff and passengers – a significant number of incidents occur due to a lack of knowledge of the rules: specifically, 38 cases due to non-compliance with the rules and 29 due to battery damage caused by passengers themselves.

2. Introduction of fire-resistant containers and thermal bags for batteries to limit the spread of fire. This is important because spontaneous combustion and overheating account for 65.32% of incidents [1].

3. Maintaining an incident registry, as the FAA does, and frequently updating risk analyses. Responsible acceptance of cargo (19.2%) and equipment (16.3%) plays the most important role in safety [2].

4. Battery certification – particularly for used batteries – as well as updates to regulations for new batteries.

Conclusions

Dangerous goods, including lithium-ion batteries, must be transported in accordance with regulations. Spontaneous combustion and overheating are the leading causes of incidents involving lithium-ion batteries; therefore, monitoring battery condition is a priority. The risks can be assessed as acceptable or tolerable provided that protective measures are followed. The risk level can be reduced if staff and passengers have received training and proper packaging procedures are

followed. On our opinion, it is advisable for each airline to maintain its own record of battery-related incidents and to update its risk assessment based on that record.

References

1. Kwasiborska A., Ścigaj S. Assessment of the Risks Associated with the Handling and Transportation of Air Shipments Containing Lithium-Ion Batteries. *Energies*. 2025. 18(6). 1538. URL: <https://doi.org/10.3390/en18061538>
2. Zhao H., Zhang N., Guan Y. Safety Assessment Model for Dangerous Goods Transport by Air Carrier. *Sustainability*. 2018. 10(5). 1306. URL: <https://doi.org/10.3390/su10051306>
3. IATA. Dangerous Goods Regulations: 68th ed. – Montreal: IATA, 2027.

УДК 656.7:316.77

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ БОРТПРОВІДНИКІВ ІЗ ПАСАЖИРАМИ В КОНФЛІКТНИХ СИТУАЦІЯХ ПІД ЧАС АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ

Сульжик К.С.

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Докієнко Л.М., к.е.н., доцент

Національний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ

Ключові слова: бортпровідники, авіаційні перевезення, конфліктні ситуації, професійна комунікація, безпека польотів.

Сучасна авіаційна галузь висуває високі вимоги не лише до технічної безпеки польотів, а й до професійної підготовки членів екіпажу та якості взаємодії з пасажиром. Важливою складовою роботи бортпровідників є забезпечення безпеки на борту повітряного судна, інформування пасажирів і підтримання належного порядку під час польоту. За таких умов конфліктні ситуації становлять особливу проблему, оскільки можуть негативно впливати на психологічний стан пасажирів, роботу екіпажу та загальний рівень безпеки авіаперевезень.

Міжнародна асоціація повітряного транспорту (IATA) звертає увагу на те, що агресивна та недисциплінована поведінка окремих пасажирів може створювати загрози для екіпажу й інших людей на борту, порушувати нормальний перебіг польоту та призводити до вимушених змін у виконанні рейсу [1]. Міжнародна організація цивільної авіації (ICAO), зі свого боку, наголошує на значенні професійної підготовки членів екіпажу, розвитку необхідних компетентностей і відпрацюванні дій у нестандартних ситуаціях [2]. Це підтверджує актуальність пошуку практичних способів удосконалення взаємодії бортпровідників із пасажиром в умовах конфлікту.

Метою дослідження є визначення основних проблем взаємодії бортпровідників із пасажиром в конфліктних ситуаціях та обґрунтування

практичних напрямів удосконалення професійної комунікації для запобігання загостренню конфліктів і підтримання безпеки на борту повітряного судна.

Конфлікти під час авіаперевезень можуть виникати з різних причин. До них належать невдоволення якістю обслуговування, нерозуміння правил перевезення, відмова у виконанні певних прохань, незадоволення діями інших пасажирів, тривожність перед польотом, а також порушення встановлених вимог безпеки. Додатковими чинниками можуть бути втома, стрес, мовні бар'єри та обмежені можливості швидко змінити обставини перебування на борту. Водночас не кожна скарга чи незгода пасажирів є конфліктом, а конфлікт не обов'язково супроводжується агресивною поведінкою. Тому важливо розрізняти звичайне невдоволення, словесне загострення ситуації та поведінку, яка становить загрозу безпеці.

Особливість роботи бортпровідника полягає в необхідності одночасно виконувати сервісні й безпекові функції. На відміну від обслуговування в наземних закладах, умови польоту обмежують можливості безпосереднього втручання інших служб і швидкого припинення конфлікту шляхом зміни місця перебування його учасників. Тому важливе значення мають своєчасне виявлення ознак загострення, виважена комунікація та дотримання встановлених процедур. Невдалий тон розмови, категоричні висловлювання або ігнорування проблеми можуть посилити невдоволення пасажирів. Водночас надмірні поступки у відповідь на порушення правил здатні створити додаткові ризики для порядку й безпеки.

На основі узагальнення зазначених підходів до професійної підготовки екіпажу та запобігання інцидентам доцільно запропонувати комплексний підхід до вдосконалення взаємодії бортпровідників із пасажирами. Він має охоплювати не лише реагування на вже наявний конфлікт, а й заходи його попередження.

По-перше, доцільно вдосконалити навички раннього виявлення конфліктних ситуацій. Бортпровідники мають звертати увагу на різкі зміни поведінки пасажирів, повторні скарги, підвищення голосу та ознаки наростання емоційного напруження. Своєчасне реагування дає змогу розпочати діалог до того, як ситуація переросте у відкриту суперечку. При цьому оцінювання поведінки має ґрунтуватися на конкретних діях людини, а не на зовнішності чи суб'єктивних припущеннях.

По-друге, необхідно розвивати навички професійної комунікації та деескалації. Доцільно використовувати спокійний тон, уважно вислуховувати пасажирів, уточнювати суть проблеми та надавати зрозумілі пояснення. Якщо вимогу пасажирів неможливо задовольнити з міркувань безпеки або через встановлені правила, бортпровідник повинен чітко пояснити причину відмови, не переходячи до особистих оцінок і взаємних звинувачень. За можливості варто запропонувати прийнятну альтернативу, яка не суперечить правилам перевезення та процедурам авіакомпанії.

По-третє, важливо вдосконалити координацію дій членів екіпажу. У разі загострення конфлікту бортпровідник має своєчасно повідомити старшого

бортпровідника та діяти відповідно до встановлених процедур. Якщо ситуація становить загрозу безпеці, необхідно забезпечити інформування командира повітряного судна в порядку, передбаченому процедурами експлуатанта. Узгодженість дій екіпажу зменшує ризик суперечливих рішень, сприяє контролю ситуації та дає змогу належним чином реагувати на зміну рівня загрози.

По-четверте, доцільно посилити практичну підготовку бортпровідників. Як зазначає ІКАО, професійна підготовка бортпровідників передбачає розвиток необхідних умінь і відпрацювання сценаріїв, наближених до реальних умов діяльності екіпажу [2]. У контексті конфліктної взаємодії доцільно регулярно моделювати ситуації, пов'язані з невдоволенням обслуговуванням, відмовою виконувати вимоги безпеки, словесною агресією та мовними труднощами. Після таких тренувань варто оцінювати не лише правильність прийнятих рішень, а й здатність чітко спілкуватися, контролювати власні емоції та своєчасно залучати інших членів екіпажу.

По-п'яте, необхідно систематизувати аналіз конфліктних випадків. Фіксація інцидентів відповідно до процедур авіакомпанії, визначення типових причин і подальший аналіз обставин допоможуть виявляти повторювані проблеми. На основі цих даних можна коригувати навчальні сценарії, удосконалювати інформування пасажирів і визначати напрями підвищення якості обслуговування. Для оцінювання результативності запропонованих заходів доцільно використовувати такі показники, як частота повторюваних інцидентів, своєчасність повідомлення старшого бортпровідника, результати практичних тренувань і дотримання встановлених процедур. Конкретні цільові значення цих показників мають визначатися на основі фактичних даних авіакомпанії.

Висновок

Отже, удосконалення взаємодії бортпровідників із пасажирями в конфліктних ситуаціях є важливим напрямом підвищення якості обслуговування та забезпечення безпеки авіаційних перевезень. Ефективне врегулювання конфліктів потребує не лише професійних знань, а й розвинених комунікативних навичок, емоційної стійкості, уміння своєчасно розпізнавати ознаки загострення ситуації та обирати відповідну стратегію поведінки.

Для покращення взаємодії з пасажирями доцільно поєднувати раннє виявлення потенційно конфліктних ситуацій, застосування методів конструктивного спілкування, узгоджені дії членів екіпажу та регулярну практичну підготовку на основі змодельованих сценаріїв. Важливе значення також має систематичний аналіз інцидентів, який дає змогу визначати типові причини конфліктів і вдосконалювати процедури роботи з пасажирями.

Практична реалізація запропонованих підходів може сприяти зменшенню ризику ескалації конфліктів, підвищенню впевненості бортпровідників у складних ситуаціях і формуванню більш довірливої атмосфери на борту повітряного судна. Водночас будь-які заходи з врегулювання конфлікту мають

здійснюватися з урахуванням вимог авіаційної безпеки, встановлених процедур авіакомпанії та повноважень членів екіпажу.

Таким чином, системне вдосконалення професійної комунікації та практичної підготовки бортпровідників є перспективним засобом підвищення ефективності обслуговування пасажирів і підтримання безпечного середовища під час польоту.

Список використаних джерел

1. International Air Transport Association. Unruly Passengers. URL: <https://www.iata.org/en/programs/passenger/unruly-passengers/>
2. International Civil Aviation Organization. Cabin Crew Competency-based Training and Assessment. URL: <https://www.icao.int/cabin-crew-competency-based-training-and-assessment>
3. International Air Transport Association. Even safer and more enjoyable air travel for all: a strategy for reducing the problem of unruly and disruptive passenger incidents. URL: <https://www.iata.org/contentassets/b7efd7f114b44a30b9cf1ade59a02f06/tackling-unruly-disruptive-passengers-strategy.pdf>

4. Цифровізація, стійкість та сталий розвиток авіаційного транспорту

UDC: 656.7:004

ADAPTIVE DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MULTIMODAL TRANSPORTATION UNDER CRISIS CONDITIONS

*Bezpalkiv Kornelia,
student of the first (bachelor's) level of higher education
Scientific supervisor: A. Viniukov-Proshchenko,
PhD in Economics, Associate Professor
National university "Kyiv aviation institute", Kyiv*

Keywords: multimodal transportation, decision support system, logistics, adaptability, resilience, crisis management.

Multimodal transportation is a key component of modern logistics systems, integrating different modes of transport into a unified supply chain. However, under crisis conditions such as infrastructure damage, route disruptions, congestion, and increased uncertainty, traditional management approaches become ineffective. This issue is especially relevant in Ukraine, where transport systems operate under high risk, requiring adaptive information systems for flexible management and rapid response to changing conditions.

The aim of this study is to develop a concept of an adaptive decision support system for multimodal transportation under crisis conditions. To achieve this aim, the following methods were applied: a systems approach to the analysis of transport processes; methods of risk analysis in transport systems; approaches to the development of information and analytical systems; algorithmic modelling of decision-making processes.

Multimodal transportation integrates different modes of transport into a unified supply chain but becomes inefficient under crisis conditions such as infrastructure damage, disruptions, and congestion. This is especially relevant in Ukraine, where high uncertainty requires adaptive logistics solutions [1]. The concept of resilience, defined as the ability to maintain functionality and recover from disruptions, is essential for modern transport systems [3]. This study proposes an adaptive decision support system (DSS) for multimodal transportation. The system enables real-time data processing, risk analysis, and route optimization by integrating information on infrastructure, weather, traffic, and crisis factors. It generates and evaluates alternative routes based on time, cost, and risk, providing recommendations while ensuring continuous adaptation through feedback mechanisms.

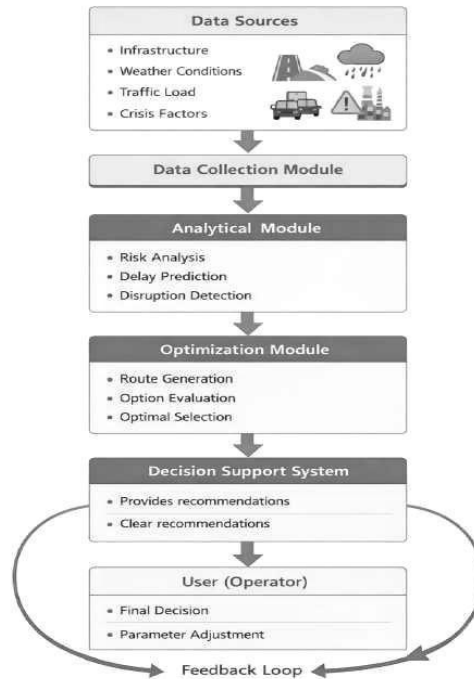


Figure 1. Architecture of the adaptive decision support system

The system operates through a structured algorithm that includes real-time data collection, situation analysis, generation of alternative routes, evaluation of options, and selection of the optimal solution. This ensures rapid response to changes and continuity of logistics operations. An important aspect of the approach is the consideration of transport network resilience, which determines the system's ability to function under disruptions and partial infrastructure failure [2]. Incorporating resilience principles improves risk management and system stability. For example, in the case of a transport hub disruption, such as a port closure, the system automatically generates and evaluates alternative routes, selecting the most efficient option. This reduces delays and minimizes economic losses.

Conclusions

The study substantiates the need to implement adaptive decision support systems in multimodal transportation under crisis conditions. An information and analytical system are proposed to enable data integration, risk analysis, and real-time route optimization. The developed approach improves system flexibility, reduces delays, and minimizes economic losses. The results can be applied to enhance transport and logistics systems and support the implementation of digital technologies.

References

1. Zhyshchynskyi Y.S., Sharko O.V. Multimodal transportation risk modelling. <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025.351136>
2. Shao Z. et al. Evaluation of the Structural Resilience of Multi-Mode Transportation Networks. 2025. <https://doi.org/10.3390/su172310528>
3. Bešinović N. Resilience in railway transport systems. 2020. <https://doi.org/10.1080/01441647.2020.1728419>

УДК 658.7:004

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ ПІДПРИЄМСТВ ІКТ-ГАЛУЗІ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ ТА РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОЇ ЛОГІСТИКИ

Борець І.В., к.п.н., доцент.

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ.

Борець О.Г., PhD.

Ключові слова: ІКТ-галузь, авіаційна логістика, економічна стійкість, ланцюги постачання, цифровізація.

Логістичні системи підприємств інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) залежать від своєчасного постачання електронних компонентів, серверного й телекомунікаційного обладнання та запасних частин. Для термінових і високовартісних вантажів важливу роль відіграє авіаційна логістика, інтегрована з автомобільними перевезеннями, складськими операціями та митним оформленням. Затримки доставки, обмеження повітряного простору й збої цифрових систем можуть порушувати роботу ІКТ-підприємств і спричиняти економічні втрати.

Для України це питання особливо актуальне через обмеження авіаційного сполучення та потребу в альтернативних міжнародних маршрутах. Економічна стійкість логістичної системи ІКТ-підприємства означає здатність зберігати або відновлювати критичні постачання й прийнятний рівень обслуговування за економічно обґрунтованих витрат. Авіаційні та мультимодальні перевезення є одним з інструментів забезпечення такої стійкості.

Для логістичних систем ІКТ-підприємств запропоновано чотириконтурний підхід до забезпечення економічної стійкості, який може бути застосований під час організації авіаційних і мультимодальних постачань критичних компонентів.

Превентивний контур передбачає визначення критичних компонентів, оцінювання залежності від постачальників, доступності аеропортів і терміналів, а також підготовку альтернативних маршрутів. Поглинальний контур охоплює обґрунтовані страхові запаси, резервування транспортних потужностей і фінансових ресурсів. Для ІКТ-продукції надмірні запаси небажані через швидке моральне старіння обладнання.

Адаптивний контур охоплює перепланування поставок, вибір інших авіаперевізників і транзитних вузлів, поєднання наземного транспорту з авіадоставкою через доступні закордонні аеропорти. Контур розвитку передбачає аналіз збоїв, оновлення логістичної мережі, навчання персоналу та вдосконалення процедур взаємодії з транспортними партнерами.

Функціонування контурів забезпечують організаційно-управлінська, інформаційно-аналітична та ресурсно-фінансова підсистеми. ERP-, WMS- і

TMS-системи, електронний документообіг та відстеження вантажів допомагають узгоджувати матеріальні й інформаційні потоки ІКТ-підприємств, авіаперевізників, терміналів і експедиторів. Водночас цифрова залежність потребує кіберзахисту та резервних процедур управління.

Для оцінювання стійкості доцільно враховувати своєчасність доставки критичних ІКТ-компонентів, час відновлення постачання, доступність альтернативних авіаційних маршрутів, рівень обслуговування та витрати від простоїв. Авторська адитивна модель об'єднує субіндекси чотирьох контурів у зважений інтегральний показник; її застосування в авіаційній логістиці потребує калібрування на фактичних даних.

Вибір між стандартним перевезенням і терміновою авіадоставкою слід обґрунтовувати з урахуванням не лише тарифу, а й можливих втрат від затримки введення обладнання в експлуатацію або переривання сервісу. Перспективним інструментом є сценарне моделювання маршрутів і використання цифрового двійника ланцюга постачання.

Висновок

Стійкість логістичних систем підприємств ІКТ-галузі залежить від надійності постачання критичних компонентів, гнучкості авіаційних і мультимодальних маршрутів та узгодженості цифрового управління. Чотириконтурний підхід поєднує попередження ризиків, резервування, адаптацію й відновлення, а економічне оцінювання допомагає обирати доцільні логістичні рішення. Подальші дослідження мають бути спрямовані на емпіричну перевірку моделі для ІКТ-підприємств із залученням даних про авіаційні вантажні перевезення.

Список використаних джерел

1. Roshani A., Walker-Davies P., Parry G. Designing resilient supply chain networks: a systematic literature review of mitigation strategies. *Annals of Operations Research*. 2024. Vol. 341. P. 1267–1332. DOI: 10.1007/s10479-024-06228-6
2. Ivanov D., Dolgui A. Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. *International Journal of Production Research*. 2020. Vol. 58, № 10. P. 2904–2915. DOI: 10.1080/00207543.2020.1750727
3. Панченко В.А. Управління економічною стійкістю логістичних підприємств. *Бізнес Інформ*. 2022. № 9. С. 60–66. DOI: 10.32983/2222-4459-2022-9-60-66.
4. Ivanov D., Dolgui A. A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*. 2021. Vol. 32, № 9. P. 775–788. DOI: 10.1080/09537287.2020.1768450.

UDC 656.7

AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN AVIATION PERSONNEL TRAINING

Varlamova Mariia, Maiko Yuliia

students of the first (bachelor's) level of higher education

Scientific Supervisor: Borets Iryna, Ph.D. in Pedagogical Sciences, Assoc. Prof.

National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv

Keywords: aviation personnel, professional training, virtual reality, augmented reality, immersive technologies, flight attendants, aviation safety, technical training.

The study employs an analysis of scientific sources, regulatory, and industry materials, as well as a synthesis of modern experience in applying immersive technologies in aviation training. It is demonstrated that virtual reality allows for the modeling of hazardous and costly scenarios without risk to people or equipment, whereas augmented reality can be utilized for step-by-step training, procedure visualization, and operational support in real or near-real environments. The practical significance lies in the potential to enhance training quality, reduce errors, improve procedure retention, and refine the professional skills of aviation personnel.

Aviation personnel training demands high precision, repeatability, and alignment with real-world operating conditions. In civil aviation, human error can affect not only service quality but also flight safety. Therefore, training must cultivate stable practical skills rather than being limited to theoretical comprehension. At the same time, traditional training methods have certain limitations.

Some scenarios are difficult or expensive to replicate in a conventional format. This applies to emergency situations, time-critical actions, disruptive passenger behavior, specific technical procedures, and operations in complex environments. Under these conditions, interest in augmented and virtual reality technologies is growing, as they enable the creation of a controlled learning environment and repeated practice of required actions. In 2025, ICAO specifically highlighted the expanding role of simulation tools for non-flight personnel, including flight attendants, maintenance engineers, and ground handling staff. The document noted that such tools are already applied in aviation training, though their international regulatory and methodological frameworks still require further development [1].

Virtual reality allows for practicing scenarios that would be excessively risky or resource-intensive in a real environment. Augmented reality, in turn, can overlay instructions, prompts, and visual markers directly onto physical objects. For aviation, this is particularly vital, as professional training is inherently linked to procedural compliance, reaction speed, spatial orientation, and coordination of actions. At the ICAO EUR/NAT 2025 workshop, examples of VR applications in aviation training included pre-flight procedures, emergency scenarios, spatial orientation training, and airport infrastructure familiarization. For AR, specific

applications highlighted were technical personnel training, ground operations staff preparation, and operational workflow support [2].

An analysis of literature shows that virtual reality is most effective where sequential actions, handling of non-standard situations, spatial orientation, and rapid decision-making need to be practiced. For flight crews, these may include training scenarios related to flight procedures and cockpit interaction. For flight attendants, this involves practicing cabin procedures, door operations, actions during smoke conditions, evacuations, or passenger conflict management. For ground staff, it includes orientation in the airport environment, aircraft servicing zone operations, and equipment interaction. For technical personnel, it encompasses the step-by-step mastering of inspection, assembly, testing, and repair procedures. The virtual environment allows the repetition of the same actions without physical equipment wear and without risk to human life. This characteristic makes VR not merely convenient, but methodologically valuable for professional preparation. As early as 2021, EASA certified the first VR-based Flight Simulation Training Device for helicopter pilot training, marking a significant milestone in the regulatory recognition of such technologies [3].

Augmented reality serves a different, yet equally crucial function. It does not immerse the user in a fully virtual environment, but assists in executing tasks in real or near-real spaces. Thus, AR is particularly promising for technical training when a worker observes a physical object while simultaneously receiving digital guidance regarding action sequences, element locations, or control parameters. This approach is beneficial for maintenance staff training, as it combines visualization, instructional support, and practical execution. However, widespread adoption remains constrained by high costs, technical limitations, and software compatibility issues.

Special attention should be given to flight attendant training. In 2024, the FAA published the results of a study titled Extended Reality in Flight Attendant Initial Training. It compared a standard training program with a program supplemented by VR-based training for door operation procedures. The recorded pass rate was 84% in the standard training group and 88% in the group with supplemental XR training. Researchers emphasized that while the results have certain limitations, the general conclusion was positive: supplemental XR training can improve procedural performance efficiency [4]. This is especially crucial for cabin crew preparation, as a significant portion of their actions must be automated, precise, and rapid.

Effective aviation personnel training requires a blend of immersive and traditional learning methods. Immersive tools function effectively for pre-training, material reinforcement, self-study review, and practicing rare scenarios. Nevertheless, building full professional competency still requires an instructor, knowledge assessments, hands-on work with physical equipment, and standardized skill evaluations. Regulatory frameworks support this logic. For instance, the UK CAA, in its current CAP1933 document, views simulation and virtual reality as part of the instructional toolkit rather than a standalone, universal training format [5].

The practical significance of this topic lies in the ability of augmented and virtual reality technologies to enhance training quality across various aviation personnel categories. For higher education institutions and training centers, this provides an opportunity to make education more visual, modern, and aligned with real-world professional activities. For airlines, it represents a method to better prepare cabin crews and ground personnel for both standard and non-standard situations. For technical services, it offers a tool for safely practicing procedures and minimizing error rates. For the overall training system, it paves the way toward greater standardization, repeatability, and instructional flexibility. In the future, these technologies could be utilized for modular training, remote instruction of specific personnel categories, and personalized progress tracking.

Conclusions

Thus, augmented and virtual reality technologies represent a promising avenue for the development of aviation personnel training. Their primary value lies in enabling safer and more precise execution of professional procedures that are difficult to fully model under standard conditions. These technologies yield the best outcomes when integrated into a blended learning approach that combines theoretical instruction, instructor guidance, hands-on equipment interaction, and digital training environments. Such an approach makes it possible to elevate personnel training quality without compromising safety standards, regulatory requirements, or the practical needs of modern civil aviation.

References

1. International Civil Aviation Organization. Beyond the Cockpit: ICAO's Next Frontier in Simulation Training (Progress and Expansion). A42-WP/316. 2025.
2. European Union Aviation Safety Agency. EASA approves the first Virtual Reality based Flight Simulation Training Device. 2021.
3. Alam N., Saha N., Gadow V., Harik R., Ryu J. Role of extended reality technologies in maintenance operations: Trends, challenges, and integration in Industry 4.0. *Manufacturing Letters*. 2025.
4. Breeding L. L., Persky A. M., Kellogg S. M. Extended Reality in Flight Attendant Initial Training. Federal Aviation Administration. 2024.
5. UK Civil Aviation Authority. CAP1933: Guidance for use of Web based training, Distance Learning, Simulation and Virtual Reality. 2025.

UDC 656.7

IMPLEMENTATION OF ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES IN AVIATION AND PROSPECTS FOR THEIR DEVELOPMENT

Varlamova Mariia, Maiko Yuliia
students of the first (bachelor's) level of higher education
Scientific Supervisor: Valko, PhD, Associate Professor
National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv

Keywords: sustainable aviation, biofuels, hydrogen aircraft, electric aircraft, energy efficiency.

The aviation industry is one of the most important sectors of the global economy, but at the same time it poses major environmental challenges worldwide. The continuous growth in demand for air transport services has led to increased greenhouse gas emissions, making it necessary to find new solutions to reduce environmental impacts. Accordingly, the development and implementation of environmentally friendly technologies in aviation have become key priorities for reducing emissions, improving energy efficiency, and meeting international environmental standards and targets.

According to expert estimates, aviation accounts for approximately 2–3% of global CO₂ emissions. However, its actual impact on the climate is considerably greater due to additional emissions, including water vapor and nitrogen oxides, released at high altitudes [1, p. 6]. Unlike other modes of transport, aviation depends on fossil fuels and therefore has very limited opportunities to reduce emissions in the short term.

Nevertheless, international organizations are actively working to address this problem. The International Air Transport Association (IATA) and the International Civil Aviation Organization (ICAO) have introduced a number of initiatives to reduce aviation emissions, including CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation) [2]. The scheme aims to stabilize CO₂ emissions from international air transport through carbon offsetting measures and the introduction of emission-reduction technologies. Its goal is to achieve zero emissions by 2050, an important target for the aviation industry.

Innovative green technologies are becoming an important means of reducing aviation's environmental impact. One of the most promising approaches is the introduction of alternative fuels. Biofuels produced from renewable resources, such as plants and waste, are among the most developed types of “green” fuel. Their main advantage is a substantial reduction in CO₂ emissions—by up to 80% compared with conventional aviation fuel.

Biofuels are already used on many commercial flights, including those operated by KLM and Lufthansa. However, biofuels also have limitations. Their production

requires considerable resources and is expensive, so at present they are available for use on only a relatively small number of flights.

Hydrogen is another promising aviation fuel. Using hydrogen as a fuel can eliminate carbon dioxide emissions because its combustion produces only water. Leading aircraft manufacturers, such as Airbus, are actively exploring the development of hydrogen-powered aircraft [3]. One of hydrogen's main advantages is its high energy density per unit of mass, making it attractive for long-distance applications. However, its low energy density per unit of volume requires the development of new fuel tanks and major changes to airport infrastructure for the storage and refueling of hydrogen-powered systems.

Electric aircraft are also of considerable interest to the industry, particularly for short- and medium-distance routes. Several start-ups and the aircraft manufacturer Eviation are already testing electric aircraft capable of operating commercial flights over distances of up to 500 km [4]. Electric aircraft do not use fossil fuels, offering clear benefits in terms of reducing emissions. However, the main problem is that the insufficient energy density of modern batteries significantly limits flight range and prevents electric aircraft from being used on long-distance routes. In addition, charging infrastructure must be developed and installed at airports.

Hybrid technologies that combine conventional aircraft engines with electric systems are another promising area. For example, Rolls-Royce and Siemens are working together to develop hybrid aircraft engines that could significantly reduce fuel consumption and emissions. Hybrid aircraft could serve as a transitional technology toward the full electrification of aviation, reducing fuel use on short- and medium-haul routes while retaining conventional engines for long-haul operations.

In addition to alternative energy sources, aircraft manufacturers are actively working to improve the energy efficiency of their aircraft. The advanced aerodynamic designs of aircraft such as the Boeing 787 Dreamliner and Airbus A350 reduce drag and, consequently, fuel consumption. These aircraft consume 20–30% less fuel than their predecessors. This is due to improved aerodynamics and the use of lightweight structural materials, such as carbon fiber and composites. Carbon fibers are lightweight and highly durable, significantly reducing the overall weight of an aircraft and improving its fuel efficiency. The use of new materials also helps lower aircraft maintenance costs because they are resistant to corrosion.

Intelligent flight management systems help optimize routes and reduce fuel consumption. For example, SkyBreathe, a technology developed by the French company OpenAirlines, enables airlines to analyze flight data in real time and select the most efficient routes [5]. This helps reduce fuel consumption by up to 5–10% on each flight, thereby contributing to lower CO₂ emissions.

The implementation of environmentally friendly technologies requires significant investment and may affect airlines' financial performance. For example, biofuel costs, on average, twice as much as conventional fuel, which may lead to a 10–15% increase in airfares in the short term. However, governments in many countries have already introduced economic incentives for airlines, such as biofuel subsidies and tax benefits to support the development of new green technologies.

The prospects for aviation's transition to environmentally friendly technologies depend on several factors, including technological progress, economic conditions, and continued support. According to forecasts, a complete transition to sustainable fuels and green technologies in aviation could take place as early as 2050. However, achieving this goal will require large-scale investment in infrastructure.

The full-scale operation of electric aircraft will require a network of charging stations at all major airports, demanding considerable investment and time. The same applies to hydrogen-powered aircraft, which will require specialized infrastructure for hydrogen storage and transportation. In particular, new types of fuel tanks will need to be developed to store hydrogen in liquid or gaseous form at extremely low temperatures or high pressures.

There are also technical barriers to the development of battery technologies for electric aircraft. Current lithium-ion batteries cannot provide sufficient energy density for long flights. Researchers are therefore developing new types of batteries, such as solid-state batteries, which could offer significantly higher capacity.

Legal and regulatory issues also play an important role in the introduction of green technologies. The International Civil Aviation Organization (ICAO) is already developing standards and regulations governing emissions, the use of alternative fuels, and energy-efficient technologies. Countries also regulate these issues at the national level by introducing environmental taxes and subsidies to encourage airlines to adopt environmentally friendly solutions.

Conclusions

The introduction of environmentally friendly technologies in aviation is not only a challenge but also an excellent opportunity to transform the industry. Despite technical and infrastructural difficulties, the development of alternative fuels, electric and hybrid aircraft, and innovations in energy efficiency offers real prospects for reducing aviation's environmental impact. Government support, national and international initiatives, and large-scale investment in technologies and infrastructure will be crucial to the aviation industry's successful transition to green technologies. This transition will not only help reduce aviation's environmental impact but also create new opportunities for the industry's development amid increasingly stringent environmental requirements.

References

1. Aviation and the Global Atmosphere: IPCC Special Report. URL: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/av-en-1.pdf>
2. Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation (CORSIA) / International Air Transport Association (IATA). URL: <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/corsia/>
3. ZEROe / Airbus. URL: <https://www.airbus.com/en/innovation/energy-transition/hydrogen>
4. Eviation Alice / Eviation. URL: <https://www.eviation.com/>
5. SkyBreathe Fuel Management Software / OpenAirlines. URL: <https://www.openairlines.com/fuel-management-software/>

УДК 53:656

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИКЛАДНОЇ ФІЗИКИ В ТРАНСПОРТНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

*Висоцький Ф. Є., студент
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ
Висоцька І.І., к.е.н., доцент,
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: транспортні технології, прикладна фізика, фізичні закони.

Розробка, вдосконалення та експлуатація транспортних засобів відбувається із застосуванням фізичних законів (механіки, термодинаміки, електродинаміки). Прикладна фізика забезпечує підвищення безпеки, ефективності, екологічності, розвиток автоматики, електроніки та створення нових матеріалів для двигунів, авіації, залізниці та розумних систем руху [1].

У таблиці 1 наведено основні напрямки застосування законів прикладної фізики, що докорінно змінюють транспортні технології.

Таблиця 1. Напрямки застосування законів прикладної фізики

Розділ прикладної фізики	Сфера застосування на транспорті	Фізичні принципи	Ефективність застосування технології на транспорті
1	2	3	4
Магнітна левітація (Maglev) та надпровідність	Потяги на магнітній подушці (Maglev)	Використано явище електромагнітної індукції та ефект Мейснера (у випадку високотемпературних надпровідників)	Потяг буквально левітує над колією завдяки силі магнітного відштовхування. Оскільки механічне тертя об рейки повністю відсутнє, такі потяги здатні розвивати швидкість понад 500–600 км/год, витрачається значно менше енергії на подолання опору матеріалів
Аеродинаміка та гідродинаміка	Сучасний авіаційний, автомобільний та водний транспорт проектується за суворими законами механіки рідин і газів	Рівняння Бернуллі та закони опору середовища (лобового опору).	Форми кузовів автомобілів, фюзеляжів літаків та корпусів суден оптимізують за допомогою комп'ютерного моделювання (CFD) та продування в аеродинамічних трубах. Зниження коефіцієнта аеродинамічного опору (C_x) дозволяє суттєво зменшити витрату палива або заряду батареї. У авіації закони гідродинаміки створюють підйомну силу крила, необхідну для польоту

Продовження табл.1

1	2	3	4
Електроди наміка та акумулятор ні технології	Перехід на електромобілі (EV) та водневий транспорт став можливим лише завдяки прикладній електрохімії та твердотільній фізиці	Закон збереження енергії, рух заряджених частинок в електричному полі, напівпровідникові ефекти	Розробка літій-іонних, літій-залізо- фосфатних та перспективних твердотільних акумуляторів базується на мікроструктурному аналізі матеріалів. Також фізика напівпровідників керує інверторами та силовими блоками, які ефективно розподіляють енергію між батареєю та електродвигуном, зокрема реалізуючи рекуперативне гальмування (перетворення кінетичної енергії назад в електричну при гальмуванні)
Нанотехно логії та нові матеріали	Транспорт потребує легких, але надзвичайно міцних матеріалів	Фізика твердого тіла, квантово- механічні властивості вуглецевих зв'язків	Впровадження композитних матеріалів (наприклад, вуглепластику або карбону) та нанотрубок у виробництво кузовів літаків (Boeing 787 Dreamliner, Airbus A350) та суперкарів значно знижує їхню вагу. Менша вага означає меншу інерцію, що дозволяє споживати менше палива та транспортувати більше корисного вантажу. Також створюються спеціальні «розумні» змащувальні матеріали на основі наночастинок для зниження зносу деталей
Оптика, фотоніка та системи безпілотно го керування	Автономний транспорт (self- driving cars) та сучасні системи безпеки покладаються на оптичні сенсори	Електромагнітне випромінювання оптичного та радіодіапазонів, ефект Доплера	Системи LiDAR (оптичні радары) випромінюють мільйони лазерних імпульсів на секунду, які відбиваються від об'єктів. Вимірюючи час повернення світла (принцип постійності швидкості світла), комп'ютер будує точну 3D- модель простору навколо авто. Радари, що працюють на ефекті Доплера, визначають швидкість руху інших автомобілів на дорозі
Квантові технології та супутников ий моніторинг	Навігація авіаційного транспорту	Теорія відносності (ЗагальнаТВ та СпеціальнаТВ), квантова заплутаність	Системам навігації (GPS, Galileo) потрібна ювелірна точність атомних годинників, яка коригується з урахуванням релятивістських ефектів (уповільнення часу на орбіті). Без урахування законів теорії відносності похибка навігації вантажних флотів чи літаків становила б кілометри на день. У майбутньому квантові комп'ютери оптимізуватимуть глобальні транспортні потоки за лічені секунди

Таким чином, фундаментальною основою для розвитку сучасних транспортних технологій є прикладна фізика, оскільки будь-який рух, передача енергії, безпека та оптимізація систем безпосередньо базуються на фізичних законах. Інтеграція фізики у транспорт дозволяє створювати швидші, екологічніші та безпечніші засоби пересування [1, 2].

