

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ
ІНСТИТУТ»**

Кафедра аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри

кандидат технічних наук, доцент

_____ Геннадій ВЛАСЕНКО

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЗА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ

**«УПРАВЛІННЯ АВІАЦІЙНИМИ ТРАНСПОРТНИМИ СИСТЕМАМИ ТА
КОМПЛЕКСАМИ»**

**Тема: «Моделювання функціонування аеропортів та їх підсистем для
підвищення ефективності авіаційних транспортних перевезень»**

Виконав: Михайло УХОЖАНСЬКИЙ

Керівник: Рімвідас ХРАЩЕВСЬКИЙ

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

**охорона праці: асистент кафедри цивільної та промислової безпеки
ім. Героя України Чуба О.С. Ірина ЯКИМЕЦЬ**

**охорона навколишнього середовища: доцент кафедри екології
к.т.н. доцент Лариса ЧЕРНЯК**

**Нормоконтролер:
доцент кафедри аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів
к.військ.н., с.н.с. Олександр КОСОГОВ**

Київ 2024

**ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ
ІНСТИТУТ»**

Аерокосмічний факультет

Кафедра аеродинаміки та безпеки польотів літальних апаратів

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

Освітньо-професійна програма «Управління авіаційними транспортними системами та комплексами»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

кандидат технічних наук, доцент

_____ Геннадій ВЛАСЕНКО

« ____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

УХОЖАНСЬКИЙ МИХАЙЛО ВАЛЕРІЙОВИЧ

1. Тема дипломної роботи: **«Моделювання функціонування аеропортів та їх підсистем для підвищення ефективності авіаційних транспортних перевезень»** затверджена наказом ректора № 1678/ ст. від 30 серпня 2024 р.
2. Термін виконання роботи: з 30 серпня 2024 р. по 3 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Нормативно-правова база оцінки безпеки польотів: Стандарти ICAO: Annex 14 (Aerodromes), Annex 9 (Facilitation); Європейські регламенти EASA (Certification Specifications for Aerodromes); Національні нормативні акти: Повітряний кодекс України, регламенти Державіаслужби; Документи IATA щодо управління аеропортами та обслуговування пасажирів (IATA Airport Handling Manual, Ground Operations Manual). Існуючі вимоги до моделювання функціонування аеропортів та їх підсистем. Існуючі методи моделювання функціонування аеропортів.
4. Зміст пояснювальної записки: реалізація методів та моделей оптимізації аеропортових підсистем для підвищення ефективності авіаційних перевезень та покращення пропускної здатності аеропортів.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: дані пояснювальних матеріалів, рисунки результатів проведених досліджень, таблиці, схеми.

1. Календарний план-графік

Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
Проведення аналізу функціонування аеропортових підсистем. Визначення впливу зовнішніх та внутрішніх факторів на функціонування аеропортових підсистем.	30.08.2024 р. – 09.09.2024 р.	
Визначення основних шляхів підвищення ефективності функціонування аеропортових підсистем	10.09.2024 р. – 16.09.2024 р.	
Визначення основних факторів у функціонуванні аеропортових підсистем для підвищення пропускної здатності аеропорту та ефективності наземного обслуговування.	17.09.2024 р. – 03.10.2024 р.	
Розробка моделей взаємодії аеропортових підсистем. Розробка пропозицій щодо оптимізації роботи аеропортових підсистем.	04.10.2024 р. – 04.11.2024 р.	
Виконання окремих розділів роботи: охорона праці, охорона навколишнього середовища	05.11.2024 р. – 11.11.2024 р.	
Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	12.11.2024 р. – 20.11.2024 р.	
Попередній захист роботи	21.11.2024 р.	

Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант	Дата, підпис
Охорона праці	Асистент Ірина ЯКИМЕЦЬ	
Охорона навколишнього середовища	Канд. техн. наук, доцент Лариса ЧЕРНЯК	

Дата видачі завдання: «30»_серпня 2024 року.

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Рімвідас ХРАЩЕВСЬКИЙ

Завдання прийняв до виконання _____ Михайло УХОЖАНСЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Методи та моделі функціонування аеропортових підсистем для оптимізації авіаційних транспортних перевезень»: 88 сторінок, 7 рисунків, 16 таблиць, 11 формул, 34 використаних джерел.

Об'єкт дослідження – аеропортові підсистеми, їх функціонування та взаємодія в контексті авіаційних перевезень.

Предмет дослідження – методи, моделі та технології оптимізації аеропортових підсистем для підвищення ефективності авіаційних перевезень та покращення пропускної здатності аеропортів.

Мета – розробка методів і моделей для оптимізації функціонування аеропортових підсистем, що дозволять підвищити ефективність авіаційних перевезень та покращити загальну ефективність аеропортових операцій.

Засоби досягнення мети – проведення аналізу існуючих аеропортових практик, застосування сучасних технологій і методів для оптимізації аеропортових підсистем, а також розробка математичних моделей і стратегій для підвищення ефективності.

Використання математичних моделей для оптимізації функціонування аеропортових підсистем дозволяє значно підвищити ефективність їх взаємодії, що в результаті сприяє зменшенню витрат часу і ресурсів на обробку авіаційних перевезень, поліпшенню екологічної ефективності і забезпеченню високих стандартів безпеки.

Під час виконання дипломної роботи були проаналізовані основні підсистеми аеропорту та методи оптимізації їх роботи. Оцінка інфраструктурних і операційних аспектів дозволила розробити моделі для підвищення ефективності цих підсистем і зменшення витрат на операції.

Завдяки використанню розроблених моделей можливо значно покращити ефективність аеропортових операцій, що дозволить досягти кращих економічних і екологічних результатів. Особлива увага приділена аналізу та розробці практичних рекомендацій для аеропортів України, що забезпечить підвищення їх конкурентоспроможності на міжнародному ринку авіаційних послуг.

АЕРОПОРТОВІ ПІДСИСТЕМИ, ОПТИМІЗАЦІЯ, АВІАЦІЙНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ПРОПУСКНА ЗДАТНІСТЬ, МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ, ІНФРАСТРУКТУРА, ОПЕРАЦІЙНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП7

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТОВИХ ПІДСИСТЕМ10

1.1. Сутність, структура та класифікація аеропортових підсистем10

1.2. Взаємодія аеропортових підсистем: зовнішні та внутрішні фактори впливу19

1.3. Огляд передового досвіду функціонування аеропортів28

ВИСНОВКИ ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ31

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТОВИХ ПІДСИСТЕМ33

2.1. Методологія аналізу ефективності роботи аеропортових підсистем33

2.2. Інфраструктурні та операційні недоліки у функціонуванні підсистем41

2.3. Аналіз пропускної здатності аеропорту та ефективності наземного обслуговування49

ВИСНОВКИ ДО ДРУГОГО РОЗДІЛУ.....53

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ АЕРОПОРТОВИХ ПІДСИСТЕМ55

3.1. Математичні моделі взаємодії аеропортових підсистем57

3.2. Технології та стратегії аеропортових процесів59

3.3. Аналіз оптимізації та їх вплив на ефективність аеропортових операцій...68

ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ.....71

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ73

4.1. Аналіз небезпечних факторів у роботі аеропортових підсистем73

4.2. Розрахунок заходів захисту для забезпечення безпеки в аеропортових операціях75

4.3. Пожежна безпека в інфраструктурі аеропорту77

4.4. Інструкції з техніки безпеки для персоналу аеропортових підсистем 80

ВИСНОВКИ83

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ85

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ААТ — Авіаційно-транспортний агент

АТП — Авіаційно-транспортне підприємство

АСО — Автоматизована система обробки

ІТ — Інформаційні технології

РТТ — Радіотехнічні технології

ІНТЕГР — Інтеграція

ФС — Функціональні системи

АСК — Авіаційні служби контролю

ТРТ — Технічні ресурси транспорту

ТТК— Транспортно-технологічний комплекс

ВСТУП

Актуальність дослідження. Авіаційна галузь є стратегічно важливою складовою глобальної транспортної системи, яка забезпечує швидке та ефективне переміщення пасажирів і вантажів на далекі відстані. Сучасні міжнародні аеропорти відіграють ключову роль у цьому процесі, функціонуючи як складні інтегровані системи, що об'єднують інфраструктурні, технічні, операційні та логістичні підсистеми. Ефективність роботи аеропортів значною мірою залежить від рівня оптимізації та злагодженості взаємодії цих підсистем. Збільшення обсягів авіаційних перевезень, посилення вимог до екологічної та операційної ефективності, а також глобалізація економічних процесів створюють нові виклики для аеропортової інфраструктури. Невирішені проблеми, пов'язані з неоптимальною організацією внутрішніх процесів, знижують пропускну здатність аеропортів, спричиняють затримки рейсів, створюють дискомфорт для пасажирів і генерують додаткові витрати для авіакомпаній.

Особливої уваги потребують питання адаптації аеропортових систем до зростання пасажиропотоку, впровадження інноваційних технологій (штучного інтелекту, автоматизації, "розумних" систем управління) та оптимізації використання існуючих ресурсів. Зважаючи на те, що кожна підсистема аеропорту має власні особливості функціонування, їх недостатня синхронізація спричиняє значні втрати часу, ресурсів та зниження конкурентоспроможності аеропортів у міжнародному масштабі.

Проблема оптимізації функціонування аеропортових підсистем стає ще більш актуальною в умовах постійного ускладнення технологічних процесів, що супроводжують обслуговування сучасних повітряних суден, а також необхідності врахування екологічних стандартів і безпеки. Водночас зростає значення математичного моделювання як інструменту для аналізу,

прогнозування та вирішення складних завдань, пов'язаних із координацією підсистем аеропорту.