Інноваційні нанотехнології набули широкого застосування на транспорті завдяки важливим фізичним властивостям феромагнітних наночастинок, що створює спрямований транспорт речовин. Цей вид транспорту є різновидом так званих броунівських моторів, які пов'язані із існуванням ефекту храповика в незміщених нерівноважних системах. Даний ефект забезпечує появу сталого транспорту в досліджуваній системі та відіграє значну роль у різних областях складних магнітних систем і матеріалів, а також є основою для різноманітних застосувань наночастинок – від техніки до медицини. Деякі різні фізичні принципи сприяють виникненню спрямованого транспорту феромагнітних наночастинок за умови, що частинки здійснюють не тільки поступальний, але й обертальний рух. Імовірно, найзручнішим і найгнучкішим способом генерації такого спрямованого транспорту є використання спеціальної комбінації зовнішніх магнітних полів [3].

Висновок

Прикладна фізика є фундаментом для розвитку сучасних транспортних технологій, оскільки саме її закони та відкриття дозволяють створювати швидші, безпечніші та екологічніші засоби пересування. Від класичної механіки до квантових технологій – кожен розділ фізики знаходить своє практичне втілення в логістиці та машинобудуванні.

Прикладна фізика є основою технічного прогресу в галузі транспортних технологій, трансформуючи фундаментальні знання у практичні інженерні рішення.

Список використаних джерел

1. Прикладна фізика. [Wikipedia https://uk.wikipedia.org](https://uk.wikipedia.org)
2. Механіка руху маршруту: як закони фізики керують транспортними потоками. <https://vseosvita.ua/blogs/mekhanika-rukhu-marshrutu-iak-zakony-fizyky-keruiut-transportnymy-potokamy-113109.html>
3. С.І. Денисов, Т.В. Лютий, М.М. Москаленко, А.Т. Лютий, Ю.С. Бистрик. Асимптотична теорія спрямованого транспорту зважених феромагнітних наночастинок. *Журнал наноелектронної фізики*. 2025. №1. С. 1-5.

UDC 656.7:004

DIGITALIZATION OF INTERACTION BETWEEN AIR CARGO PARTICIPANTS

*Hudz Mariia,
student of the first (bachelor's) level of higher education
Scientific supervisor: Artur Viniukov-Proshchenko,
PhD in Economics, Associate Professor
National University "Kyiv Aviation University"*

Keywords: digitalization, air freight transportation, electronic document management, data exchange, information interaction.

The speed of air cargo transportation depends on the consistency of information exchanged by shippers, freight forwarders, air carriers. If information about one shipment is re-entered into different systems, there are prerequisites for discrepancies and additional approvals. Therefore, the subject of studies is the digital interaction of transportation participants.

Paperwork and manual entry of previous information about import shipments create additional delays and risks of errors. Digital technologies accelerate data transmission and improve information transparency in the movement of freight. IATA's E-Freight initiative aims at the gradual implementation of digital changes in air cargo transportation [1, p. 38]. Improving border processing involves automation, risk management and coordination between customs and other control authorities [1, p. 39]. Thus, in our opinion, the practical task of digitalization is to align the information operations of all involves participants.

Automated scheduling, shipment tracking and electronic document management create the prerequisites for transparency and seamless transport management. At the same time, the training of specialists should cover competencies in the field of digital technologies and international coordination [2, p. 67]. This means the need to simultaneously improve information systems and the skills of employees who ensure data exchange. Implementing the software without agreeing on the working order of partners can preserve previous organizational problems in the electronic environment.

Supply chain management (SCM), warehouse management systems (WMS) and the Internet of Things provide the digital support for the movement of goods, information processing and monitoring of transportation conditions [3, pp. 47-48]. The use of these tools requires digital competencies from the participants of the logistics process, in particular, skills in working with SCM and WMS systems and data analysis [3, pp. 48-49]. Meanwhile, the deployment of digital solutions is limited by initial investment cost, a shortage of trained personnel, the complexity of integration with outdated systems, insufficient standardization, and cybersecurity risks [4].

The primary focus of improvement must be data transmission between supply chain participants. An electronic copy of the document does not eliminate the need for repeated manual data entry if the partners' information system remains isolated. Therefore, we propose to evaluate digitalization by the ability to reuse verified data, timely report changes in the status of cargo and assign accountability for error correction.

We suggest starting the improvement with the description of the information route of a particular shipment: who generated data, to whom and when it is transmitted, and where redundant requests occur. The next step should be to agree on a minimum set of information - the sending ID, the number of spots, weight, processing status and updating time. It is advisable for partners to establish the rules for verifying, correcting and confirming the receipt of information. This approach allows you to determine the requirements for digital solution before its purchase. Further implementation should be carried within a limited scope of interaction, for instance, between freight forwarder and cargo terminal. During the pilot application, we propose comparing the duration of document approval, the share of shipments with corrections and the number of data re-entries per one shipment. The comparison should be made for comparable cargoes and processing conditions. These indicators are proposed as the basis for the future assessment; the actual economic effect within the framework of the work is not calculated.

Financial and organizational barriers should be considered due to the phased implementation, preliminary determination of integrating costs and training employees. To mitigate the risks of informational exchange, it is necessary to agree on access rights, the procedure of recording changes and a backup interaction procedure in case of system unavailability. Scaling the pilot solution would be advised after the verification of its result d the readiness of the partners to adhere to the common rules.

Conclusions

Based on the results of analysis, we believe that that the digitalization of interaction among air cargo transport participants should be grounded in the alignment of data, responsibilities, and transmission procedures, which includes the following stages: the sequence of “describing information routing”; harmonizing data and rules; pilot implementation; evaluation; and scaling up. Their practical significance lies on the ability to initiate changes from a single operation and verify the results against defined indicators.

References

1. World Bank. Handbook for the Development of Air Transport. Washington, DC: World Bank, 2026. Cp. 1. pp. 38-39.
2. Hordiichuk R.V., Pozniak O.V., Suvorova I.M (2025) Transportation management in the aviation supply chain: modern challenges and development prospects. *Kyiv Economic Scientific Journal*. 9. 64-69. <https://doi.org/10.32782/2786-765X/2025-9-8>

3. Kantsedal, N.A., Leha, O.V., Morozov, Ye.O. (2025). Digitalization of logistics: New technologies for improving management and optimization. *Economic space*. 199. P. 45-51. <https://doi.org/10.30838/EP.199.45-51>
4. Shatska, Z.Ya., Stuzhnyi, O.S. (2026). Global trends in the development of smart logistics and digitalization of enterprise logistics processes. *Economy and society*. 84. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2026-84-200>

УДК 656.7:004

УДОСКОНАЛЕННЯ МІЖВІДОМЧОЇ КООРДИНАЦІЇ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ЦИВІЛЬНОЇ АВІАЦІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

*Догадіна В. С.,
здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Осьмак В. Є., к.т.н., доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут»*

Ключові слова: координація, відновлення, цифрова модель, цивільна авіація.

Відновлення цивільної авіації України після припинення воєнних обмежень потребує узгоджених дій органів державної влади, авіаційних підприємств, операторів аеропортів та інших зацікавлених сторін. Важливою передумовою цього процесу є своєчасний обмін достовірною інформацією про стан інфраструктури, технічну готовність, кадрові потреби, фінансування та виконання підготовчих заходів.

Розпорошеність інформації між різними установами може ускладнювати координацію управлінських рішень і контроль виконання завдань. Актуальність проблеми посилюється положеннями Стратегії розвитку галузі цивільної авіації та використання повітряного простору України до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 липня 2026 року № 677-р, і постанови Кабінету Міністрів України від 8 липня 2026 року № 888 про утворення Міжвідомчого координаційного центру. Це зумовлює потребу в цифрових інструментах систематизації інформаційних потоків і підвищення ефективності міжвідомчої взаємодії.

Мета дослідження — розроблення концептуальної цифрової моделі міжвідомчої інформаційної взаємодії для координації підготовчих заходів із відновлення цивільної авіації України.

Об'єкт дослідження — процес міжвідомчої координації підготовки до відновлення цивільної авіації України. Предмет дослідження — організаційні принципи, інформаційні потоки та цифрові інструменти координації відповідних заходів.

Однією з проблем підготовки до відновлення цивільної авіації України є необхідність узгодження дій значної кількості учасників, які відповідають за

різні напрями забезпечення функціонування авіаційної галузі. Інформація про технічний стан аеропортової інфраструктури, готовність аеронавігаційних систем, кадрове забезпечення, потреби у фінансуванні та результати оцінювання ризиків може зберігатися в різних установах, документах та інформаційних системах. За відсутності узгоджених процедур інформаційного обміну це створює ризик дублювання робіт, несвоєчасного оновлення відомостей, неузгодженості управлінських рішень і ускладнення контролю за виконанням підготовчих заходів.

Для розв'язання зазначеної проблеми пропонується концептуальна цифрова модель міжвідомчої інформаційної взаємодії, призначена для систематизації даних, координації дій учасників і моніторингу виконання заходів із підготовки до відновлення цивільної авіації України. Основна ідея моделі полягає у формуванні узгодженого інформаційного середовища, у якому кожен захід пов'язаний із визначеним виконавцем, строком виконання, очікуваним результатом і відповідними інформаційними ресурсами.

Функціонування запропонованої моделі має ґрунтуватися на таких принципах: достовірності, повноті та актуальності даних; узгодженості інформаційних ресурсів; кіберзахисності; оперативному оновленні інформації; дотриманні застосовних нормативних вимог і міжнародних стандартів. Реалізація цих принципів передбачає визначення правил внесення та перевірки даних, розмежування прав доступу, фіксацію змін і забезпечення можливості відстеження історії виконання завдань.

Учасниками інформаційної взаємодії можуть бути органи державної влади, уповноважені органи та установи у сфері цивільної авіації, організації з використання повітряного простору й аеронавігаційного обслуговування, оператори аеропортів та аеродромів, авіакомпанії, інші підприємства авіаційної галузі, а також заклади освіти й навчально-тренувальні центри в межах їхніх визначених функцій. Для кожного учасника доцільно встановити перелік даних, які він надає, відповідальність за їхню актуальність, повноваження щодо погодження рішень і порядок доступу до інформації.

Запропонована цифрова модель передбачає п'ять взаємопов'язаних етапів.

Перший етап – організація заходів і визначення відповідальних учасників. Формується перелік підготовчих заходів, визначаються підстави для їх виконання, відповідальні виконавці, строки, очікувані результати та залежності між завданнями. Це дає змогу встановити послідовність виконання робіт і визначити, які заходи потребують попереднього завершення інших завдань.

Другий етап – інформаційна взаємодія. Забезпечуються збір, систематизація, перевірка й актуалізація відомостей, необхідних для підготовки управлінських рішень. Інформація має надаватися за узгодженими правилами та форматами, із зазначенням джерела, дати оновлення й відповідального за її достовірність.

Третій етап – координація та погодження рішень. На підставі отриманих даних здійснюються узгодження міжвідомчих планів, реєстрація управлінських рішень і документування змін. У разі виявлення суперечностей або залежності між завданнями модель має забезпечувати можливість їх фіксації для подальшого опрацювання відповідальними учасниками.

Четвертий етап – моніторинг виконання заходів. Передбачається відстеження поточного стану завдань, дотримання строків, виявлення затримок і визначення робіт, виконання яких залежить від результатів діяльності інших учасників. Узагальнені дані можуть використовуватися для підготовки звітів про стан виконання заходів і готовність окремих напрямів відновлення цивільної авіації.

П'ятий етап – забезпечення інформаційної безпеки та аналітична підтримка. Передбачаються розмежування доступу до інформації, резервне копіювання даних, фіксація змін і формування аналітичних звітів. Відомості з обмеженим доступом мають оброблятися відповідно до вимог законодавства та встановлених процедур безпеки. За результатами моніторингу може формуватися узагальнена інформація для підтримки управлінських рішень і визначення напрямів, що потребують додаткової уваги.

Для попереднього оцінювання функціональної результативності запропонованої моделі доцільно використовувати систему кількісних і якісних показників. До основних критеріїв можна віднести повноту надання необхідної інформації, своєчасність інформаційного обміну, оперативність оновлення даних, можливість відстеження стану виконання завдань та дотримання вимог інформаційної безпеки.

Своєчасність інформаційного обміну може оцінюватися за допомогою коефіцієнта своєчасності:

$$K_{\text{св}} = \frac{N_{\text{св}}}{N_{\text{заг}}}, \quad (1)$$

де $N_{\text{св}}$ — кількість повідомлень, документів або звітів, переданих у встановлений строк; $N_{\text{заг}}$ — загальна кількість відповідних повідомлень, документів або звітів за період оцінювання. Значення коефіцієнта перебуває в межах від 0 до 1; за потреби результат можна подати у відсотках, помноживши його на 100 %.

Додатковим показником може бути коефіцієнт своєчасного виконання заходів:

$$K_{\text{вик}} = \frac{N_{\text{вчас}}}{N_{\text{стр}}}, \quad (2)$$

де $N_{\text{вчас}}$ — кількість заходів, виконаних у встановлений строк; $N_{\text{стр}}$ — загальна кількість заходів, строк виконання яких настав за період оцінювання.

Цей показник характеризує дотримання запланованих строків виконання заходів, тоді як коефіцієнт своєчасності інформаційного обміну відображає оперативність передавання даних.

Запропоновані показники можуть бути використані для подальшого оцінювання моделі після визначення порядку збору даних і проведення її практичної перевірки. На цьому етапі вони становлять основу для розроблення

методики оцінювання, а не підтверджений результат експериментального дослідження.

Висновок

Удосконалення міжвідомчої координації є важливою передумовою системної та успішної підготовки до відновлення цивільної авіації України, яка може здійснюватися шляхом розроблення та впровадження концептуальної цифрової моделі. Перспективи її досліджень пов'язані з уточненням функціональних вимог до цифрового середовища, розробленням методики комплексного оцінювання ефективності та перевіркою моделі на сценаріях різного рівня складності. Цифровізація міжвідомчої взаємодії може стати одним з інструментів підвищення стійкості авіаційної галузі та забезпечення більш послідовної підготовки до відновлення цивільного авіасполучення України за умови дотримання вимог безпеки й визначених повноважень усіх учасників.

Список використаних джерел

1. Про схвалення Стратегії розвитку галузі цивільної авіації та використання повітряного простору України на період до 2030 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації у 2026-2028 роках : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 08 лип. 2026 р. № 677-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/677-2026-p>
2. Про утворення Міжвідомчого координаційного центру з питань організації використання повітряного простору у галузі цивільної авіації та діяльності аеропортів України в умовах воєнного стану та в особливий період в Україні: Постанова Кабінету Міністрів України від 08.07.2026 № 888. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/888-2026-%D0%BF#Text>
3. Чулінда Л. І., Устинова І. П. Правові питання відновлення інфраструктури аеропортів України. *Наукові праці Національного авіаційного університету. Серія: Юридичний вісник «Повітряне, космічне, екологічне право»*, 2023, № 2 (67), С. 38 – 47.
4. Hiney N., Efthymiou M., Morgenroth E. Adapting to uncertainty: Black swans, VUCA challenges and airport resilience strategies. *Journal of the Air Transport Research Society*. 2025. Vol. 4. URL: https://www.researchgate.net/publication/390951275_Adapting_to_uncertainty_Black_swans_VUCA_challenges_and_airport_resilience_strategies
5. Gu Y., Wiedemann M., Freestone R., Rothe H., Stevens N. The impacts of shock events on airport management and operations: A systematic literature review // *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. 2024. Vol. 27. Article 101182. URL: <https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/server/api/core/bitstreams/34e9eeff-58aa-4720-aea6-1af85db79d56/content>

УДК 656.7:502.131.1

ТРАНСФОРМАЦІЯ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ В КОНТЕКСТІ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

*Докієнко Л.М., к.е.н., доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: авіаційний транспорт, сталий розвиток, цифровізація, операційна стійкість

Сучасна галузь цивільної авіації перебуває в стані найглибшої структурної трансформації за останнє півстоліття. Поєднання геополітичних викликів, макроекономічної нестабільності, жорстких екологічних директив та необхідності відновлення глобальних ланцюгів постачання вимагає від авіаційного сектора переходу до принципово нової операційної моделі. В основі цієї моделі лежить концептуальне поєднання цифровізації, операційної стійкості та сталого розвитку. Цифровізація виступає головним технологічним каталізатором, який забезпечує авіапідприємства інструментами аналізу великих масивів даних у реальному часі, оптимізації ресурсів та математичного прогнозування ризиків. Стійкість характеризує здатність авіаційної системи протистояти зовнішнім шокам, динамічно адаптуватися до деструктивних чинників та забезпечувати безперервність критичних операційних функцій. Сталий розвиток визначає довгострокову векторність галузі, спрямовану на мінімізацію екологічного забруднення та досягнення вуглецевої нейтральності відповідно до стратегічних орієнтирів ACARE, ICAO та IATA.

Цифровізація в авіаційному транспорті сьогодні передбачає інтеграцію передових інформаційних технологій – штучного інтелекту, машинного навчання, Інтернету речей, аналітики Big Data, хмарних обчислень та цифрових двійників – у всі ланки авіаційної галузі та охоплює як технічну експлуатацію літаків, так і управління аеропортами, польотними траєкторіями та пасажиропотоками. В останні роки MRO-провайдери та авіакомпанії переходять від планового обслуговування до прогностичного, оцінюючи реальний стан вузлів за допомогою бортової телеметрії. В аеропортах масово впроваджуються біометричні системи безконтактного обслуговування пасажирів, а в кабінах пілотів і центрах управління рухом використовуються AI-платформи для оптимізації маршрутів у режимі реального часу та зменшення витрати пального [1].

Операційна стійкість передбачає здатність всієї авіаційної екосистеми протистояти зовнішнім шокам та деструктивним чинникам: геополітичним кризам, екстремальним погодним умовам, збоям у ланцюгах постачання та кібератакам із забезпеченням безперервності критичних функцій. В останні роки авіапідприємства перейшли від реактивного реагування до створення динамічних ситуаційних центрів (наприклад, Airport Operational Control

Centers, АРОС) та використання цифрових інструментів автоматизованого перепланування рейсів і екіпажів під час збоїв. Велика увага приділяється посиленню кіберзахисту цифрової інфраструктури, створенню резервних маршрутів постачання запчастин та підвищенню гнучкості операційних моделей.

Сталий розвиток включає комплекс заходів, спрямованих на декарбонізацію авіаційного транспорту, мінімізацію негативного екологічного впливу (викидів CO₂, не-CO₂ факторів та шуму) і досягнення глобальної мети – вуглецевої нейтральності галузі до 2050 року (Net Zero 2050) [3]. Головним практичним кроком став нормативний перехід на використання сталого авіаційного пального (SAF), зокрема, впровадження обов'язкових квот у межах європейського регламенту ReFuelEU Aviation [4]. Згідно з першим офіційним технічним звітом Європейського агентства з авіаційної безпеки (EASA), ринок SAF у ЄС в 2025 році показав випереджальні темпи виконання в перший рік дії обов'язкових квот: загальний обсяг авіа пального в аеропортах ЄС – 39,3 млн метричних тон, обсяг поставленого пального SAF – 1,1 млн. тон (2,8% при нормативній вимозі 2,0%), скорочення емісії парникових газів – 3,77 млн тон CO₂-еквіваленту, основна сировина – відпрацьована рослинна олія 80% від загального обсягу, концентрація споживання SAF за країнами – Нідерланди (0,32 млн. тон, 29%), Іспанія, Німеччина, Італія, Франція (сукупно 74%). Паралельно авіакомпанії оновлюють флоти на більш паливо ефективні літаки, інтегрують AI-алгоритми для коригування висоти польоту з метою уникнення утворення конденсаційних слідів, а виробники ведуть випробування сумісності двигунів з 100% SAF та розробку водневих і електричних технологій [2,4].

Відповідно, системний взаємозв'язок цих трьох елементів створює виражений синергетичний ефект. Цифрові інструменти оптимізують польотні траєкторії та процеси технічного обслуговування, що безпосередньо знижує витрати пального та обсяги емісії парникових газів. Це, у свою чергу, підвищує коефіцієнт технічної готовності повітряного флоту та формує економічну стійкість авіакомпаній проти коливань цін на енергоресурси та нормативних штрафних санкцій.

В той же час, успішний зелений перехід неможливий без розв'язання низки критичних міжгалузевих суперечностей:

1. Конкуренція за зелену електроенергію. За розрахунками аналітиків, виготовлення необхідного обсягу e-SAF згідно з вимогами ReFuelEU до 2050 року вимагатиме в 1,5 рази більше відновлюваної електроенергії, ніж увесь обсяг генерації електроенергії в ЄС у 2021 році [4]. Це створює безпосередню конкуренцію за енергоресурси між авіацією, наземним транспортом та важкою промисловістю. Незважаючи на перевиконання цілей 2025 року, подальша масштабованість наражається на суттєві виробничі та макроекономічні виклики. Оцінки Дорожньої карти IATA Net Zero 2050 показують, що світове виробництво SAF у 2025 році досягло 1,9 млн тон (~0,6% від загального світового авіа пального). У 2026 році очікується уповільнення темпів

зростання до 2,4 млн тон (~0,8%) через обмеженість сировинної бази та недостатні обсяги адресної державної підтримки. Виконання завдань 2030 року вимагає масового запуску виробництва синтетичного e-SAF. Однак, із загальної кількості світових проєктів відновлюваного пального лише 12% перебувають на стадії будівництва, 29% функціонують, а 59% залишаються на етапі очікування остаточного інвестиційного рішення. За аналітикою IATA, сукупні перехідні витрати авіаційної галузі (додаткова вартість SAF порівняно з викопним гасом) зростуть з 1,4 млрд доларів США у 2025 році до 744 млрд доларів США на рік до 2050 року [2,4].

2. Кібербезпека та захист цифрових даних. Глибока цифровізація MRO та впровадження AI у критичні системи польоту збільшують поверхню потенційних кібератак. Для захисту інформаційного середовища IATA розробляє стандарти цифрових ідентифікаторів та розподілених криптографічних реєстрів для підтвердження автентичності польотних даних та ланцюгів постачання компонентів.

3. Компроміси у багатокритеріальній оптимізації польотів. Автоматизовані системи керування польотом повинні балансувати між мінімізацією витрат пального та уникненням зон ISSR. У деяких випадках коригування маршруту для відмови від утворення конденсаційних слідів призводить до додаткового спалювання пального, що вимагає створення інтегрованих математичних моделей оцінки сукупного кліматичного ефекту.

Висновок

Отже, цифровізація, операційна стійкість та сталий розвиток утворюють єдиний контур еволюції сучасної авіаційної системи. Цифрові двійники та прогностична аналітика трансформують інфраструктуру MRO, підвищуючи готовність парку повітряних суден, скорочуючи простої на 35% та знижуючи витрати на обслуговування до 30%. У той же час, AI-оптимізація траєкторій польоту та розгортання використання сталого авіаційного пального створюють реальний технологічний фундамент для декарбонізації галузі відповідно до регуляторних вимог. Для практичної реалізації запропонованих підходів варто врахувати наступні рекомендації:

1) Для авіакомпаній та MRO-провайдерів: прискорити інтеграцію CMMS-платформ із прогностичними цифровими двійниками критичних вузлів повітряних суден для переходу на обслуговування за фактичним станом до 2030 року; впровадити цифрові платформи моніторингу траєкторій та інтегрувати AI-моделі запобігання утворенню конденсаційних слідів у системи підготовки польотних планів; забезпечити суворе виконання вимог ReFuelEU щодо норми заправки пального в аеропортах ЄС на рівні не менше 90% для мінімізації штрафних та операційних ризиків.

2) Для виробників авіаційної техніки: забезпечити стандартизацію відкритих API-протоколів для передачі бортової телеметрії в реальному часі та нарощувати розробку гібридних фізико-цифрових моделей обслуговування; завершити випробування та сертифікацію паливних систем для забезпечення 100% сумісності двигунів з недекarbonізованим та синтетичним SAF.

З) Для регуляторних органів та державних інституцій: змістити фокус державної підтримки з нормативного декларування квот на пряме стимулювання капітальних інвестицій у будівництво заводів із синтезу e-SAF, прискорюючи перехід 59% проєктів до фази прийняття остаточного інвестиційного рішення; гармонізувати цифрові методи верифікації викидів між різними системами для усунення подвійного обліку та зниження адміністративного навантаження на авіаперевізників.

Список використаних джерел

1. Докієнко Л.М., Трюхан О.М., Селіщев С.В. Трансформація клієнтського досвіду в авіаційній галузі крізь призму інтеграції цифрових рішень та організаційних змін. *Review of transport economics and management*. 2026. 15(31). С. 137-148. <https://doi.org/10.15802/rtem2026/358307>
2. Gössling S., Lyle C. Transition policies for climatically sustainable aviation. *Energy research & social science*. 2021. 79. 102162. <https://doi.org/10.1080/01441647.2021.1938284>
3. Report on environmental trends in aviation to 2050. ICAO. 2022. URL: https://www.icao.int/sites/default/files/environmental-protection/Documents/EnvironmentalReports/2022/ENVReport2022_Art7.pdf
4. ReFuelEU aviation annual technical report 2026. EASA. 2026. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/refueleu-aviation-annual-technical-report-2026>

УДК 656.71:004.8:658.7

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ДІЯЛЬНОСТІ АЕРОПОРТІВ

Дудорова Д.С.,
здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Науковий керівник: Войченко Т.О., к.е.н., доцент
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: штучний інтелект, аеропорт, наземне обслуговування, авіаційна логістика, відновлення авіації України

Сучасний аеропорт є складною соціо-технічною системою, у якій одночасно працюють оператор аеропорту, авіакомпанії, наземні обслуговувачі, прикордонні й митні служби, служби безпеки та організації управління повітряним рухом [1]. Кожен учасник володіє власними даними й ухвалює рішення за власною логікою, але затримка в одній ланці миттєво передається далі: запізніле завантаження літака зсуває виліт, виліт зсуває використання стоянки, а стоянка визначає, куди сяде наступний рейс. Навантаження на цю систему постійно зростає. За оцінкою ACI World, у 2025 р. світовий пасажиропотік мав сягнути 9,8 млрд осіб, що на 3,7% більше, ніж

у 2024 р. (9,4 млрд); оцінку зроблено за даними понад 2800 аеропортів у понад 185 країнах і територіях [2].

Не менш напруженим є вантажний сегмент. За даними IATA, у 2025 р. попит на авіа вантажні перевезення, виміряний у вантажних тонно-кілометрах, зріс на 3,4% (на міжнародних напрямках – на 4,2%), а пропозиція потужностей збільшилася на 3,7%, тобто дещо випередила попит. Дохідні ставки (yield) при цьому знизилися на 1,5%, хоча залишаються на 37,2 % вищими за рівень 2019 р.; на 2026 р. IATA прогнозує уповільнення зростання попиту до 2,4% [3].

Саме в цих умовах штучний інтелект (ШІ) розглядають як інструмент, що має перетворити операційні дані на прогноз і рекомендацію для диспетчера, планувальника чи вантажного агента. За даними SITA, у 2025 р. авіатранспортна галузь вклала в технології рекордні 50,8 млрд дол. США: авіакомпанії – 36 млрд (3,6% виручки), аеропорти – 14,8 млрд, що становить 7,3% їхньої виручки проти 6,4% роком раніше [4]. З цих співвідношень розрахунково випливає, що виручка аеропортів приблизно в п'ять разів менша за виручку авіакомпаній, а частка ІТ-видатків у ній приблизно вдвічі вища. Це узгоджується з тим, що аеропорт є капіталомісткою інфраструктурою, продуктивність якої залежить від якості управління потоками.

Практичне застосування ШІ вже помітне в операціях. Частка аеропортів, які використовують його в обороті літака, зросла з 36% у 2024 р. до 53% у 2025 р., а в кібербезпеці – з 51% до 64%. Кібербезпека залишається головним технологічним пріоритетом аеропортів (71 %) і основним мотивом інвестицій в інфраструктуру (68%). Серед авіакомпаній 63% уже застосовують ШІ в управлінні операціями: для роботи зі збоями, призначення повітряних суден і забезпечення екіпажами [4].

Статистика свідчить, що ШІ виходить зі стадії експерименту насамперед у добре формалізованих процесах: кібербезпеці, обороті літаків, роботі з багажем. Найпоказовішим є оборот літака, тобто проміжок між прибуттям на стоянку й повторним вильотом. Щоб зрозуміти його контекст, варто звернутися до концепції колаборативного прийняття рішень в аеропорту (A-CDM). Вона сама не є ШІ, але створює для нього основу: обмін оперативними даними між усіма учасниками формує спільну картину ситуації й дозволяє точніше передбачати час вильоту. За оцінкою EUROCONTROL, зробленою за досвідом 17 аеропортів і опублікованою у 2016 р., A-CDM скорочує час руління, витрати палива й затримки через управління потоками, зменшує кількість пізніх змін стоянок і гейтів та підвищує пікову пропускну здатність вильотів [5]. За тією ж оцінкою, інвестиції можуть окупитися приблизно за 18 місяців лише за рахунок тактичної економії авіакомпаній. Сукупна річна економія цих аеропортів перевищувала 34 тис. т палива (близько 100 тис. т CO₂, або 26,7 млн євро) і майже 250 тис. хвилин затримок управління потоками (близько 15,5 млн євро), а середнє скорочення часу руління на виліт, залежно від аеропорту, становило від 0,25 до 3 хвилин [5].

Другою областю, де цифрові рішення підтримують планувальників, є розподіл літаків за стоянками й гейтами. За оцінкою EUROCONTROL, 11 із 17

аеропортів A-CDM відзначили суттєвий ефект у плануванні стоянок, зокрема меншу кількість пізніх змін стоянок [5]; такі дані про прибуття й готовність до вильоту є природною основою для моделей III.

Безпека й кібербезпека також належать до тих областей, де аеропорти найбільш готові до III. Виявлення аномалій у роботі систем і мережевому трафіку використовують уже 64 % аеропортів, і мета цієї практики полягає в тому, щоб раніше помічати інциденти й скорочувати час реагування [4]. Така динаміка пов'язана з тим, що кібербезпеку 71% аеропортів вважають першочерговим технологічним пріоритетом: аеропорт є критичною інфраструктурою, де збій IT-систем швидко перетворюється на операційний збій.

Окремо слід згадати біометричну ідентифікацію пасажирів. Біометричний прикордонний контроль, який уже діє у 54% аеропортів, за прогнозом SITA охопить 83% до 2028 р. [4]. Це напрям, де ціна помилки (хибного спрацювання, упередженості моделі) і ризики для приватності особливо високі.

Багаж є одним із найкраще задокументованих прикладів вимірюваного ефекту цифровізації. За даними SITA, у 2025 р. рівень неправильного поводження з багажем знизився на 23% до 4,9 випадку на 1000 пасажирів, а загальна кількість випадків скоротилася на 19% до 24 млн; уперше показник опустився нижче докризового рівня попри рекордний обсяг перевезень, а з 2007 р. він зменшився майже на три чверті [6]. SITA пов'язує поліпшення з обміном даними між системами в реальному часі, маршрутизацією на основі III, біометричним здаванням багажу й підключеними пристроями пасажирів. Втрати галузі оцінено в 6,3 млрд дол. США, а середню вартість одного інциденту переглянуто зі 150 до 260 дол. США [6].

Авіа вантажний сегмент цифровізується повільніше за пасажирський. Ключовим кроком є електронна авіа накладна (e-AWB): IATA визначила її стандартним договором перевезення, що усуває потребу друкувати, обробляти й архівувати паперовий документ [7]. Цифрові документи є передумовою для застосування III у вантажних процесах, адже модель не може працювати з даними, яких немає в електронному вигляді.

В українському контексті питання постає інакше. Повітряний простір України закритий для цивільної авіації з 24 лютого 2022 р., і, за заявою Мінрозвитку у червні 2026 р., безпекові ризики поки не дозволяють його відкрити. Водночас держава готується до перезапуску: у березні 2026 р. створено робочу групу з підготовки до відновлення функціонування аеропортів, а державні аеропорти «Львів» і «Бориспіль» мають бути готовими відкритися наступного ж дня після того, як це дозволить безпекова ситуація [8]. Тому для вітчизняних аеропортів III й обмін даними у форматі A-CDM є, на нашу думку, не засобом нарощування пропускної здатності перевантажених хабів, а інструментом швидкого й безпечного перезапуску: прогнозування потоків і ресурсів за поетапного відкриття, планування стоянок і наземного обслуговування на початковому етапі, захист IT-систем критичної

інфраструктури. Ці напрями доцільно закладати в проєкти відновлення вже зараз, поки аеропорти не працюють.

Висновок

Отже, ШІ в аеропортах і авіа логістиці переходить від пілотних проєктів до практики, але нерівномірно: понад половина аеропортів (53%) застосовує його в обороті літака, а майже дві третини (64 %) – у кібербезпеці [4]. Водночас генеративний ШІ, який 79% авіакомпаній називають головним інвестиційним пріоритетом на найближчі 12 місяців, поки що є радше наміром, ніж реальністю [4]. Для України, на нашу думку, не менш важливою за технології є готовність аеропортів до перезапуску – інфраструктурна, цифрова й кадрова, – яку слід закладати в плани відновлення вже сьогодні [8].

Список використаних джерел

1. Василенко І. В., Яременко В. Ю., Литвиненко С. Л. Особливості організаційно-технологічного забезпечення діяльності міжнародних аеропортів. *Наукоємні технології*. 2023. № 2 (58). С. 207–216. URL: <https://jrnl.kai.edu.ua/index.php/SBT/article/view/17658>
2. ACI World. Global air travel forecasted to reach 9.8 billion passengers in 2025, nearing the historic 10 billion milestone: press release. Montreal, 30 Sept. 2025. URL: <https://aci.aero/?p=130808>
3. IATA. Global air cargo demand achieved record volume in 2025 : press release. Geneva, 29 Jan. 2026. URL: <https://www.iata.org/en/pressroom/2026-releases/2026-01-29-01/>
4. SITA. 2025 Air Transport IT Insights. Geneva, 2026. URL: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/air-transport-it-insights-2025/>
5. EUROCONTROL. Airport collaborative decision-making (A-CDM) impact assessment: final report. Brussels, 2016. URL: <https://www.eurocontrol.int/publication/airport-collaborative-decision-making-cdm-impact-assessment>
6. SITA. Baggage IT Insights 2026. Geneva, 2026. URL: <https://www.sita.aero/resources/surveys-reports/sita-baggage-it-insights/>
7. IATA. e-freight / e-AWB. URL: <https://www.iata.org/en/programs/cargo/e/efreight/>
8. Україна готова відновити авіасполучення, щойно це буде безпечно – Мінрозвитку. Укрінформ. 11.06.2026. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/4132846-ukraina-gotova-vidnoviti-aviaspolucenna-sojno-ce-bude-bezpecno-minrozvitku.html>

UDC 004.89:005.53:656.7

ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DECISION SUPPORT IN AVIATION OPERATIONS

*Kolomiichuk Sergii,
Doctor of Engineering, Project Manager
Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation IFF,
Magdeburg, Germany*

Keywords: artificial intelligence; aviation operations; decision support; AI assurance; European regulation.

Artificial intelligence (AI) can support disruption forecasting, resource coordination, engine maintenance and engineering documentation. This paper reviews these applications and proposes a staged implementation approach informed by European regulation. The qualitative review uses institutional publications, research and industry announcements available on 15 October 2026. It distinguishes reported applications, research objectives and implementation recommendations; no experimental results are claimed.

Airport operations require coordination between aircraft, ground handlers, stands and departures. EUROCONTROL reports AI applications and turnaround-time prediction tools [1]. These forecasts can inform resource allocation and identify emerging delays. Evaluation should consider lead time, uncertainty and unnecessary interventions: a forecast delivered after the relevant decision may have little operational value.

EUROCONTROL identifies flight planning, traffic prediction and trajectory optimisation among its AI activities [1]. The SESAR AWARE project, scheduled for June 2024 to November 2026, is developing a controller assistant based on artificial situational awareness [2]. This ongoing research illustrates human–AI cooperation rather than generally deployed autonomous control. Tools must communicate limitations and support situational awareness during abnormal conditions.

Maintenance connects condition monitoring with troubleshooting and planning. In April 2026, Airbus announced JetBlue’s agreement to deploy Skywise Fleet Performance+, integrating monitoring, reliability assessment and predictive analytics [3]. This adoption commitment does not establish independently measured savings. Evaluation should address warning lead time, missed faults, false alerts and aircraft availability. Recommendations must remain connected to approved procedures and authorised personnel.

Rolls-Royce illustrates the longer evolution of engine services towards predictive maintenance. Power-by-the-Hour, introduced in 1962 for the Viper engine, offered engine and accessory replacement at a fixed cost per flying hour [9]. This was a service business model, rather than an AI technology. Its relevance is the alignment of commercial incentives with engine reliability and availability. The

subsequent Intelligent Engine vision, launched in February 2018, explicitly connected product engineering and services with advanced analytics, industrial AI and machine learning [10]. These milestones should not be interpreted as a single starting date for predictive maintenance.

A recent development concerns the integration of operational and maintenance information. In 2025, Rolls-Royce described an interface between Trax eMRO and its Blue Data Thread platform for the Trent 1000, Trent 7000 and Trent XWB families [11]. The interface connects engine configuration and maintenance information, supporting predictive maintenance and digital twin capabilities. The announcement illustrates the importance of data integration; it does not independently demonstrate a quantified reduction in failures or shop visits. For engine operators, the implementation question is how condition information becomes a timely, justified maintenance action within approved procedures.

Generative AI for engineering documentation

Predictive models analyse operational behaviour, while generative assistants can help engineers navigate technical requirements and prepare documentation. Boeing researchers describe CertifAler, an LLM-based assistant for commercial-airplane certification work [12]. Intended functions include answering questions about requirements, providing source links, generating compliance-report templates and reviewing draft documents. The paper emphasises an Authoritative Source of Truth, access-controlled information and continuing maintenance of the tool. It also identifies legacy databases, restricted data access and computing resources as implementation challenges.

CertifAler provides a useful example of assistance with certification activities, which must be distinguished from certification or approval of an AI system itself. The paper reports no quantitative benchmark of answer accuracy or time savings, and discusses retrieval-augmented generation as forward work [12]. Its contribution here is therefore a documented development approach. For a comparable assistant in maintenance engineering, the relevant document revision, source passage and applicability to the engine configuration should accompany an answer. This proposed extension requires domain-specific validation; it is not an established CertifAler maintenance capability.

The European regulatory context

The EU AI Act and aviation safety regulation must be considered together. The AI Act's Article 2(2) establishes a special scope for high-risk AI systems related to products covered by Annex I, Section B. Article 108 amends Regulation (EU) 2018/1139 so that specified aviation implementing and delegated acts concerning AI safety components take account of the requirements in Chapter III, Section 2 [4]. Consequently, the full horizontal high-risk regime should not automatically be applied to every aviation safety application. Equally, an airline's administrative, recruitment or passenger-service tool is not placed on the same regulatory pathway merely because its user operates in aviation. Classification must follow the intended purpose, system role and applicable legal provisions.

Implementation dates also require care. Following the 2026 AI Omnibus amendments, the Commission's timeline gives 2 December 2027 for Annex III high-risk rules and 2 August 2028 for high-risk AI embedded in regulated products covered by Annex I [5]. These milestones do not replace existing aviation approval obligations or resolve the sector-specific scope described above. Article 50 transparency provisions generally began applying on 2 August 2026, with a specific transition for certain pre-existing synthetic-content systems [5]. A passenger-facing chatbot should therefore be assessed separately from a safety-related operational assistant, including the applicable transparency requirements [6].

EASA's Proposed Issue 03 of its AI Concept Paper, published in June 2026, extends the framework towards additional techniques and advanced automation [7]. It is proposed guidance supporting regulatory development, not a binding standard or a guarantee of approval. Its development indicates the need to address AI assurance, human-centred design and safety risk mitigation together. Research on certifiable aviation AI likewise argues that performance metrics alone are insufficient to establish suitability, explainability and robustness [8]. Thus, a successful demonstration is only one part of the evidence needed for operational acceptance.

A staged implementation approach

Based on this review, a four-stage approach is proposed. First, define the operational decision, intended users, operating conditions and consequences of erroneous output. Determine the regulatory pathway before selecting a model or supplier. Distinguish an advisory function from a function authorised to initiate operational actions; retaining a human in the workflow does not by itself establish adequate risk control.

Second, establish a documented data and evaluation baseline. Identify data provenance, missing observations, representativeness and access restrictions. Compare the proposed tool with existing practice using relevant operational scenarios, including disruptions. Define acceptance thresholds for both model behaviour and the resulting workflow. For generative assistants retrieving technical information, an additional design measure is to display the approved source and revision so that users can verify the answer; fluent wording should never substitute for source validity.

Third, conduct controlled evaluation with representative users before expanding operational authority. Shadow-mode trials can compare recommendations with actual decisions without directly changing operations, where appropriate and permitted. Assess workload, misleading confidence, alert handling and the ability to recover when support is unavailable. Fourth, introduce monitored deployment with assigned ownership, recorded model and data versions, change control and a tested fallback procedure. Reassessment should follow material changes in the model, data or operating environment. These stages are recommendations from the present synthesis, not a substitute for an applicable certification or approval process.

Conclusions

AI can support aviation operations through better forecasts, engine-condition information and access to engineering knowledge. The examples show complementary roles for predictive analytics and generative assistance, each requiring appropriate evaluation. Engine-service experience also underlines the importance of connecting data with maintenance workflows and commercial responsibilities. Deployment should link operational value to verifiable evidence, clear accountability and the correct regulatory pathway. Bounded decision-support applications with measurable acceptance criteria offer a practical starting point for building implementation capability.

References

1. EUROCONTROL. Artificial intelligence. URL: <https://www.eurocontrol.int/artificial-intelligence>
2. SESAR Joint Undertaking. Achieving human-machine collaboration with artificial situational awareness — AWARE. URL: <https://www.sesarju.eu/projects/AWARE>
3. Airbus. JetBlue signs for Skywise Fleet Performance+. URL: <https://www.airbus.com/en/newsroom/press-releases/2026-04-jetblue-signs-for-skywise-fleet-performance-solution>
4. European Parliament and Council. Regulation (EU) 2024/1689 (Artificial Intelligence Act), as amended. 2024. Arts. 2, 108. *Official Journal of the European Union*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689>
5. European Commission. Timeline for the Implementation of the EU AI Act. URL: <https://ai-act-service-desk.ec.europa.eu/en/ai-act/timeline/timeline-implementation-eu-ai-act>
6. European Commission. AI Act Service Desk. Article 50: Transparency obligations for providers and deployers of certain AI systems. URL: <https://ai-act-service-desk.ec.europa.eu/en/ai-act/article-50>
7. European Union Aviation Safety Agency. EASA Concept Paper: Guidance for safety-related Artificial Intelligence applications. Proposed Issue 03. 2026. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/easa-artificial-intelligence-concept-paper-proposed-issue-3>
8. Bello H. et al. Towards certifiable AI in aviation: landscape, challenges, and opportunities. 2024. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.08666>
9. Rolls-Royce. Rolls-Royce celebrates 50th anniversary of Power-by-the-Hour. URL: <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases-archive/yr-2012/121030-the-hour.aspx>
10. Rolls-Royce. Rolls-Royce launches Intelligent Engine. URL: <https://www.rolls-royce.com/media/press-releases/2018/05-02-2018-rr-launches-intelligentengine.aspx>
11. Rolls-Royce. Investing in our digital services capability, to improve on-wing engine performance and resilience. 2025. URL: <https://www.rolls-royce.com/media/our-stories/discover/2025/investing-in-our-digital-services-capability.aspx>

12. Kabir M., DePauw T., Nitereka C., Dong J., Khan I., Subramanian V. Development of a Commercial Airplane Certification AI Digital Assistant. *AIAA SCITECH 2024 Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2024-1528>

УДК: 629.3(043)

**МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ
ЧАСТОТИ ЗМІННОГО СТРУМУ АЕРОДРОМНОГО ДЖЕРЕЛА
ЖИВЛЕННЯ АПА-5Д ШЛЯХОМ ІНТЕГРАЦІЇ СУЧАСНИХ
ЗАСОБІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО МОНІТОРИНГУ**

*Кушка І.С, слухач,
Бусилко О.А, старший викладач,
Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба, Харків*

Ключові слова: АПА-5Д, генератор ГТ40ПЧ6, діагностування, частота змінного струму, тахогенератор.

У представленій роботі розглядається питання підвищення експлуатаційної надійності аеродромно-пересувного агрегату АПА-5Д через оптимізацію системи діагностування параметрів частоти змінного струму генератора ГТ40ПЧ6. Обґрунтовано впровадження тахогенератора та прецизійних вимірювальних пристроїв для забезпечення високоточного контролю частотних характеристик. Запропоноване технічне рішення мінімізує ймовірність виникнення відмов у процесі наземного обслуговування авіаційної техніки, сприяє подовженню міжремонтного ресурсу генераторної установки та підвищує загальну економічну ефективність експлуатації спецтранспорту.

Систематичне вдосконалення процесів проектування, виробництва та експлуатації аеродромних електроагрегатів виступає фундаментальним чинником забезпечення їх функціональної надійності [1]. Переривання енергопостачання під час перед польотного обслуговування повітряних суден унаслідок дестабілізації роботи системи автоматичного регулювання частоти є критично неприпустимим явищем.

Аналіз експлуатації АПА-5Д у реальних умовах виконання операційних завдань підтверджує, що амплітудно-частотні коливання зумовлені як екзогенними чинниками (дефекти паливної апаратури, невідповідність фізико-хімічних властивостей палива, температурний режим приводного дизеля), так і ендогенними детермінантами, зокрема некоректним функціонуванням компонентів автоматики — блоку стабілізації частоти (БСЧ) та виконавчих механізмів типу РК-2Д [1;4].

Об'єктом даного дослідження виступає аеродромно-пересувний агрегат АПА-5Д у поєднанні з підсистемами діагностування частотних параметрів

генератора змінного струму ГТ40ПЧ6 [2;3]. Мета роботи полягає у проведенні розрахункового аналізу генераторної установки, результати якого інтегруються в удосконалену архітектуру системи контролю частотних показників.

Модернізація контуру контролю частоти змінного струму передбачає інсталяцію тахогенератора та спеціалізованої контрольно-вимірювальної апаратури, що забезпечує верифікацію та фіксацію частоти відповідно до встановлених технічних регламентів. Розроблена система є інноваційною для даного типу агрегатів, а її впровадження є доцільним з огляду на покращення тактико-технічних характеристик обладнання. У практичній площині запропоноване рішення характеризується низькою трудомісткістю обслуговування та не потребує додаткових регламентних робіт, орієнтуючись на встановлені графіки сервісу базового приводного двигуна, який виконує роль силового привода електроагрегату.

Імплементація новітньої системи діагностування частотних параметрів дозволяє пролонгувати термін експлуатації як генераторної установки, так і вузлів трансмісії шасі, що зумовлює вищу економічну рентабельність порівняно з існуючими аналогами

Висновок

Проведений аналіз показав, що підвищення експлуатаційної надійності аеродромно-пересувного агрегату АПА-5Д безпосередньо пов'язане з удосконаленням системи контролю частоти змінного струму генератора ГТ40ПЧ6. Запропоноване застосування тахогенератора та високоточних контрольно-вимірювальних приладів забезпечує підвищення точності контролю частотних параметрів і дозволяє своєчасно виявляти відхилення в роботі генераторної установки та системи автоматичного регулювання частоти. Реалізація запропонованого технічного рішення сприяє зменшенню ймовірності відмов під час наземного обслуговування авіаційної техніки, підвищенню надійності та довговічності обладнання, а також зниженню експлуатаційних витрат. Таким чином, удосконалення системи діагностування частотних параметрів АПА-5Д є доцільним напрямом підвищення його експлуатаційної ефективності та готовності до виконання завдань за призначенням.

Список використаних джерел

1. Розробка пропозицій щодо підвищення надійності електроагрегату АПА-5Д шляхом заміни колекторного генератора ПР600×2 на синхронний генератор ГТ40ПЧ6 //Матеріали XVI Міжнародної наукової конференції ХНУПС ім. І. Кожедуба. – Харків, 2020.
2. Аеродромно-пересувний агрегат АПА-5Д: технічні характеристики та будова. URL: https://er.kai.edu.ua/server/api/core/bitstreams/eb19a1af-de4d-4bd7-848c-ccb165da2dbf/content?utm_source
3. Генератори змінного струму. Призначення, основні технічні дані, будова та робота генератора ГТ-40ПЧ6. URL:

<https://libarch.nmu.org.ua/bitstream/handle/GenofondUA/60757/9ef6bf294f45c571e218c13d41a41e78.pdf?isAllowed=y&sequence=1&>

4. АПА-5Д: технічні характеристики та склад обладнання. URL: <https://rua.archive.cx.ua/articles/modifikaciiavtomobilja.html>

UDC 656.0:005.35

THE SOCIAL DIMENSION OF ESG IN TRANSPORTATION

Miedviedieva Natalia, Ph.D., Associate Professor

Miedviedieva Kamila,

student of the first (bachelor's) level of higher education

National university "Kyiv aviation institute", Kyiv

Keywords: ESG, social indicators, sustainable transport, social responsibility, occupational health and safety.

The widespread adoption of ESG (Environmental, Social, and Governance) principles is transforming approaches to evaluating the performance of transport organizations. Alongside the environmental impacts of transportation, increasing attention is being paid to social impacts related to safety, accessibility of transport services, quality of employment, and respect for stakeholders' rights. Unlike traditional operational performance indicators, the social dimension of ESG (the S component) reflects the impact of transport activities on employees, passengers, and local communities [1, 2].

The aim of this study is to systematize the main areas of social responsibility in the transport sector and to substantiate a set of indicators for integrating the social component of ESG into the management processes of transport organizations. The methodological framework is based on a comparative analysis of publicly available materials published by the European Commission and the International Association of Public Transport (UITP), as well as a synthesis of approaches to assessing social performance.

A distinctive feature of the transport sector is that it simultaneously generates internal and external social impacts. The internal dimension encompasses safe working conditions, personnel training, non-discrimination, and social dialogue. The external dimension includes the physical and financial accessibility of mobility, road safety, service quality, and the impact of transport infrastructure on local communities. The fairness of the transport transition is also becoming increasingly important: decarbonization measures should not undermine access to essential services for vulnerable population groups [1].

According to the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 25,781 road traffic accidents involving casualties were recorded in Ukraine in 2024, resulting in 3,202 fatalities and 32,023 injuries. Compared with 2023, the number of fatalities increased by approximately 4.9%, while the number of road traffic accidents

involving casualties rose by 9%. This trend highlights the need to strengthen the social component of ESG in the transport sector, particularly by improving road safety, preventing transport-related risks, and protecting the lives and health of road users. Therefore, the social performance of transport activities should be assessed not only in terms of the volume of services provided but also through transport safety indicators and the minimization of adverse social impacts [3].

Another aspect of the social component of ESG is related to employment and human capital development. According to a study conducted by the Ministry for Development of Communities and Territories of Ukraine in cooperation with the World Bank, approximately one-third of employers in the transport sector experienced difficulties in recruiting personnel during 2024–2025, while drivers accounted for almost half of all vacancies. The shortage of qualified personnel, exacerbated by the consequences of the war, migration, and military mobilization, creates a need to develop vocational retraining programmes, ensure appropriate working conditions, and attract new categories of employees. These factors directly affect the operational stability of transport enterprises, as well as the reliability and quality of transport services [4].

In addition to ensuring appropriate working conditions and developing human resource capacity, meeting the needs of transport service users is an important area of social responsibility for transport enterprises. In this context, the issue of transport poverty is of particular importance (Table 1). A European Commission study examines transport poverty in terms of four key dimensions: the availability of transport services, physical accessibility, affordability, and adequacy in meeting users' needs [1].

Table 1. Proposed System of Indicators for Assessing the Social Component of ESG in Transport Organizations

Social (S) Dimension	Examples of KPIs	Data Sources
Safety	Number of road traffic accidents per 1 million km; occupational injury frequency rate	Incident records; occupational health and safety reports
Accessibility	Share of accessible vehicles, %; share of routes with barrier-free access, %	Vehicle registers; route accessibility audits
Service Quality	Number of complaints per 10,000 trips; percentage of services operating on schedule, %	Customer Relationship Management (CRM) systems; dispatch reports
Labor Relations	Employee turnover rate, %; training hours per employee	HR statistics; training records
Social Inclusion	Proportion of users with reduced mobility served; survey results	Accessibility assessments; user surveys

Note. The KPIs are proposed by the author as examples of performance indicators; the characteristics presented do not represent actual measurements of the performance of any specific transport operator.

The proposed indicators should be applied in conjunction with the establishment of baseline values, target values, designated responsible personnel, and monitoring frequency. Safety indicators should be normalized according to

transport activity or risk exposure, while accessibility indicators should be differentiated by geographical areas and user groups. This approach reduces the risk of merely formal ESG reporting without evidence of actual social performance outcomes.

The integration of the social component of ESG into the management system of a transport operator involves four consecutive stages: identification of stakeholders and social risks; identification of material social aspects and relevant KPIs; establishment of goals, measures, and responsibilities; and monitoring, data verification, and implementation of corrective actions.

Conclusions

Thus, the social dimension of ESG in transportation should be considered as a set of measurable characteristics related to safety, accessibility, service quality, and responsible labor practices. The practical significance of the proposed approach lies in its potential to integrate social objectives into existing risk management, internal auditing, and performance evaluation procedures. Further research should focus on determining the relative weights of the proposed indicators, taking into account different modes of transport and stakeholder characteristics.

References

1. European Commission. Transport poverty: Definitions, indicators, determinants, and mitigation strategies: final report. Luxembourg: Publ. Office of the European Union, 2024. DOI: 10.2767/0662480.
2. European Commission. Urban public transport & shared mobility. URL: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/urban-transport/urban-public-transport-shared-mobility_en
3. Ministry of Internal Affairs of Ukraine. Road traffic accident statistics for 2024 announced by the Ministry of Internal Affairs [in Ukrainian]. 30 January 2025. URL: <https://mvs.gov.ua/news/u-mvs-ozvucili-statistiku-dtp-za-2024-rik>
4. Ministry for Development of Communities and Territories of Ukraine. Ministry for Development and World Bank present study on addressing workforce shortages in Ukraine's transport sector [in Ukrainian]. 04 February 2026. URL: <https://mininfra.gov.ua/news/minrozvytku-ta-svitovyi-bank-prezentuvaly-doslidzhennia-shchodo-podolannia-defitsytu-kadriv-u-transportnomu-sektori-ukrainy>

УДК 004.9:656.7

ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ У ТРАНСПОРТНІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ ТА МЕТОДИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

Павленко П.М., д.т.н., професор.

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Чередніков О.М., к.т.н., доцент, провідний науковий співробітник

*Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації
озброєння та військової техніки, м. Черкаси*

Петров В.В.,

здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: цифровий двійник, транспортна інфраструктура, інформаційна інтеграція.

Сучасний етап розвитку глобальної економіки супроводжується глибокою цифровою трансформацією логістичних і транспортних систем та технологій. Відновлення транспортної галузі України потребує узгодження інфраструктурних інвестицій із підвищенням якості експлуатаційних рішень. За оцінкою RDNA5, потреби у відновленні транспортного сектору станом на 31 грудня 2025 р. перевищували 96 млрд дол. США [1]. В умовах сучасних глобальних викликів і наявної невизначеності, особливо на тлі необхідності повоєнного відновлення транспортної галузі України, технологія цифрових двійників (Digital Twins) постає як реальний і потужний стратегічний інструмент для оптимізації процесів. Цифровий двійник – це віртуальна копія фізичного об'єкта, процесу або системи, що функціонує в режимі реального часу та дозволяє моделювати, аналізувати й прогнозувати стан реального активу, упереджуючи його перехід у критичний стан. В авіаційному транспорті ця технологія охоплює як життєвий цикл повітряних суден, так і функціонування аеропортової інфраструктури. Цифрові двійники можуть підтримувати обґрунтування пропускнуєї спроможності, надійності та взаємодії відновлюваних об'єктів. Однак їхня корисність і ефективність залежать від відповідності розроблених моделей реальному стану інфраструктури та умовам її використання.

Мета даного дослідження і доповіді – визначити основні проблемні обмеження у застосуванні цифрових двійників у транспортній галузі України та запропонувати методологічний підхід до їх поетапного подолання. Основою такого підходу є системний аналіз взаємозв'язків між даними, моделями, управлінськими рішеннями та організацією експлуатації. Особливу увагу приділено аеропортам як складним транспортним вузлам. Запропонований підхід має концептуально-методологічний характер. Його результативність потребує подальшої перевірки на конкретних об'єктах.

Цифровий двійник розглядається авторами як розроблене та актуалізоване на основі спостережень цифрове представлення конкретного об'єкта або процесу, призначене для оцінювання його стану, прогнозування поведінки та забезпечення ухвалення оптимальних рішень. Наявність тривимірної моделі сама по собі не забезпечує цих функцій. Для транспортної системи визначальними є відтворення технологічних залежностей, узгодженість часових характеристик даних і можливість перевірити прогноз. Практичну реалізованість інтеграції різномірної інформації для наземного обслуговування повітряних суден показано, зокрема, на прикладі аеропорту Абердина (Англія) [2]. Перенесення такого досвіду в Україну потребує адаптації до місцевої інфраструктури та робочих режимів.

Незважаючи на значний потенціал, впровадження цифрових двійників у вітчизняну транспортну, зокрема й авіаційну, галузь стикається з низкою фундаментальних проблем. Так, першу групу проблем становлять фрагментованість інфраструктури даних і відсутність єдиних стандартів. Вітчизняні транспортні підприємства та аеропорти історично використовують розрізнені ІТ-системи, що ускладнює семантичну інтеграцію даних (Data Interoperability) у єдине середовище цифрового двійника. Для об'єктів, що експлуатуються тривалий час, проєктна документація може не відображати фактичних змін, а відомості про технічний стан, ремонти й навантаження — зберігатися в різних системах. Рішенням має бути початковий аудит даних, який включає визначення критичних параметрів, перевірку їхнього походження, встановлення єдиних ідентифікаторів об'єктів і правил часової прив'язки. Додаткові датчики доцільно встановлювати там, де відсутність вимірювань істотно впливає на конкретне рішення. Відновлені розрахунковим шляхом значення необхідно відокремлювати від вимірних і супроводжувати оцінкою невизначеності.

Друга група проблем пов'язана з організаційною та інформаційною роз'єднаністю учасників перевезень. Аеропорт, перевізник, оператор наземного обслуговування та логістичне підприємство можуть по-різному визначати навіть однакові події. Тому технічного з'єднання їхніх систем недостатньо. Пропонується формувати об'єднання (асоціацію) локальних цифрових двійників, у якій кожний учасник підтримує власні дані й моделі, а обмін здійснюється за погодженими описами об'єктів, подій та інтерфейсами. Спільними мають бути значення показників, одиниці вимірювання, правила оновлення та відповідальність за якість інформації. Це дозволяє поступово розвивати систему та обмежити передачу конфіденційних відомостей. Необхідно застосовувати еволюційний підхід до розгортання. Замість спроб одночасного створення цифрового двійника всього аеропортового комплексу, доцільно використовувати метод поступового нарощування функціоналу.

Третя група проблем — втрата достовірності моделі в умовах зміни маршрутів, навантажень, складу обладнання та доступності інфраструктури. Модель, налаштована для усталеного режиму, не обов'язково придатна для порушеного транспортного сполучення. Потрібні повторне оцінювання

параметрів і контроль розбіжностей між прогнозом і спостереженнями. Для фізичних об'єктів доцільне поєднання механістичних моделей із методами оброблення даних, для операційних процесів – дискретно-подієве моделювання з актуалізацією тривалості операцій і ресурсних обмежень. Принципи верифікації, валідації та кількісного оцінювання невизначеності мають супроводжувати весь життєвий цикл цифрового двійника [3].

Для практичного використання пропонується застосування паспорта придатності цифрового двійника до визначеного класу рішень. Він повинен містити перелік перевірених режимів, допустимі похибки, граничний вік даних, горизонт прогнозування, версію моделі та порядок дій у разі виходу за встановлені межі. Наприклад, придатність моделі для планування добового завантаження термінала не означає її придатності для оперативного керування рухом техніки. Допуск до автоматизованого впливу слід пов'язувати з критичністю наслідків помилки та результатами випробувань, а не лише з точністю прогнозу в середньому.

Четверта група проблем охоплює кіберзахист і безперервність роботи. Авіаційна галузь належить до критичної інфраструктури. Інтеграція фізичних систем із віртуальними середовищами багаторазово збільшує поверхню атак для потенційних кіберзагроз, що вимагає впровадження концепції нульової довіри (Zero Trust). Деталізований двійник транспортного вузла акумулює відомості, використання яких потребує розмежування доступу. Важливість захисту даних, моделей і каналів взаємодії підкреслюється в рекомендаціях NIST [4]. Для українських умов пропонується розподілена архітектура з локальним виконанням критичних функцій, резервним зберіганням і контрольованим відновленням синхронізації. У разі втрати зв'язку система повинна позначати застарілі дані, обмежувати довіру до прогнозу та переходити до наперед визначених процедур. Збереження доступності інтерфейсу не можна ототожнювати зі збереженням достовірності його рекомендацій.

Для України важливим є вирішення п'ятої групи проблем, пов'язаної з дефіцитом фінансових ресурсів і кадровим голодом. Розгортання повноцінних цифрових двійників вимагає масштабних інвестицій в IoT-сенсорику, хмарні обчислення та системи обробки великих даних (Big Data). Наразі також спостерігається гостра нестача міждисциплінарних фахівців (Data Scientists у галузі авіаційної інженерії), здатних розробляти та експлуатувати предиктивні моделі машинного навчання для цифрових двійників. Економічні й кадрові обмеження доцільно долати через пілотні впровадження з визначеним власником процесу та підготовкою спільних інженерно-аналітичних команд. Початковим об'єктом може бути система енергозабезпечення аеропорту або вантажний термінал. Витрати мають охоплювати вимірювання, інтеграцію, перевірку моделей, захист і супровід. Результативність слід оцінювати за тривалістю простоїв, точністю прогнозу завершення операцій, використанням ресурсів і часом відновлення працездатності.

Необхідна розробка національної стратегії інтероперабельності транспортних даних, гармонізованої зі стандартами IATA та ICAO. Це дозволить створити єдиний інформаційний простір для обміну даними між аеропортами, авіакомпаніями та провайдерами аеронавігаційного обслуговування. Для аеропортової інфраструктури України пропонується розмежувати підтримання технічної готовності наявних об'єктів і підготовку до роботи з майбутніми транспортними потоками. Сценарні розрахунки майбутнього завантаження слід трактувати як перевірку різних варіантів організації роботи. Вони не підтверджують поточної експлуатаційної ефективності. Після отримання актуальних операційних даних необхідні повторна ідентифікація параметрів та їх валідація. Така послідовність дозволяє застосовувати моделювання на етапі відновлення, не підмінюючи результати натурної перевірки прогнозом.

Практична реалізація запропонованого підходу передбачає таку послідовність дій: «визначення рішення – аудит даних – побудова та перевірка моделі – робота в дорадчому режимі – оцінювання ефекту – розширення застосування». Перехід між даними етапами має залежати від виконання критеріїв приймання.

Висновок

Основною умовою результативного використання цифрових двійників у транспортній галузі України є керована відповідність між якістю даних, достовірністю моделей та відповідальністю управлінського рішення. Запропоновано поєднати створення та організацію впровадження цифрових двійників із паспортом їхньої придатності та поетапним допуском до експлуатації. Подальші дослідження мають встановити кількісні критерії такого переходу для окремих транспортних процесів і перевірити їх на пілотних об'єктах. Таким чином, використання цифрових двійників у транспортній галузі України є не просто сучасним технологічним трендом, а необхідною умовою виживання, розвитку та інтеграції вітчизняної авіації у глобальні логістичні ланцюги. Вирішення наявних груп проблем вимагає синергії зусиль держави, науки та бізнесу, спрямованих, в першу чергу, на стандартизацію протоколів, забезпечення кіберстійкості та модернізацію освітніх програм підготовки фахівців нового покоління.

Список використаних джерел

1. World Bank. Updated Ukraine Recovery and Reconstruction Needs Assessment Released. 23.02.2026. URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2026/02/23/updated-ukraine-recovery-and-reconstruction-needs-assessment-released>.
2. J. Conde et al. Applying digital twins for the management of information in turnaround event operations in commercial airports. *Advanced Engineering Informatics*. 2022. Vol. 54. Art. 101723. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2022.101723>.

3. Павленко П.М. Цифровий двійник оцінювання міцності та залишкового ресурсу авіаційної конструкції Міжнародна науково-практична конференція «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». Чернігів, 2026. С. 97–99 URL: https://drive.google.com/file/d/1AfuylnxZrv2Oq_LCgLnzczhAdF_fhhZh/view
4. Security and Trust Considerations for Digital Twin Technology /J. Voas et al. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2025. NIST IR 8356. <https://doi.org/10.6028/NIST.IR.8356>.

UDC 656.7.08:004.946

CONCEPTUAL APPROACHES TO EXPANDING THE FUNCTIONALITY OF AUGMENTED REALITY SYSTEMS IN AVIATION CARGO LOGISTICS

*Pavlenko Iryna,
student of the first (bachelor's) level of higher education
Scientific supervisor: A. Viniukov-Proshchenko,
PhD in Economics, Associate Professor
National university "Kyiv aviation institute", Kyiv*

Keywords: augmented reality (AR); aviation cargo logistics; cargo terminal; dangerous goods; IATA standards; computer vision; Internet of Things (IoT); block chain; temperature-sensitive cargo; operator training.

Aviation cargo terminals are among the most regulated environments in logistics, where every operation is conducted in accordance with strict IATA rules and standards. Despite the ongoing digitalization, a significant portion of operations still relies on human workers. This results in human errors. Augmented reality systems have the potential to eliminate these problems; however, their capabilities in aviation logistics are, unfortunately, only partially realized.

Object of research: cargo handling processes at an aviation cargo terminal, including dangerous goods, marking control, temperature-controlled storage, loading and unloading operation. **Subject of research:** conceptual approaches to expanding the functionality of augmented reality system in aviation cargo logistics.

The objective of the work is to develop conceptual approaches to expanding the functionality of AR systems for aviation cargo terminals, going beyond existing navigation and guidance solutions. **Research methods:** analysis of scientific publications on AR in logistics and related fields, synthesis of the technological capabilities of modern AR devices, and assessment of the practical feasibility of the proposed concepts.

Concept 1. Intelligent AR Recognition of Dangerous Goods Markings (DG-Scanner). According to applicable rules and regulations, all dangerous goods must bear special hazard markings to ensure identification of the goods' hazardous

properties by personnel and aviation security services, indicating that the cargo vehicle is carrying dangerous substances that may cause death, injury, or other adverse consequences.

The proposed concept combines a computer vision neural network with a real-time AR display. The AR glasses camera scans the shipment surface; the model classifies the present hazard labels according to the IATA classification (classes 1–9: explosives, gases, flammable liquids, toxic substances, etc.) and compares them against the mandatory set required for the given cargo. When a missing or damaged marking is detected, the AR interface highlights the problematic area in red directly on the physical object. The advantage of this approach is that the operator does not need to memorize the list of mandatory labels the system handles that. The expected effect is a significant reduction in verification time and elimination of marking-omission errors.

Concept 2. Thermal AR Map of the Warehouse for Temperature-Sensitive Cargo (ThermoLayer). Temperature-controlled logistics involves the storage, transportation, and distribution of temperature-sensitive cargo. It ensures that the temperature throughout the supply chain remains consistent that is, controlled from the moment of packaging through maintaining the cold chain, until the shipment reaches its destination.

An aviation terminal handles shipments in the PER (perishables) and TCR (temperature-controlled) categories, for which improper placement in the wrong warehouse zone may result in spoilage or a violation of carriage requirements. To prevent this, the concept proposes integrating data from warehouse IoT temperature sensors with an AR display. The operator will see a heat layer overlaid on the real space, where the current temperature of each zone is indicated by color. When approaching an unsuitable zone with a temperature-sensitive shipment, the system automatically sends a warning notification. This solution reduces the likelihood of errors caused by inattentiveness during a busy shift or by the human factor.

Concept 3. Contactless Voice and Gesture Control of the AR Interface (HandsFree Mode). Demand for online shopping and fast delivery is growing quite rapidly. Staff shortages are slowing order processing, so logistics companies are having to find ways to maintain productivity to avoid disappointing customers.

The standard operational cycle at a CARGO terminal involves constant manual labour – specifically the handling of goods, securing packaging materials, and operating a forklift. Interacting with an AR interface via touchscreens or a smartphone is at odds with this reality. The proposed HandsFree mode combines two methods of input: voice commands (for confirming procedure steps, issuing prompts, and documenting damage) and hand gesture recognition (for confirming navigation and viewing information cards). Both technologies are already present in industrial AR devices (e.g., Microsoft HoloLens 2), but their comprehensive adaptation to the specific requirements of aviation logistics, accounting for the noisy terminal environment and operators' gloves, is a separate research task.