Тобто, розробка нових підходів, методів і моделей оптимізації функціонування аеропортових підсистем є необхідною умовою для забезпечення стабільного розвитку авіаційної галузі, підвищення ефективності транспортних процесів, покращення сервісу для пасажирів і зменшення операційних витрат.

Об'єкт дослідження – процес функціонування аеропортових підсистем у контексті забезпечення авіаційних перевезень.

Предмет дослідження – методи, моделі та інструменти оптимізації функціонування аеропортових підсистем, що враховують інфраструктурні та операційні параметри.

Метою дослідження є розробка математичних моделей взаємодії аеропортових підсистем для підвищення ефективності транспортних процесів.

Для досягнення мети визначено такі *завдання*:

1. Аналіз теоретичних засад функціонування аеропортових підсистем, визначення зовнішніх та внутрішніх факторів, що впливають на їх взаємодію;
2. Оцінка ефективності існуючих практик у роботі аеропортів та визначення вузьких місць;
3. Розробка математичних моделей для оптимізації роботи аеропортових підсистем та їх адаптація до реальних умов функціонування;
4. Визначення переваг запропонованих моделей та оцінка їх впливу на ефективність авіаційних перевезень.

Для досягнення поставленої мети використано *такі методи*:

- аналіз і синтез наукових публікацій та практичного досвіду;
- статистичний аналіз даних про роботу аеропортів;
- математичне моделювання процесів взаємодії підсистем;
- порівняльний аналіз для оцінки ефективності впровадження оптимізаційних рішень.

У ході дослідження запропоновано нові математичні моделі взаємодії аеропортових підсистем, які враховують взаємозв'язки між інфраструктурними та операційними параметрами. Розроблені підходи дозволяють зменшити витрати часу на виконання операцій, підвищити пропускну здатність аеропортів і знизити витрати ресурсів.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути застосовані для удосконалення операційних процесів в аеропортах, розробки інноваційних рішень у сфері авіаційної логістики, а також інтеграції інформаційних технологій для автоматизації управління аеропортовими підсистемами.

Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (34 найменування) . Текст роботи ілюстровано 16 таблицями та 7 рисунками.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТОВИХ ПІДСИСТЕМ

1.1. Сутність, структура та класифікація аеропортових підсистем

Аеропорт є складною транспортно-логістичною системою, яка виконує ключову роль у забезпеченні ефективного функціонування авіаційного транспорту. Його діяльність охоплює широкий спектр взаємопов'язаних процесів, які включають авіаційні, технічні, інформаційні, комерційні, логістичні та інші операції. Кожен із цих процесів підтримується спеціалізованими підсистемами, що працюють у єдиному комплексі для досягнення високих стандартів безпеки, надійності та ефективності роботи, розглянемо їх детальніше.

Навігаційні системи є важливою складовою аеропортової інфраструктури, забезпечуючи безпечне і точне управління рухом повітряних суден у повітряному просторі та під час наземних операцій. Радіонавігаційні технології, такі як VOR (всеспрямовані радіомаяки), ILS (система посадки за приладами), DME (система вимірювання відстані) та GPS, відіграють ключову роль у навігації літаків під час зльоту, посадки та польоту в зоні аеропорту. Дані системи передають радіосигнали, які приймаються бортовими приладами літаків, дозволяючи пілотам точно визначати місце розташування, контролювати траєкторію руху та виконувати маневри.

Радіонавігація, як науково-технічна дисципліна, зосереджується на розробці принципів побудови та застосування радіотехнічних засобів для забезпечення водіння рухомих об'єктів за заданими траєкторіями. Її практичне застосування базується на особливостях поширення радіохвиль, таких як рух хвиль по найкоротшій траєкторії між точками передачі та прийому, стабільність швидкості їх розповсюдження, а також можливість використання відбитих сигналів для визначення позиції об'єктів. Це дозволяє забезпечити

високу точність навігаційних процесів навіть у складних погодних умовах або при високій інтенсивності повітряного руху.

Застосування радіонавігаційних систем на практиці забезпечує точне керування польотами літаків і підтримку навігаційної безпеки. Наведемо приклад, система ILS створює чітко визначений шлях для заходу на посадку, а GPS дозволяє літаку автономно орієнтуватися у повітряному просторі з високою точністю. Це є основою для підтримки ефективності роботи аеропортів, мінімізації ризиків помилок у навігації та зниження затримок у повітряному русі.

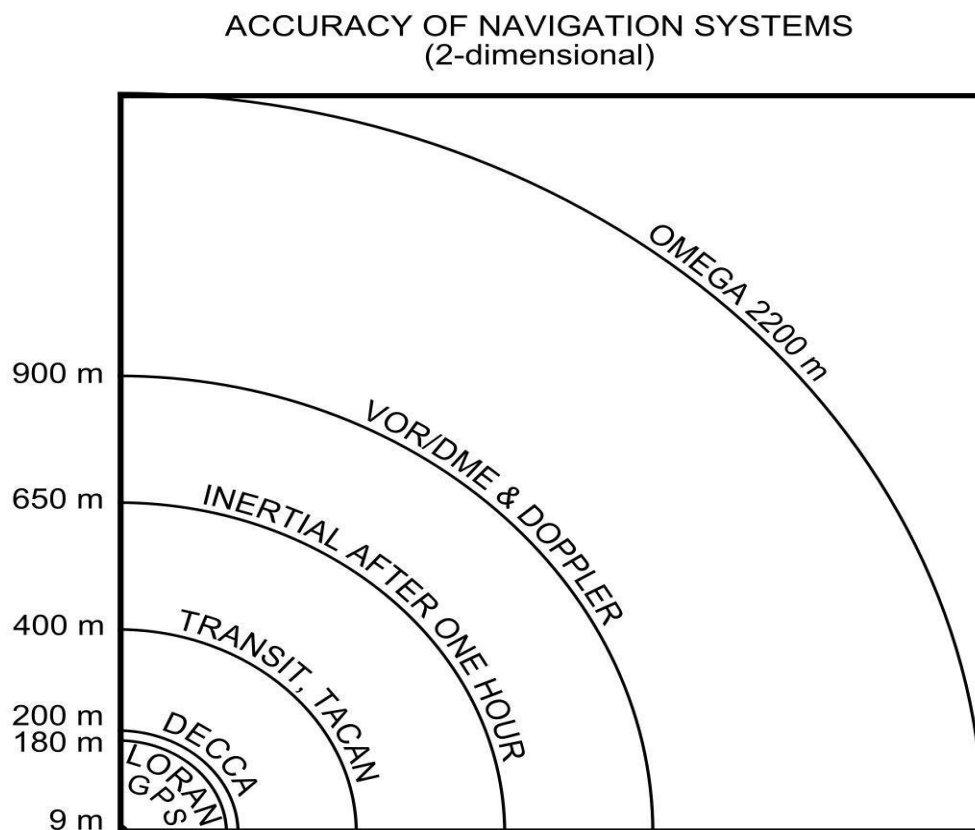


Рис. 1.1. Точна навігаційна система

Радіонавігаційні засоби мають важливу роль у забезпеченні безпеки та точності перевезень. Вони класифікуються за кількома критеріями, зокрема залежно від типу завдань, які вони вирішують, та технічних характеристик, що дозволяє підбирати оптимальні засоби для конкретних умов застосування.

Одним з основних критеріїв класифікації є тип вирішуваних завдань. Зокрема, виділяються радіонавігаційні пристрої, такі як радіопеленгатори, радіокомпаси, радіодальноміри, радіомаяки та інші. Дані пристрої забезпечують виконання окремих навігаційних функцій, таких як визначення місця розташування об'єкта або його переміщення уздовж певної лінії чи площини. Вони використовують природні та штучні джерела радіовипромінювання та властивості земної поверхні або нерухомих об'єктів для точного визначення координат рухомих об'єктів.

Дивлячись з іншої точки, радіонавігаційні системи призначені для вирішення більш складних і комплексних завдань навігації, які охоплюють великі території або вимагають взаємодії з багатьма об'єктами. Ці системи працюють за різними стандартами і включають використання радіохвиль у різних діапазонах, відповідно до міжнародних вимог та регламентів.

Радіонавігаційні засоби класифікуються за технічними параметрами. Одним з них є тип радіосигналу, який використовується для вимірювання навігаційних елементів. Це можуть бути амплітудні, фазові, частотні, часові та комбіновані сигнали (наприклад, амплітудно-часові або фазово-часові). Така класифікація дозволяє вибрати найбільш підходящий тип сигналу для конкретних умов, де необхідно забезпечити максимальну точність і стабільність навігаційних даних.

Іншим критерієм є метод визначення лінії положення. Для цього застосовуються різні типи засобів, серед яких кутомірні (азимутні), далекомірні (кругові) і комбіновані системи, що дозволяють точніше визначати місце розташування об'єкта в просторі.

Наступною класифікацією є класифікація за пропускнуою здатністю, тобто радіонавігаційні засоби поділяються на ті, які забезпечують навігаційну інформацію для обмеженого або необмеженого числа рухомих об'єктів. Це є важливим аспектом для організації великих авіаційних маршрутів, де одночасно перебувають десятки або сотні об'єктів.

Радіонавігаційні засоби можна класифікувати на автономні та неавтономні системи, що визначає рівень залежності від зовнішніх джерел інформації та можливість самостійного визначення місцезнаходження об'єкта.

Застосування цих засобів значно покращує точність навігаційних даних, що критично важливо для безпеки авіаційних і морських перевезень, особливо в складних метеорологічних умовах. Об'єднання різних пристроїв в єдину систему дозволяє вирішувати широкий спектр навігаційних задач, що підвищує ефективність і надійність транспортних операцій. Наведемо приклад, в складних умовах, коли навігація за допомогою радіонавігаційних пристроїв є недостатньо точною, радіонавігаційні системи часто комбінуються з інерціальними навігаційними системами, що, в свою чергу, дозволяє створювати комплексні рішення, які здатні забезпечувати постійну навігацію в умовах відсутності прямого радіозв'язку.

Світлотехнічні системи, які є важливою складовою інфраструктури аеропорту, забезпечують видимість в умовах обмеженої видимості, таких як туман або ніч. Системи освітлення злітно-посадкових смуг, руліжних доріжок та інших елементів аеродрому використовують різні типи світильників, що сигналізують про напрямок руху, перешкоди, а також допомагають пілотам зорієнтуватися під час посадки чи зльоту в складних погодних умовах.

Радарні системи контролю повітряного руху забезпечують безпеку польотів, дозволяючи спостерігати за переміщенням літаків у районі аеропорту, визначати їх місцеположення, висоту та швидкість, а також передавати цю інформацію диспетчерам для управління повітряним рухом.

Системи обробки пасажирів є важливою частиною аеропортових підсистем. Це включає в себе автоматизовану реєстрацію пасажирів, використання металодетекторів і рентгенівських апаратів для контролю безпеки, а також автоматизовані системи сортування та транспортування багажу, які значно спрощують та пришвидшують процес обслуговування пасажирів.

Інформаційні системи відіграють важливу роль у підтримці ефективної організації аеропортового процесу. Вони забезпечують оперативну обробку та передачу даних, що стосуються роботи аеропорту, відслідковування ситуації з пасажирями, літаком та іншими операціями. Технології автоматизованого управління ресурсами та пропускною спроможністю аеропорту базуються на інформаційних системах, що безперервно надають важливу інформацію як персоналу аеропорту, так і пасажирям.

Налагодженню системи інформації, високого ступеня надійності її функціонування, доступності та простоті візуального сприйняття інформації в приміщеннях аеровокзалів повинна приділятися особлива увага.

Автоматизація реєстрації пасажирів в аеровокзалах здійснюється за допомогою впровадження електронних систем, які постійно вдосконалюються.

Наприклад в ДМА «Бориспіль», на долю якого припадає до 40% транспортної роботи авіаційного транспорту, використовуються автоматизовані системи управління такі як:

- Система загального використання ресурсів аеропорту – CUPSS;
- Система авіакомпанії для обробки пасажирів і багажу – DCS;
- Центральна база даних, яка зберігає всю інформацію, пов'язану з діяльністю аеропорту – AODB;
- Система управління будівлею аеропорту – BMS;
- Принтер бирок для багажу – BTP;
- Система відображення пасажирської інформації на моніторах – FIDS;
- Система для зчитування багажних бирок на стійках реєстрації – BRS.

Лідерство в міжнародній системі реєстрації пасажирів і контролю посадки DCS (Departure Control System), розробленій американською компанією SITA, дає можливість оптимізувати процеси обслуговування пасажирів [2]. Дана система використовується більш ніж 200 авіакомпаніями по всьому світу та інтегрована в 235 аеропортів, зокрема в понад 30 000 робочих станцій, обслуговуючи понад 60 мільйонів пасажирів щорічно. Це

дозволяє забезпечити обслуговування кожного третього комерційного пасажера в світі.

SITA DCS автоматизує процеси реєстрації пасажирів і багажу, що значно прискорює ці процедури та дозволяє ефективно виконувати реєстрацію для різних типів рейсів, включаючи рейси авіакомпаній-партнерів або стикувальні рейси. Система сумісна з будь-якою платформою бронювання та автоматично генерує необхідні документи відповідно до міжнародних стандартів, забезпечуючи безпомилкову обробку даних пасажирів і їх багажу.

Завдяки автоматизації реєстрації, яка раніше вимагала участі диспетчерів, зростає ефективність і зручність процесів. Це особливо важливо для хабових аеропортів, де пасажери можуть швидко пересідати з одного рейсу на інший. Також програмне забезпечення SITA DCS підтримує роботу кіосків для самообслуговування, які наразі широко використовуються в аеропортах Північної Америки, Європи та в Україні, зокрема в аеропорту ДМА «Бориспіль», що підвищує зручність для пасажирів і забезпечує високий рівень обслуговування.

Система SITA DCS автоматично обробляє дані про кількість пасажирів та багажу, що дозволяє точніше визначити ступінь завантаженості повітряного судна. В результаті, на основі отриманих даних, система може автоматично надавати пасажерам найбільш зручні місця в літаку та друкувати посадочні талони, багажні бирки. Дані функції значно спрощують процедури реєстрації і підвищують зручність для пасажирів.

Особливою перевагою SITA DCS є підтримка наскрізної реєстрації для трансферних пасажирів, які подорожують через кілька аеропортів. Це дозволяє зменшити час стикування рейсів, підвищуючи ефективність авіап перевезень і рівень регулярності польотів. На сьогодні велика кількість аеропортів відзначають, що самостійна реєстрація пасажирів скорочує час, необхідний для аеропортових процедур, у два рази. Це знижує потребу в кваліфікованому персоналі, дозволяє зменшити площі, необхідні для

обслуговування пасажирів, а також знижує витрати на прибирання і підтримку великих залів реєстрації.

Авіакомпанії вже активно впроваджують технології друку багажних бирок на домашніх принтерах, що значно підвищує економічну ефективність обслуговування пасажирів в аеропортах. Впровадження процедури самостійного випуску багажних бирок є важливим етапом реалізації стратегії авіакомпаній «стати компанією, з якою літати найбільш зручно».

Наступним кроком у розвитку автоматизації аеропортів є впровадження самостійної посадки пасажирів на рейс. Це дозволяє знизити витрати на обробку пасажирів та оптимізувати процеси, аналогічно до того, як знижуються витрати на інші аеропортові процедури завдяки новим технологіям. Аеропорти майбутнього будуть усе більше орієнтуватися на управління інформаційними системами і на впровадження самостійного обслуговування, що зробить процеси ще більш ефективними і доступними для пасажирів.

Системи обслуговування літаків є важливою складовою інфраструктури аеропортів, забезпечуючи ефективну та безпечну роботу з повітряними суднами на землі. Дані системи охоплюють всі аспекти обслуговування, від заправки авіаційним паливом до технічного обслуговування та ремонту літаків, і потребують високої координації та точності у виконанні кожної операції. В Україні, як і в інших країнах, ці системи постійно вдосконалюються та модернізуються, щоб відповідати міжнародним стандартам безпеки та ефективності.

Заправка літаків авіаційним паливом є однією з найважливіших процедур, що гарантує безпечний і своєчасний виліт повітряного судна. В Україні спеціалізовані компанії займаються заправкою, використовуючи сучасні технології та обладнання для забезпечення високого рівня безпеки. Всі процеси заправки контролюються з максимальним дотриманням стандартів, щоб уникнути будь-яких інцидентів.

Наземне обслуговування є важливою складовою цієї системи. Цей комплекс включає послуги від буксирування літаків до прибирання салону та завантаження чи розвантаження багажу. В Україні функціонують аеропортові оператори та спеціалізовані компанії, які надають ці послуги, забезпечуючи злагоджену роботу аеропортової інфраструктури та комфорт пасажирів.

Забезпечення безперебійного зв'язку між різними службами аеропорту та екіпажами літаків є не менш важливою складовою. Сучасні системи радіозв'язку, телефонного зв'язку та обміну даними дозволяють ефективно координувати всі операції, забезпечуючи оперативне реагування на будь-які зміни в плані польоту чи обслуговування літаків. Всі ці елементи є невід'ємною частиною загальної системи обслуговування літаків і сприяють безпеці, зручності та ефективності авіаперевезень.

Системи безпеки та захисту в аеропортах є частиною інфраструктури, забезпечуючи захист як пасажирів, так і персоналу та запобігаючи можливим інцидентам та загрозам. Вони складаються з багатьох підсистем, що працюють у комплексі, щоб ефективно контролювати всі аспекти безпеки.

Відеоспостереження є однією з основних складових систем безпеки аеропортів. Камери спостереження розташовані по всій території аеропорту і дозволяють контролювати ситуацію в реальному часі, що допомагає запобігти злочинам, аваріям або несанкціонованим діям. Наприклад, у аеропорту Київ ім. І. Сікорського (Україна) використовується розширена мережа камер, що інтегруються з іншими системами безпеки для автоматичного виявлення підозрілих ситуацій. У європейських аеропортах, таких як аеропорт Франкфурт-на-Майні (Німеччина) застосовуються передові технології відеоспостереження для забезпечення безпеки пасажирів і персоналу.

Не менш важливою складовою є системи пожежної безпеки, які забезпечують своєчасне виявлення та гасіння пожеж у разі надзвичайної ситуації. Вони включають в себе детектори диму, автоматичні спринклерні системи та спеціалізовані служби швидкого реагування. Наведемо приклад, в аеропорту Дубай використовується система моніторингу пожеж, яка працює

на основі сенсорів, що дозволяють автоматично оцінювати рівень небезпеки в різних зонах аеропорту.

Системи контролю доступу є ще одним аспектом безпеки, оскільки вони обмежують вхід у різні зони аеропорту тільки для авторизованих осіб. Ці системи базуються на електронних картках, біометричних даних або спеціальних ідентифікаторах. Наприклад, аеропорти Лондона використовують біометричні сканери для контролю доступу до чутливих територій, таких як зони митного контролю та перону.