Concept 4. AR Simulator for Training Aviation Terminal Operators (CargoSim AR). Logistics operators' performance efficiency is always an important component

of the supply chain. The complex regulatory framework and large volume of information complicate the onboarding of new operators.

The proposed CargoSim AR concept envisions a full digital copy of the warehouse, in which a trainee performs real steps in a simulated environment: accepting conditional shipments, identifying intentional marking errors, assembling ULDs, and processing cargo. The system records every mistake and generates a report for the supervisor. The advantage over conventional training is the absence of risk of a real incident, unlimited repetitions of critical scenarios (e.g., detection of undeclared DG cargo), and the possibility of completing basic modules remotely. The expected effect is a reduction in the adaptation period for a new operator from 2–3 weeks to 5–7 working days, along with practice of all possible hazard scenarios and readiness for them.

Concept 5. AR Display of Block chain Tracking of the Cargo Custody Chain (Chain View). An aviation shipment passes through a large number of supply chain participants the shipper, the agent, the departure terminal, the airline, the destination terminal, and the consignee. Each transfer is recorded in the AWB; however, this information is scattered across various systems and applications.

The Chain View concept proposes that when scanning a cargo barcode, the AR glasses display a graphical timeline of all steps, with timestamps and the names of the responsible individuals who performed actions on the cargo, pulled from the blockchain registry. The operator instantly sees whether there are delays, whether the cargo's physical parameters match the declared ones, and where in the chain deviations and problems occurred. This is especially critical for VAL (valuable) shipments, where the integrity of the documentary chain is a legal requirement. Blockchain in logistics is considered a promising direction; integration with AR is a new avenue. This concept will help improve processing speed and prevent cargo risks.

Conclusions

The five proposed concepts for expanding AR functionality systematically address the key challenges of aviation cargo logistics from the safe identification of dangerous goods to supply chain transparency. The practical value of the work lies in identifying priority directions for developing intelligent AR platforms that integrate computer vision, IoT, and blockchain into a unified operational environment for the CARGO terminal.

References

1. Tubis A. A., Jodejko-Pietruczuk A., Nowakowski T. Use of Augmented Reality as a Tool to Support Cargo Handling Operations at the CARGO Air Terminal. *Sensors*. 2024. Vol. 24. P. 1099. DOI: 10.3390/s24041099.
2. Rejeb A., Keogh J. G., Treiblmaier H. Potentials and Challenges of Augmented Reality Smart Glasses in Logistics and Supply Chain Management. *International Journal of Production Research*. 2021. Vol. 59, No. 14. P. 3747-3776.
3. Chala O. V., Oleksienko Y. I. The Application of Augmented Reality Technologies in Supply Chain Management Systems. *Bulletin of the National*

Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”. Series: Mechanical and Technological Systems and Complexes. 2022. No. 2. P. 45-51.

УДК 656.7:004.9

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ ЯК ЧИННИК ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

Полюхович Наталія

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Габрієлова Т.Ю., к. е. н., доц.

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: авіаційний транспорт, штучний інтелект, ефективність авіаперевезень, цифровізація.

Авіаційний транспорт – складна система з багатьма учасниками: аеропортами, авіакомпаніями, провайдерами аеронавігаційного обслуговування та Євроконтролем. Кожен має власні дані, проте їх використовують недостатньо ефективно. Цифровізація означає обмін цими даними та їх аналіз, що підвищує пропускну здатність, ефективність і безпеку.

У Європі цифрову трансформацію галузі координує SESAR 3 JU у межах програми Digital European Sky. Оновлений у 2024 р. Європейський план розвитку АТМ визначає дорожню карту цифровізації до 2045 р. [2]. За оцінкою Єврокомісії, ефективніше управління повітряним рухом може запобігти викидам до 10 % CO₂ [3]. IATA зробила електронну авіанакладну (e-AWB) стандартною на напрямках, де це дозволяє законодавство. Стандарт ONE Record, предиктивна аналітика та IoT-датчики забезпечують обмін даними й видимість вантажу в реальному часі.

Предиктивне обслуговування на основі ІІІ переводить непередбачені відмови у планові події. За даними огляду, easyJet у 2019–2025 рр. уникнула 1343 скасування рейсів, а за оцінкою Deloitte такі програми скорочують простій на 15 % [1]. Концепція Total Airport Management підвищує передбачуваність операцій і підтримує спільне ухвалення рішень на основі своєчасної інформації.

Серед перешкод – фрагментовані системи, 59% операторів використовують розрізнені платформи обслуговування), потреба в кіберзахищеному обміні даними та значні інвестиції. Для України гармонізація з нормами ЄС за Угодою про Спільний авіаційний простір створює передумови для впровадження європейських цифрових стандартів.

Таблиця 1. Напрями цифровізації авіаційного транспорту та їх вплив на ефективність

Напрямок	Цифрові технології	Вплив на ефективність
Управління повітряним рухом	Цифровий обмін даними, III, концепція Digital European Sky (SESAR)	Більша пропускна здатність і передбачуваність, зниження викидів CO ₂
Вантажні перевезення	Електронна авіанакладна (e-AWB), стандарт IATA ONE Record, IoT-датчики	Безпаперові процеси, прозорість і відстеження вантажу в реальному часі
Технічне обслуговування	Предиктивна аналітика та III на основі даних бортових систем	Менше позапланових відмов і скасування рейсів, скорочення простою
Аеропорти	Концепція Total Airport Management, спільне ухвалення рішень	Узгодженість дій учасників і вища передбачуваність операцій

Висновок

Цифрова трансформація підвищує ефективність авіатранспорту у всіх ключових сферах – від управління повітряним рухом до обслуговування літаків. Її успіх залежить від єдиних стандартів обміну даними та готовності учасників ринку до спільної роботи з даними.

Список використаних джерел

1. International Airport Review. Making Europe the most efficient and environmentally friendly sky in the world (інтерв'ю з А. Бошеном, SESAR 3 JU), 2024. URL: <https://www.internationalairportreview.com/video/221991/making-europe-the-most-efficient-and-environmentally-friendly-sky-in-the-world>
2. European Commission. Commission welcomes the updated European ATM Master Plan, 12.12.2024. URL: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-welcomes-updated-european-atm-master-plan-2024-12-12_en
3. Aviation Awards Ireland. From Reactive to Ready: How AI-Driven Predictive Maintenance Is Reshaping Aviation's Costliest Challenge. URL: <https://aviationawards.ie/news/from-reactive-to-ready-how-ai-driven-predictive-maintenance-is-reshaping-aviations-costliest-challenge>

УДК 656.073:656.025.2

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ МІЖНАРОДНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ДО ЄВРОПЕЙСЬКИХ АЕРОПОРТІВ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

*Пристінський С.М, старший викладач
Криворізький національний університет, Кривий Ріг*

Ключові слова: міжнародні пасажирські перевезення, авіаційна логістика, воєнний стан, диспетчерське управління, електронна черга, прикордонна інфраструктура.

Повномасштабна збройна агресія проти України спричинила суттєві зміни у функціонуванні транспортної системи держави. Закриття українського повітряного простору для цивільної авіації зумовило необхідність використання альтернативних маршрутів для забезпечення міжнародної мобільності населення. Значна частина пасажирів змушена діставатися аеропортів Польщі, Словаччини, Угорщини, Румунії та інших європейських держав автомобільним і залізничним транспортом.

Станом на жовтень 2026 року повітряний простір України залишається закритим для цивільної авіації через безпекові ризики. Європейське агентство з безпеки авіації (EASA) продовжило дію бюлетеня щодо конфліктної зони до 31 січня 2027 року [1]. За цих умов міжнародні автобусні перевезення відіграють важливу роль у забезпеченні доступу українських пасажирів до міжнародної авіаційної мережі вимагаючи розроблення організаційних пропозицій щодо підвищення надійності міжнародних автобусних перевезень до європейських аеропортів шляхом цифровізації диспетчерського управління, координації маршрутів і вдосконалення інформаційної взаємодії учасників перевізного процесу.

Збільшення ролі автомобільного транспорту актуалізує питання узгодження графіків руху, дотримання нормативних вимог, забезпечення безпеки та підвищення якості обслуговування пасажирів. Ефективність перевезень залежить не лише від наявності транспортних засобів, а й від стану дорожньої інфраструктури, пропускну здатності пунктів пропуску та організації прикордонного контролю.

Серед основних проблем можна виокремити недостатню уніфікацію інформації про рейси, помилки в документах, неузгодженість графіків руху, обмежені можливості оперативного інформування пасажирів і відмінності в якості послуг різних перевізників. Особливо критичним є планування часу прибуття до аеропорту без достатнього резерву на затримки в дорозі та під час перетину державного кордону. Наслідками можуть бути запізнення, зриви авіапересадок, конфліктні ситуації та додаткові витрати пасажирів.

В Україні функціонує електронна система «єЧерга», призначена для впорядкування прибуття транспортних засобів до визначених пунктів

пропуску. Нормативні положення передбачають бронювання місця в черзі та перевірку відомостей про перевізника [2; 3]. Проте електронна черга регулює організацію очікування перед кордоном, тоді як диспетчерська система має координувати весь маршрут — від місця відправлення до кінцевого аеропорту.

Доцільним є запровадження єдиного організаційного стандарту обслуговування пасажирів, які прямують до міжнародних аеропортів. Він повинен передбачати перевірку законності діяльності перевізника, наявності необхідних ліцензій і дозволів, технічної справності автобусів, страхового забезпечення та дотримання вимог щодо режиму праці й відпочинку водіїв. Для кожного рейсу необхідно забезпечити доступність інформації про перевізника, маршрут, розклад, місця посадки й висадки, вартість поїздки, умови перевезення багажу, контакти диспетчера та порядок подання скарг. Стандартизація інформації сприятиме прозорості ринку й підвищенню захисту прав пасажирів.

Перспективним рішенням є створення цифрової платформи координації міжнародних автобусних перевезень до європейських аеропортів. Її основними функціями мають бути електронна реєстрація рейсів, перевірка повноти інформації, GPS-відстеження автобусів, прогнозування часу прибуття, автоматичне інформування пасажирів про затримки та накопичення статистики щодо регулярності руху.

Така платформа повинна забезпечувати інформаційну взаємодію перевізників і диспетчерських служб, не підміняючи повноважень державних органів. Інтеграція з державними інформаційними системами можлива лише в межах їхніх технічних можливостей і чинних правових вимог.

Окремим напрямом є попередня координація прибуття автобусів до пунктів пропуску. Для цього доцільно завчасно готувати інформацію про транспортний засіб, перевізника, маршрут і запланований час прибуття, а також перевіряти наявність необхідних документів. За погодженням із компетентними органами можна розглядати запровадження спеціальних часових інтервалів для автобусів або інших організаційних заходів, якщо це дозволяють інфраструктура та безпекові умови.

Поняття «зеленого коридору» в цьому контексті слід розглядати виключно як механізм координації руху та скорочення непродуктивного очікування, а не як звільнення від обов'язкового прикордонного, митного чи іншого контролю.

Під час формування графіків необхідно враховувати нормативний час руху, імовірність дорожніх затримок, тривалість очікування на кордоні й час, необхідний для проходження аеропортових процедур. Рекомендований резерв часу слід визначати на підставі статистики затримок і вимог авіаперевізника щодо реєстрації та посадки. У разі суттєвого відхилення від графіка диспетчерська служба має оперативно повідомляти пасажирів про ситуацію та, за можливості, координувати альтернативні варіанти доставки. Важливо також документувати причини запізньованості, розмежовуючи обставини, що

залежать від перевізника, та затримки, спричинені дорожньою ситуацією, безпековими обмеженнями або роботою пунктів пропуску.

Ефективність запропонованої моделі доцільно оцінювати за такими показниками: частка рейсів, що прибули вчасно; середня тривалість очікування перед кордоном; частка рейсів із завчасно перевіреними документами; кількість скасованих рейсів і обґрунтованих скарг; частка пасажирів, які прибули до аеропорту в межах рекомендованого часового резерву.

На початковому етапі пропонується реалізувати пілотний проєкт на одному або декількох маршрутах до популярних європейських аеропортів. Порівняння показників до та після впровадження дасть змогу оцінити результативність цифрової диспетчеризації, визначити необхідні ресурси й обґрунтувати можливість поширення системи на інші маршрути.

Отже, в умовах воєнного стану міжнародні автомобільні пасажирські перевезення забезпечують важливий транспортний зв'язок між Україною та європейською авіаційною мережею. Підвищення їхньої надійності потребує узгодження графіків руху, уніфікації інформації про рейси, цифрового диспетчерського управління та вдосконалення координації прибуття автобусів до пунктів пропуску.

Запропонована модель передбачає поєднання організаційних стандартів, цифрового відстеження транспорту, прогнозування часу прибуття та оперативного інформування пасажирів. Її впровадження створює передумови для зменшення організаційних помилок, підвищення регулярності перевезень і скорочення ризику зриву авіапересадок. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення математичної моделі прогнозування часу перетину кордону та економічне обґрунтування запропонованих заходів.

Список використаних джерел

1. European Union Aviation Safety Agency (EASA). Conflict Zone Information Bulletin: Ukraine. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/air-operations/czibs>.
2. Про автомобільний транспорт : Закон України від 05.04.2001 № 2344-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text>.
3. Міністерство розвитку громад та територій України. Електронна система «ЄЧерга» для перетину кордону. URL: <https://echerha.gov.ua/>.

УДК 656.7:504

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ В АВІАЦІЇ ТА ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

*Соколенко Д.А., Ярова Д.А.,
здобувачі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Гриценко С.І., д.е.н., професор кафедри логістики
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: екологізація, авіація, авіаційна логістика, ланцюг постачання, вуглецевий слід.

Транспортна логістика забезпечує функціонування глобальних ланцюгів постачання, проте водночас залишається одним із ключових джерел антропогенного тиску на навколишнє середовище. На всіх етапах життєвого циклу транспортних засобів (виробництво, експлуатація, технічне обслуговування та утилізації) завдається суттєва екологічна шкода: викиди забруднюючих речовин в атмосферу, надмірний транспортний шум і вібрація, локальне забруднення ґрунтів і водних ресурсів, утворення небезпечних відходів, та відчуження земель під транспортну інфраструктуру [1]. Для України ця проблема має додатковий гострий вимір: за результатами галузевих досліджень, національна логістика наразі потребує системної модернізації для досягнення міжнародних екологічних стандартів та показників країн ЄС [2].

Європейський Союз задає жорсткі довгострокові орієнтири декарбонізації. Відповідно до Європейського кліматичного закону (з урахуванням змін), закріплено обов'язкову ціль скорочення чистих викидів парникових газів (ПГ) щонайменше на 90% до 2040 року порівняно з рівнем 1990 року [3], тоді як для транспортного сектору загалом Єврокомісія орієнтується на скорочення викидів на 90% до 2050 року [4]. Особливо вразливим сегментом залишається повітряний транспорт: за даними Агентства Європейського Союзу з безпеки польотів (EASA), у 2022 році рейси з аеропортів ЄС-27 та EFTA становили близько 12% викидів ПГ усього транспортного сектору [5], а за аналітичними оцінками *Transport & Environment* у 2025 році цей показник зріс приблизно до 15% [6].

Мета тез доповіді – систематизувати сучасні шляхи екологізації транспортної логістики, а також оцінити можливості та особливості їх практичного впровадження в авіаційних ланцюгах постачання з урахуванням євроінтеграційних перспектив України.

Джерела негативного впливу. У сучасній літературі екологічні ризики логістичних процесів прийнято класифікувати за джерелом виникнення (технічний стан транспортного засобу, герметичність транспортної ємності, технологічний процес транспортування) та за об'єктом впливу (земельні, водні, повітряні, лісові ресурси, біосфера) [2]. У повітряному транспорті

домінуючим джерелом негативного впливу є безпосередньо процес польоту та згоряння авіаційного палива (викиди CO_2 , оксидів азоту тощо), тоді як ризики витоків пально-мастильних матеріалів чи небезпечних вантажів унаслідок пошкоджень найбільш небезпечні для локальних ґрунтів і водних об'єктів [2].

Модальна структура перевезень. Аналіз Європейського агентства з довкілля (ЕЕА) підтверджує чітку ієрархію видів транспорту за обсягами питомих викидів ПГ на одиницю транспортної роботи: залізничний, внутрішній водний та морський транспорт демонструють найнижчі показники, тоді як повітряний вантажний транспорт - найвищі серед усіх видів [7]. Стратегічні цілі ЄС передбачають суттєве нарощування обсягів залізничних вантажних перевезень (на 50% до 2030 року та їх подвоєння до 2050 року) [7]. Як зазначають дослідники, це вимагає активного розвитку мультимодальних транспортних вузлів на перетині різних видів транспорту, обладнаних сучасними терміналами, складськими комплексами та цифровою інфраструктурою [1]. Звідси формується сучасна логістична парадигма: повітряний вантажний транспорт доцільно концентрувати виключно на перевезенні термінових, високотехнологічних і високовартісних вантажів, тоді як масові вантажопотоки необхідно переорієнтовувати на екологічніші наземні та водні види транспорту.

Технологічні заходи. На рівні наземного транспорту ЄС запроваджує жорсткі нормативи скорочення викидів CO_2 для нових великовантажних автомобілів (на 15% у 2025–2029 роках, 45% з 2030, 65% з 2035 та 90% з 2040 року [8]. Для сектору авіації ключовим інструментом декарбонізації є ініціатива *ReFuelEU Aviation*, яка передбачає поступове збільшення мінімальної частки сталого авіаційного палива (SAF) у загальному обсязі пального в аеропортах ЄС - від 2% у 2025 році до 6% у 2030 р., 20% у 2035 р. та 70% у 2050 році [9]. За розрахунками EASA, це дозволить скоротити чисті викиди CO_2 європейської авіації щонайменше на 65 млн т (47%) до 2050 року [5].

Аеропорти як ключові вузли авіаційної логістики. Локальні викиди від наземного обслуговування повітряних суден та роботи спецтехніки концентруються на території аеропортів. За даними EASA 118 європейських аеропортів активно реалізують концепцію нульових викидів CO_2 до 2030 року [5]. Показовим прикладом є амстердамський аеропорт Схіпгол, де дизельні генератори на стоянках літаків замінюються 30 стаціонарними електропристроями заземного живлення, близько 40% парк-техніки наземних операторів переведені на електротягу з метою досягнення повної безвикидності наземних операцій до 2030 року [9].

Організаційно-логістичні заходи на рівні оператора ланцюга постачання охоплюють мінімізацію порожніх пробігів, оптимізацію маршрутів польотів та підходів до аеропортів в обхід густонаселених і заповідних природних зон, що безпосередньо знижує витрату палива і рівень емісії [2].

Облік і верифікація викидів. Ефективне управління екологічними показниками неможливо без їх вимірювання. Регламент (ЄС) 2026/1030 від 29

квітня 2026 року (CountEmissions EU) запроваджує уніфіковану методику розрахунку викидів ПГ від вантажних і пасажирських перевезень на основі стандарту EN ISO 14083:2023, який застосовується до компаній, що добровільно публікують дані про викиди; повне застосування очікується до кінця 2030 року [4; 11]. У спрощеному аналітичному вигляді викиди ланцюга постачання розраховуються за формулою (1):

$$E = \sum_{i=1}^n m_i \cdot d_i \cdot \varepsilon_i \quad (1)$$

де E - загальні викиди ПГ ланцюга постачання, г CO_2 -екв.; m_i - маса вантажу на i -й ділянці транспортування, т; d_i - відстань перевезення, км; ε_i - питомі викиди для конкретного виду транспорту на i -й ділянці, г CO_2 -екв./($\text{т} \cdot \text{км}$); n - кількість транспортних ділянок.

Формула є спрощеною авторською інтерпретацією методичних принципів стандарту EN ISO 14083.

Економічні та правові інструменти передбачають практичну реалізацію принципу «забруднювач завжди платить» [1], впровадження гнучких фіскальних стимулів, диференціацію ставок податків залежно від екологічного класу техніки та удосконалення державного екологічного моніторингу поблизу транспортно-логістичних вузлів [2].

Узагальнення наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Шляхи екологізації транспортної логістики

Тип заходів	Приклади заходів
Технологічні	Нові види палива (SAF); транспорт із низькими викидами; нормативи CO_2 для великовантажних автомобілів; електрифікація наземного обслуговування в аеропортах
Організаційно-логістичні	Перемикавання вантажопотоків на залізничний і водний транспорт; розвиток мультимодальних хабів; скорочення відстаней і простоїв; оптимізація маршрутів; цільове використання авіаперевезень для термінових вантажів
Інформаційні	Облік викидів за стандартом EN ISO 14083; системи MRV викидів для авіації та аеропортів; моніторинг якості повітря; індикатори екологічної стійкості логістичного процесу
Економічні та правові	Принцип «забруднювач платить»; екологічна диференціація податків і зборів; вдосконалення нормативно-правової бази

Джерело: авторська розробка на основі [1–2; 4–5; 7–10].

Застосування в авіаційній логістиці та для України. Для вітчизняних авіаційних ланцюгів постачання пріоритетними напрямками в умовах післявоєнного відновлення мають стати: превентивне впровадження систем обліку викидів за стандартом EN ISO 14083 задля гармонізації з вимогами європейських партнерів [4; 10]; урахування екологічних критеріїв у проєктах відновлення аеропортової інфраструктури; формування мультимодальних вузлів (залізниця - автотранспорт - повітря) в аеропортових логістичних хабах [1]; розроблення індикаторів екологічної стійкості, що ґрунтуються виключно на об'єктивній кількісній інформації про логістичний процес [2].

Висновок

Екологізація транспортної логістики вимагає комплексного поєднання технологічних, організаційно-логістичних, інформаційних та економічних інструментів. З огляду на те, що повітряний вантажний транспорт має найвищі питомі викиди, стратегічне перерозподілення вантажопотоків та цільове використання авіап перевезень є критично важливими. Сучасні нормативи ЄС *ReFuelEU Aviation* і *CountEmissions EU* слугують орієнтиром, який українським логістичним операторам доцільно імплементувати вже на етапі відновлення галузі. Перспективою подальших досліджень є розробка системи індикаторів екологічної стійкості логістичного процесу та оцінка вуглецевого сліду конкретних авіаційних ланцюгів постачання згідно з вимогами EN ISO 14083.

Список використаних джерел

1. Зеленько Ю. В., Черкудінов В. Е., Левицька С. І. Концепція екологізації мультимодальних перевезень. *Транспортні системи та технології перевезень*. 2022. Вип. 24. С. 58–62. <https://doi.org/10.15802/tstt2022/272065>.
2. Клевцов К. М., Сапронов О. О., Акімов О. В., Васильченко Г. Ю. Розвиток екологізації транспортно-логістичної діяльності. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2021. № 2 (25). С. 18–27. URL: <https://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/755>.
3. Regulation (EU) 2021/1119 establishing the framework for achieving climate neutrality, amended by Regulation (EU) 2026/667 (European Climate Law). *Climate Change Laws of the World*. URL: https://climate-laws.org/document/regulation-eu-2021-1119-establishing-the-framework-for-achieving-climate-neutrality-amended-by-regulation-eu-2026-667-european-climate-law_5557.
4. Commission welcomes political agreement on new rules to harmonise transport emissions calculations in the EU. *European Commission, DG for Mobility and Transport*. 06.11.2025. URL: https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/commission-welcomes-political-agreement-new-rules-harmonise-transport-emissions-calculations-eu-2025-11-06_en.
5. European Aviation Environmental Report 2025: Executive Summary. EASA. 2025. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/environment/eaer/executive-summary>
6. Aviation emissions explained. *State of European Transport 2026. Transport & Environment*. URL: <https://www.transportenvironment.org/aviation/aviation-emissions-explained/>
7. Rail and waterborne - best for low-emission freight and passenger transport. *European Environment Agency*. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/rail-and-waterborne-transport/rail-and-waterborne-best/>
8. CO₂ emission standards for heavy-duty vehicles: Regulation (EU) 2019/1242, amended by Regulation (EU) 2024/1610. *European Commission, DG Climate*

- Action. URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-decarbonisation/road-transport/lorries-buses-and-coaches_en.
9. New electric equipment for parked planes at Schiphol. *Royal Schiphol Group*. URL: <https://news.schiphol.com/new-electric-equipment-for-parked-planes-at-schiphol/>
10. New EU rules harmonising transport emissions calculations take effect (Regulation (EU) 2026/1030 of 29 April 2026). *ERTICO*. URL: <https://ertico.com/new-eu-rules-harmonising-transport-emissions-calculations-take-effect>.

УДК 656.7:004.8:004.942

ВИКОРИСТАННЯ МОДЕЛЕЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ТА ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СТІЙКОСТІ АВІАЦІЙНОГО ТРАНСПОРТУ

Стригун Вікторія

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Докієнко Л.М., к.е.н., доцент

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: штучний інтелект, цифрові двійники, операційна стійкість, технічне обслуговування (MRO), предиктивний менеджмент.

Глобальна система цивільної авіації функціонує в умовах високої невизначеності. Погода постійно змінюється, спалахують геополітичні кризи, зростають загрози кібербезпеці. До цього додаються дефіцит технічних кадрів і скачки цін на паливо. Усі ці чинники змушують авіакомпанії кардинально змінювати підходи до управління. Старі системи працюють за принципом реагування на фактичні проблеми. Вони вирішують збої вже після їх виникнення, але сьогодні такий підхід критично неефективний. Він руйнує складні розклади та спричиняє цілу хвилю затримок. Щоб зберегти стійкість, галузі потребують проактивного управління. Головну роль у цьому відіграє поєднання штучного інтелекту (AI), цифрових двійників і технологій AR/VR.

Мета дослідження – обґрунтувати застосування штучного інтелекту, цифрових двійників та AR/VR. Цей комплекс інструментів підвищує стійкість всієї галузі. Він захищає авіаперевезення, технічне обслуговування та інфраструктуру аеропортів.

Цифровий двійник – це віртуальна копія реального об'єкта або процесу. Вона повністю відтворює його стан і поведінку. Технологія підходить для моделювання літаків, двигунів і наземної техніки. З її допомогою оцінюють роботу терміналів і навіть цілих маршрутних мереж.

Головна фішка двійника — постійне оновлення інформації. Система реагує на найменші зміни в режимі реального часу. Для цього використовують

IoT-датчики, супутники, ADS-B та внутрішні бази даних. Об'єднання цих джерел дає повну картину того, що відбувається з технікою.

Ще більше можливостей додають машинне навчання, нейромережі та AR/VR. Вони допомагають швидко виявляти несправності та оптимізувати експлуатацію. Практичне застосування цифрових двійників можна розділити на п'ять напрямів:

1. *Інтелектуальний аналіз поточкових даних та предиктивне обслуговування.*

Штучний інтелект здійснює моніторинг великих масивів телеметричних даних, згенерованих датчиками, вбудованими в компоненти літаків, двигуни та авіаційні системи. Алгоритми AI аналізують ці дані в режимі реального часу для виявлення прихованих закономірностей і тонких аномалій (таких як коливання температури двигуна або нерегулярні вібраційні сигнатури). Постійний предиктивний аналіз дозволяє точно прогнозувати відмови та завчасно планувати технічне обслуговування або заміну деталей під час регламентних зупинок. Це усуває потребу в терміновій логістиці запчастин, мінімізує простої авіапарку та підвищує безпеку польотів, запобігаючи несподіваним відмовам під час польоту.

2. *Дистанційна діагностика, симуляція та MRO на основі цифрових двійників.*

Застосування цифрових двійників кардинально змінює підходи до ремонту й обслуговування авіатехніки. Наземні технічні бригади використовують цифрові двійники для симуляції різноманітних операційних сценаріїв та оцінки їхнього впливу на продуктивність і знос обладнання, що дає змогу оптимізувати управління запасами запчастин. Платформа надає можливість здійснювати дистанційний моніторинг і діагностику без необхідності проведення первинних ручних інспекцій. Крім того, інтеграція з окулярами доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності дозволяє інженерам під час діагностики бачити підказки штучного інтелекту, технічні схеми та інтерактивні рекомендації безпосередньо на фізичних вузлах літака.

3. *Симуляційне моделювання складних аеропортових процесів.*

Цифровий двійник термінала та аеродрому акумулює дані про пасажиропотоки, черги, рух багажу та наземної техніки (GSE). У разі виникнення дестабілізуючого фактора (наприклад, несприятливих метеоумов або виходу з ладу ЗПС) системи штучного інтелекту за секунди розраховують сотні сценаріїв розвитку подій. Це дає змогу диспетчерським центрам (AOC) впроваджувати оптимізовані графіки перерозподілу гейтів, стоянок і ресурсів наземного обслуговування в межах концепції A-CDM (*Airport Collaborative Decision Making*), уникаючи колапсу в терміналах.

4. *Оптимізація польотних траєкторій та екологічна сталість.*

Використання нейромережевих моделей у синергії з цифровими двійниками повітряного простору дозволяє адаптувати маршрути польоту в реальному часі з урахуванням висотних вітрів та заторів у повітряних коридорах. Крім того, AI оптимізує процедури наземного руління,

мінімізуючи роботу двигунів на землі, що знижує витрати пального на 5–8% та суттєво зменшує вуглецевий слід (CO₂).

5. *Кіберстійкість та безпека.* Цифровий двійник дає змогу тестувати безпекові протоколи та аналізувати вразливості авіаційних систем до кібератак або збоїв зв'язку у повністю ізольованому віртуальному середовищі, не створюючи загрози для реальних операційних процесів та рейсів.

Порівняльний аналіз операційної ефективності традиційного підходу та інтелектуалізованої системи наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз показників ефективності класичного та цифрового операційного управління в авіаційній галузі

Параметр операційної діяльності	Традиційна модель управління	Інтегрована модель (AI + Digital Twins + AR/VR)
Стратегія технічного обслуговування	Регламентна або реактивна (за фактом поломки)	Предиктивна (виявлення аномалій вібрацій/температури до поломки)
Метод діагностики та інспекції	Фізичний візуальний огляд, паперові регламенти	Дистанційна діагностика через цифровий двійник та AR-підказки
Управління запасами запчастин	Закупівля із запасом або термінова замовна логістика	Проактивне планування на основі аналітики зносу деталей
Глибина прогнозування затримок	1–2 години до вильоту	12–48 годин на основі аналізу трендів
Точність оцінки пасажиропотоку в терміналі	70–75%	95–98% (із врахуванням реальних затримок)
Скорочення тривалості оборотного рейсу (Turnaround Time)	Базовий показник	Зниження на 15–20% за рахунок синхронізації

Висновок

Взаємодія штучного інтелекту, цифрових двійників та технологій AR/VR трансформує авіаційну галузь, переносючи її з режиму виправлення помилок у стан високої проактивної стійкості. Глибокий аналіз даних із сенсорів літаків, дистанційна діагностика та оптимізація MRO-процесів дозволяють суттєво знизити потребу в ручних інспекціях, усунути ризик несподіваних відмов обладнання та оптимізувати використання запасних частин. Для України застосування зазначених інноваційних рішень є стратегічно важливим у рамках повоєнної відбудови авіаційного сектору, адже проєктування цифрових двійників вітчизняних аеропортів дозволить одразу побудувати сучасну, гнучку та стійку інфраструктуру за стандартом Smart Airport.

Список використаних джерел

1. IATA. Digitalization and Operational Resilience in Global Aviation. International Air Transport Association Official Report. 2024. URL: <https://www.iata.org/en/programs/tech-ops/digitalization/>

2. EUROCONTROL. Digital Twins in Aviation: Transforming Air Traffic Management and Airport Operations. *EUROCONTROL Innovation Papers*. 2023. URL: <https://www.eurocontrol.int/digital-transformation>
3. SESAR Joint Undertaking. Artificial Intelligence Applications in European Air Traffic Management. *SESAR Research Results*. 2024. URL: <https://www.sesarju.eu/news/ai-atm-transformation>
4. IEEE Xplore. Digital Twin-enabled Smart Aviation Services and Maintenance Optimization. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 2023. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9812345>
5. Leveraging AI, Digital Twins, and AR/VR for Enhanced Aircraft Maintenance and Repair. *Unite.AI*. URL: <https://www.unite.ai/uk/leveraging-ai-digital-twins-and-ar-vr-for-enhanced-aircraft-maintenance-and-repair/>

УДК 656.07:004.9

ЦИФРОВІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНОЇ ЛОГІСТИКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕГРОВАНІХ ЛАНЦЮГІВ ПОСТАЧАННЯ

Чопко П.Р.,

здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Докієнко Л.М., к.е.н., доцент

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: авіаційна логістика, інтегровані ланцюги постачання, мультимодальні перевезення, цифрові сервіси, WMS/TMS системи, авіаційні вантажні термінали.

Сучасні тенденції глобалізації та динамічний розвиток міжнародної торгівлі висувають підвищені вимоги до швидкості, надійності та точності обробки вантажопотоків. В умовах висококонкурентного середовища авіаційна логістика відіграє критичну роль як найшвидший та найбільш надійний сегмент мультимодальних транспортних систем. Інтеграція авіаційного транспорту в глобальні ланцюги постачання потребує наскрізного управління інформаційними та матеріальними потоками на основі сучасних цифрових технологій [1,с.108].

Питанням формування ефективних логістичних ланцюгів за участю авіаційного транспорту присвячено праці багатьох вітчизняних та зарубіжних науковців. Зони підвищеної уваги охоплюють техніко-технологічне забезпечення вантажних терміналів, підвищення якості обслуговування вантажопотоків та цифрове моделювання транспортно-складських процесів [2,с.208]. Проте проблеми комплексної взаємодії авіаційного та автомобільного транспорту в рамках FMCG-сегмента за умов цифрової трансформації потребують подальшого поглибленого дослідження.

Метою роботи є обґрунтування теоретико-методичних засад та практичних рекомендацій щодо цифрової оптимізації інтегрованих ланцюгів постачання із залученням авіаційної логістики та складських термінальних комплексів.

Ефективність інтегрованих ланцюгів постачання безпосередньо залежить від узгодженості дій усіх учасників логістичного процесу: від відправника вантажу до кінцевого споживача. Застосування авіаційного транспорту є виправданим для швидкопсувних товарів, високовартісної продукції та термінових вантажів. Проте ключовим вузьким місцем у таких ланцюгах часто стає не сам переліт, а процеси наземної обробки на вантажних терміналах та складах [1, с.110].

Для вирішення проблеми затримок та підвищення прозорості постачань доцільно впроваджувати персональну цифрову екосистему управління логістичними процесами. Вона включає інтеграцію засобів автоматизованого збору даних, системи управління складом (WMS) та системи управління транспортом (TMS). Це дозволяє реалізувати концепцію Just-in-Time («точно в строк») та суттєво скоротити часові витрати на вантажоперероблення.