Фізична безпека є складовою частиною системи аеропортової безпеки. Вона включає не тільки перевірку пасажирів через металошукачі та рентгенівські апарати для огляду багажу, але й контроль за доступом до аеропортових об'єктів. У багатьох аеропортах передбачені додаткові заходи для забезпечення фізичної безпеки, зокрема висококваліфіковані охоронці та спеціалізовані сили швидкого реагування.

Кібербезпека є критично важливою складовою сучасних аеропортових систем, оскільки інформаційні технології займають ключову роль у функціонуванні аеропортів. Захист даних та програмного забезпечення від кібератак є пріоритетом для більшості великих аеропортів. Наведемо приклад, аеропорт Гонконгу має складну систему захисту інформації, що включає в себе багато рівнів безпеки та моніторингу для запобігання витоку даних або збоїв у системах.

Процедури безпеки, такі як перевірка пасажирів і їх багажу є елементом забезпечення безпеки. Ці перевірки регулюються міжнародними стандартами, зокрема нормами, визначеними ІКАО. Аеропорти по всьому світу мають добре відпрацьовані процедури для швидкого та ефективного проведення таких перевірок, що дозволяє знизити ризики без шкоди для оперативності.

Системи моніторингу дозволяють стежити за польотами літаків у реальному часі, використовуючи радіолокаційні та супутникові технології, а також системи автоматичного визначення місця розташування (ADS-B). Наприклад, у аеропорту Сінгапур-Чангі є система, що дозволяє відстежувати

літаки не тільки на території аеропорту, а й по всій області в радіусі кількох сотень кілометрів.

Частиною забезпечення безпеки є постійне навчання та тренування персоналу, який працює в аеропортах. Персонал регулярно проходить тренування для реагування на надзвичайні ситуації та загрози, такі як терористичні акти чи природні катастрофи. Це включає симуляції можливих загроз і навчання оперативного реагування, щоб забезпечити своєчасне й ефективне реагування на будь-яку кризу.

Завдяки використанню новітніх технологій, таких як біометрія, штучний інтелект і машинне навчання, аеропорти стають більш ефективними в автоматизації процесів безпеки. Це дозволяє значно скоротити час на проходження процедур контролю та підвищити загальний рівень безпеки. Наприклад, в аеропортах Дубая та Сінгапуру активно впроваджують біометричні системи для реєстрації та посадки пасажирів, що значно прискорює процес перевірки.

Усі ці підсистеми працюють у тісній взаємодії, створюючи багаторівневу систему безпеки, яка забезпечує безперебійну роботу аеропорту та гарантує високий рівень захисту для пасажирів і авіаційної інфраструктури.

1.2. Взаємодія аеропортових підсистем: зовнішні та внутрішні фактори впливу

Аеропорти є складними інфраструктурними комплексами, де забезпечується безперервна взаємодія різноманітних підсистем. Дана взаємодія визначає ефективність транспортного процесу та впливає на якість обслуговування пасажирів і авіакомпаній. Діяльність підсистем залежить від численних факторів, які умовно можна поділити на зовнішні та внутрішні.

Зовнішні фактори є достатньо важливими для функціонування аеропортових підсистем, оскільки саме вони визначають стратегічні умови

роботи, які часто виходять за межі контролю керівництва аеропорту. Дані фактори задають рамки, у яких здійснюються операції, і суттєво впливають як на короткострокову ефективність, так і на довгострокову стійкість системи. Наведемо приклад, економічна нестабільність у глобальному масштабі призводить до зниження пасажиропотоку, оскільки туристичні та ділові поїздки стають менш доступними для людей. Це є актуальним під час фінансових криз та різких змін вартісних показників, таких як ціни на паливо.

Екологічні фактори відіграють ключову роль. Зростання вимог до зменшення викидів парникових газів змушує аеропорти адаптувати свою діяльність до міжнародних стандартів, таких як вимоги ІСАО. Для цього необхідно впроваджувати енергоефективні технології, модернізувати інфраструктуру та використовувати альтернативні джерела енергії. Прикладом є велика кількість аеропортів, таких як Heathrow Airport у Лондоні чи Changi Airport у Сінгапурі, які вже почали використовувати “зелену” енергію для обслуговування терміналів.

Правові регуляції є іншим важливим зовнішнім фактором, що впливає на аеропортові підсистеми. Нові міжнародні стандарти авіаційної безпеки та національні закони вимагають додаткових інвестицій в інфраструктуру чи змін у процесах. Наприклад, посилення вимог до сканування багажу та перевірки пасажирів у Європейському Союзі призвело до необхідності впровадження автоматизованих систем перевірки у багатьох аеропортах.

Таблиця 1.1.

Вплив зовнішніх факторів на аеропорти

Категорія фактора	Характер впливу	Приклад
Економічні	Зміна пасажиропотоку, коливання доходів, підвищення операційних витрат	Глобальна економічна криза 2008 року призвела до зменшення кількості рейсів та зростання тарифів.

Продовження табл. 1.1.

Екологічні	Вимога зменшення викидів, впровадження «зелених» технологій	Впровадження систем сонячної енергії у <i>San Diego International Airport</i> .
Правові	Регулювання стандартів безпеки, контроль тарифів, доступ до міжнародного ринку	Директиви ЄС щодо посилення перевірки авіаційної безпеки у 2018 році.

Таким чином, зовнішні фактори формують основні виклики, на які аеропорти мають реагувати, розробляючи довгострокові стратегії розвитку, адаптуючи свої підсистеми та співпрацюючи з урядами, авіакомпаніями та технологічними партнерами для досягнення максимальної ефективності.



Рис.1.2. Модель взаємодії зовнішніх факторів із підсистемами аеропорту

Зовнішні фактори, такі як економічні, екологічні та правові умови, значно впливають на функціонування аеропортів. Ці фактори змінюють пасажиропотік, впливають на витрати, вимагають впровадження нових технологій або зміни в регулюванні безпеки. Аеропорти повинні оперативно адаптувати свої стратегії та інфраструктуру до цих змін, забезпечуючи

максимальну ефективність і конкурентоспроможність у складних зовнішніх умовах. Модель взаємодії зовнішніх факторів з підсистемами аеропорту демонструє важливість інтеграції цих факторів у планування та управління аеропортами для досягнення сталого розвитку.

Внутрішні фактори є основою ефективного функціонування аеропортових підсистем, оскільки вони залежать від управління, організації та технологічного забезпечення діяльності аеропорту. Ці фактори безпосередньо впливають на швидкість, якість обслуговування пасажирів та на здатність аеропорту адаптуватися до зовнішніх викликів.

Організаційні фактори охоплюють структуру управління, розподіл обов'язків між підрозділами, координацію дій різних служб, та систему прийняття рішень. Ефективне управління дозволяє мінімізувати затримки, оптимізувати використання ресурсів і підвищити загальну продуктивність. Дослідження Харві (Harvey, 2018) показують, що децентралізовані системи управління більш ефективні в умовах великого пасажиропотоку, оскільки дозволяють окремим службам швидше реагувати на локальні проблеми.

Одним із ключових елементів організаційних факторів є система планування рейсів і обслуговування. Недостатня синхронізація між різними підсистемами, такими як управління багажем, логістика та операції авіакомпаній, призводить до перевантаження терміналів і тривалих затримок. Впровадження інтегрованих платформ управління, як у випадку з AeroLogic в аеропорту Франкфурта, дозволило значно знизити час обробки багажу та покращити взаємодію між службами.

Технічна інфраструктура визначає здатність аеропорту виконувати свої функції в задані строки. Це включає стан злітно-посадкових смуг, ефективність роботи технічного обладнання, а також рівень автоматизації процесів. Наприклад, автоматизовані системи перевірки багажу, які використовують у Сінгапурському аеропорту Чангі, дозволяють скоротити час обробки кожного рейсу на 35-42%.

Важливим чинником є технічна сумісність обладнання різних підсистем. У дослідженнях Мітчелла (Mitchell, 2020) зазначено, що гармонізація технічних стандартів між службами дозволяє уникати технічних збоїв і підвищує надійність обслуговування. Для прикладу, впровадження єдиних стандартів зарядки електричних транспортних засобів у терміналах значно спрощує їх інтеграцію в логістичні процеси.

Людський фактор відіграє вирішальну роль у забезпеченні безперебійної роботи аеропорту. Цей фактор включає не лише професіоналізм персоналу, а й його здатність швидко адаптуватися до змінних умов діяльності. Висока кваліфікація співробітників дозволяє оперативно вирішувати виникаючі проблеми та значно підвищує якість обслуговування пасажирів.

Однак, дослідження Гомеса показують, що людський фактор є джерелом потенційних помилок. Наприклад, неправильне сортування багажу або помилки в роботі диспетчерів призводять до значних затримок рейсів. Для вирішення цих проблем сучасні аеропорти впроваджують навчальні програми з використанням віртуальної реальності, що дозволяють імітувати реальні ситуації та вдосконалювати навички персоналу.

Таблиця 1.2.

Вплив внутрішніх факторів на функціонування аеропорту

Категорія факторів	Характер впливу	Приклад реалізації
Організаційні	Синхронізація підсистем, оптимізація роботи служб	Впровадження системи AeroLogic для управління рейсами в аеропорту Франкфурта.
Технічні	Ефективність роботи обладнання, рівень автоматизації	Система автоматизації перевірки багажу в аеропорту Чангі.
Людський фактор	Рівень кваліфікації персоналу, адаптація до нових технологій	Навчання працівників за допомогою VR-тренажерів у аеропортах США.