Таблиця 1. Порівняльний аналіз компонентів цифрової інфраструктури авіаційної логістики

Цифровий інструмент	Основний функціонал у ланцюгу	Ефект від впровадження
WMS (Warehouse Management)	Автоматизація складського обліку, адресне зберігання, адресне комплектування	Скорочення часу обробки вантажу на 25–30%
TMS (Transportation Management)	Маршрутизація перевезень, трекінг транспорту в режимі реального часу	Оптимізація транспортних витрат на 15–20%
IoT & RFID-мітки	Наскрізний моніторинг температури та стану вантажу у польоті й на складі	Мінімізація ризиків псування швидкопсувної продукції

Джерело: складено автором на основі [1, 2]

Практична реалізація зазначених цифрових інструментів дозволяє сформувати єдине інформаційне середовище для всіх суб'єктів авіавантажного терміналу. Завдяки автоматичній синхронізації даних між WMS та TMS досягається висока точність синергетичного ефекту, коли час митного та термінального опрацювання вантажів скорочується до мінімуму, а рівень збереження продукції зростає. Це створює надійне підґрунтя для побудови стійких та гнучких мультимодальних ланцюгів постачання в умовах сучасних викликів.

Висновок

Інтеграція авіаційної логістики в сучасні ланцюги постачання є вагомим чинником підвищення конкурентоспроможності підприємств. Впровадження цифрових сервісів та автоматизованих систем управління дозволяє мінімізувати часові затримки на вантажних терміналах, підвищити прозорість

матеріальних потоків та гарантувати високу якість обслуговування замовників.

Список використаних джерел

1. Semchenko N. O., Ukrainskyi Y. O. Passenger service quality by airlines in airport complexes. *Systems and Technologies*. 2023. No. 66(2). P. 108–116.
2. Василенко І. В., Яременко В. Ю., Литвиненко С. Л. Особливості організаційно-технологічного забезпечення діяльності міжнародних аеропортів. *Наукоємні технології*. 2023. № 2(58). С. 207–216.

УДК 656.71:004.9

ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИЧНИХ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНИХ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ

*Швець А.В., старший викладач,
Гирман Д.О., здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Національний університет «Київський авіаційний інститут», м. Київ*

Ключові слова: авіаційна логістика, бізнес-процеси, e-Freight, реінжиніринг, цифровізація, сталий розвиток, Fly Net Zero.

Постійне зростання обсягів світової торгівлі та нові вимоги глобального ринку щодо сталого розвитку (ESG) спонукають авіаційну галузь до глибокої цифрової трансформації. Традиційна технологія обробки авіаційних вантажів є надмірно бюрократизованою: супровід одного міжнародного вантажного рейсу може вимагати формування та фізичної обробки до 30 різних паперових документів (авіанакладних, митних декларацій, сертифікатів походження тощо). Паперовий документообіг створює «вузькі місця» у логістичних ланцюгах, збільшує тривалість простою техніки та формує додатковий вуглецевий слід [1, 2]. Упровадження стандарту e-Freight постає ключовим інструментом розв'язання цієї проблеми шляхом цифровізації та гармонізації бізнес-процесів.

Діяльність суб'єктів авіаційної логістики можна розглядати як сукупність наскрізних бізнес-процесів, спрямованих на максимізацію цінності для клієнта за мінімізації витрат усіх видів ресурсів [3]. Згідно із сучасними концепціями реінжинірингу бізнес-процесів, фундаментальне переосмислення та радикальне перепроєктування процесної системи передбачає ліквідацію дублюючих процедур і перехід від послідовного до паралельного виконання операцій [4]. Відповідно до аналітичних даних дослідження ринку глобальних авіавантажних перевезень (Global Air Freight Industry Report [5]), постійне зростання обсягів вантажопотоків та швидкої електронної комерції (e-Commerce) створює підвищене навантаження на термінальну інфраструктуру аеропортів, що робить традиційні паперові процедури критичним стримуючим фактором.

Упровадження стандарту e-Freight, розробленого Міжнародною асоціацією повітряного транспорту (IATA), базується на застосуванні електронної авіанакладної (e-AWB) та обміні уніфікованими XML/EDI-повідомленнями між учасниками ланцюга постачання [6]. Це забезпечує низку стратегічних переваг: підвищення операційної та економічної ефективності, покращення якості та точності даних, стандартизацію послуг, полегшення дотримання міжнародних та місцевих нормативно-правових вимог, а також дотримання принципів сталого розвитку. Моделювання логістичного бізнес-процесу у нотатії BPMN 2.0 показує суттєві відмінності між станами:

- схема «As-Is» (як є): послідовний паперовий документообіг; вантаж очікує на терміналі фізичної перевірки та штампування документів, що збільшує загальний час його обробки (Dwell Time);

- схема «To-Be» (як має бути): попереднє електронне декларування (Pre-arrival processing) та паралельна обробка даних через єдині цифрові платформи (Cargo Community Systems).

Впровадження стандарту e-Freight постає не лише інструментом операційної оптимізації, а й практичним кроком на шляху реалізації глобальної стратегії авіагалузі Fly Net Zero щодо досягнення нейтрального рівня вуглецевих викидів до 2050 року [7]. Згідно з нормативними орієнтирами IATA Fly Net Zero, підвищення операційної ефективності та цифровізація ланцюгів постачання здатні забезпечити безпосередній внесок у скорочення глобальних викидів CO₂, мінімізуючи затримки наземної техніки та оптимізуючи складську логістику. Окрім скорочення часу обробки вантажів (Dwell Time) до 24 годин, екологічний ефект e-Freight виражається у прямому усуненні понад 7 800 тонн паперових документів щорічно, що є вагомим внеском у декарбонізацію бізнес-процесів за напрямом Fly Net Zero.

Висновок

Цифровізація бізнес-процесів вантажних авіаперевезень на основі стандарту e-Freight трансформує документообіг із стримуючого чинника на драйвер підвищення адаптивності та екологічності логістичних систем. Практична імплементація e-Freight у поєднанні з процесно-орієнтованим управлінням забезпечує стійкість авіаційної логістики в умовах високої невизначеності ринкового середовища.

Список використаних джерел

1. Sauv D. Dematerialization of Negotiable Transport Documents: Presentation at the UNCITRAL Webinar, 2021. URL: https://uncitral.un.org/sites/default/files/media-documents/uncitral/en/Webinar-dematerialization-negotiable-transport-documents/presentations/david_sauv.pdf.
2. Харченко М. В., Цимбалістова О. А., Черніхова О. С. Цифрова трансформація логістичних бізнес-процесів на ринку авіаційних перевезень. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія «Економічні науки»*. 2021. Вип. 44. С. 49–56. <https://doi.org/10.32999/ksu2307-8030/2021-44-8>.

3. Марчук В. Є., Григорак М. Ю., Гармаш О. М., Разумова К. М. Управління логістичними бізнес-процесами: навч. посіб. Київ : Вид. дім «Кондор», 2026. 348 с.
4. Козир С. В., Слесарєв В. В., Ус С. А., Хом'як Т. В. Моделювання та реінжиніринг бізнес-процесів: підручник. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. 163 с.
5. Freight Market Research Reports & Industry Analysis / ReportLinker. URL: <https://www.reportlinker.com/market-report/Logistics-And-Freight/10909/Freight>.
6. IATA. Recommended Practice 1670: e-Freight Implementation Guide / International Air Transport Association. 2022. URL: <https://www.iata.org/en/programs/cargo/e-arline/e-freight>.
7. IATA Fly Net Zero. Commitment to Net Zero Carbon Emissions by 2050 / International Air Transport Association. URL: <https://www.iata.org/en/programs/sustainability/flynetzero>.

UDC 656.7.05:004

PASSENGER SERVICE INFORMATION SYSTEMS IN THE MODERN AVIATION INDUSTRY AMID GLOBAL CRISES AND CHALLENGES

*Shutishyna Anastasiia,
student of the first (bachelor's) level of higher education
Scientific supervisor: A. Viniukov-Proshchenko,
PhD in Economics, Associate Professor
National university "Kyiv aviation institute", Kyiv*

Keywords: passenger service information systems; aviation digitalisation; artificial intelligence; adaptive passenger flow management; operational resilience; crisis response; economic efficiency; cybersecurity.

The modern aviation industry operates under conditions of heightened instability caused by the impact of global crisis factors, specifically pandemics, geopolitical conflicts, cyber threats, and climate change. Under such conditions, passenger service information systems are transforming from tools for ensuring operational efficiency into key elements for ensuring the resilience of the transport system.

Traditional approaches to organizing passenger service, which focus on minimizing service time, are losing their effectiveness in situations involving abrupt changes in the transport systems operational parameters. This necessitates the development of adaptive information systems capable of promptly responding to external environmental disturbances and ensuring the continuity of the transport process.

The aim of this work is to substantiate approaches to improving the operational

efficiency of passenger service information systems in the aviation industry amid global crises, as well as to develop an algorithm for the adaptive management of passenger flows.

The research methods include: analysis of modern information systems in aviation; a systematic approach to examining the transport process; summarization of practical experience in the implementation of digital technologies; algorithmic modelling of passenger service processes.

In the current operational environment of the aviation industry, passenger service information systems are transforming into complex, multi-level management systems that ensure the coordination of transport, information, and service processes. Their role extends beyond traditional passenger service and encompasses functions that ensure the resilience of the transport system under the influence of global destabilizing factors [3]. A key developmental trend is the shift from the concept of enhancing service convenience to the concept of ensuring the systems operational resilience. While previously the main efficiency criterion for information systems was the speed of query processing and the minimization of passenger service time, the priority has currently shifted toward the system's ability to adapt to changes in the external environment. This includes a prompt response to flight delays, route changes, airspace closures, and other crisis situations. As a result, a digital ecosystem is formed in which the information system acts as the central element in managing passenger flows [4].

One of the critical directions of development is the implementation of biometric technologies that support the so-called & seamless journey concept. Within this concept, a passenger's interaction with the information system occurs without the use of traditional documents, utilizing automatic identity verification based on biometric parameters. This significantly reduces the time required for check-in, security screening, and boarding procedures. Furthermore, biometric systems help reduce the workload on personnel, which is especially critical amid labor shortages and heightened security requirements [2].

Another crucial direction is the use of real-time data processing technologies and artificial intelligence (AI) systems. Modern information systems can analyze massive volumes of data originating from various sources, including flight schedules, meteorological conditions, airport congestion, and other factors. Based on this analysis, potential deviations in the transport system's operation are forecasted, and management decisions are formulated. Specifically, AI systems enable the automatic rescheduling of passenger itineraries, the redistribution of flows, and the real-time notification of passengers regarding changes [4].

In the context of transport technologies, this signifies a transition to proactive passenger flow management, where the system not only reacts to events but also anticipates their occurrence. This mitigates the negative impact of crisis factors and enhances the overall operational efficiency of the transport system. Special attention should be given to the environmental aspect of information systems operation. Under modern conditions, it is vital to account for sustainability metrics, particularly carbon emission levels during transportation. Information systems integrate these

metrics into the route planning process, offering passengers alternative travel options, including multimodal routes utilizing rail transport. Thus, information systems become a tool not only for enhancing efficiency but also for ensuring the environmental sustainability of the transport system [3].

Concurrently with the development of digital technologies, the importance of cybersecurity is growing. The transition to cloud architectures and the use of distributed information systems creates new risks associated with cyber threats. Consequently, modern information systems must be based on Zero Trust principles, which entail the continuous verification of access to data and resources regardless of the user's location. Ensuring the systems cyber resilience is a prerequisite for the continuity of the transport systems operation in the era of digitalization [4].

To improve the operational efficiency of information systems, this paper proposes an algorithm for the adaptive management of passenger flows, based on data integration, forecasting, and the automation of management decisions. The algorithm for the adaptive management of passenger flows includes the following stages:

1. Data collection – obtaining information about the transport systems operational parameters (flight schedules, congestion, restrictions, external factors).
2. System state analysis – identifying deviations from planned indicators.
3. Forecasting – assessing potential changes in the transport systems operation using artificial intelligence methods.
4. Formulation of management decisions – determining the optimal options for passenger service.
5. Implementation of decisions – automatic route rescheduling and passenger notification.
6. Control and correction – monitoring results and adapting the algorithm in real-time.

The proposed algorithm increases the flexibility of the information systems operation, reduces response times to crisis situations, and improves the quality of passenger service, which is corroborated by modern research in the field of digital transport technologies [1]. Therefore, modern passenger service information systems act as integrated transport process management systems that ensure adaptation to environmental changes, enhance operational efficiency, and secure the resilience of the aviation industry amidst global challenges.

Conclusions

As a result of the conducted research, it has been established that passenger service information systems are transforming into a key element for ensuring the operational resilience of the aviation transport system under the impact of global crises. The expediency of transitioning from a traditional model, focused on enhancing service convenience, to an adaptive model, where the priority is ensuring the continuity of the transport process and promptly responding to changing external conditions, has been substantiated. It has been determined that the integration of biometric technologies, real-time data processing systems, and artificial intelligence contributes to improving the efficiency of passenger flow management and reducing

the workload on personnel. An algorithm for the adaptive management of passenger flows has been proposed, enabling a proactive response to crisis situations, the optimization of service processes, and an enhancement in the quality of transport service. It has been established that the use of predictive models and automated decisions contributes to reducing information processing time and mitigating the negative impact of disturbances on the transport systems operation. It has been proven that vital directions for the development of information systems include integrating environmental metrics into the decision-making process, as well as ensuring the cyber resilience of systems based on modern information security principles. This allows for considering information systems as a comprehensive tool for enhancing the efficiency and sustainable development of the aviation industry. The obtained results can be utilized in the development and refinement of passenger transport management information systems, as well as in the process of implementing digital technologies within the field of transport technologies.

References

1. Ubis A. A., Jodejko-Pietruczuk A., Nowakowski T. Use of augmented reality as a tool to support cargo handling operations at the air cargo terminal. *Sensors*. 2024. 24(4). <https://doi.org/10.3390/s24041099>
2. Rejeb A., Keogh J. G., Treiblmaier H. Potentials and challenges of augmented reality smart glasses in logistics and supply chain management. *International Journal of Production Research*. 2021. 59(14). <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1795812>
3. Gössling S. Risks, resilience, and pathways to sustainable aviation. *Journal of Sustainable Tourism*. 2020. 29(1). <https://doi.org/10.1080/09669582.2020.1746426>
4. Gretzel U., Sigala M., Xiang Z., Koo C. Smart tourism: foundations and developments. *Electronic Markets*. 2020. 30. <https://doi.org/10.1007/s12525-020-00402-3>
5. Badia-Melis R., McCarthy U., Ruiz-García L., Garcia-Hierro J., Villalba J. I. R. New trends in cold chain monitoring applications: a review. *Food Control*. 2018. 86. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.11.022>

5. Економіка авіап перевезень в умовах невизначеності

UDC 656.7.08:004.946

PRATT & WHITNEY PW1000G GEARED TURBOFAN (GTF) ISSUES INFLUENCE ON SHORT AND LONG TERM AIRCRAFT DEMAND FORECASTS

*Artur Viniukov-Proshchenko,
PhD in Economics & Management, Associate Professor,
National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv, Ukraine
Yevhenii Kutiavin, Department of Air Transport,
Silesian University of Technology, Katowice, Poland*

Key words: Pratt & Whitney PW1000G Geared Turbofan (GTF), Aircraft, Engine, Airbus A320 NEO, Engine Issues, MRO, Aviation Industry, Manufacturing Backlog, Aircraft Demand Forecasting

The main issue involves Pratt & Whitney's PW1100G engines, which are also marketed as the Pratt & Whitney GTF, and powers a substantial portion of the Airbus A320neo family. Powder metal contamination discovered in certain engine components has required accelerated inspections and extensive maintenance. The resulting shop visits have lasted far longer than normal, while the limited supply of spare engines has prevented airlines from returning aircraft to service. The crisis has therefore become more than a technical problem. It is changing fleet planning, aircraft leasing, maintenance economics, and the value airlines place on operational reserves. [1]

At its peak in 2025, 648 aircraft powered by GTF engines (A320neo, A220, E190/195-E2) were grounded while awaiting engine shop visits, causing major disruption to airline operations. This was the result of an unprecedented ramp-up in new aircraft delivery targets, combined with a series of engine design maturity and production quality issues. These factors significantly reduced the engines Time On Wing (TOW) to well below industry expectations, in turn creating bottlenecks for engine shop visits. [2]

Both the LEAP engines from CFM (LEAP-1A for A320neo, LEAP-1B for 737 MAX, LEAP-1C for Comac C919) and the Geared Turbo Fan (GTF) engines from Pratt & Whitney (PW1100G for A320neo, PW1500G for A220, PW1900G for E-190/195-E2) are set to continue their rapid expansion, with annual forecasted delivery targets near 2,500 LEAPs and 1,200 GTFs respectively. This ramp up, driven by the ambitious production rates of the 737 MAX and A320neo aircraft families, is unprecedented in the industry, and it has consequences. The annual number of shop visits required through 2040 will increase further, reaching a peak of over 5,000 shop visits for the LEAP and 2,000 for the GTF respectively. [2] Figure

1 illustrates the Evolution of the number of aircraft powered by GTF engine in long term storage.

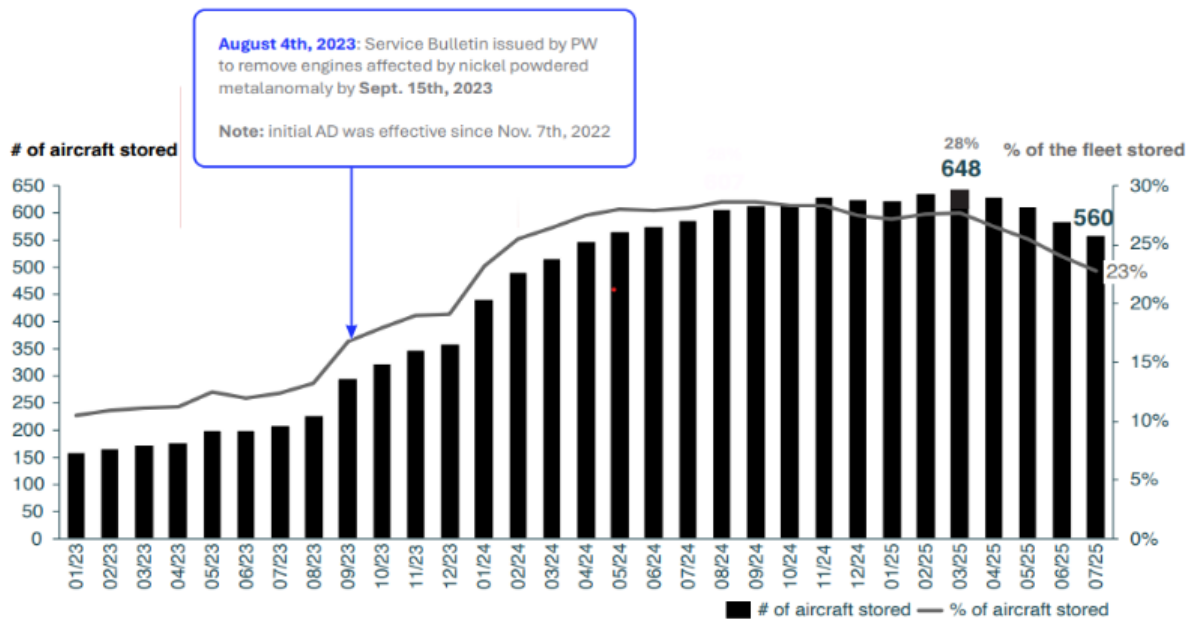


Fig. 1. Evolution of the number of aircraft powered by GTF engine in long term storage

Source: Cirium, IATA data

Expected expansion in overall shop-visit capacity will ease the current shortages affecting engine MRO, but other levers exist to enhance resilience from such unexpected peaks in the future, and further support airlines operations:

1. Increase engine parts availability i) by accelerating the development and approval of new repair instructions to reduce scrap rates of unserviceable parts (either through the OEMs or through regulatory approved instructions such as EASA Part 21 or FAA DER), ii) by extending piece parts production capacity through OEM licensing manufacturing to third parties, and iii) also by facilitating wider access to used serviceable parts recovered from initial engine teardowns.

2. Ease the conditions for fair market access for independent MROs to accelerate new capacity development. For example, the Agreement signed between CFM and IATA in 2018 ("IATA-CFM Agreement") and renewed in January 2026 should be widely considered as an industry best practice in this regard.

3. Encourage both airlines and lessors, ahead of aircraft/engine acquisition, to secure extended lifelong term access to pre-negotiated spare parts price catalogues (e.g., LLPs, HPT, fan blades, etc.). This could include coverage for future part-numbers evolutions, and capped annual escalations (similar to the product support protection from Boeing PSAA and Airbus SSC applicable to airframe SFE components), with the ability to assign these terms to MROs of their choice, including independent providers. That way, lessors could share such key protections with their lessees and independent MROs.

4. Encourage all OEMs (not only engine OEMs, but also airframe components OEMs as well) to adopt fair and best practices for aftermarket programs. For example, by endorsing the same principles as those defined in the IATA-CFM

Agreement (in which CFM recognizes the right for customers to choose using FAA/EASA approved non-OEM parts & repairs: PMAs & DER / Part 21). In the IATA-CFM Agreement, it is also remarkable that third-party competing MROs are recognized by CFM as direct beneficiaries of those measures.

While these strategic levers may not address all existing bottlenecks, they can mitigate the disruptions and remain essential to managing shop-visit demand through the 2030s and 2040s

IATA's forecast [2] indicates why the backlog cannot be treated as a temporary disruption. Figure 2 illustrates the revised long term aircraft demand forecast

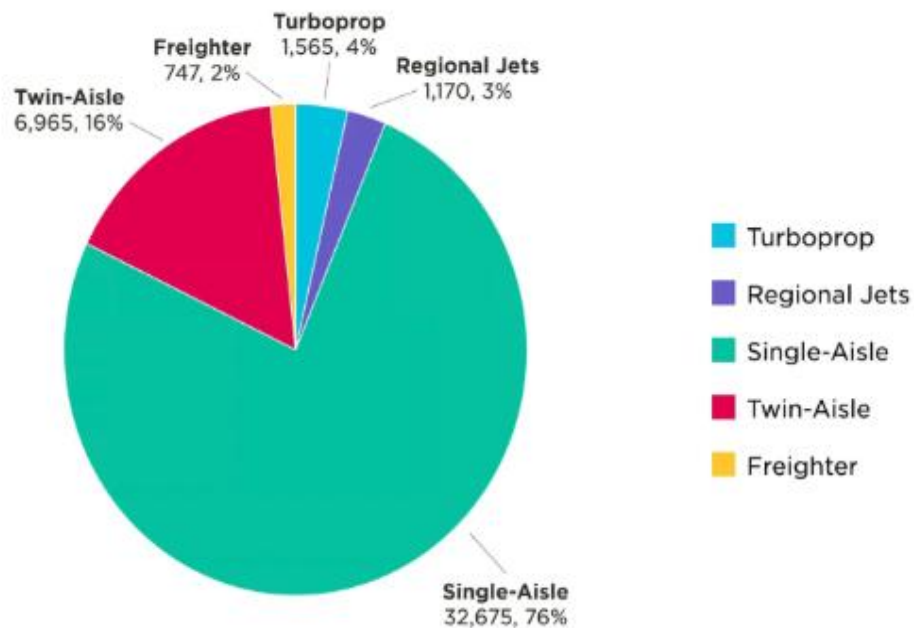


Fig. 2 Revised long term aircraft demand forecast

Source: Cirium, IATA data

Conclusion

The IATA expects annual GTF shop visits to increase from approximately 1,000 in 2025 to more than 2,000 by 2040 as the installed fleet grows and engines enter heavier maintenance cycles. At the same time, LEAP engine shop visits are expected to rise from roughly 600 to 800 in 2025 to more than 5,000 by 2040. The forecast does not suggest that every future shop visit will produce a grounding, but it does show that maintenance demand will continue rising even after the immediate powder-metal campaign becomes less dominant.

Reference

1. How Pratt & Whitney's GTF Engine Quietly Grounded More Jets Than Any Crisis In Decades, Simple Flying, Jack McGarity, September 2026. <https://simpleflying.com/pratt-whitney-gtf-engine-quietly-grounded-more-jets-crisis-decade>
2. Single aisle aircraft engines MRO. Strategic levers to address supply chain challenges. IATA, June 2026, <https://www.iata.org/contentassets/85b59d951fc04c1c83fa2aab47824300/single-aisle-aircraft-engines-mro.pdf>

3. RTX says GTF groundings are coming down thanks to maintenance ramp, Jon Hemmerdinger, FlightGlobal April 2026, <https://www.flightglobal.com/engines/2026/04/rtx-says-gtf-groundings-are-coming-down-thanks-to-maintenance-ramp>
4. GTF Engine Crisis in 2026: 720 A320neos Grounded, One Airline Dead Cadets in Holding Pools Across Europe, May 2026, <https://airmappr.com/news/2026-05/gtf-engine-crisis-cross-airline-cadet-holding-pool-reality>

УДК 656.7:338.512

ЧИННИКИ ФОРМУВАННЯ СОБІВАРТОСТІ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗА НЕСТАБІЛЬНИХ ЦІН НА ПАЛИВО

Глуценко С.Д.

здобувачка другого (магістерського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Кочетков В.М. д.е.н, професор

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: собівартість авіаперевезень, авіаційне паливо, волатильність цін, хеджування, витрати на одиницю пропозиції.

Авіаційний транспорт працює в умовах високої капіталомісткості та жорсткої цінової конкуренції, де навіть незначне коливання витрат помітно впливає на фінансовий результат перевізника. Серед усіх статей витрат саме паливна найменше піддається керуванню на рівні авіакомпанії, оскільки ціна на неї формується на світових ринках нафти й нафтопродуктів і залежить від геополітичних, логістичних та регуляторних подій. Тому дослідження механізму переходу цінових коливань у собівартість перевезень має як наукове, так і практичне значення для планування мережі, тарифної політики та управління ризиками.

За прогнозом ІАТА, у 2026 р. середня ціна авіаційного палива зросте до 152 дол. США за барель проти 90 дол. у 2025 р., а паливні витрати галузі – з 252 до 350 млрд дол., тобто з 25,4 % до 31,4 % операційних витрат за незмінного обсягу споживання [1]. Оскільки зростання повністю зумовлене ціною, а не обсягом, витрати стають менш передбачуваними, а чистий прибуток галузі скорочується майже вдвічі. Для українських перевізників проблема загострюється через обмежену доступність повітряного простору, подовження маршрутів, зростання страхових премій і залежність від імпорتنих поставок палива. Існуючі підходи зазвичай розглядають паливо як окрему статтю витрат або зосереджуються на хеджуванні [2], тоді як комплексне структурування чинників, які визначають силу впливу ціни на собівартість, залишається недостатньо опрацьованим. Це зумовлює актуальність теми.

Метою роботи є систематизація чинників формування собівартості авіаперевезень та оцінювання їх впливу за нестабільних цін на паливо.

Собівартість одиниці транспортної пропозиції можна подати як

$$C_{ASK} = \frac{Q \cdot P_n + C_{ін}}{ASK} \quad (1)$$

де Q – обсяг спожитого палива, т; P_n – ціна палива з урахуванням доставки в літак, зборів і податків, грн/т; $C_{ін}$ – решта витрат (оплата праці, обслуговування, аеропортові й аеронавігаційні збори, амортизація або лізинг), грн; ASK – кількість пропонованих місць-кілометрів.

Виразу (1) відповідають п'ять груп чинників (табл. 1). Цінові чинники – котирування нафти, маржа нафтопереробки (crack spread), логістична премія, податки та валютний курс – формують P_n . Технічно-експлуатаційні (тип і вік повітряного судна, довжина етапу, профіль польоту, маса, режим крейсерської швидкості) визначають Q на один рейс. Комерційні (коефіцієнт завантаження, щільність мережі, добовий наліт) розподіляють витрати на ASK . Регуляторно-екологічні (EU ETS, CORSIA, мандат на стале авіаційне паливо ReFuelEU Aviation – 2 % з 2025 р. і 6 % до 2030 р.) додають вартість викидів і сталих палив. Геополітичні – закриття повітряного простору, подовження маршрутів, зростання страхових премій – одночасно збільшують Q та $C_{ін}$.

Таблиця 1. Чинники собівартості авіаперевезень за нестабільних цін на паливо

Група чинників	Канал впливу	Інструмент управління
Цінові	Рівень і волатильність P_n (нафта, crack spread, курс, податки)	Хеджування, довгострокові контракти, паливний збір
Технічно-експлуатаційні	Питома витрата палива на рейс (Q)	Оновлення флоту, оптимізація профілю польоту й маси, зменшення використання ДСУ
Комерційні	База розподілу витрат (ASK , завантаження)	Керування доходом, перебудова мережі, консолідація рейсів
Регуляторно-екологічні	Додаткові витрати на викиди та сталі палива	Моніторинг вимог, закупівля SAF, енергоефективні рішення
Геополітичні	Подовження маршрутів, страхування, нестача пропозиції палива	Резервні маршрути, диверсифікація постачальників

Джерело: розроблено авторами

Нестабільність ціни P_n переходить у собівартість тим сильніше, чим менша частка захищеного обсягу. Приріст паливних витрат на одиницю пропозиції за зміни ціни на ΔP :

$$\Delta C_{ASK} = \frac{Q \cdot \Delta P \cdot (1-h)}{ASK} \quad (2)$$

де h – частка обсягу палива, захищена хеджуванням.

За оцінкою IATA, у світі захищено близько третини очікуваного споживання 2026 р.; у Європі докризовий рівень становив 70 %, тоді як авіакомпанії Північної Америки здебільшого відмовилися від хеджування [1]. Додатково багато перевізників хеджують сиру нафту, а не авіаційне паливо, і залишаються відкритими до зміни crack spread (прогнозно 57 дол./барель) [1]. Це базисний ризик, який обмежує ефективність інструмента [2].

Паливний шок лише частково компенсується доходами: за прогнозом IATA, дохідність пасажирських квитків зросте близько 7 % за збільшення ціни палива майже на 70 % [1]. Різниця перекладається на фінансовий результат: чистий прибуток галузі прогнозовано становитиме 23 млрд дол. (маржа 2,0 %) проти 45 млрд дол. у 2025 р. Це підтверджує, що паливний чинник формує не лише собівартість, а й межу цінової конкуренції [3].

Висновок

Собівартість авіаперевезень за нестабільних цін на паливо визначається не лише рівнем ціни, а й взаємодією цінових, експлуатаційних, комерційних, регуляторних і геополітичних чинників. Практичні напрями зниження вразливості: підвищення частки захищеного обсягу з урахуванням базисного ризику, зменшення Q на рейс технічними й операційними заходами, підтримання завантаження та гнучка політика паливних зборів. Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісну оцінку h і Q для регіональних перевізників України.

Список використаних джерел

1. IATA. Middle East disruptions and high fuel prices halve airline industry profitability. Press release No. 26. Rio de Janeiro, 7 June 2026. URL: <https://www.iata.org/en/pressroom/2026-releases/06-07-middle-east-disruptions-high-fuel-prices-halve-airline-industry-profitability/>
2. Morrell P., Swan W. Airline jet fuel hedging: theory and practice. *Transport Reviews*. 2006. Vol. 26, No. 6. P. 713–730. URL: <https://doi.org/10.1080>
3. Doganis R. Flying off course: airline economics and marketing. 5th ed. London: Routledge, 2019. 320 p. URL: <https://eld.bl.uk/catalog/019212569>

УДК: 338.47:656.7

ЕКОНОМІЧНИЙ МЕХАНІЗМ АДАПТАЦІЇ АВІАПЕРЕВЕЗЕНЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ РОБОТИ У СУЧАСНИХ УМОВАХ

Гриценко Н.В., к.е.н., доцент,
Український державний університет залізничного транспорту,
м. Харків

Ключові слова: авіаперевезення, економіка авіації, невизначеність, авіакомпанії, економічна стійкість, ризики, геополітичні фактори, паливні витрати, авіаційна інфраструктура, сценарне планування, резильєнтність.

Авіаційний транспорт є однією з найбільш чутливих до зовнішніх шоків галузей економіки. Його функціонування залежить одночасно від динаміки попиту, цін на авіаційне паливо, валютних курсів, стану світової торгівлі, доступності повітряного простору, геополітичної ситуації, технічного стану флоту та вартості фінансових ресурсів. Особливістю сучасного етапу є те, що

зазначені фактори діють не ізольовано, а формують комбінації ризиків, які складно прогнозувати традиційними методами.

Актуальність проблеми посилюється тим, що після відновлення світового авіаційного ринку від наслідків пандемії COVID-19 галузь одночасно зіткнулася з війною в Україні, новими геополітичними конфліктами, перебоями у виробництві літаків та авіаційних двигунів, зростанням вартості технічного обслуговування і змінами міжнародної торговельної політики. За оцінкою International Air Transport Association (IATA), у 2025 р. авіакомпанії перевезли близько 5 млрд пасажирів, а їх сукупний чистий прибуток оцінювався приблизно у 45 млрд дол. США. Водночас у 2026 р. різке зростання вартості авіаційного палива на тлі геополітичної нестабільності суттєво погіршило прогноз: очікується зниження чистого прибутку галузі до 23 млрд дол. США, або лише 2,0% від доходів [1,2].

Таким чином, сучасну економіку авіаперевезень доцільно розглядати не лише з позицій максимізації прибутку в стабільному середовищі, а з позицій здатності авіакомпанії зберігати фінансову та операційну стійкість за різних сценаріїв розвитку подій.

Відповідно до сьогодення пропонується новий підхід, який полягає у формуванні інтегрованого механізму оцінювання економічної стійкості авіаперевезень, у якому невизначеність розглядається не як окремий ризик, а як сукупність взаємопов'язаних шоків, що одночасно впливають на попит, витрати, пропускну спроможність і прибутковість авіакомпанії.

Принципова відмінність запропонованого підходу від того, що вже було запропоновано у попередніх дослідженнях, полягає в наступному.

По-перше, дослідження Zhou та Zhang (2024) зосереджене на оцінюванні економічної стійкості авіаційної системи за допомогою CGE-моделі та розмежуванні внутрішніх і адаптивних заходів стійкості на прикладі природного шоку [3].

По-друге, сучасні дослідження авіаційної стійкості значною мірою концентруються на операційній стороні - відновленні розкладу, перерозподілі повітряних суден, маршрутизації та мінімізації операційних втрат. Огляд 2024 р. показує значний розвиток саме напрямів *airline recovery* та *disruption management* [4].

По-третє, Elhamy та Eltawil (2025) запропонували «*disruption funnel*» для вибору структури флоту та оцінювання розриву між попитом і пропозицією під час тривалих порушень [5].

Тобто, пропонується поєднати економічні, геополітичні, енергетичні та ресурсні шоки в єдиному сценарному контурі. Практично це може бути реалізовано через матрицю сценаріїв (табл.1).

Для кожного сценарію доцільно визначати зміну ключових показників: RPK, ASK, PLF, CASK, RASK, операційного прибутку, чистої маржі та точки беззбитковості. Саме така зміна логіки управління є основним елементом наукової новизни.

Таблиця 1. Матриця поєднання сценаріїв в єдиному контурі

Сценарій	Ключові припущення	Основний вплив	Пріоритетні дії
S1 - базовий	Стабілізація попиту, прогнозовані ціни на паливо, поступове відновлення пропускної спроможності	Помірне зростання/стабілізація доходів і витрат	Оптимізація маршрутної мережі, планування потужностей, контроль маржинальності
S2 - енергетичний шок	Значне зростання вартості авіаційного палива	Різне збільшення операційних витрат і зниження рентабельності	Паливні хеджі, оптимізація маршрутів, підвищення паливної ефективності, перегляд тарифів
S3 - геополітичний шок	Закриття/обмеження повітряного простору, збільшення тривалості польотів	Зростання тривалості та собівартості рейсів, перебої в розкладі	Альтернативні маршрути, резервні аеропорти, гнучке планування флоту
S4 - комбінований шок	Падіння попиту + дороге паливо + логістичні обмеження + дефіцит флоту	Максимальний тиск на ліквідність, прибутковість і операційну стійкість	Скорочення нерентабельних потужностей, збереження ліквідності, пріоритизація маршрутів, антикризовий план

Дану матрицю доцільно розглянути з урахуванням кількісних показників кожного сценарію, наприклад, зміну попиту (%), ціни палива (%), доступної місткості флоту (%) та собівартості рейсу (%). Це дозволить перейти від описової матриці до сценарного моделювання фінансових результатів (табл.2). Для оцінювання стійкості авіаційного підприємства до зміни зовнішнього середовища доцільно застосувати сценарний підхід. Він передбачає моделювання кількох варіантів розвитку подій із різною інтенсивністю впливу ключових факторів - попиту, вартості авіаційного палива, доступної пропускної спроможності та операційних витрат.

З наведеної матриці бачимо, що найбільш критичним є S4 - комбінований шок, за якого одночасно погіршуються попит, доступна місткість флоту та витратні показники. S2 характеризується насамперед різким зростанням паливних витрат, тоді як S3 - суттєвим скороченням доступної місткості та зростанням операційних витрат. Таким чином, сценарний підхід дозволяє оцінити не лише очікуваний результат діяльності авіапідприємства, а й його чутливість до зміни ключових зовнішніх факторів.

Таблиця 2. Матриця сценаріїв розвитку авіаційного ринку

Показник	S1 - базовий сценарій	S2 - енергетичний шок	S3 - геополітичний шок	S4 - комбінований шок
Зміна пасажирського попиту	+3–5%	–2–5%	–5–10%	–15–25%
Зміна ціни авіаційного палива	0–5%	+30–50%	+10–20%	+30–50%
Зміна доступної місткості флоту	0–5%	–5–10%	–10–20%	–20–30%
Зміна тривалості маршрутів	0–3%	0–5%	+10–25%	+15–30%
Зміна операційних витрат	0–5%	+15–25%	+10–20%	+25–40%
Очікуваний вплив на виручку	+3–7%	–5–12%	–10–20%	–20–35%
Очікуваний вплив на прибутковість	Стабільна / помірне зростання	Помірне зниження	Значне зниження	Критичне зниження
Рівень ризику	Низький	Середній–високий	Високий	Критичний

Висновок

В умовах високої невизначеності головним завданням авіакомпанії є не максимізація обсягів перевезень, а оптимізація співвідношення «дохід - витрати - ризик». Особливого значення набуває гнучке управління місткістю, маршрутною мережею та флотом.

У разі зростання паливних витрат економічно доцільним є перерозподіл місткості на маршрути з вищим RASK, скорочення низькорентабельних напрямів і збільшення частки додаткових доходів. У випадку геополітичного шоку пріоритетним стає використання альтернативних маршрутів, код-шеринг, співпраця в межах альянсів та гнучке планування флоту. Сценарний аналіз показує, що найбільші ризики для авіапідприємства виникають за комбінованого шоку, який одночасно впливає на попит, витрати та доступність флоту. Водночас базовий сценарій створює умови для поступового відновлення та зростання. Тому ключовими напрямками забезпечення стійкості є оптимізація витрат, гнучке управління флотом і маршрутами, контроль ліквідності та своєчасне застосування антикризових заходів.

Для України зазначений підхід має особливе значення у контексті майбутнього відновлення цивільної авіації. Після відновлення безпечного використання повітряного простору економічна модель українських авіаперевезень повинна формуватися не на основі одного прогнозу попиту, а на основі декількох сценаріїв відновлення. Це дозволить враховувати різну швидкість відновлення пасажиропотоку, платоспроможного попиту, туристичних потоків, ділової мобільності, авіаційної інфраструктури та доступності повітряних суден.

Список використаних джерел

1. International Air Transport Association (IATA). Global Outlook for Air Transport, Geneva, 2026. <https://www.iata.org/en/publications/economics/reports/global-outlook-for-air-transport-june-2026/>
2. International Civil Aviation Organization (ICAO). The World of Air Transport in 2024. Montréal, 2025. <https://www.icao.int/about-icao/AnnualReport2024/world-air-transport-2024>
3. Zhou, L., Zhang, M. Assessing economic resilience in aviation system disruptions based on CGE model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2024. Vol. 114. Article 104996. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104996>.
4. Bergantino, A. S., Gardelli, A., Rotaris, L. Assessing transport network resilience: empirical insights from real-world data studies. *Transport Reviews*. 2024. Vol. 44, No. 4. P. 834–857. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01441647.2024.2322434>
5. Elhamy, H. A., Eltawil, A. B. Analyzing Airline Fleet Resilience Using the Disruption Funnel Framework. *Logistics*. 2025. Vol. 9, No. 1. Article 38. <https://doi.org/10.3390/logistics9010038>

UDC 656.025.4:004.8

APPLICATION OF INTELLIGENT TECHNOLOGIES TO OPTIMIZE TRANSPORT AND LOGISTICS PROCESSES IN MULTIMODAL FREIGHT TRANSPORTATION

Shyshka A.O.

student of the second (master's) level of higher education

*Scientific Supervisor: Shevchuk D.O., Doctor of Technical Sciences, Professor,
National University "Kyiv Aviation Institute", Ukraine*

Keywords: multimodal transportation, intelligent technologies, routing, resource allocation, transport logistics.

Efficient freight transportation requires more than identifying the shortest route: transport resources, customer requests and time constraints at network nodes must also be coordinated. In a multimodal system, this additionally entails coordination among different modes of transport. The European Commission identifies integration between transport modes and interoperability of logistics processes as important areas of multimodal transport development [1]. For logistics chains involving air transport, critical factors include the timing of delivery to the airport, flight schedules, cargo acceptance and onward ground distribution. A locally optimal decision does not necessarily minimize the costs and delivery time of the entire chain.

The legal framework for multimodal transportation in Ukraine is established by the Law of Ukraine "On Multimodal Transportation" [2]. Danchuk and colleagues substantiated dynamic route updating under changing road-network characteristics [3]. The review by Söffker, Ulmer and Mattfeld systematizes routing decision methods under stochastic conditions and with newly arriving information [4]. However, route selection and the assignment of transport resources remain distinct, albeit interrelated, problems.

The aim of this study is to substantiate an approach to optimizing transport and logistics processes by coordinating dynamic routing and resource allocation, and to assess its potential application in multimodal freight transportation involving air transport. The methodological foundation consists of earlier work by the author: a 2025 qualification thesis on freight routing and the team-developed Smart Empty Flow prototype created during a 2026 hackathon. These materials are not independent published studies, and their reported results are based on models.

In the author's earlier routing study, the transport network was represented as a weighted graph in which travel times on individual links depend on departure time and traffic conditions. Route search was combined with time-dependent updates of graph weights; Monte Carlo simulation was also considered as a method for assessing travel-time uncertainty. Practical simulations were performed on a demonstration freight-delivery network along the Kyiv–Szczecin corridor. For one departure scenario, on Monday at 10:00 a.m., the first iteration yielded 20.24 hours, while successive route refinement reduced the simulated travel time to 19.76 hours. The difference is 0.48 hours (approximately 2.4% of the initial value). These figures illustrate a single modelled routing scenario and do not establish real-world savings or validate the proposed multimodal integration.

Another component is represented by the Smart Empty Flow team project, which focused on algorithmic assignment of empty freight wagons to shipment requests. The model considers wagon–request compatibility, location, availability time, distance and the implications for fleet utilization. The algorithm initially searches for nearby resources and, where necessary, expands the search across the network. The prototype displays the recommended assignment, estimated wagon delivery time and calculated effect. Related problems of empty-wagon repositioning and resource assignment have been addressed by Milenković, Bojović and Abramini [5]. The Smart Empty Flow results do not constitute proof of the benefits of full-scale operational deployment.

The conceptual integration of these two tasks involves four procedures: (1) describing the network, requests, resources and constraints; (2) identifying feasible route–resource combinations; (3) comparing alternatives in terms of time, costs, non-productive mileage and delay risk; and (4) revising decisions when new data become available. Opportunities for integrated optimization of interdependent tasks in multimodal logistics have been examined by Deineko, Jungnickel and Kehrt [6]. Unlike selecting only the shortest route, this logic jointly evaluates route quality and the suitability of assigning a particular resource. Compliance with mandatory constraints takes priority: compatibility between transport mode and cargo,

sufficient carrying capacity, technical availability and coordination of arrival and departure times. Here, intelligent technologies denote adaptive, data-informed decision support, without implying that a trained machine-learning model has been implemented. The weighting coefficients applied to evaluation criteria require separate justification for each transport system; they cannot simply be transferred from a railway case study to air cargo transportation.

For a chain comprising "road feeder transport – air transportation – road delivery", the approach could be used to coordinate ground vehicles with flights. Additional constraints include cargo acceptance cut-off times, handling time, available flight cargo capacity, special handling requirements and the risk of missing a connection. IATA publicly outlines air-cargo acceptance, handling and door-to-door process stages in its Cargo Handling Manual overview [7]. The IATA ONE Record standard offers a promising basis for data exchange among stakeholders [8]. Accordingly, optimization should address the entire coordinated process rather than an individual route alone.

The effectiveness of the proposed approach should be assessed by comparing two scenarios based on identical input data: baseline planning without coordinated adjustments to routes and resource assignments, and coordinated planning with dynamic decision updates. Performance indicators should include total delivery time, the share of requests fulfilled on time, total non-productive mileage, transport and logistics costs, and resilience to delays. Application to air cargo logistics requires a separate evaluation using actual data or appropriately justified modelling assumptions.

Conclusion

An approach to optimizing freight transportation is proposed that combines dynamic routing with transport resource allocation. Its potential advantage lies in the simultaneous consideration of routing, resource and time constraints. Earlier model-based evaluations of individual components provide a methodological basis for further research but do not demonstrate the effectiveness of an integrated solution in air cargo logistics. The next stage will involve developing a multimodal chain model that includes air transport and comparing it with a baseline scenario in terms of delivery time, costs and reliability.

References

1. European Commission. Logistics and multimodal transport / Directorate-General for Mobility and Transport. URL: https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/logistics-and-multimodal-transport_en
2. On Multimodal Transportation: Law of Ukraine of 17 November 2021 No. 1887-IX. Legislation of Ukraine database / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1887-20>
3. Danchuk V., Comi A., Weiß C., Svatko V. The optimization of cargo delivery processes with dynamic route updates in smart logistics. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2023. Vol. 2, No. 3 (122). P. 64–73. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277583>

4. Söffker N., Ulmer M. W., Mattfeld D. C. Stochastic dynamic vehicle routing in the light of prescriptive analytics: A review. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 298, No. 3. P. 801–820. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.014>.
5. Milenković M., Bojović N., Abraminić D. Railway freight wagon fleet size optimization: A real-world application. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 2023. Vol. 26. Art. 100373. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2023.100373>.
6. Deineko E., Jungnickel P., Kehrt C. Learning-Based Optimisation for Integrated Problems in Intermodal Freight Transport: Preliminaries, Strategies, and State of the Art. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, No. 19. Art. 8642. <https://doi.org/10.3390/app14198642>.
7. International Air Transport Association (IATA). IATA Cargo Handling Manual (ICHM): information about the publication. URL: <https://www.iata.org/en/publications/manuals/iata-cargo-handling-manual/>
8. International Air Transport Association (IATA). ONE Record: data sharing standard for air cargo. URL: <https://www.iata.org/en/programs/cargo/e/one-record/>

UDC 656.7.073:658.155

REVENUE MANAGEMENT STRATEGIES IN AIR CARGO TRANSPORTATION: BALANCING PROFITABILITY AND CAPACITY UTILISATION

Shutishyna Anastasiia,

student of the first (bachelor's) level of higher education

Scientific Supervisor: V. Klymenko, PhD in Economics, Associate Professor

National University "Kyiv Aviation Institute", Kyiv

Air freight capacity is perishable: once a flight departs, unsold space cannot be recovered. Yet accepting low-priced shipments too early can displace later, higher-value demand. Airlines must therefore balance booking acceptance, prices and the physical constraints of weight, volume and pallet positions. The objective of this study is to assess that trade-off through documentary analysis, comparison of official performance indicators and a conceptual management proposal. IATA reports that global air cargo demand increased by 3.4% in 2025, compared with a 3.7% expansion in available capacity [1]. These industry developments make capacity discipline and revenue quality particularly relevant.

The purpose of this study is to evaluate how air cargo enterprises can balance capacity utilisation and profitability, using published performance indicators and aircraft capacity constraints. The methods include documentary analysis, comparison of official company statistics for 2024–2025, descriptive indicator analysis and conceptual modelling of managerial decisions.

Research on air cargo revenue management distinguishes it from passenger revenue management because shipment dimensions and realised weights may be uncertain at the time of booking, while forwarder contracts and heterogeneous cargo create additional allocation decisions [2]. Recent peer-reviewed work considers the joint optimisation of dynamic prices and capacity allocation [3]. Such models provide decision-support methods, but their simulated benefits should not be confused with audited financial results of any named carrier.

Cargo load factor (CLF) is revenue cargo tonne-kilometres per available cargo tonne-kilometres (ACTK). Yield expresses average traffic revenue per unit of performed cargo transport work. Neither CLF nor yield alone measures profitability: management should examine revenue and operating costs as well.

The Lufthansa Group Logistics segment includes Lufthansa Cargo as well as other logistics businesses; therefore, segment earnings cannot be attributed exclusively to the airline [4]. The 2025 annual report records a 5% increase in available capacity and a 7% rise in cargo traffic. It also identifies additional Boeing 777F capacity and expanded passenger-aircraft belly capacity as contributing factors [4]. Table 1 demonstrates financial and operational performance indicators of the Lufthansa Group logistics business segment in 2024–2025.

Table 1. Financial and Operational Performance Indicators of the Lufthansa Group Logistics Business Segment

		2025	2024	Change in %
Revenue	in €m	3,403	3,263	4
of which traffic revenue	in €m	3,189	3,054	4
Operating income	in €m	3,485	3,356	4
Operating expenses	in €m	3,209	3,147	2
Adjusted EBITDA	in €m	525	449	17
Adjusted EBIT	in €m	324	251	29
EBIT	in €m	325	252	29
Adjusted EBIT margin	%	9.5	7.7	1.8 pts
Adjusted ROCE	%	14.7	10.9	3.8 pts
Segment capital expenditure	in €m	110	149	-26
Employees as of 31 Dec	number	4,322	4,261	1
Average number of employees	number	4,308	4,223	2

Source: Lufthansa Group Annual Report 2025, Logistics Business Segment, Table T036 [4].

In 2025, cargo load factor increased by 1.1 percentage points, whereas yield declined by 2.8%. Nevertheless, traffic revenue grew by 4% and adjusted EBIT by 29% [4]. This combination illustrates why capacity utilisation, price and operating costs must be evaluated together; it does not prove that a particular pricing algorithm produced the improvement.

Regional differences reinforce this conclusion. Lufthansa reported cargo load factors of 69.4% in Asia/Pacific, 59.8% in the Americas, 58.7% in Middle

East/Africa and 46.5% in Europe (Table T038) [4]. These differences support market-specific demand forecasts and capacity allocation rather than a single network-wide utilisation target. The company also reported increased Boeing 777F and passenger-aircraft belly capacity and the addition of Rome as a fifth cargo hub [4]. Regional profitability cannot be inferred because corresponding cost and contribution data are not disclosed.

Boeing's official 777F airport-planning document includes main-deck cargo layouts, including a configuration of 27 pallets measuring 96×125 inches [5]. Aircraft loading options demonstrate that saleable capacity is multidimensional; mass alone does not describe all constraints. The exact layout must follow approved aircraft loading instructions rather than a simplified illustration.

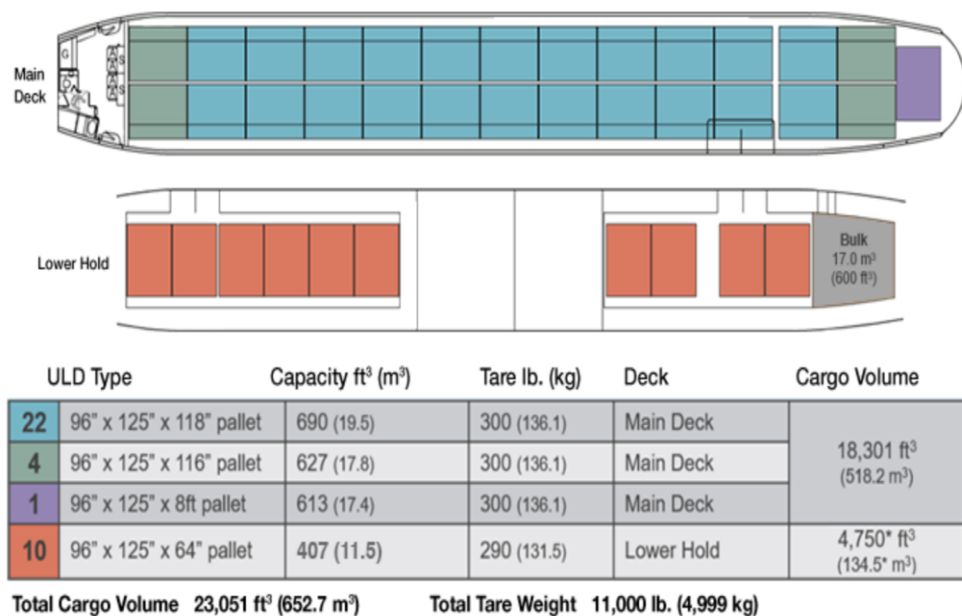


Fig. 1. Main-Deck Cargo Arrangement of the Boeing 777 Freighter (777F)

Source: Boeing, 777 Airplane Characteristics for Airport Planning, Section 2.6.4 [5].

Digital implementation in practice. Lufthansa Cargo reported improvements to online booking, shipment tracking and the automated processing of booking enquiries received by email in 2025 [4]. These initiatives illustrate how digitalisation may support faster information flows and more responsive capacity decisions. However, the company did not publish a separate causal estimate of additional revenue generated by these particular initiatives; therefore, their financial effect cannot be quantified from the available evidence.

Based on the scientific literature and company evidence, the following integrated cycle is proposed: (1) forecast demand by route, season and customer group; (2) reserve capacity for contractual commitments and potential late demand; (3) adjust prices and booking acceptance using remaining weight, volume and pallet positions; (4) monitor CLF, yield, revenue and operating contribution together. The framework is a research proposal, not a claimed description of Lufthansa Cargo's internal system.

Managerial implications and limitations. The proposed framework should assess each booking by expected incremental contribution, not by volume alone. A practical decision rule would compare the expected revenue of an additional consignment with its incremental handling and transport costs and the opportunity cost of scarce weight, volume or pallet positions. This is an author-developed recommendation, not a disclosed Lufthansa Cargo booking algorithm. A meaningful test would require anonymised booking records, shipment dimensions, route-level prices and costs; public annual reports do not provide these inputs.

Conclusions

The findings demonstrate that effective air cargo revenue management requires an integrated balance between capacity utilisation, revenue quality and operating profitability. A higher cargo load factor is not, by itself, evidence of stronger financial performance, because the economic value of a shipment also depends on yield, incremental costs and the opportunity cost of scarce aircraft capacity.

The Lufthansa Group Logistics results for 2024–2025 illustrate this relationship. Cargo load factor increased from 61.9% to 63.0%, while yield declined by 2.8%; nevertheless, traffic revenue rose by 4% and adjusted EBIT by 29% [4]. These segment-level results demonstrate the importance of interpreting financial and operational indicators together, without attributing the improvement to any particular revenue management method. Regional differences in load factor further support differentiated commercial decisions across markets.

The Boeing 777F example highlights that available capacity is constrained not only by payload weight, but also by volume, pallet positions and approved loading arrangements [5]. Accordingly, the proposed management framework combines demand forecasting, capacity allocation, differentiated pricing, booking acceptance control and continuous monitoring of load factor, yield, revenue and operating contribution. Its practical contribution is a structured basis for assessing the expected incremental value of individual bookings instead of prioritising aircraft utilisation alone.

The framework remains a conceptual proposal rather than an empirically validated airline system. Future research should evaluate it using anonymised route-level booking data, actual shipment dimensions, accepted and rejected quotations, realised freight rates and incremental operating costs. Such testing would help determine whether the proposed approach improves profitability while maintaining efficient use of cargo capacity.

References

1. International Air Transport Association (IATA). Global Air Cargo Demand Achieved Record Volume in 2025. 29 January 2026. <https://www.iata.org/en/pressroom/2026-releases/2026-01-29-01>
2. Srinivasan et al. Air Cargo Revenue Management: A State-of-the-Art Review. *International Journal of Revenue Management*. 2023. <https://doi.org/10.1504/IJRM.2023.130752>

3. An Integrated Capacity Allocation and Dynamic Pricing Model Designed for Air Cargo Transportation. *Applied Sciences*. 2025. Vol. 15, no. 10, article 5344. <https://www.mdpi.com/2076-3417/15/10/5344>
4. Lufthansa Group. Annual Report 2025. Logistics Business Segment, Tables T036–T038. <https://report.lufthansagroup.com/2025/annual-report/en/combined-management-report/business-segments/logistics-business-segment/>
5. Boeing. 777 Airplane Characteristics for Airport Planning. Section 2.6.4, p. 2-18. https://www.boeing.com/content/dam/boeing/boeingdotcom/commercial/airports/acaps/777_2lr_3er_f.pdf

6. Авіаційна логістика та інтегровані ланцюги постачання

UDC 656.073:656.078.12

MULTIMODAL TRANSPORTATION AS A FACTOR IN INCREASING THE EFFICIENCY OF MODERN SUPPLY CHAINS

*Akmaldinova V.Ye., PhD, Associate Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv
Volkovska H.H., Assistant
National Transport University, Kyiv*

Keywords: Multimodal transportation, Supply chain efficiency, Logistics networks, Containerization, TEN-T, Digital integration.

This paper examines the strategic role of multimodal transportation networks in enhancing the performance, resilience, and economic cost-efficiency of global and regional supply chains. Under current geopolitical disruptions and fluctuating market demands, relying on single-mode transportation often results in significant bottlenecks and operational vulnerabilities. By integrating road, rail, maritime, and air logistics into a single seamless delivery loop governed by Multimodal Transport Operators (MTOs), companies can minimize total logistics costs, lower lead times, and maintain cargo continuity. The paper explores the synchronization mechanics of multimodal systems, the infrastructure supporting containerization, and the massive impact of end-to-end digital frameworks. Special attention is paid to the integration of European-Ukrainian transport networks like the TEN-T corridor.

In the contemporary globalized economy, the structural stability of industrial and commercial markets is inherently tied to the agility of their logistics networks. For decades, traditional logistics models predominantly relied on single-mode (monomodal) transport configurations due to their organizational simplicity. However, recent compounding macroeconomic shifts, aggressive geopolitical realignments, and physical corridor disruptions have exposed the profound vulnerabilities of rigid supply lines. When a single maritime port undergoes a sudden operational halt, or a primary terrestrial highway is blocked, monomodal chains face sudden breakdown, leading to expensive downtime, inventory stockouts, and dramatic inflation of retail costs [1].

To mitigate these vulnerabilities, the paradigm of modern supply chain management has decisively shifted toward flexibility and systemic adaptability. Multimodal transportation—defined as the moving of goods under a single unified contract but performed utilizing at least two distinct transport modes—has emerged as a cornerstone solution [2]. It transforms transportation from a segmented series of mechanical tasks into a dynamic, highly responsive system capable of routing around structural bottlenecks in real-time.

For transit-critical countries and expanding markets like Ukraine, multimodal integration represents a vital national imperative rather than an optional operational upgrade. The strategic necessity to bypass disrupted corridors and tightly synchronize national infrastructure with the European Union's Trans-European Transport Network (TEN-T) highlights the urgency of this model [3]. This research explores the foundational mechanisms through which multimodal systems generate value, optimize structural Key Performance Indicators (KPIs), and anchor modern supply lines against external systemic shocks.

1. THE ORGANIZATIONAL MATRIX OF MULTIMODAL TRANSPORTATION

The defining operational feature that distinguishes multimodal transport from standard segmented (intermodal) logistics is its singular legal and administrative framework. Under a multimodal setup, the entire delivery route is managed and guaranteed by a Multimodal Transport Operator (MTO). The MTO assumes comprehensive, absolute legal liability from the initial point of origin directly to the final destination point, issuing a single comprehensive document known as a Multimodal Bill of Lading (or FBL under FIATA standards) [4].

This centralized framework provides immense benefits by insulating the cargo owner (shipper) from the complex realities of dealing with multiple sub-contractors, individual modal carriers, differing maritime lines, and regional railway state authorities. Shippers gain access to a clear 'single point of contact' and a predictable, transparent 'through-rate' tariff structure. This structural setup significantly cuts down the administrative overhead costs traditionally associated with complex international freight operations, successfully realizing the ultimate logistical ideal of seamless 'Door-to-Door' delivery [2, 5].

2. IMPACT ON KEY PERFORMANCE INDICATORS (KPIs) OF SUPPLY CHAINS

The strategic deployment of multimodal transport networks delivers direct, quantifiable improvements across the three primary dimensions of supply chain performance: cost, speed, and reliability.

Total Logistics Cost Optimization: While air cargo offers unmatched velocity, its cost per ton-kilometer is frequently prohibitive for mass commodities. Conversely, maritime transport is highly economical but suffers from prolonged transit cycles. Multimodal logistics enables companies to construct balanced, blended routing. A classic example is the combination of maritime transport for the transoceanic leg with high-speed express block trains or flexible road freight networks for inland distribution. This combined approach regularly reduces overall transport costs by 20% to 35% compared to pure over-the-road setups, while avoiding the severe delays typical of purely ocean-bound freight [1, 6].

Lead Time Compression: By ensuring highly coordinated schedules at modern multimodal terminal hubs, cargo dwell times are severely restricted. The utilization of specialized Intermodal Transport Units (ITUs), primarily standardized ISO containers and standardized swap bodies, means cargo does not need to be physically handled, unpacked, or re-sorted when transitioning between trains, vessels, or trucks.

The physical container is simply moved via automated gantry cranes, compressing container transfer windows from days to mere minutes [4].

Systemic Resilience and Risk Management: Modern supply chain architecture prioritizes risk diversification over unprotected cost minimizing. Multimodal networks act as an active insurance mechanism. If an unexpected crisis occurs—such as severe weather delaying maritime vessels or customs labor strikes shutting down a key highway—the MTO can dynamically switch the cargo container to an active rail or air alternative without breaking the original contract or requiring new customs documentation. This flexibility ensures continuous cargo flow and prevents costly warehouse stockouts [5].

3. TECHNOLOGICAL ENABLERS AND DIGITAL SYNCHRONIZATION

The physical movement of multi-mode containers requires a corresponding digital infrastructure. Without accurate, real-time data flow, the physical transfer points in multimodal terminals quickly experience severe congestion. Modern integration depends on two primary digital fields: internet-of-things tracking hardware and shared cloud data ecosystems.

End-to-End Visibility (E2E): Advanced logistics networks utilize telematics sensors embedded directly into container structures to continuously beam location, interior temperature, humidity, and security status via satellite networks [6]. This data allows supply chain managers to monitor the absolute status of transit goods, providing accurate predictive analytics for exact arrival times at intermediate rail-heads or ports.

Unified Digital Documentation: Historically, international transport required a mountain of paper documents, leading to costly delays at border crossing points. The progressive implementation of electronic documents, such as the e-CMR for road freight, the e-AWB for air logistics, and electronic customs declarations, allows for automated processing. Data is shared instantly ahead of the cargo's physical arrival, enabling border authorities and terminal operators to schedule equipment and clear customs in advance, completely cutting down border crossing bottlenecks [3, 7].

Conclusions

Multimodal transportation has evolved from a specialized operational technique into an absolute structural requirement for modern supply chain management. By legally consolidating responsibilities under an MTO framework and physically utilizing standardized containerized units, it establishes an optimal balance between cost efficiency, operational speed, and logistics flexibility.

As global markets continue to face complex geopolitics and rising climate-related disruptions, the resilience afforded by multimodal routing will remain a definitive competitive advantage for corporations and national economies alike. Future advancements will heavily feature deeper machine-learning automation within terminal hubs, predictive routing algorithms, and the integration of automated, eco-friendly transport corridors designed to drastically reduce the carbon footprint of global trade.

References

1. Операційний план реалізації Національної транспортної стратегії України / Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1550-2024-п>
2. Bowersox D., Closs D., Bixby Cooper M., Bowersox J. Supply Chain Logistics Management. 5th ed. McGraw-Hill Education, 2019. 496 p.
3. Christopher M. Logistics & Supply Chain Management. Pearson UK, 2016. 320p.
4. Coyle J. J., Novack R. A., Gibson B., Bardi E. J. Transportation: A Global Supply Chain Perspective. Cengage Learning, 2016. 528 p.
5. Trans-European Transport Network (TEN-T) Guidelines and Implementation Report / European Commission. 2023.
6. Rushton A., Croucher P., Baker P. The Handbook of Logistics and Distribution Management. 7th ed. Kogan Page, 2022. 912 p.
7. Stopford M. Maritime Economics. 3rd ed. Routledge, 2009. 816 p.

УДК 656.7:502.131.1

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПОСТАЧАННЯ СТАЛОГО АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА ДО АЕРОПОРТІВ В УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ

*Білоус Т.М.,
здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Гриценко С.І., д.е.н., професор
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: стале авіаційне паливо (SAF), екологістика, ланцюг постачання, паливна інфраструктура, сталий розвиток авіації.

В умовах сучасних глобальних викликів, кліматичної нестабільності та геополітичних трансформацій авіаційна галузь стикається з необхідністю кардинальної трансформації операційних моделей. Найважливішим екологічним аспектом досягнення цілей вуглецевої нейтральності є масштабне впровадження сталого авіаційного палива (Sustainable Aviation Fuel, SAF). Його реальний екологічний ефект визначається за методологією життєвого циклу, що охоплює походження сировини, технології виробництва, транспортування, розподіл та кінцеве використання. Зменшення антропогенного впливу авіаційного транспорту на клімат потребує комплексного оцінювання не лише безпосередньої експлуатації повітряних суден, а й усього ресурсного та логістичного забезпечення галузі. Відтак, організація ефективних і стійких ланцюгів постачання SAF виступає ключовим завданням сучасної екологістики [1].

Актуальність дослідження зумовлена посиленням нормативно-правових вимог Європейського Союзу. Зокрема, Регламент ЄС 2023/2405 установлює

мінімальну частку SAF у загальному обсязі авіаційного палива на рівні 2 % із 2025 р. та 6 % із 2030 р. Водночас запроваджений на період 2025–2034 рр. механізм гнучкості дозволяє постачальникам дотримуватися нормативу як середньозваженого показника за всіма аеропортами мережі ЄС [2, 3]. Це свідчить про те, що виконання екологічних вимог не передбачає обов'язкової рівномірності фізичних поставок SAF до кожного окремого аеропорту. Для України, яка інтегрується до європейського простору та готується до масштабного післявоєнного відновлення транспортної інфраструктури, імплементація європейських екологічних стандартів стане базовим елементом стратегії євроінтеграції та технологічної модернізації вітчизняних аеропортів.

Метою дослідження є оцінювання динаміки територіального охоплення та обсягів постачання SAF до аеропортів ЄС у 2024–2025 рр., а також виявлення ключових екологістичних обмежень розширення глобальних ланцюгів постачання палива для адаптації цих практик в Україні. У роботі використано порівняльний аналіз офіційних статистичних показників EASA [4, 5], а також аналітичних звітів Європейської комісії та IATA [1, 3].

Згідно з даними EASA, географія постачання SAF стрімко розширюється: паливо надходило до 33 аеропортів у 12 державах ЄС у 2024 р. та вже до 121 аеропорту в усіх 27 державах у 2025 р. Основні порівнювані показники наведено в табл. 1 [4, 5].

Таблиця 1. Показники зареєстрованого постачання SAF до аеропортів ЄС

Показник	2024 р.	2025 р.
Обсяг SAF, тис. т	192,7	1100
Частка SAF у звітному обсязі авіапалива, %	0,60	2,79
Кількість аеропортів, які отримували SAF	33	121
Кількість держав ЄС із поставками	12	27
Частка п'яти країн-лідерів за поставками, %	99	74
Частка SAF із сировини з-за меж ЄС, %	69	85
Референтна ціна SAF, євро/т	2085	1925
Референтна ціна традиційного авіапалива, євро/т	734	640
Постачальники, які подали звіт (частка за кількістю), %	67	90

Складено за даними EASA [4, 5]. Референтні ціни не є фактичними цінами всіх контрактів.

Аналіз наведених у табл. 1 показників свідчить про суттєве розширення постачання сталого авіаційного палива до аеропортів Європейського Союзу. Упродовж 2024–2025 рр. кількість аеропортів, які отримували SAF, збільшилася з 33 до 121, а кількість держав ЄС, у яких здійснювалися такі поставки, – з 12 до 27. Водночас відбувається децентралізація ринку: частка п'яти країн із найбільшими обсягами постачання зменшилася з 99 % до 74 %. Така динаміка свідчить не лише про збільшення зареєстрованих обсягів SAF, а й про поступове розширення географії його використання в європейській авіаційній системі [4, 5].

Важливим питанням організації постачання SAF є походження сировини для його виробництва. Критичним викликом залишається сировинна залежність: за даними EASA, частка палива, виготовленого із сировини з-за меж ЄС, зросла з 69 % у 2024 р. до 85 % у 2025 р. Основною сировиною

залишалася використана кулінарна олія, частка якої у 2025 р. становила близько 80 %. При цьому значна частина сировини надходила з Китаю, частка якого зросла з 38 % до 61 % [4, 5]. Таким чином, розвиток європейського ринку SAF супроводжується посиленням залежності від міжнародних поставок сировини. Це підвищує значення організації її транспортування, диверсифікації джерел постачання та контролю походження ресурсів.

Особливістю логістики SAF є необхідність підготовки палива до використання в авіації. Відповідно до рекомендацій IATA, компонент SAF перед надходженням має бути змішаний із традиційним авіаційним паливом, після чого отримана суміш повинна пройти відповідний контроль якості та сертифікацію [1]. Сертифікована суміш може транспортуватися і зберігатися з використанням наявної паливної інфраструктури. Зокрема, Європейська комісія розглядає застосування автомобільного, водного та трубопровідного транспорту для організації таких поставок [3]. Отже, розвиток постачання SAF потребує насамперед узгодження процесів виробництва, змішування, транспортування та зберігання палива з можливостями існуючих інфраструктурних систем. Це вимагає тіснішої координації між виробниками, логістичними операторами та аеропортами.

Висновок

Проведений аналіз дозволяє визначити основні напрями вдосконалення організації постачання SAF до аеропортів: диверсифікацію джерел сировини, раціональне розміщення потужностей змішування палива, використання наявних транспортних мереж і забезпечення доступності паливної інфраструктури. Саме комплексний підхід до організації цих процесів створює передумови для подальшого розвитку постачання SAF з урахуванням екологічних вимог.