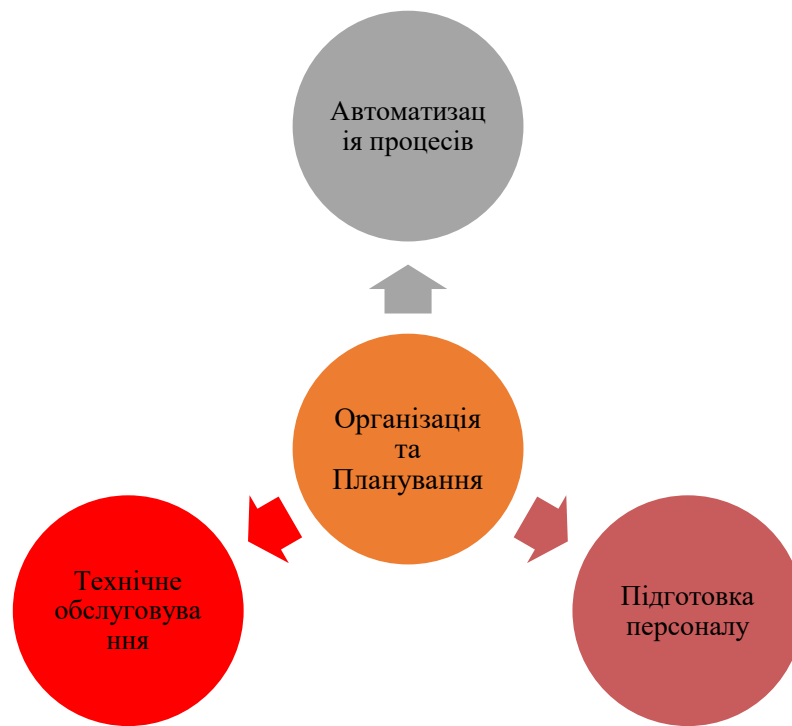


Рис. 1.2. Взаємодія внутрішніх факторів у рамках підсистем аеропорту

Внутрішні фактори впливу є основою ефективного функціонування аеропортових підсистем, а їх правильне управління забезпечує максимальну ефективність і стійкість операцій. Інтеграція сучасних технологій, гармонізація процесів між підсистемами та підвищення рівня кваліфікації персоналу є ключовими напрямками для оптимізації внутрішнього середовища аеропорту. Ефективна взаємодія між аеропортом, авіакомпаніями та наземними службами є ключовим аспектом функціонування сучасної авіаційної системи. Від злагодженості їхніх дій залежить як якість обслуговування пасажирів і вантажів, так і загальна продуктивність аеропорту. Спільна робота цих елементів вимагає чіткої координації, впровадження інноваційних технологій та дотримання міжнародних стандартів.

Взаємодія між аеропортом та авіакомпаніями регламентується контрактними угодами, що визначають права та обов'язки обох сторін. Основні питання, що обговорюються, включають:

- Розподіл слотів – авіакомпанії заздалегідь узгоджують час для зльоту та посадки літаків, щоб уникнути конфліктів у розкладі;

- Інфраструктурні послуги – надання термінальних площ, доступ до злітно-посадкових смуг, місць стоянки літаків та допоміжних об'єктів;
- Наземне обслуговування – забезпечення авіакомпаній послугами з заправки, технічного огляду літаків, завантаження багажу, обслуговування пасажирів та екіпажу.

Прикладом успішної взаємодії є система A-CDM (Airport Collaborative Decision Making), яка впроваджується в європейських аеропортах. A-CDM інтегрує дані від авіакомпаній, диспетчерів повітряного руху та аеропорту в єдину систему, що дозволяє ефективніше планувати операції та уникати затримок.

Технічна сумісність є важливою умовою для ефективної взаємодії між авіакомпаніями та наземними службами. Це включає в себе:

- Дотримання стандартів Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO) щодо інфраструктури аеропортів та технічного обслуговування літаків;
- Автоматизацію різноманітних процесів, таких як реєстрація пасажирів, перевірка багажу, планування рейсів тощо. Наприклад, система SITA, яка застосовується в міжнародних аеропортах, дозволяє здійснювати інтеграцію даних про пасажирів і багаж у реальному часі;
- Впровадження інноваційних технологій, таких як електричні тягачі для буксирування літаків, які використовуються в аеропорту Амстердама і допомагають зменшити викиди вуглекислого газу під час наземних операцій.

Наземні служби виконують великий спектр завдань, серед яких технічне обслуговування літаків, завантаження багажу, дозаправка та організація харчування для пасажирів і екіпажу. Їх робота повинна бути тісно пов'язана з операціями аеропорту та авіакомпаній. Своєчасне технічне обслуговування, як показує дослідження Ван Хоффа (2020), дозволяє знизити ймовірність технічних несправностей літаків на 25%. Автоматизація процесів, таких як

обробка багажу за допомогою системи High-Speed Bag Drop, допомагає зменшити час на завантаження на 30-40%. Ефективні системи контролю витрат палива і впровадження екологічно чистого авіаційного палива сприяють зниженню загальних операційних витрат.

Таблиця 1.3.

Розподіл обов'язків між аеропортом, авіакомпаніями та наземними службами

Обов'язки	Аеропорт	Авіакомпанії	Наземні служби
Планування слотів	Узгодження з авіакомпаніями	Використання виділених слотів	Забезпечення готовності технічних засобів
Інфраструктурне забезпечення	Надання терміналів, злітно-посадкових смуг	Використання інфраструктури	Технічне обслуговування
Обробка багажу	Організація роботи багажної системи	Надання даних про багаж	Завантаження/розвантаження багажу
Пасажирське обслуговування	Забезпечення умов у терміналах	Надання квиткових послуг	Реєстрація пасажирів

Згідно з розподілом обов'язків між аеропортом, авіакомпаніями та наземними службами, кожен учасник виконує конкретні функції, що взаємодіють між собою для забезпечення ефективної та безпечної роботи аеропорту. Всі ці елементи працюють в єдиній системі, що дозволяє мінімізувати затримки та помилки в обслуговуванні. Аеропорт відповідає за надання інфраструктури та організацію основних служб, авіакомпанії займаються плануванням і виконанням рейсів, а наземні служби забезпечують технічне обслуговування, обробку багажу та пасажирів.



Рис. 1.3. Схема взаємодії між аеропортом, авіакомпаніями та наземними службами

Згідно рисунку 1.3., можемо побачити, що основні взаємодії між трьома ключовими учасниками: аеропортом, авіакомпаніями та наземними службами. Кожен із них виконує свої обов'язки в межах загальної операційної діяльності аеропорту. Аеропорти надають необхідну інфраструктуру та термінали, авіакомпанії організують авіарейси та забезпечують квиткове обслуговування, а наземні служби займаються обробкою багажу, обслуговуванням пасажирів і технічним обслуговуванням літаків. Всі ці компоненти повинні взаємодіяти для забезпечення ефективної роботи аеропорту та безперебійного процесу перевезень.

Інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT) дозволяє оптимізувати взаємодію між усіма сторонами. Наприклад, у лондонському аеропорту Хітроу використовують ШІ для аналізу потоків пасажирів і передбачення можливих затримок, що дає змогу завчасно коригувати операції. Активно впроваджуються "зелені" технології для наземного обслуговування. Електричні буксирувальники літаків, автоматизовані системи очищення та використання екологічного палива знижують негативний вплив на навколишнє середовище та витрати авіакомпаній.

Ефективна взаємодія між аеропортом, авіакомпаніями та наземними службами є основою стабільного функціонування авіаційної системи.

Впровадження сучасних технологій, гармонізація процесів та інтеграція діяльності підвищують якість обслуговування, сприяють зниженню витрат і зміцнюють позиції аеропорту в умовах глобальної конкуренції.

1.3. Огляд передового досвіду функціонування аеропортів

У воєнний та повоєнний періоди для України особливу значущість набуває питання соціально-економічного розвитку через впровадження інновацій. Одним із ключових напрямків цього процесу є розвиток авіаційної галузі, зокрема діяльності аеропортів, що має важливе значення для України як рівноправного і конкурентоспроможного учасника міжнародних торгово-економічних зв'язків. Основою для розширеного відтворення потенціалу аеропортів та їх інфраструктури в умовах воєнного та повоєнного часу є своєчасне впровадження інноваційних технологій, орієнтованих на ефективність і системний підхід [5].

Як показує міжнародний досвід, ключову роль у впровадженні успішної інноваційної моделі розвитку аеропортів відіграє система державного регулювання, яка використовує ефективні координаційно-інтеграційні, адміністративно-фіскальні, фінансово-інвестиційні механізми та інструменти для стратегічного, нормативно-правового і ресурсного забезпечення економічної політики держави. Водночас, в Україні, через агресію росії, спостерігається критичне погіршення техніко-економічних показників аеропортової інфраструктури. У таких умовах головним завданням держави має стати завершення війни, звільнення окупованих територій, відновлення соціально-економічного розвитку регіонів та відновлення роботи аеропортів через інноваційні трансформації. Це вимагає розробки та впровадження комплексної концепції модернізації державного регулювання, яка відповідає б вимогам сучасного суспільства та науково-технічного прогресу в контексті розвитку аеропортової інфраструктури [6].

Оптимізація аеропортових процесів базується на впровадженні сучасних технологій і рішень, які дозволяють зменшити час обслуговування пасажирів, підвищити безпеку та зменшити витрати. Досвід провідних аеропортів, таких як Гонконг, Сінгапур та Дубай, демонструє, як архаїчні процеси можуть бути вдосконалені через цифровізацію та автоматизацію.

Таблиця 1.4.