Окремої уваги потребує екологічний вплив логістичних операцій у ланцюгах постачання SAF. За даними EASA, у 2025 р. використання такого палива забезпечило скорочення викидів парникових газів на 3,77 млн т CO₂-еквівалента, або в середньому на 89 % порівняно з традиційним авіаційним паливом за оцінкою життєвого циклу [5]. Водночас 85 % поставленого SAF було виготовлено із сировини, що походила з-за меж ЄС [5]. Це свідчить про важливість міжнародних перевезень сировини в організації постачання SAF. Доцільно враховувати не лише виробництво та використання палива, а й викиди, пов'язані з транспортуванням сировини до переробних підприємств і доставкою готового палива до аеропортів. Відповідно, вибір транспортних маршрутів, видів транспорту та розміщення потужностей змішування має здійснюватися з урахуванням їхнього потенційного впливу на загальний обсяг викидів парникових газів.

Список використаних джерел

1. International Air Transport Association. *SAF Handbook*. May 2024. URL: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/saf-handbook.pdf>

2. Regulation (EU) 2023/2405 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 on ensuring a level playing field for sustainable air transport (ReFuelEU Aviation). *Official Journal of the European Union*. 2023. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/2405/oj>
3. European Commission. The ReFuelEU Aviation SAF flexibility mechanism: Report to the European Parliament and the Council. COM (2025) 59 final. 27.02.2025. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=COM:2025:0059:FIN>
4. European Union Aviation Safety Agency. ReFuelEU Aviation Annual Technical Report 2025: 2024 in review. 22.10.2025. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/refueleu-aviation-annual-technical-report-2025>
5. European Union Aviation Safety Agency. ReFuelEU Aviation Annual Technical Report 2026: 2025 in review. 17.09.2026. URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/refueleu-aviation-annual-technical-report-2026>

UDC 656.073:656.078.12

DECENTRALIZATION OF MULTIMODAL HUBS AS A FACTOR IN ENSURING THE RESILIENCE OF UKRAINE'S LOGISTICS SYSTEM UNDER WARTIME CONDITIONS

Volkovska H.H., Assistant

National Transport University, Kyiv

Akmaldinova V.Ye., PhD, Associate Professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv

Keywords: logistics resilience, multimodal transport, logistics hubs, decentralization, transport infrastructure, wartime logistics, supply chains.

The Russian full-scale invasion has fundamentally changed the functioning of Ukraine's transport and logistics system. The destruction and temporary loss of transport infrastructure, restrictions on maritime transportation, changes in international trade routes, border-crossing constraints and increased security risks have significantly complicated the movement of goods. At the same time, logistics has become not only an economic function but also an important component of national resilience and security.

The purpose of this thesis is to substantiate the decentralization of multimodal hubs as a factor in ensuring the resilience of Ukraine's logistics system under wartime conditions and to develop a conceptual model of a distributed multimodal logistics network.

1. Logistics resilience under wartime conditions

The concept of resilience has become increasingly important in logistics research because traditional approaches based primarily on cost minimization do not adequately account for large-scale disruptions.

For Ukraine, resilience has a particularly complex nature because logistics disruptions may arise simultaneously from several sources: military attacks, infrastructure destruction, energy shortages, border restrictions, changes in international transport regulations and fluctuations in cargo demand.

The resilience of a logistics system can therefore be considered through four interconnected capabilities: resistance – the ability to continue operations during a disruption; redundancy – the availability of alternative infrastructure and routes; adaptability – the ability to redistribute cargo flows; recovery – the ability to restore disrupted logistics operations.

For Ukraine, the second and third components are particularly important. A system that has alternative hubs and transport modes can redirect cargo flows without completely interrupting supply chains.

2. Decentralization of multimodal logistics hubs

A multimodal logistics hub is a node where cargo can be transferred between two or more modes of transport, including road, rail, maritime and inland-waterway transport. The concentration of such functions in a small number of large facilities can generate economies of scale, but it also increases the potential consequences of their disruption.

Under wartime conditions, an additional criterion should be introduced – resilience to disruption. This means that the location of a logistics hub should be assessed not only according to its economic efficiency but also according to the availability of alternative routes, geographical diversification and the possibility of switching between transport modes.

For Ukraine, decentralization means the development of a network rather than reliance on several dominant logistics centers. Such a network could include:

1. Western border multimodal hubs connected with Poland, Slovakia, Hungary and Romania;
2. Danube-region hubs integrating inland waterways, maritime transport, railway and road transport;
3. Central Ukrainian logistics hubs responsible for the redistribution of domestic cargo flows;
4. Dry ports and inland terminals providing storage, consolidation, customs and transshipment functions;
5. Regional distribution centers supporting local supply chains and essential goods distribution.

Such a structure would allow cargo flows to be redirected when individual facilities or routes become unavailable.

The fundamental principle of the proposed model is distributed redundancy. Each major logistics region should have more than one connection to the national and international transport network. In the event of disruption, cargo flows can be redirected to another hub or transport mode.

3. Multimodal diversification as a mechanism of resilience

The war has demonstrated the importance of multimodal transportation for maintaining Ukraine's international trade. When individual transport modes become constrained, the ability to combine several modes creates additional flexibility.

The development of multimodal transportation in Ukraine is associated with both infrastructure and organizational challenges. These include differences in technical standards, insufficient terminal capacity, border-crossing limitations and the need for better coordination between transport operators.

The resilience of a decentralized multimodal network can therefore be increased through simultaneous diversification in three dimensions:

1. Geographical diversification. Logistics capacity should be distributed among several regions instead of being concentrated in a limited number of nodes.

2. Modal diversification. Cargo flows should be able to switch between road, rail, maritime and inland-waterway transport.

3. Route diversification. Each strategic logistics hub should have alternative connections to domestic and international destinations.

Such diversification reduces the probability that the disruption of one element will cause a system-wide failure.

4. Strategic implications for Ukraine

The decentralization of multimodal logistics hubs should be considered not simply as an infrastructure project but as a component of national logistics resilience.

The first strategic implication is the need to change the criteria for infrastructure investment. In addition to economic efficiency, projects should be evaluated according to their contribution to network redundancy, accessibility and resilience. This means that a smaller regional logistics terminal may have strategic value even if its direct commercial profitability is lower than that of a large centralized hub.

The second implication is the importance of integration with the European transport system. The development of western border hubs and European transport corridors can reduce Ukraine's dependence on individual domestic transport routes and provide access to alternative international markets. The resilience of Ukrainian logistics is therefore directly related to the country's integration into the European transport network.

The third implication concerns the development of dry ports and inland multimodal terminals. Such facilities can partially reproduce the logistics functions of seaports and provide additional opportunities for cargo consolidation, customs processing and redistribution. This can increase the flexibility of the national logistics system during periods when maritime infrastructure is restricted.

The fourth implication is digital coordination. A decentralized network requires continuous information exchange regarding available capacity, border conditions, infrastructure damage, cargo accumulation and alternative routes. Digital logistics platforms can therefore become an important component of resilience.

Finally, decentralized logistics requires cooperation between the government, infrastructure operators, logistics companies and international partners. The creation of multiple independent hubs without coordination would not automatically create a

resilient system. The hubs must operate as elements of a single interconnected network.

Conclusions

The analysis demonstrates that the decentralization of multimodal logistics hubs can become an important factor in strengthening the resilience of Ukraine's logistics system under wartime conditions.

The main vulnerability of a highly concentrated logistics system is its dependence on individual critical nodes. The disruption of such a node can lead to cascading effects, congestion of alternative routes and interruption of supply chains. A decentralized multimodal network reduces this risk by distributing logistics capacity among several geographically separated and functionally interconnected hubs.

For Ukraine, the most promising direction is the development of a distributed network that combines western border hubs, Danube-region logistics centers, inland dry ports, central distribution hubs and regional terminals. Their effectiveness should be supported by multimodal connectivity, route redundancy, digital coordination and integration with European transport corridors.

The proposed approach changes the traditional principle of logistics optimization from «maximum efficiency of individual hubs» toward «resilience and adaptability of the entire network». Although decentralization may require additional infrastructure investment and reserve capacity, these costs should be considered as an investment in the continuity and security of national logistics.

Therefore, the decentralization of multimodal hubs should be incorporated into Ukraine's transport infrastructure reconstruction and European integration policies. The creation of a distributed, multimodal and adaptive logistics network can reduce systemic vulnerability, facilitate international trade and contribute to the long-term resilience of Ukraine's economy.

References

1. Vasylychenko K., Panchenko O. The role of multimodal transportation in ensuring Ukraine's exports under the blockade of sea ports. *Scientific Bulletin of the Odessa National Economic University*. 2026. № 5. С. 150–157. <https://doi.org/10.32680/2409-9260-2026-5-342-150-157>.
2. Maliuta L., Balushevskyj K. Development of Ukraine–EU intermodal logistics in the context of integration into the Ten-T transport network. *Economic Analysis*. 2025. Vol. 35, № 3. P. 54–67. <https://doi.org/10.35774/econa2025.03.054>.
3. Lahutchev D., Nesevrya P. Current logistics centres in the Ukraine: Challenges, trends and priorities for development in the context of war and economic transformation. *SWorldJournal*. 2025. № 30. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2025-30-02-019>.
4. Целлер В., Крамський С. Економічна оптимізація та стратегічна стійкість мультимодальних логістичних мереж в Україні: економічний аналіз дефіциту ефективності в умовах турбулентності. *Економіка та суспільство*, 2025. № 80. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-80-102>.

5. Сухецька К. В. Основні перешкоди та шляхи адаптації транспортно-логістичної системи в період воєнного стану. *Актуальні проблеми сталого розвитку*. 2026. № 3(5). [https://doi.org/10.60022/3\(5\)-26S](https://doi.org/10.60022/3(5)-26S).
6. Asadi Dalivand A., Torabi S. A. Sustainable-resilient seaport-dry port network design considering inter-modal transportation. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol. 452. Article 141944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141944>.
7. Nguyen T. V., Zhang J., Zhou L., Meng M., He Y. A data-driven optimization of large-scale dry port location using the hybrid approach of data mining and complex network theory. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2020. Vol. 134. Article 101816. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.11.010>.
8. Wang Z., Zhang D., Tavasszy L., Fazi S. The hierarchical multimodal hub location problem for cross-border logistics networks considering multiple capacity levels, congestion and economies of scale. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2025. Vol. 196. Article 103972. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2025.103972>.

УДК: 629.3(043)

ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА ПОКАЗНИКАМИ СКЛАДУ ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ

Кушка І.С, слухач,
Бусилко О.А, старший викладач,
Харківський національний університет Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба, Харків

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, газоаналіз, технічне діагностування, картерні гази, військова автомобільна техніка.

У даній роботі проведено комплексне дослідження методів технічного діагностування двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), що ґрунтуються на застосуванні газоаналізу. Цей підхід обґрунтовано як ефективний неруйнівний засіб моніторингу технічного стану автомобільної техніки, який дозволяє отримати всебічну оцінку справності вузлів без потреби в їх демонтажі [1;2]. Особливу увагу в дослідженні приділено аналізу параметрів картерних та відпрацьованих газів, що є ключовим індикатором для оперативного виявлення раптових несправностей двигуна. Окремим аспектом роботи є вивчення діагностичних методів, що використовуються безпосередньо у військових підрозділах, оскільки вони відіграють вирішальну роль у забезпеченні експлуатаційної надійності та боєздатності сучасного парку озброєння.

Сучасний етап розвитку військової автомобільної техніки вимагає

впровадження високоточних і неруйнівних засобів контролю, серед яких провідне місце посідає метод газового аналізу. У представленій роботі цей метод обґрунтовується як один із найперспективніших способів комплексної оцінки технічного стану двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) [3;4]. Його головна перевага полягає у можливості отримання об'єктивних даних про роботу внутрішніх вузлів і систем агрегату без необхідності його демонтажу чи розбирання. Особлива увага приділяється дослідженню складу та об'єму картерних і відпрацьованих газів, аналіз яких дозволяє оперативно ідентифікувати приховані дефекти та запобігати раптовим виходам двигуна з ладу[1;2].

Актуальність дослідження підсилюється реаліями російсько-української війни. Досвід бойових дій та аналіз повсякденної діяльності військ свідчать, що успішне виконання стратегічних завдань безпосередньо залежить від мобільності й високої готовності автопарку. У цьому контексті діагностика стає не просто технічною процедурою, а інструментом підтримання надійності, що гарантує маневреність підрозділів. Процес контролю стану ДВЗ у ході експлуатації розглядається як безперервний цикл збору даних, на основі яких приймаються критично важливі рішення щодо подальшого використання техніки в екстремальних умовах.

Об'єктом даної роботи є процеси зміни параметрів картерних газів під впливом технічних несправностей, а метою — розробка методики виявлення дефектів на ранніх стадіях за допомогою газоаналітичного обладнання. У роботі детально вивчено специфіку діагностичної роботи у військових підрозділах, проаналізовано існуючі пункти технічного контролю та розроблено рекомендації щодо підвищення їхньої ефективності. Запропонований спосіб оцінки технічного стану базується на інтегральному аналізі витрати картерних газів та концентрації токсичних компонентів у вихлопі. Такий підхід дозволяє не лише підтримувати високий рівень надійності автомобільної техніки, а й забезпечувати стабільну боєздатність Збройних Сил у тривалій перспективі.

Висновок

Проведене дослідження показало, що застосування методів газоаналізу є ефективним засобом технічного діагностування двигунів внутрішнього згоряння та своєчасного виявлення їх несправностей. Аналіз параметрів картерних і відпрацьованих газів дозволяє отримувати об'єктивну інформацію про технічний стан основних вузлів і систем двигуна без його демонтажу та розбирання. Запропонований підхід, що ґрунтується на комплексній оцінці витрати картерних газів і концентрації токсичних компонентів у відпрацьованих газах, створює можливість виявлення дефектів на ранніх стадіях та запобігання раптовим відмовам. Особливої актуальності такий метод набуває під час експлуатації військової автомобільної техніки, де своєчасне технічне діагностування безпосередньо впливає на її надійність, мобільність і готовність до виконання поставлених завдань. Отже, впровадження газоаналітичних методів у систему технічного контролю

військової автомобільної техніки є перспективним напрямом підвищення ефективності її експлуатації та підтримання належного рівня технічної готовності.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 4276:2004. Атмосфера. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями. – Київ: Держспоживстандарт України, 2004.
2. ДСТУ 4277:2004. Атмосфера. Норми і методи вимірювань вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів з двигунами, що працюють на бензині або газовому паливі. – Київ: Держспоживстандарт України, 2004.
3. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : організація і управління: підручник. – Київ: Знання, 2004. У виданні окремо розглядаються технічне діагностування автомобілів, діагностичні параметри, методи та засоби діагностування.
4. Говорущенко М.Я., Гогайзель А.В., Климец Б.И. Основы эксплуатационной диагностики автомобилей. – Харьков : Изд-во Харьк. ун-та, 1967. – 132 с.

УДК 656.7.073:658.78

ІНТЕГРАЦІЯ ДАНИХ ПРО МІСЬКІ ЗАТОРИ В СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ АЕРОПОРТОВИМИ СКЛАДАМИ МІСТ-ХАБІВ

Левченко М.Г., аспірант

Науковий керівник: Шевчук Д.О., д.т.н., професор

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: аеропортовий вантажний склад, WMS, міські затори, мультимодальний хаб, авіаційна логістика.

Аеропортовий вантажний склад є вузлом, у якому повітряний сегмент ланцюга постачання поєднується з наземним. На відміну від повітряного сегмента, що працює за жорстким розкладом, наземна доставка між складом і клієнтами в місті залежить від стану вулично-дорожньої мережі. Для експортних відправлень запізнення автомобіля до часу закриття прийому вантажу на рейс (cut-off) означає перенесення вантажу на наступний рейс, а для імпорتنих – збільшення терміну зберігання на складі та затримку доставки одержувачу. Отже, затори в місті-хабі безпосередньо перетворюються на витрати аеропортового складу.

Чутливість аеропортових складів до порушення ритму обробки підтверджує досвід МА «Бориспіль»: наприкінці 2018 р. через різке сезонне зростання обсягів аеропорт був змушений тимчасово обмежити прийом імпорتنих вантажів [1]. Сучасні системи управління складом (Warehouse Management System, WMS) оптимізують внутрішні процеси – розміщення,

комплектацію, завантаження доків, проте здебільшого не враховують зовнішній транспортний стан міста. Метою роботи є обґрунтування підходу до інтеграції даних про міські затори у WMS аеропортових складів та оцінка його потенційного ефекту на прикладі українських хабів і їхніх європейських аналогів.

Оскільки через повномасштабну війну цивільні аеропорти України не працюють, дослідження побудовано на методі аналогій: для кожного українського хабу підібрано європейське місто з подібною структурою мультимодальності та чинним авіасполученням (табл. 1). Критеріями відбору були набір видів транспорту, спеціалізація вантажопотоку, наявність вузьких місць міської мережі (мостів, під'їздів до портів) та роль хабу в національній логістичній системі.

Таблиця 1. Пари «український хаб – місто-аналог»

Український хаб	Ключові характеристики мультимодальності	Місто-аналог	Обґрунтування вибору аналога
Київ (МА «Бориспіль»)	Авіа, залізниця, автомобільний транспорт; місто розділене Дніпром з обмеженою кількістю мостів	Варшава (Лотнисько Шопена)	Столичний хаб, місто розділене Віслою; близько 137 тис. т вантажу у 2025 р. [2]
Гостомель (аеропорт «Антонов»)	Вантажний аеропорт, спеціалізація на надважких і негабаритних вантажах	Лейпциг/Галле	Вантажний хаб DHL, близько 1,4 млн т у 2024 р., цілодобовий режим для вантажних рейсів [3]
Одеса (порти Одеса, Чорноморськ, Південний; аеропорт)	Море, залізниця, авіа, автомобільний транспорт; вантажівки до портів проходять через місто; 48,2 млн т у портах Одеса і Чорноморськ у 2021 р. [4]	Гданськ	Порт, аеропорт і залізничний вузол; 80,4 млн т вантажообігу порту у 2025 р. [5]

Для порівняння умов наземної доставки використано TomTom Traffic Index за 2021 р. – останній довоєнний рік, для якого показники всіх міст розраховано за єдиною методикою. Рівень заторів CL показує, на яку частку фактичний час поїздки перевищує час за вільного потоку [6]. Тоді поїздка, яка за вільного потоку триває T_0 хвилин, у середньому займає:

$$T = T_0 \cdot (1 + CL) \quad (1)$$

Результати розрахунку за формулою (1) для поїздки $T_0 = 30$ хв наведено на рис. 1.

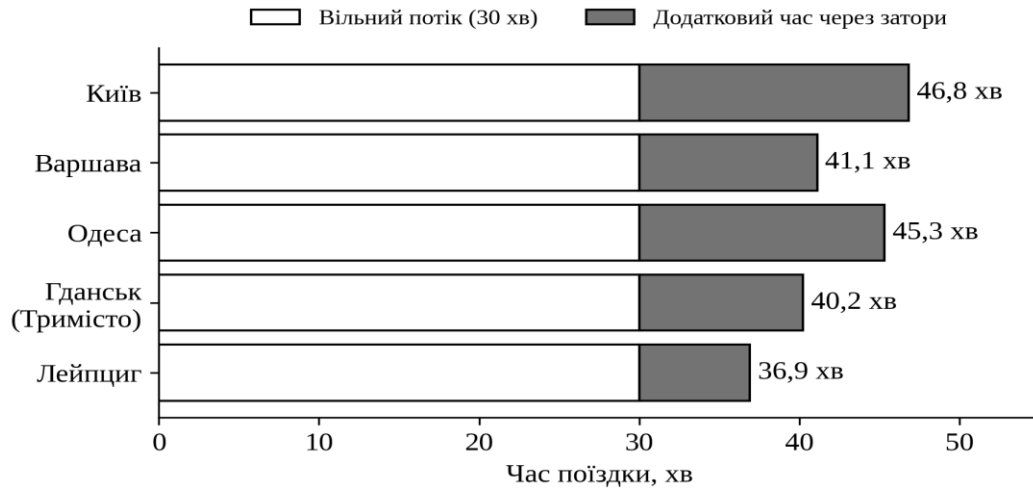


Рис. 1. Тривалість 30-хвилинної поїздки з урахуванням затворів, 2021 р. (побудовано автором за даними [6–10])

Українські хаби мали значно вищий рівень затворів, ніж міста-аналоги: Київ – 56 % [6], Одеса – 51 % [7], тоді як Варшава – 37 % [8], Тримісто (Гданськ, Гдиня, Сопот) – 34 % [9], Лейпциг – 23 % [10]. Кожен рейс складу в Києві в середньому втрачав 16,8 хв проти 11,1 хв у Варшаві та 6,9 хв у Лейпцигу. Водночас обсяг вантажів МА «Бориспіль» у 2021 р. становив 45,7 тис. т [11], тобто приблизно втричі менше, ніж у варшавському аеропорту, і приблизно в 30 разів менше, ніж у Лейпцигу/Галле [2; 3]. Отже, українські хаби поєднували відносно невеликі обсяги з найгіршими умовами наземної доставки, що робить потенційний ефект від управління наземним сегментом для них найбільшим.

Пропонований підхід передбачає доповнення WMS модулем транспортної аналітики з трьома рівнями: збір історичних і поточних даних про час поїздки між складом і ключовими зонами доставки з маршрутних сервісів; прогнозування часу поїздки для кожного напрямку залежно від часу відправлення; оптимізація часу відвантаження та розподілу слотів доків. Цільову функцію для партії з n відправлень запропоновано у вигляді:

$$C = \sum_{i=1}^n [c_h \cdot T_i(t_i) + c_s \cdot w_i(t_i) + p \cdot \max(0; t_i + T_i(t_i) - \tau_i)] \rightarrow \min \quad (2)$$

де t_i – час відправлення i -го рейсу; $T_i(t_i)$ – прогнозний час поїздки; c_h – вартість години роботи автомобіля з водієм; w_i – час очікування вантажу на складі; c_s – вартість години зберігання; p – штраф за годину запізнення; τ_i – граничний час прибуття (cut-off рейсу або часове вікно клієнта). Обмеженням є кількість доків, доступних для одночасного відвантаження.

Для оцінки масштабу ефекту виконано розрахунок для умовного складу з $N = 40$ рейсами на добу, $T_0 = 30$ хв і $D = 360$ робочими днями на рік. Річні втрати часу через затвори, авто-год:

$$\Delta T = \frac{T_0 \cdot CL \cdot N \cdot D}{60} \quad (3)$$

За формулою (3) річні втрати становлять: Київ – 4032 авто-год, Одеса –

3672, Варшава – 2664, Гданськ – 2448, Лейпциг – 1656 авто-год. За однакового обсягу роботи склад у Києві втрачав би на 1368 авто-год більше, ніж у Варшаві, і в 2,4 рази більше, ніж у Лейпцигу. За оцінкою TomTom, оптимізація та краще управління рухом можуть покращити плинність трафіку до 10 % [12]. Приймаючи консервативний сценарій скорочення затримок на 10 % завдяки динамічному плануванню відвантажень, річна економія для київського складу становить близько 403 авто-год, що за умовної вартості 25 €/авто-год відповідає понад 10 тис. € на рік без урахування зменшення штрафів за запізнення та витрат на зберігання.

Висновок

Українські міста-хаби в довоєнний період мали значно гірші умови наземної доставки, ніж європейські аналоги, тож після відновлення авіасполучення їхні аеропортові склади залежатимуть від міського трафіку сильніше, ніж склади у Варшаві, Лейпцигу чи Гданську. Інтеграція даних про затори у WMS дозволяє перейти від фіксованого графіка відвантажень до динамічного, що враховує прогнозний час поїздки, і тим самим зменшити втрати часу, ризик пропуску cut-off та вартість доставки. Перевагою підходу є можливість його відпрацювання вже зараз на даних міст-аналогів з подальшим перенесенням на українські хаби в процесі післявоєнного відновлення. Подальші дослідження передбачають калібрування моделі (2) на погодинних даних маршрутних сервісів та оцінку повного економічного ефекту.

Список використаних джерел

1. Аеропорт Бориспіль тимчасово обмежив прийняття імпорتنих вантажів. Mind.ua. URL: <https://mind.ua/news/amp/20191850-aeroport-borispil-timchasovo-obmezhiv-prijnyattya-importnih-vantazhiv>
2. Record year for Chopin Airport. TwoContinents. 2026. 20 January. URL: <https://twocontinents.com/blog/record-year-for-chopin-airport>
3. Mitteldeutsche Flughäfen: Entwicklung der Verkehrszahlen 2024. Aero International. URL: <https://www.aerointernational.de/aviation-nachrichten/mitteldeutsche-flughafen-entwicklung-der-verkehrszahlen-2024.html>
4. Зерно – лідер за обсягами перевалки у морських портах України. УкрАгроКонсалт. URL: <https://ukragroconsult.com/news/zerno-lider-za-obsyagamy-perevalky-u-morskyh-portah-ukrayiny/>
5. Port of Gdańsk posts strong cargo growth in 2025. Port Technology International. URL: <https://www.porttechnology.org/port-of-gdansk-posts-strong-cargo-growth-in-2025/>
6. The most congested cities in 2021. TomTom Newsroom. URL: <https://www.tomtom.com/newsroom/explainers-and-insights/the-most-congested-cities-in-2021>
7. The world's most congested cities in 2021. Databoks. URL: <https://databoks.katadata.co.id/en/transportation-logistics/statistics/d5e0d03572c9903/the-worlds-most-congested-cities-in-2021-where-does-jakarta-rank>

8. Ranking: sprawdź, które miasto w Polsce jest najbardziej zakorkowane. PAP. 2022. URL: <https://www.pap.pl/aktualnosci/news%2C1074653%2Cranking-sprawdz-ktore-miasto-w-polsce-jest-najbardziej-zakorkowane.html>
9. Korki w Polsce. Najbardziej zakorkowane miasta. Benchmark.pl. URL: <https://www.benchmark.pl/korki-w-polsce-najbardziej-zakorkowane-miasta-7265187888342081a>
10. Hamburg ist die Stau-Hauptstadt der Republik. Business Traveller. URL: <https://www.businesstraveller.com/mobil/hamburg-ist-die-stau-hauptstadt-der-republik/>
11. Аеропорт «Бориспіль» за рік обслужив на 4,2 млн пасажирів більше, ніж у 2020. LB.ua. 2022. 10 січня. URL: https://lb.ua/economics/2022/01/10/502756_aeroport_borispil_rik_obslyzhiv.html
12. Stau-Index 2021 von TomTom Traffic: Deutschland im Rhythmus der Pandemie. Eurotransport. URL: <https://www.eurotransport.de/logistik/it-und-telematik/stau-index-2021-von-tomtom-traffic-deutschland-im-rhythmus-der-pandemie/>

УДК 339.924:347.77:338.47:656.7

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ВЛАСНІСТЬ ЯК ІНСТРУМЕНТ ІНТЕГРАЦІЇ НАЦІОНАЛЬНИХ АВІАБУДІВНИХ ПІДПРИЄМСТВ У ГЛОБАЛЬНІ ЛАНЦЮГИ СТВОРЕННЯ ВАРТОСТІ

Лозова Г.М., к.е.н., доцент

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

Ключові слова: інтелектуальна власність, авіабудівне підприємство, трансфер технологій, глобальний ланцюг створення вартості, міжнародна економічна інтеграція.

В умовах глобалізації та цифровізації економіки права інтелектуальної власності перетворюються на стратегічний актив, що визначає суб'єктність національних підприємств у глобальних ланцюгах створення вартості (GVC) в міжнародній авіації. Загальносвітовим економічним трендом є перехід від моделі виробництва літаків повного циклу, яка домінувала в XX столітті, до економічної моделі GVC в XXI ст., коли жодна авіабудівна компанія світу, навіть такі гіганти як Airbus або Boeing, не виготовляють тепер літаки самостійно, а мають ланцюг субпідрядників. Завдяки ефективному управлінню правами інтелектуальної власності та її комерціалізації Україна та українські авіабудівні підприємства можуть зайняти в рамках моделі GVC роль рівноправного партнера – постачальника рівня Tier-1/2, а не субпідрядника рівня Tier-3/4.

Дослідження ролі ІВ як інструменту інтеграції вітчизняних авіа корпорацій та об'єднань у глобальний ланцюг створення вартості пов'язане з практичним завданням технологічної модернізації економіки України та стратегією повоєнної відбудови. Для реалізації цих завдань важливо з'ясувати роль вітчизняних авіабудівних компаній у моделі GVC сьогодні, визначити шляхи та перспективи переходу України від закритої національної моделі повного циклу до модульних глобальних ланцюгів створення вартості. Зрозуміти, що прийшла пора для національних виробників переходити від моделі цінової конкуренції до конкуренції за рахунок володіння правами ІВ. Отже метою даної роботи є дослідження ролі прав інтелектуальної власності як пріоритетного інструменту, ресурсу, ключового бар'єру входу для конкурентів та одночасно «перепустки» для самих авіабудівних національних підприємств до вищих ланок створення доданої вартості в міжнародній авіаційній галузі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій показав високий інтерес як зарубіжних, так і вітчизняних вчених до цієї проблематики. Зокрема, українські економісти І. Корнілова та Є. Руденко в своїй роботі обґрунтували комплексну модель прийняття рішень щодо трансферу технологій вітчизняними компаніями, яка передбачає технологічний аудит, визначення сумісності потенційних партнерів і оцінювання доцільності передання технології [1]. О. Жилінська та М. Підпала досліджують управління комерціалізацією ІВ в українських компаніях і виділяють значення стратегії, механізмів монетизації, інтеграції ІВ у дослідження та внутрішніх управлінських процедур [2]. Отже, наукові підходи поєднують аналіз набуття прав ІВ із економічною оцінкою та організацією співпраці на міжнародному рівні.

Через жорстку конкуренцію глобальний авіаційний ланцюг створення вартості можна представити у вигляді піраміди, на вершині якої знаходяться авіабудівні гіганти (OEM), яким рівноправні партнери-компанії рівня Tier-1 постачають великі комплексні системи, програмне забезпечення, модулі літака.

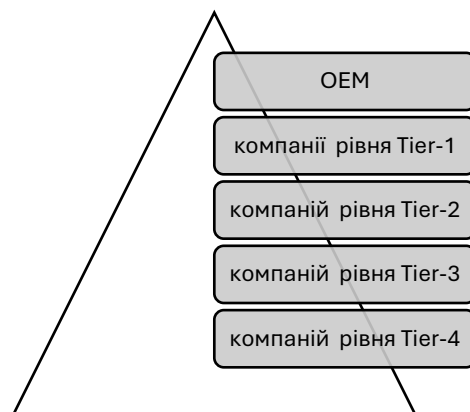


Рис.1. Суб'єктний склад в економічній моделі GVC.

Джерело: розроблено автором.

До постачальників рівня Tier-1 на сьогодні відносять такі компанії як Safran, GE Aerospace, Collins Aerospace, Spirit AeroSystems, Liebherr Aerospace. Ключовими характеристиками для цих компаній є залучення до спільного проектування нового літака разом з авіабудівними гігантами (OEM). Фактично такі підприємства самостійно розробляють всю систему свого модулю під ключ на стадії концепту під загальні технічні вимоги OEM. І відповідно саме партнеру- постачальнику рівня Tier-1 належать права інтелектуальної власності на розроблені ними винаходи, комерційні таємниці, конструкторську документацію та спеціальне програмне забезпечення. OEM не може так просто передати таке замовлення іншому заводу, оскільки права інтелектуальної власності належать компанії-розробнику. Такі підприємства-розробники самостійно сертифікують свої авіаційні системи в міжнародних органах безпеки польотів у регуляторів FAA, EASA, що також дозволяє компаніям Tier-1 створити вхідні бар'єри на ринку для своїх конкурентів. Як свідчить практика до 70% свого прибутку Tier-1 отримують не від продажу самих систем, рентабельність продажу яких становить 5-10%, а від продажу сертифікованих запчастин, роялті, довгострокових сервісних контрактах (РВН), ремонту та цифрового діагностичного сервісу (рентабельність може доходити до 25-40%) протягом всього терміну експлуатації літака [3].

Постачальники рівня Tier-2 в системі GVC виконують роль інтеграторів та виробників спеціалізованих агрегатів. За рівнем науково-технологічних розробок вони поступаються компаніям Tier-1, але їх позиції в бізнес-моделі набагато потужніші, ніж, припустимо, у базових механічних цехів (компаній рівня Tier-3/4). Компанії рівня Tier-2 виготовляють ключові високотехнологічні вузли і постачають їх не напряму авіабудівному гіганту (OEM), а компаніям рівня Tier-1, яка по суті і є їх основними замовниками. Тому стратегія компанії рівня Tier-2 у сфері інновацій – це фокусування на вузьких технологічних сегментах та гібридній моделі розробки, що передбачає активну комерціалізацію та захист прав інтелектуальної власності на ринку. Наприклад, це може бути виробництво надстійких оптичних лінз для бортових радарів або унікальних паливних насосів високого тиску тощо.

В даному випадку компанія рівня Tier-2 відповідно до технічного завдання компанії рівня Tier-1 розробляє внутрішню архітектуру агрегату, обирає матеріали, програмне забезпечення та проводить внутрішні випробування. Їх стратегія у сфері захисту прав інтелектуальної власності – це обрання режиму секретності та комерційної таємниці. Тому компанії-замовнику Tier-1 важко замінити такого постачальника, компанію рівня Tier-2, оскільки інший завод-виробник може просто не мати потрібної технології відповідного рівня та ноу-хау. Як правило, компанії рівня Tier-2 спеціалізуються на випуску продукції, що є критичною для безпеки польотів, мають відповідні сертифікати на свою продукцію та запчастини (AS9100, вимоги DO-160 для авіаційного обладнання). Проходження процедури сертифікаційного аудиту може займати від 2 до 4 років, що створює значні бар'єри входу для їх конкурентів. За оцінками експертів, рентабельність

компанії рівня Tier-2 становить в середньому 15-25%, що менше ніж капіталізований прибуток компанії рівня Tier-1, але суттєво вище рівня компанії Tier-3 (3-7%) [4].

Якщо говорити про роль в піраміді GVC компаній рівня Tier-3/4, то це, як правило, заводи-виконавці, які виробляють комплектуючі за кресленнями компаній рівня Tier-1/2, наприклад: кронштейни, втулки, прокладки та аналогічну продукцію. Жодних прав інтелектуальної власності на продукцію такі компанії не мають, підписують односторонній договір про нерозголошення (NDA) на креслення замовника. Такі компанії рівня Tier-3/4 легко можна замінити в ланцюгу постачання та передати замовлення іншому заводу-виконавцю. Крім того, в умовах глобальної турбулентності та значних цінових коливань на ринках сировини, відповідно до досліджень, проведених в 2025 році експертами Roland Berger, компанії рівня Tier-3/4 частіше потрапляють в «пастку маржинальності» через інфляцію цін на сировину, зокрема титан і алюміній, оскільки вони не можуть перекласти ці витрати на компанії рівня OEM/Tier-1. В такому випадку чиста рентабельність компаній рівня Tier-3/4 може падати нижче 5%, в той час як рентабельність Tier-2 продовжує залишатися в межах 15-20% [5].

Зрозуміло, що стратегія національного авіаційного підприємства одразу потрапити в ешелон компаній рівня Tier-1 в умовах воєнних дій в Україні, безпекової та економічної ситуації, малоімовірна, оскільки вимагає мільярдних інвестицій у міжнародні висоризикові консорціуми, яких на сьогодні нема ні у самих авіаційних підприємств, ні у держави. А от стратегічний курс на отримання статусу компанії рівня Tier-2 є цілком реалістичним. В цьому сенсі консолідація та концентрація національних авіаційних підприємств є цілком закономірним процесом, зокрема створення в 2005 році державної літакобудівної корпорації «Національне об'єднання «Антонов», що об'єднала 5 потужних авіабудівних організацій, створення в 2007 році державного авіабудівного концерну «Авіація України», що об'єднав 10 підприємств авіапрому тощо. Синергетичний ефект від об'єднання інтелектуального капіталу цих підприємств сприяє динамічній спроможності для виходу на нові міжнародні ринки. Початковими формами інтеграції через механізм права інтелектуальної власності могли б стати обмін правами ІВ на вузлові технології через оформлення крос-ліцензування для усунення патентних блоків; участь у міжнародних консорціумах та патентних пулах, зокрема у сфері супутникової навігації та авіа зв'язку, участь у спільних дослідницьких програмах разом із іншими компаніями рівня Tier-1/2. Серед викликів та бар'єрів, з якими стикаються вітчизняні авіаційні підприємства є значні втрати виробничих потужностей через військові дії; висока імпортозалежність більш ніж на 70% від імпорту сировини та комплектуючих виробів; брак трудових кадрів через війну, старіння головного персоналу (авіаконструкторів та розробників) та вимивання інтелектуального капіталу; асиметрія правового захисту через дефіцит фінансування міжнародного патентування інноваційного розробок; слабкий патентний комплаєнс та

ризика блокування участі у тендерах вітчизняних компаній через незабезпечену патентну чистоту.

Висновок

Як свідчать результати дослідження, права інтелектуальної власності є стратегічно важливим активом, що визначають суб'єктність національних авіабудівних компаній у моделі GVC та сприяють ефективній їх інтеграції у глобальні авіаційні ланцюги створення доданої вартості. Особливо це актуально в умовах воєнної агресії та кризових ситуацій, коли необхідне швидке реагування на тлі зруйнованої виробничої інфраструктури й дефіциту людських та матеріально-технічних ресурсів. Інтеграція не можлива без переходу вітчизняних компаній до міжнародних стандартів управління портфелем ІВ, активного використання механізмів стандартизації та сертифікації виробництва. Стратегія селективного нішевого патентування для вітчизняного виробника в довгостроковій перспективі дозволить національним авіабудівним компаніям та концернам отримати статус компанії рівня Tier-2 в міжнародній авіаційній галузі і є цілком реалістичною. Цей процес має відбуватися паралельно з переходом до сервісної бізнес-моделі, що базується на комерціалізації прав інтелектуальної власності та запровадженні дієвого державно-приватного партнерства, створення спеціального фонду державної підтримки міжнародного патентування для високо технологічних інноваційних українських авіапідприємств.

Список використаних джерел

1. Корнілова І. М., Руденко Є. О. Методичне забезпечення обґрунтування трансферу технологій. *Бізнес Інформ*. 2019. № 2. С. 85–94. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2019-2-85-94>.
2. Жилінська О. І., Підпала М. С. Прикладні аспекти управління комерціалізацією інтелектуальної власності: світові тенденції та українські реалії. *Наука та наукознавство*. 2026. № 2(132). С. 30–54. DOI: <https://doi.org/10.15407/sofs2026.02.030>
3. Prentice B., DiNota A., Hayes L. Global Fleet and MRO Market Forecast 2025–2035: Why aircraft production can't keep up with growth in demand. *Oliver Wyman*. 2025. URL: <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2025/feb/global-fleet-and-mro-market-forecast-2025-2035.html>
4. A commercial breakthrough for commercial aerospace suppliers. *McKinsey & Company*. 2026. URL: <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/a-commercial-breakthrough-for-commercial-aerospace-suppliers#/>
5. Baur S. Survey finds stability will return to the industry, with disruption down and resilience up. *Roland Berger*. 2025. URL: <https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/Aerospace-supply-chain-report-2025-Is-the-crisis-over.html>

УДК 656.7:656.13

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В АВІАЦІЙНО-АВТОМОБІЛЬНОМУ СПОЛУЧЕННІ

*Мацюк Вячеслав, д.т.н., професор,
Циганій Сергій, MSc, аспірант,
Каламбет Антон, MSc, аспірант,
Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ*

Ключові слова: авіаційно-автомобільні перевезення, вантажопотоки, транспортно-технологічна система, вантажний термінал, ефективність.

Авіаційний транспорт відіграє важливу роль у глобальних ланцюгах постачання експрес-пошти, термінових, дрібнопартійних та високовартісних вантажів. Його перевага за швидкістю перевезення реалізується лише за умови узгодженої роботи всіх складових логістичного ланцюга. Автомобільний транспорт забезпечує підвезення вантажів до аеропортів і доставку кінцевим одержувачам, а вантажні термінали — їх приймання, сортування, накопичення та консолідацію. Тому оцінювання ефективності виключно авіаційної ланки не дає змоги визначити результативність транспортно-технологічної системи в цілому.

Особливістю авіаційно-автомобільного сполучення є нерівномірність надходження вантажопотоків, що поєднується з регламентованими моментами відправлення повітряних суден і обмеженою переробною спроможністю терміналів. Невідповідність між інтенсивністю підвезення вантажів, технологічними можливостями їх обробки та розкладами авіарейсів спричиняє непродуктивне очікування, утворення черг і неповне використання ресурсів. За цих умов актуальним є пошук системних підходів до вдосконалення організації перевезень, орієнтованих на кінцевий результат — своєчасну доставку вантажу «від дверей до дверей».

Мета дослідження — систематизувати наукові підходи до підвищення ефективності авіаційних вантажних перевезень та обґрунтувати пріоритети дослідження взаємодії авіаційного й автомобільного транспорту в умовах коливань вантажопотоків. Використано методи аналізу, узагальнення та системного підходу.

Аналіз наукових досліджень [1–6] дозволив виділити чотири взаємопов'язані напрями, кожен з яких характеризується власним об'єктом удосконалення та обмеженнями щодо оцінювання результатів на рівні всього логістичного ланцюга (табл. 1).

Таблиця 1. Основні напрями досліджень ефективності авіаційних вантажних перевезень

Напрямок досліджень	Основні завдання	Обмеження системного підходу
Авіаційні транспортні мережі	Оптимізація маршрутів, розміщення хабів, витрат і часу доставки.	Недостатнє врахування технологій наземного підвезення та вивезення вантажів.
Мультимодальні перевезення	Узгодження авіаційної та автомобільної складових за принципом «від дверей до дверей».	Складність урахування всіх операцій, ресурсів і нерівномірності потоків.
Парк повітряних суден	Вибір структури парку, використання вантажомісткості та провізної спроможності.	Переважає орієнтація на показники роботи авіаперевізника.
Вантажні термінали та хаби	Підвищення переробної спроможності, удосконалення сортування і консолідації.	Відокремлений розгляд термінальних процесів від решти ланцюга доставки.

Найбільш перспективним для забезпечення цілісності оцінювання є напрям мультимодальних перевезень. У працях з оптимізації авіаційних мереж досліджено вибір структури хабів і маршрутів [2], скорочення часу перебування вантажів у транспортних вузлах [3], узгодження параметрів мережі з парком повітряних суден [4]. Водночас описані підходи переважно зосереджуються на авіаційній складовій або окремих вузлах. Дослідження ролі автомобільного підвезення [5] та раціонального використання авіаційних вантажних одиниць [6] підтверджують важливість взаємодії суміжних технологічних процесів, але не усувають потреби їх комплексного аналізу.

Під час організації авіаційно-автомобільних перевезень необхідно враховувати взаємний вплив трьох груп параметрів: характеристик вхідного вантажопотоку (інтенсивність, партійність, нерівномірність і номенклатура); техніко-технологічних параметрів (кількість автомобілів, термінальне обладнання, переробна спроможність, вантажомісткість повітряних суден); часових обмежень (тривалість обробки, моменти готовності вантажних партій, розклад рейсів). Зміна параметрів однієї підсистеми може покращувати її локальні показники, але водночас погіршувати характеристики всього процесу доставки.

Наприклад, концентрація вантажів перед відправленням дає змогу підвищити використання вантажомісткості повітряного судна, проте потребує додаткового часу на накопичення партії. Навпаки, частіше відправлення за недостатнього завантаження може скоротити очікування, але збільшити питомі витрати. Отже, критерієм удосконалення доцільно вважати не максимізацію окремого локального показника, а збалансування тривалості доставки, ресурсних витрат і рівня транспортного обслуговування в межах єдиної системи.

Для подальшого дослідження доцільним є формування інтегрованої моделі транспортно-технологічної системи, яка охоплюватиме послідовні

операції автомобільного підвезення, термінальної обробки, консолідації, передачі вантажів на авіаційний транспорт та їх подальшої доставки. Така постановка має передбачати змінні за часом параметри надходження вантажів, обмеження технологічних ресурсів, черги на окремих операціях та дискретні моменти відправлення повітряних суден. Як один із перспективних інструментів для перевірки різних сценаріїв може бути використано імітаційне моделювання; його побудова та експериментальна апробація становлять завдання наступних етапів дослідження.

Розроблення технологічних рішень має враховувати регламентовані процедури вантажного оформлення та контролю, зокрема положення ІКАО Annex 9 [7]. Такі процедури формують часові й організаційні обмеження, які необхідно враховувати під час порівняння варіантів доставки.

Висновок

На основі аналізу наукових джерел систематизовано чотири основні напрями підвищення ефективності авіаційних вантажних перевезень та встановлено, що їх застосування переважно обмежується окремими транспортними або термінальними підсистемами. Обґрунтовано доцільність переходу від локальної оптимізації до комплексного дослідження авіаційно-автомобільного перевізного процесу за принципом «від дверей до дверей». Пріоритетним завданням подальших досліджень визначено оцінювання впливу нерівномірності вантажопотоків і взаємодії технологічних ланок на час доставки, використання ресурсів та ефективність транспортно-технологічної системи в цілому.

Список використаних джерел

1. Archetti C., Peirano L., Speranza M. G. Optimization in multimodal freight transportation problems: A survey. *European Journal of Operational Research*. 2022. Vol. 299, no. 1. P. 1–20. DOI: [10.1016/j.ejor.2021.07.031](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.031).
2. Yıldız B., Savelsbergh M., Dogru A. K. Transshipment network design for express air cargo operations in China. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 2023. Vol. 12. Art. 100120. DOI: [10.1016/j.ejtl.2023.100120](https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2023.100120).
3. Zheng H., Sun H., Zhu S., Kang L., Wu J. Air cargo network planning and scheduling problem with minimum stay time: A matrix-based ALNS heuristic. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2023. Vol. 156. Art. 104307. DOI: [10.1016/j.trc.2023.104307](https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104307).
4. Wang Y., Zhu T., Yuan K., Zhang P., Liang Z., Zhu J. An interval integrated optimization to air-cargo hub network design and airline fleet planning. *Journal of Advanced Transportation*. 2024. Art. 5754231. DOI: [10.1155/2024/5754231](https://doi.org/10.1155/2024/5754231).
5. Beifert A. Role of air cargo and road feeder services for regional airports: Case studies from the Baltic Sea region. *Transport and Telecommunication*. 2016. Vol. 17, no. 2. P. 87–99. DOI: [10.1515/ttj-2016-0008](https://doi.org/10.1515/ttj-2016-0008).
6. Zhu L., Wu Y., Smith H., Luo J. Optimisation of containerised air cargo forwarding plans considering a hub consolidation process with cargo loading. *Journal of the Operational Research Society*. 2023. Vol. 74, no. 3. P. 777–796. DOI: [10.1080/01605682.2022.2096493](https://doi.org/10.1080/01605682.2022.2096493)

7. International Civil Aviation Organization. Facilitation: Annex 9 to the Convention on International Civil Aviation. URL: <https://www.icao.int/facilitation-programmes/Annex9>

UDK 656.7:658.7:355.01(477)

AIR CARGO OPERATIONS IN UKRAINE UNDER MARTIAL LAW: CHALLENGES, ADAPTATIONS AND LOGISTICS RESILIENCE

Naumovets Demian

AFR Head DHL Global Forwarding UA

Keywords: air cargo operations, logistics resilience, martial law

The imposition of martial law and the subsequent closure of Ukraine's airspace created an unprecedented crisis for national logistics, completely paralyzing traditional air cargo hubs like Boryspil and Kyiv. This sudden disruption severed vital international supply chains, creating critical bottlenecks for time-sensitive, high-value, and GxP-regulated shipments that heavily rely on speed and strict temperature controls.

Today, we will not just talk about academic theories. We will dive deep into a real, live case study of business survival, adaptation, and operational resilience. We will look at how Ukrainian logistics companies completely re-engineered their supply chains through European hubs when their own wings were clipped overnight. Let us begin. To understand the solutions, we must first look at the magnitude of the shock. With the sudden imposition of martial law, Ukraine's civil airspace was completely closed to commercial aviation. In a single day, traditional, highly efficient air cargo hubs like Boryspil were completely paralyzed.

For the logistics sector, this was a catastrophic bottleneck. Air freight is not just about moving cargo fast; it is about moving life-critical, high-value, and time-sensitive products. For example, GxP-regulated shipments – such as cold-chain pharmaceuticals, medical supplies, and critical industrial parts – heavily rely on speed and strict temperature controls. The total shutdown of the aviation sector severed these vital international supply chains, creating an immediate threat to both human lives and economic stability. The industry was left with a critical question: how do you run air cargo operations when no planes can fly?

The answer lay in a radical and rapid strategic pivot. Ukrainian freight forwarders had to transition from direct air transport to a hybrid, multi-modal routing model. This practical adaptation centered on implementing what the industry calls “Truck-to-Air” schemes, or more formally, Road Feeder Services (RFS).

Let look at how this model operates in practice. Instead of loading cargo onto a plane in Kyiv or Lviv, the freight is secured under strict customs control right at the warehouse. It is then loaded onto specialized, temperature-controlled trucks. These trucks act as a “rolling pipeline”, moving via road networks across western

borders to neighbouring European aviation hubs – primarily in Poland, Germany, Hungary and Romania. Once the cargo arrives at an EU gateway airport like Warsaw or Frankfurt, it is immediately integrated into international commercial airline networks. In short, the truck becomes the first leg of the flight.

Operational Challenges in Real-Time

However, executing this shift was far from easy. On paper, it sounds simple, but in reality, companies faced brutal operational barriers every single day.

First, there was catastrophic border congestion. Crossing the Ukrainian-EU border became a massive infrastructure bottleneck, with trucks waiting in lines for days, sometimes weeks. For GxP pharma cargo, every hour of delay increases the risk of temperature excursions.

Second, the industry faced an acute shortage of international road permits, creating fierce competition among forwarders.

Third, navigating strict cross-border regulatory compliance during wartime added layers of red tape.

Finally, there was a major documentation challenge. Logisticians had to figure out how to issue a continuous, legally compliant Air Waybill (AWB) across mixed transport modes—from a truck in Ukraine to an aircraft in Germany. It was a complex jigsaw puzzle that had to be solved in real-time.

Practical Solutions & Adaptations

So, how did Ukrainian logistics companies survive and overcome these hurdles? They did it through operational innovation and deep international cooperation.

To combat border delays, the industry rapidly pushed for the digitization of customs processes. Electronic pre-declarations and digital paperwork significantly cut down processing times at checkpoints.

Furthermore, Ukrainian forwarders established tight, strategic partnerships and Service Level Agreements (SLAs) with EU-based airport hubs and ground handlers. By working closely with European customs and airport authorities, they created green corridors for priority freight.

Lastly, they optimized transit schedules to perfection. Truck departure times from Ukrainian warehouses were carefully synchronized with airline flight schedules in Europe. This meticulous planning ensured that when a truck arrived in Frankfurt or Warsaw, the cargo spent the absolute minimum amount of time sitting on the tarmac before being loaded into the aircraft belly.

Conclusion

What are the key results of these extraordinary efforts? First and foremost, Ukraine's trade capabilities were successfully preserved. Despite the ongoing martial law and active conflict, key export channels remained open. Second, and perhaps most importantly, GxP continuity was guaranteed. Life-saving pharmaceutical imports and exports never stopped. This hybrid model literally kept the medical supply chain alive when it was needed most. But there is a broader takeaway here for global logistics. What began as a desperate, temporary wartime survival mechanism has now transformed into a permanent, highly sophisticated risk

mitigation strategy. The “Truck-to-Air” hybrid model has created a new blueprint for supply chain resilience. It proves that flexibility and multi-modal integration are the ultimate weapons against geopolitical shocks.

In conclusion, the Ukrainian experience shows that even when the skies are closed, the world of logistics finds a way to move forward. The resilience of Ukrainian freight forwarders is a testament to human and operational adaptability under the most extreme pressure. The analysis of these practical cases demonstrates the remarkable resilience of Ukraine’s logistics sector. Despite wartime constraints, these hybrid models successfully preserved Ukrainian export capabilities – particularly for the pharmaceutical sector – and secured the import of critical goods. This study concludes that the multi-modal flexibility developed during this crisis not only serves as a survival mechanism but also establishes a new blueprint for risk mitigation in global crisis logistics.

References

1. Горбаль Н. І., Радченко Ю. О. Стан та перспективи розвитку авіатранспортної галузі України в умовах євроінтеграції, після пандемії та війни. *Менеджмент та підприємництво в Україні: етапи становлення і проблеми розвитку*. 2023. Вип. 1 (5). С. 249–260. [10.23939/smeu2023.01.249](https://doi.org/10.23939/smeu2023.01.249)
2. Лебедева Л. В., Шкуропадська Д. О. Стійкість транспортної логістики в ЄС та Україні = Resilience of transport logistics in EU and Ukraine. *Зовнішня торгівля: економіка, фінанси, право*. 2024. №(135). С.108–127. [10.31617/3.2024\(135\)07](https://doi.org/10.31617/3.2024(135)07)
3. Liskovych N. et. al. Strategic adaptation of Ukrainian airlines to the challenges of post-war recovery and wartime conditions. *CEUR Workshop Proceedings*. 2025. Vol. 3925. Pp. 111–120. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3925/short11.pdf>

UDC 656.025.2:364-056.26(477)

ANALYSIS OF NATIONAL EXPERIENCE IN ENSURING MOBILITY AND TRANSPORT ACCESSIBILITY FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

*I.V. Nikolaienko, Ph.D. in Engineering, Associate Professor
National University “Kyiv Aviation Institute”, Kyiv*

*M.V. Khara, Ph.D. in Engineering, Associate Professor
Higher Educational Institution “Priazovskiy State Technical University”, Dnipro*

Keywords: barrier-free, accessibility, person with a disability, mobility, transportation, transportation infrastructure

According to official data from the State Statistics Service of Ukraine, as of the start of the full-scale invasion in 2022, there were 2.73 million officially registered people with disabilities in Ukraine – 6.7% of the population. As a result of injuries, deteriorating mental health, and limited access to medical services, the number of people with disabilities has increased significantly. In 2023, men accounted for 60%

of newly recognized cases [1]. As of January 1, 2026, there were 3,337,468 people with disabilities in Ukraine, of whom 1,430,411 were girls and women with disabilities (177,339 children with disabilities; 403,494 – Group I; 1,176,807 – Group II; and 1,579,828 – Group III) [2]. At the same time, the system for exchanging data on people with disabilities among central government agencies is imperfect, and the statistical data are generalized, which complicates the analysis of information for subsequent management decision-making [3].

A modern approach to addressing transportation accessibility for people with disabilities involves ensuring all passengers have equal rights, respectful treatment, and the freedom of movement. Accessibility entails not only the availability of spaces and services but also people-focused, non-discriminatory communication, respect for human dignity, and consideration of each individual's needs. People with disabilities do not form a homogeneous group. Their experiences interacting with transportation systems vary depending on their functional, sensory, cognitive, and other characteristics.

Ensuring mobility and accessibility for people with disabilities is an important component of organizing passenger transportation across all modes. Ukraine's current policy on barrier-free travel and the accessibility of airports, train stations, and bus stations is based on the National Strategy for Accessibility through 2030, the Air Code of Ukraine, the Aviation Regulations, Ukrzaliznytsia's Rules for the Carriage of Passengers, and DBN V.2.2-40:2018 "Inclusiveness of Buildings and Structures."

The National Strategy for Creating a Barrier-Free Environment in Ukraine through 2030 identifies transportation and transportation infrastructure as a separate priority area: the strategic goal is to ensure that transportation is physically accessible to everyone. The strategy also mandates that accessibility requirements be included in the technical specifications for vehicle procurement and in the licensing conditions for carriers [4].

As for air travel, in practice, these requirements are most fully implemented at Boryspil International Airport, which is positioned as a pilot project for accessibility. However, even at this airport, certain services for people with disabilities require a prior phone call and confirmation.

The issue of accessibility at train stations in Ukraine also remains unresolved. Some station buildings are designated as cultural or historical heritage sites. Therefore, in accordance with national legislation, these structures must be restored rather than merely repaired. Accessibility information is scattered across the Ukrainian Railways website, the bus station website, and the carrier's website, which makes it difficult for passengers with accessibility needs to plan their trips.

Regional disparities in infrastructure accessibility are one of the biggest challenges to inclusivity in Ukraine. While train and bus stations in large cities are gradually being modernized under pressure from the public, international standards, and larger budgets, the situation in the regions remains critical. The main reasons for this disparity are:

1. The outdated infrastructure of train and bus stations in small towns. Built during the Soviet era, it has not undergone any major renovations since then.

2. A perfunctory approach and failure to comply with DBN standards. Often, accessibility features (such as ramps) are installed at a 45-degree angle, making them unsafe for independent use.

3. Many regional bus stations are privately owned or owned by unprofitable enterprises that do not invest in accessibility.

According to DBN V.2.2-40:2018 “Inclusivity of Buildings and Structures”, any repair or renovation requires the owner to comply with accessibility requirements. Nevertheless, there is no effective mechanism for automatically revoking a bus station’s license for violating DBN standards if it was built before 2018 and is not undergoing official reconstruction.

The accessibility of the public transportation system is undeniably important. According to a national survey, only 6% of the public transportation stops examined were found to be barrier-free [5].

Overall, the state of Ukraine’s transportation system and the organization of passenger transportation for people with disabilities reveal a lack of a comprehensive approach to accessibility and a critical shortage of information regarding the actual accessibility of transportation facilities at all levels of travel, from local to international.

Conclusion

The fact that Ukraine’s transportation system does not currently meet the needs of people with disabilities calls for a comprehensive approach to shaping public policy on accessibility and mobility in passenger transportation.

A fragmented approach to addressing individual issues related to the organization of daily and work-related trips, as well as leisure travel, must be replaced with a clear framework for identifying measures to implement multimodal transportation for people with disabilities, based on international best practices and European Union policies regarding passenger services in the context of multimodal travel.

References

1. Ukraine Humanitarian access for people with disabilities. ACAPS, 2025. 11 p. URL: https://www.acaps.org/fileadmin/Data_Product/Main_media/20250605_ACAPS_Ukraine_Humanitarian_access_for_people_with_disabilities.pdf
2. Shadow Report Assessment of Ukraine's Progress in Implementing the European Commission's Recommendations under the 'Fundamentals of the Accession Process' Cluster. 2026. 853 p. URL: https://zmina.ua/wp-content/uploads/sites/2/2026/10/ali_shadowreport_chapters23_24_eng.pdf.
3. State social support for persons and children with disabilities in Ukraine: Current Mechanism and Areas for Improvement / V. Iierusalymov et al. Kyiv, 2024. 41 p. URL: <https://kse-ua-prod-media.fra1.digitaloceanspaces.com/wp-content/uploads/2025/07/ENG-Social-support-to-PwD-and-CwD.pdf.pdf>
4. On the Approval of the National Strategy for Creating a Barrier-Free Environment in Ukraine for the Period through 2030: Order of the Cabinet of Ministers of

Ukraine No. 366-r dated April 14, 2021: as of August 19, 2026. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/366-2021-p#Text>

5. Monitoring the Accessibility of Transportation and Transportation Infrastructure Facilities. 2025. 16 pp. URL: <https://mininfra.gov.ua/storage/app/sites/1/uploaded-files/monitoring-transportu-ta-transportnoyi-infrastrukturi-2025.pdf>

УДК 656.7:339.92(477)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОЇ ЛОГІСТИКИ УКРАЇНИ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ЧАС В УМОВАХ ЄВРОІНТЕГРАЦІЇ

Полюхович Наталія

здобувачка першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Докієнко Л.М., к.е.н., доц.

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: авіаційна логістика, євроінтеграція, е-AWB, післявоєнний період.

Закриття повітряного простору у 2022 р. змусило перенаправити вантажопотоки на автомобільний, залізничний, річковий і морський транспорт. У післявоєнний час відновлення авіаційної логістики стане одним зі стратегічних чинників економічної відбудови: вона забезпечує швидку доставку високовартісних, термінових та чутливих до умов зберігання вантажів, а її інтеграція в європейську систему визначатиме конкурентоспроможність країни.

Підписана у 2021 р. Угода про Спільний авіаційний простір між Україною та ЄС передбачає гармонізацію національних норм з європейськими у сфері безпеки польотів, авіаційної безпеки, управління повітряним рухом і захисту прав споживачів. Після завершення війни це відкриє доступ українських перевізників до ринку ЄС і сформує єдині правила для вантажних операцій [1].

Після відновлення роботи авіації найбільші перспективи матимуть аеропорти зі зручним розташуванням щодо кордонів ЄС (Львів, Київ, Одеса, Дніпро), які можуть стати вантажними хабами. Пріоритети відбудови – сучасні вантажні термінали, склади для фармацевтики та швидкопсувних товарів, а також обладнання для сканування і митного контролю.

Ефективність авіаційної логістики залежить від зв'язку з залізницею, автомобільними коридорами та портами. Інтеграція аеропортів у транспортні коридори ЄС скорочує час доставки та знижує вартість ланцюга постачання. Упровадження електронних вантажних документів (е-AWB), систем попередньої передачі даних про вантаж, принципу «єдиного вікна» та інтеграція з митними системами ЄС спрощують процедури й підвищують прозорість операцій [3].

Основні ризики післявоєнного періоду – збереження безпекових загроз, масштаб руйнувань інфраструктури, висока вартість страхування повітряних суден, дефіцит інвестицій і кваліфікованих кадрів, конкуренція з боку польських та румунських хабів.

Таблиця 1. Етапи розвитку авіаційної логістики України

Етапи	Ключові завдання	Очікуваний результат
Етап 1. Підготовчий (перехід до миру)	Оцінка збитків і проектування відбудови; підготовка вантажних терміналів у західних аеропортах-хабах; адаптація до норм EASA; цифрові вантажні документи	Дорожня карта відбудови, інфраструктура, готова до швидкого запуску
Етап 2. Відбудова	Відновлення аеропортів, склади з температурним режимом, підключення до залізничних і автомобільних коридорів; залучення міжнародних інвесторів	Мультимодальні вузли, зростання експрес- та e-commerce вантажів
Етап 3. Повна інтеграція	Імплементація Угоди про Спільний авіаційний простір; єдині митні та безпекові процедури ЄС; участь українських перевізників у європейських ланцюгах постачання	Інтеграція у логістичну систему ЄС, конкурентні тарифи та терміни

Джерело: розроблено автором на основі джерела [2]

Поетапний підхід обґрунтований тим, що відбудова потребує значних інвестицій, а безпекові умови змінюватимуться поступово. Гармонізація з нормами ЄС і сертифікація також вимагають часу. Послідовність дій дає змогу розподілити фінансові ресурси, залучити підтримку міжнародних інституцій (ЄС, ЄІБ, ЄБРР) та швидко запустити вантажні операції на найменш пошкоджених аеропортах, поступово масштабуючи їх.

Висновок

Поєднання євроінтеграційних реформ, відбудови зруйнованої інфраструктури, мультимодальності та цифровізації дозволить Україні перетворити авіаційну логістику на важливий елемент європейських ланцюгів постачання та рушій економічного відновлення країни в післявоєнний час.

Список використаних джерел

1. Угода про Спільний авіаційний простір. URL: [CMS Law-Now, «Ukraine and EU sign Common Aviation Area Agreement»](#); [Кабмін України, 12.10.2021](#); [Rubryka, ратифікація Радою](#).
2. Інвестиції після війни. URL: <https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1038683/000165495423009443/a7001g.htm>
3. Стан аеропортів і готовність до відновлення. URL: <https://kyivindependent.com/boryspil-airport-plans/>

УДК 656.7:656.073

ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ АВІАЦІЙНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ У СИСТЕМІ ЛОГІСТИКИ

Соколенко Д.А., Ярова Д.А.,

здобувачі першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: Висоцька І.І., к.е.н., доцент

Національний університет «Київський авіаційний інститут», Київ

Ключові слова: авіаційні вантажні перевезення, логістика, оптимізація, мультимодальні ланцюги доставки, авіаперевізник.

Авіаційний транспорт залишається ключовою ланкою глобальних ланцюгів постачання для термінових, високовартісних, медичних і швидкопсувних вантажів. Глобалізація та міжнародна інтеграція зумовили перехід від разових відправлень до інтегрованих ланцюгів постачання [1], а тривала війна в Україні, нестабільність на Близькому Сході та санкції подовжили й змінили глобальні маршрути [2]. Це підвищує актуальність організації й оптимізації авіаційних вантажних перевезень саме в логістичному контексті.

Метою роботи є узагальнення підходів до організації та оптимізації авіаційних вантажних перевезень у системі логістики й визначення напрямів підвищення їхньої ефективності.

Вибір авіаційного транспорту визначається трьома чинниками: вартістю, необхідним терміном доставки та характеристиками вантажу, зокрема потребою в особливих умовах перевезення [3]. Авіатранспорт забезпечує мінімальний час доставки, точність дотримання графіків і низький ризик пошкодження чи втрати вантажу, проте є найдорожчим [3]. Основним документом перевезення є авіаційна вантажна накладна, що засвідчує договір між відправником і перевізником та прийняття вантажу до перевезення [3]. Для вантажів зі строгим температурним режимом, зокрема фармацевтичних, застосовуються бездротові датчики, які передають дані про температуру в реальному часі, що дає змогу контролювати дотримання встановлених меж [3].

Логістичний підхід до оптимізації передбачає оцінювання не окремого рейсу, а всього ланцюга доставки. У [2] мультимодальні ланцюги з авіаційною складовою моделюються як мережі в інтегрованій транспортно-логістичній системі з урахуванням вартісних, часових і екологічних показників. Через стохастичний характер часу обробки вантажів в аеропортах застосовано імітаційне моделювання, що дозволяє оцінити ймовірність виконання доставки у заданий строк; на прикладі маршруту Шанхай - Київ у середовищі AnyLogistix показано, що авіатранспорт суттєво скорочує час доставки, але підвищує вартість і викиди [2]. Отже, раціональний вибір схеми доставки потребує комплексного врахування загального часу циклу, оборотності ресурсів і чутливості вантажопотоків до часу.

Окремий напрям оптимізації пов'язаний із розширенням ролі авіаперевізника. На ринку негабаритних і великовагових вантажів перевізник має пропонувати інтегрований продукт, що суттєво відрізняється від послуг традиційних перевізників; застосувавши механізми оптимізації власної виробничо-логістичної діяльності, авіакомпанія може виконувати функції 3PL-провайдера, залишаючись оператором рівня 2PL [4].

В умовах закритого неба в Україні ключовими стають альтернативні маршрути, поєднання авіаційного, автомобільного, залізничного та морського транспорту, розвиток наземної інфраструктури та прикордонних логістичних хабів, партнерство з міжнародними перевізниками, використання інформаційних технологій для моніторингу вантажів і управління ризиками ланцюгів постачання [5]. Основні напрями підвищення ефективності узагальнено в табл. 1.

Таблиця 1. Напрями оптимізації авіаційних вантажних перевезень у логістичній системі

Напрямок	Зміст
Вибір виду транспорту	Баланс вартості, терміну доставки та характеристик вантажу
Оцінювання мультимодальних ланцюгів	Мережеве й імітаційне моделювання за вартісними, часовими та екологічними показниками
Розвиток послуг перевізника	Перехід від 2PL до виконання функцій 3PL за рахунок внутрішніх механізмів оптимізації
Адаптація до обмежень повітряного простору	Альтернативні маршрути, мультимодальність, логістичні хаби, моніторинг і управління ризиками

Джерело: складено авторами на основі [2–5]

Висновок

Організація авіаційних вантажних перевезень у системі логістики має ґрунтуватися на оцінюванні всього ланцюга доставки, а не окремого авіаційного етапу. Оптимізація охоплює раціональний вибір виду транспорту за критеріями вартості, часу й особливостей вантажу, мультимодальне моделювання схем доставки, розширення сервісних функцій авіаперевізника та адаптацію до обмежень повітряного простору. Перспективним напрямом подальших досліджень є багатокритеріальна оптимізація мультимодальних ланцюгів з авіаційною складовою.

Список використаних джерел

1. Кучма О. Дослідження особливостей побудови організаційно-технологічних процесів вантажних авіаперевезень. Політ. Сучасні проблеми науки: тези доп. XXIII міжнар. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих учених. Київ: НАУ, 2023. С. 13–14.
2. Соколова О.Є. Методичні положення щодо оцінювання мультимодальних ланцюгів доставки вантажів з авіаційною складовою. *Розвиток транспорту*. 2026. № 2(29). С. 72–86. <https://doi.org/10.33082/td.2026.2-29.05>
3. Організація авіаперевезень вантажів – підсумки першої лекції «Програми розвитку з логістики» від ЕВА. Logist.fm. 2019. 31 жовт. URL:

<https://logist.fm/news/organizaciya-aviaperevezen-vantazhiv-pidsumki-pershoyi-lekciyi-programi-rozvitku-z-logistiki>

4. Литвиненко С. Універсальні механізми оптимізації виробничо-логістичної діяльності авіаперевізників. *Розвиток методів управління та господарювання на транспорті*. 2017. № 1(58). С. 42–52. URL: <https://daemmt.odessa.ua/index.php/daemmt/article/view/95>
5. Дідоренко Н.С., Смерічевська С.В. Особливості організації авіаційних вантажних перевезень в умовах закритого неба в Україні. *Бізнес, інновації, менеджмент: проблеми та перспективи: тези доп. VI міжнар. наук.-практ. конф.* 2025. С. 217–218. URL: <https://confmanagement-proc.kpi.ua/article/view/329602>

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ПРОБЛЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА
УПРАВЛІННЯ НА ПОВІТРЯНОМУ ТРАНСПОРТІ:
МАТЕРІАЛИ VI МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

м. Київ, 22 жовтня 2026 року

*Опубліковано в авторській редакції однією з двох робочих мов конференції
українською, англійською*