Оптимізація аеропортових процесів за допомогою сучасних технологій

Напрямок оптимізації	Технологія/Рішення	Переваги
Обробка пасажирів	Використання біометричних систем для зчитування документів і ідентифікації пасажирів	Скорочення черг на контролі безпеки, зменшення часу обслуговування
Управління багажем	Інтеграція RFID-технологій для моніторингу багажу в режимі реального часу	Покращення відстеження багажу, зниження ризику втрати багажу

Використання біометричних систем та RFID-технологій (відстеження) ілюструє ефективність сучасних підходів до оптимізації аеропортових процесів. або будівлях і знімають транспорт з висоти. RFID-відстеження: RFID-мітки (Radio-Frequency Identification) встановлюються на транспортні засоби, які можна відстежувати за допомогою спеціальних зчитувачів. Цей метод дозволяє швидко і легко відстежувати транспортні засоби в реальному часі, включаючи ідентифікацію транспортних засобів на митницях. Використання системи RFID (Radio-Frequency Identification), що дозволяє ідентифікувати транспортний засіб за допомогою радіохвиль. Тобто, метод є особливо ефективним для відстеження вантажів, оскільки можна стежити не тільки за місцезнаходженням вантажу, але й за умовами його транспортування (температура, вологість тощо).

Зважаючи на стратегічне значення аеропортів як важливих вузлів транспортної інфраструктури, особливого значення набуває впровадження

інноваційних технологій, що забезпечують ефективність і надійність операцій. У цьому контексті автоматизація обробки пасажирів є одним із ключових напрямків модернізації, який активно впроваджується у провідних світових аеропортах. Сучасні аеропорти дедалі частіше впроваджують біометричні технології, які стають невід'ємною частиною автоматизації процесів обслуговування пасажирів. Ці інновації сприяють значному скороченню часу, необхідного для проходження перевірок, реєстрації на рейси та контролю безпеки. Технології розпізнавання обличчя, відбитків пальців і сітківки ока забезпечують не лише оперативність, але й підвищення рівня безпеки в аеропортах. Наприклад, у таких провідних авіахабах, як Сінгапурський аеропорт Changi, аеропорт Гонконгу та Дубайський аеропорт, ці системи вже активно використовуються. Завдяки цьому пасажирів отримують доступ до терміналів, проходять реєстрацію та контроль безпеки безконтактно, що мінімізує утворення черг і значно покращує комфорт подорожей.

Перехід до автоматизованих систем обслуговування передбачає впровадження рішень для самостійної реєстрації та паспортного контролю. Зокрема, системи self-check-in дозволяють пасажирів самостійно реєструватися через спеціальні термінали, що зменшує потребу у взаємодії з персоналом і прискорює процес. Це особливо важливо в умовах високого пасажиропотоку, коли швидкість обслуговування стає критичною. Автоматизовані системи паспортного контролю, засновані на використанні електронних чіпів у паспортах, ще більше спрощують і пришвидшують проходження контрольних процедур, забезпечуючи при цьому високий рівень безпеки. Таким чином, впровадження таких рішень підвищує загальну ефективність і якість обслуговування пасажирів, відповідаючи сучасним вимогам аеропортової інфраструктури.

Важливим напрямком автоматизації аеропортових процесів є модернізація систем управління багажем. Завдяки інноваційним технологіям ця сфера роботи аеропортів стає ефективнішою, прозорішою та безпечнішою.

Загалом, досвід провідних аеропортів світу демонструє, що автоматизація систем є невід'ємною складовою розвитку аеропортової інфраструктури. Інноваційні технології сприяють не лише підвищенню ефективності роботи аеропортів, але й покращенню якості обслуговування пасажирів, що є стратегічною метою сучасних транспортних вузлів. Впровадження подібних рішень в інших країнах, включаючи Україну, стане важливим кроком до модернізації транспортної системи та інтеграції в міжнародні авіаційні процеси.

Для України, особливо в контексті відновлення після воєнних дій, впровадження у сфері аеропортової інфраструктури є критичним елементом для покращення ефективності та безпеки авіаційних перевезень. Завдяки застосуванню сучасних технологій можна не тільки підвищити конкурентоспроможність, а й забезпечити надійність та зручність для пасажирів. Водночас важливою складовою цього процесу є ефективне державне регулювання, яке забезпечить належну підтримку і стимулювання інвестицій у розвиток інфраструктури аеропортів.

Таким чином, інноваційні технології є ключовими для трансформації аеропортових процесів, що сприятиме не лише поліпшенню обслуговування, а й економічному відновленню та розвитку країни в умовах глобальних змін.

ВИСНОВОК ДО ПЕРШОГО РОЗДІЛУ

Аеропорти є складними багатофункціональними об'єктами, що включають численні підсистеми, кожна з яких виконує специфічні завдання, спрямовані на забезпечення ефективної та безпечної роботи. У першому розділі було розглянуто сутність, структуру та класифікацію аеропортових підсистем, які складаються з пасажирських, багажних, транспортних, безпекових та інфраструктурних компонентів. Важливим аспектом є взаємодія

між цими підсистемами, що визначається як внутрішніми, так і зовнішніми факторами. Зовнішні фактори, такі як економічні та політичні умови, впливають на стратегію розвитку аеропортів, тоді як внутрішні — на оперативну діяльність і взаємодію між підсистемами.

Аналіз передового досвіду функціонування аеропортів дозволяє виявити кращі практики, що сприяють підвищенню ефективності роботи аеропортів. Досвід провідних міжнародних аеропортів, таких як Сінгапурський, Дубайський, та Амстердамський, демонструє важливість інтеграції новітніх технологій для покращення обслуговування пасажирів, оптимізації процесів та забезпечення високих стандартів безпеки.

Таким чином, вивчення теоретичних основ функціонування аеропортових підсистем є важливим для формування уявлення про структуру та механізми їх взаємодії, а також для розуміння основних факторів, що впливають на ефективність роботи аеропортів у сучасних умовах. Врахування цих аспектів є необхідним для подальшого впровадження інновацій та розвитку аеропортової інфраструктури.

РОЗДІЛ 2.

АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТОВИХ ПІДСИСТЕМ

2.1. **Методологія аналізу ефективності роботи аеропортових підсистем**

Сучасна авіаційна галузь відіграє ключову роль у глобальній транспортній інфраструктурі, сприяючи розвитку міжнародної торгівлі, туризму та економічного співробітництва. Аеропорти, як критичні вузли цієї інфраструктури, є складними системами, які об'єднують різноманітні підсистеми, включаючи пасажирські термінали, багажні комплекси, злітно-посадкові смуги, системи технічного обслуговування, авіаційну безпеку та багато інших. Кожна з цих підсистем виконує унікальні функції, але їх скоординована робота визначає загальну ефективність аеропорту.

В умовах стрімкого зростання пасажиропотоку та кількості рейсів, забезпечення високої продуктивності аеропортів стає серйозним викликом. Згідно з прогнозами Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО), глобальний авіаційний попит подвоїться до 2040 року. Це ставить перед аеропортами задачу оптимізації ресурсів, скорочення часу обслуговування пасажирів і рейсів, а також підвищення якості послуг без збільшення операційних витрат. У такій ситуації необхідність аналізу ефективності роботи аеропортових підсистем стає критично важливою для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Ефективність роботи аеропорту залежить від багатьох факторів, таких як пропускна здатність злітно-посадкових смуг, швидкість обробки багажу, середній час очікування пасажирів у чергах, рівень технічного обслуговування обладнання, а також рівень автоматизації процесів. Будь-які збої або

недостатня продуктивність окремої підсистеми можуть негативно вплинути на загальний ланцюг операцій. Наприклад, затримки у багажній системі часто призводять до збоїв у розкладі рейсів, що впливає на пасажирський досвід та прибутковість аеропорту.

Однак сучасні підходи до управління аеропортами все частіше використовують науково обґрунтовані методики аналізу та моделювання. Ці методики дозволяють оцінити ефективність роботи підсистем на основі кількісних показників і запропонувати способи їхньої оптимізації. Наукові підходи, такі як системний аналіз, імітаційне моделювання, статистичні методи та економічний аналіз, забезпечують розробку рекомендацій, які можуть мати значний вплив на операційну діяльність аеропортів.

Методологія аналізу ефективності роботи аеропортових підсистем є складним і багатограним процесом, що включає використання різних підходів та інструментів для оцінки продуктивності, безпеки та якості обслуговування в аеропортах.

Для оцінки ефективності роботи аеропортових підсистем дослідники застосовують кілька підходів. Аналіз даних дозволяє виявляти закономірності та тенденції в роботі аеропортів, використовуючи великий обсяг інформації (Д. Коттер, Х. Швებель). Моделювання імітації, створюючи моделі роботи аеропорту, дає змогу тестувати різні сценарії та знаходити слабкі місця (Л. Хендерсон). Оцінка продуктивності здійснюється через ключові показники ефективності (КРІ), що дозволяє виміряти результати діяльності підсистем (Р. Нортон, Д. Каплан). Але ефективна робота аеропортових підсистем залежить від комплексної оцінки всіх елементів інфраструктури. Розглянемо ці методи.

Аналіз даних являється стандартним інструментом для дослідження ефективності функціонування аеропортів. За допомогою збирання та обробки великих обсягів інформації, що надходить із різних підсистем, стає можливим ідентифікувати ключові тенденції, які визначають продуктивність операцій. Наведемо приклад, дослідження дозволяють визначити періоди пікових навантажень, що характеризуються підвищеним пасажиропотоком і

збільшеною завантаженістю злітно-посадкових смуг. Цей аналіз є особливо важливим для раціонального планування використання інфраструктури.

Аналіз даних дає змогу оцінити частоту технічних несправностей, що впливають на безперебійність операційних процесів, та виявити їхній вплив на загальну продуктивність. Тобто, збій у роботі багажної системи може спричинити затримки рейсів або незручності для пасажирів, що негативно позначається на репутації аеропорту. Значна увага приділяється вивченню часу, необхідного для обслуговування пасажирів, включаючи процеси реєстрації, контролю безпеки та видачі багажу.

Як приклад, методика, запропонована дослідниками Д. Коттером і Х. Швобелем, використовує алгоритми машинного навчання для аналізу накопичених даних та прогнозування можливих сценаріїв розвитку подій. Їхній підхід дозволяє поліпшити управління ресурсами та адаптуватися до змін у пасажиропотоках. Зокрема, цей підхід є вирішальним для ефективного реагування на зростання попиту, оптимізації розкладу рейсів або збільшення продуктивності наземних служб.



Рис.2.1. Взаємозв'язок між ключовими показниками аналізу даних

Результати подібних досліджень демонструють важливість інтеграції методів аналізу даних у щоденне управління аеропортовою діяльністю. Це не лише допомагає виявляти слабкі місця, але й забезпечує підґрунтя для впровадження ефективних рішень.

Наступним методом є метод моделювання імітації. Імітаційне моделювання є достатньо універсальним інструментом, який дозволяє зрозуміти функціонування аеропортових підсистем та передбачати зміни в їхній роботі. Такий підхід полягає в створення комп'ютерної моделі, яка відображає реальні процеси, що відбуваються в аеропортах.

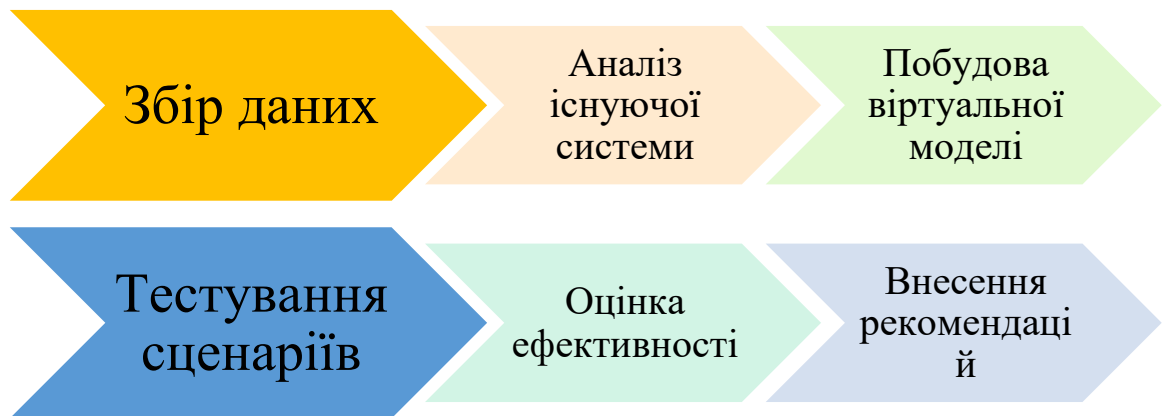


Рис.2.2. Етапи процесу імітаційного моделювання

Модель дає змогу досліджувати взаємодію елементів системи в реальному часі, аналізувати потенційні проблеми та тестувати сценарії для покращення ефективності. Однією з основних переваг імітаційного моделювання є можливість аналізу впливу змін у розкладі рейсів на завантаженість терміналів та злітно-посадкових смуг. Це важливо для великих аеропортів із високою інтенсивністю руху. Завдяки моделюванню можна оцінити, як зміна часу прибуття чи відправлення рейсів впливає на черги, час очікування пасажирів, роботу багажних систем і наземного обслуговування.

Одним із найбільш відомих прикладів використання імітаційного моделювання є проект, виконаний у аеропорту Франкфурта-на-Майні. За допомогою моделювання було розроблено сценарії розподілу ресурсів терміналів і злітно-посадкових смуг для обслуговування пікових періодів. В результаті було оптимізовано рух пасажирів у залах очікування, що скоротило середній час реєстрації та посадки на 12%.

У моделі були протестовані наслідки поганих погодніх умов та моделювання показало, що перенесення рейсів у певні часові вікна дозволяє уникнути значних затримок, підхід зменшив середню кількість скасованих рейсів на 8%.

Таблиця 2.1.

Результати моделювання сценаріїв в аеропорту Франкфурта

Сценарій	Ключова проблема	Рішення, запропоноване моделюванням	Результат
Перенасичення в пікові години	Час очікування на реєстрацію перевищує 30 хвилин	Додавання 5 пунктів реєстрації у піковий час	Середній час реєстрації скорочено на 12%
Погані погодні умови	Затримки на злітно-посадкових смугах	Перенесення рейсів на інші часові вікна	Зменшення скасованих рейсів на 8%
Несправність багажної системи	Затримка у видачі багажу	Використання резервної багажної лінії	Скорочення затримок до 10 хвилин

Згідно з таблицею 2.1., можемо побачити, що імітаційне моделювання допомагає заздалегідь виявити потенційні пробелми, оптимізувати використання ресурсів, таких як персонал і обладнання, а також врахувати складно прогнозовані фактори, включаючи людський вплив і погодні умови для ефективного планування.

Тобто, імітаційне моделювання є невід'ємним інструментом у сучасному управлінні аеропортами, забезпечуючи детальне розуміння роботи та можливість оперативного реагування на виклики.

Ключові показники (Key Performance Indicators, KPI є основним інструментом для кількісної оцінки продуктивності аеропортових підсистем. Вони дозволяють аналізувати, наскільки ефективно працюють окремі елементи інфраструктури та процеси, забезпечуючи основу для прийняття рішень. Використання KPI дозволяє не тільки оцінювати поточний стан систем, а й прогнозувати майбутнє функціонування. Серед найважливіших KPI в аеропортах виділяють показники, які стосуються часу обслуговування пасажирів, включаючи процеси реєстрації, контролю безпеки та посадки. Ці дані є критично важливими для аналізу пасажирського досвіду та планування ресурсів.

Іншим важливим показником є середній час обробки багажу, який впливає на швидкість і точність доставки багажу до пасажирів та пропускна здатність злітно-посадкових смуг, яка визначає здатність аеропорту обслуговувати велику кількість рейсів у різні години доби. Оцінка рівня заповнюваності літаків, що вимірює частку пасажирів від максимальної місткості повітряного судна, дозволяє оцінити ефективність продажу квитків і координації перевізників. Кількість рейсів на годину є показником, що відображає рівень використання ресурсів, таких як термінали та злітно-посадкові смуги.

Р. Нортон і Д. Каплан запропонували концепцію збалансованих показників (Balanced Scorecard), яка дозволяє оцінювати ефективність як з операційної, так і зі стратегічної перспективи. Цей підхід зосереджується на чотирьох основних напрямках: фінансові показники, задоволеність клієнтів, внутрішні бізнес-процеси та навчання й розвиток персоналу. У контексті аеропортів ця методологія дозволяє узгодити короткострокові операційні завдання з довгостроковими стратегічними цілями.

Приклад застосування є міжнародний аеропорт в Дубаях , де було впроваджено систему моніторингу КРІ для оптимізації роботи. Одним із ключових завдань стало скорочення часу обслуговування пасажирів у пікові години. Аналіз КРІ показав, що основні затримки виникають на етапі реєстрації через недостатню кількість автоматизованих пунктів обслуговування. Рішенням стало впровадження додаткових автоматизованих систем самореєстрації, що дозволило скоротити час реєстрації на 30%.

Інший приклад — використання КРІ для аналізу заповнюваності літаків. Дані показують, що на деяких маршрутах рівень заповнюваності значно нижчий за середній. Це дало змогу авіаперевізникам оптимізувати частоту рейсів і зменшити експлуатаційні витрати.

Таблиця 2.2.

Приклади КРІ в аеропортах

КРІ	Опис	Цільовий показник	Вплив на продуктивність
Час реєстрації пасажирів	Середній час, необхідний для завершення процесу реєстрації	≤ 10 хвилин	Підвищення задоволеності клієнтів
Час обробки багажу	Період від здачі багажу до його завантаження у літак	≤ 15 хвилин	Скорочення затримок рейсів
Пропускна здатність ЗПС	Кількість рейсів, які може обслуговувати смуга за годину	≥ 40 рейсів/год	Підвищення операційної ефективності
Рівень заповнюваності літаків	Частка пасажирів від максимальної місткості	$\geq 85\%$	Оптимізація витрат авіакомпаній
Кількість рейсів на годину	Середня кількість рейсів, обслуговуваних аеропортом	≥ 50 рейсів/год	Раціональне використання ресурсів

Використання КРІ в управлінні аеропортами дозволяє отримати глибокі інсайти про ефективність окремих процесів і підсистем. Впровадження моніторингу ключових показників допомагає зменшити затримки, підвищити продуктивність, задоволеність пасажирів та забезпечити стійке досягнення стратегічних цілей.



Рис.2.3. Взаємозв'язок КРІ в аеропорту

Рисунок 2.3. демонструє тісний зв'язок між ключовими показниками ефективності КРІ аеропорту. Час обслуговування пасажирів і обробки багажу впливають на загальну продуктивність підсистем, яка, в свою чергу, визначає пропускну здатність злітно-посадкових смуг. Високий рівень заповнюваності літаків забезпечує підвищення доходів авіаперевізників, сприяючи фінансовій стабільності та задоволенню пасажирів. Тобто, всі елементи системи взаємодіють, створюючи умови для ефективної роботи аеропорту.

Для отримання найбільш точних та практичних результатів варто використовувати інтегровані підходи, які об'єднують декілька методів дослідження, тобто аналіз даних, імітаційне моделювання та оцінку КРІ. Комплексний підхід дозволяє отримати багатосторонній погляд на роботу

аеропорту ти виявити можливості для підвищення ефективності. Головними перевагами інтегрованого підходу є:

- Визначення сильних та слабких сторін;
- Побудова прогностичних моделей;
- Системний аналіз.

Прикладом застосування інтегрованого підходу є аеропорт Лутон (Англія), в ньому було впроваджено інтегрований підхід до аналізу операцій. Дані про час реєстрації пасажирів і контроль безпеки були проаналізовані для виявлення пікових періодів. На основі даних було розроблено імітаційну модель, яка дозволила протестувати впровадження автоматизованих пунктів реєстрації. Водночас проводився моніторинг КРІ, таких як час очікування пасажирів та рівень використання ресурсів. Результати показали, що завдяки інтеграції цих методів середній час обслуговування пасажирів скоротився на 15%, а пропускна здатність терміналів зросла на 10%.

Перевагами цього підходу є:

- Забезпечення точної оцінки продуктивності підсистем;
- Врахування взаємозалежності між різними елементами аеропорту;
- Прийняття обґрунтованих рішень для стратегічного розвитку.

Інтегрований підхід є необхідністю для сучасних аеропортів, які прагнуть залишатись конкурентоспроможними та забезпечувати високий рівень задоволення клієнтів.

2.2. Аналіз операційних та інфраструктурних факторів, що впливають на оптимізацію авіаційних перевезень

Аналіз операційних та інфраструктурних факторів, що впливають на оптимізацію авіаційних перевезень, є важливим аспектом для ефективного управління авіакомпаніями, аеропортами та іншими учасниками авіаційного ланцюга. Цей аналіз дозволяє зменшити витрати, покращити якість

обслуговування клієнтів, а також збільшити прибутковість і конкурентоспроможність. Розглянемо основні операційні та інфраструктурні фактори, які мають вплив на оптимізацію авіаційних перевезень:

Операційні фактори:

а) Планування маршрутів та частоти польотів

Оптимізація авіаційних маршрутів є однією з ключових складових ефективного використання ресурсів авіакомпаній. Для цього часто застосовуються математичні моделі, які дозволяють зменшити витрати пального та час польоту. Вибір оптимальних частот для рейсів залежить від попиту на певному маршруті та пропускної здатності аеропортів, що часто вимагає застосування комплексних алгоритмів оптимізації.

Одним із прикладів досліджень в сфері оптимізації авіаційних маршрутів є робота І. Б. Боровика "Оптимізація маршрутів авіаційних перевезень з урахуванням погодних умов і витрат пального" (2018). У цій роботі запропоновано методику оптимізації траєкторій польотів за допомогою лінійного програмування, яка дозволяє мінімізувати витрати пального та забезпечити безпеку польотів. Математичні моделі, розроблені автором, враховують різноманітні змінні, зокрема прогнозовані погодні умови, технічні обмеження аеропортів та вимоги до безпеки. Застосування цих моделей дозволяє авіакомпаніям більш ефективно планувати маршрути, що призводить до значного зниження витрат на паливо та покращення загальної економічної ефективності перевезень.

Таблиця 2.3.

Порівняння ефективності застосування лінійного програмування та генетичних алгоритмів для оптимізації авіаційних маршрутів.

Модель оптимізації	Опис	Переваги	Приклад використання
--------------------	------	----------	----------------------

Лінійне програмування	Математичний підхід для визначення оптимального маршруту	Зниження витрат пального, мінімізація часу	Міжнародні рейси (до Європи, на Близький Схід)
Генетичні алгоритми	Алгоритм, що симулює процес природного відбору для пошуку	Можливість обробки великих обсягів даних	Оптимізація маршрутів на внутрішніх рейсах

б) Управління потоком повітряних суден

В Україні, як і в усьому світі, інноваційні технології автоматизованого управління повітряним рухом стають невід'ємною частиною ефективної організації авіаперевезень. Оскільки кожен літак проходить через декілька повітряних коридорів, важливо забезпечувати їх оптимальне використання для зниження затримок і зменшення витрат пального.

Сучасні системи управління, зокрема автоматизовані, активно впроваджуються в Україні, зокрема в рамках реалізації концепції "повітряних коридорів". Це дозволяє скоротити час між аеропортами, підвищити пропускну здатність повітряного простору та знизити ризик затримок, що є важливим для збереження графіків польотів.

Війна в Україні, яка розпочалася в 2014 році та загострилася у 2022 році, значно вплинула на розвиток і модернізацію інфраструктури, зокрема в авіаційній галузі, та на систему управління повітряним рухом. Враховуючи зміни в безпековій ситуації та необхідність забезпечення безпечних і ефективних авіаперевезень в умовах воєнного конфлікту, було вжито низку заходів для адаптації технологій, зокрема, в рамках діяльності Державного підприємства "Украерорух".

Однією з головних проблем, з якими зіткнулися українські аеропорти та системи управління повітряним рухом, стала необхідність швидкої адаптації до нових умов безпеки. Система управління повітряним рухом зазнала змін через закриття повітряного простору внаслідок військових дій, обмеження на іноземні маршрути та необхідність забезпечення безпеки авіасуден.

В умовах війни, де авіаційна галузь стала важливим елементом для гуманітарних перевезень, доставки вантажів, евакуації людей, і навіть для військових операцій, інфраструктура "Украероруху" потребувала швидкого оновлення та посиленої координації з іншими державними органами, щоб забезпечити належний рівень безпеки та ефективності управління. У зв'язку з постійною загрозою авіаційним атакам та активним використанням повітряного простору для військових потреб, в Україні було запроваджено спеціалізовані заходи з контролю та моніторингу повітряного простору, а також вдосконалено систему з виявлення ідентифікації повітряних суден у режимі реального часу.

Незважаючи на військову ситуацію, було продовжено розвиток новітніх технологій для управління повітряним рухом. Наприклад, запроваджено нові автоматизовані системи для управління потоками літаків у обмеженому повітряному просторі, зокрема в районі військових дій. Завдяки цим технологіям знизилися затримки та збереглася ефективність управління рухом, навіть у зонах активних бойових дій. Враховуючи необхідність підтримки зв'язку та управління в умовах обмеженої наземної інфраструктури, була інтегрована система супутникового моніторингу, що дозволяє здійснювати управління повітряним рухом навіть в умовах збоїв на землі.

Незважаючи на численні виклики, війна в Україні стала стимулом для прискореного розвитку та адаптації технологій управління повітряним рухом до сучасних умов. Роль державного підприємства "Украерорух" в цьому процесі є ключовою, оскільки воно забезпечує безпеку та ефективність авіаційних перевезень як у мирний час, так і в умовах воєнного конфлікту.

с) Робота з обробкою вантажу та пасажирів

Оптимізація обробки пасажирів і вантажів на землі є важливим етапом для зменшення часу простоїв авіаційних суден. Підвищення ефективності цих процесів дозволяє значно зменшити витрати авіакомпаній, а також покращити комфорт пасажирів. Вивчення таких процесів дозволяє значно знизити витрати авіакомпаній і підвищити комфорт пасажирів, зокрема на великих

аеропортах, таких як Бориспіль та Львів. У цьому контексті значну увагу приділяється впровадженню автоматизованих систем реєстрації, біометричної ідентифікації та інтелектуальних систем управління вантажами, які дозволяють знизити час обробки пасажирів та покращити безпеку.

У дослідженнях, таких як "Автоматизація процесів обробки пасажирів та багажу в авіаційній галузі" (2019) авторів В. М. Панасенка та О. А. Мельниченка, розглядається вплив автоматизації на зниження часу затримок на етапі реєстрації пасажирів і обробки багажу в аеропортах. У дослідженні наводиться аналіз застосування біометричних технологій та системи самообслуговування, які дають змогу знизити час затримки на 15-20%. Це безпосередньо впливає на швидкість обслуговування рейсів і загальну ефективність роботи аеропортів.

Застосування таких технологій допомагає не тільки підвищити ефективність процесів, але й забезпечити більш високий рівень безпеки на усіх етапах обслуговування пасажирів і вантажів.

Таблиця 2.4.

Порівняння традиційних та автоматизованих методів обробки пасажирів

Метод обробки пасажирів	Опис	Переваги	Приклад використання
Традиційний метод	Ручна реєстрація пасажирів, перевірка документів	Вища ймовірність помилок, більший час обробки	Регіональні аеропорти України
Автоматизований метод	Використання біометрії та автоматизованих терміналів	Швидше обслуговування, зниження витрат на персонал	Міжнародні аеропорти України (Бориспіль)

d) Ефективність паливного управління

Зниження витрат пального є однією з найважливіших операційних цілей авіакомпаній. Для цього важливим є оптимізація траєкторій польоту та використання літаків з низьким споживанням пального. В Україні авіакомпанії активно використовують технології для моніторингу та прогнозування

споживання пального, що допомагає знизити витрати та підвищити економічну ефективність перевезень.

Одним із прикладів є робота Панасенка В. М. "Оптимізація витрат пального авіакомпаній шляхом використання інтелектуальних систем та аналізу метеорологічних даних". У дослідженні автор розглядає методи використання сучасних технологій для прогнозування та моніторингу споживання пального під час польотів. Зокрема, розглядається використання інтелектуальних систем для аналізу погодних умов та автоматичної оптимізації траєкторій польотів, що дозволяє знижувати витрати пального на 5-10%. Панасенко зазначає, що застосування таких систем дає змогу вибирати найбільш економічно вигідні маршрути в залежності від погодних умов (вітер, температура, атмосферний тиск), що безпосередньо впливає на зниження витрат пального та покращує ефективність перевезень. Ці технології дозволяють авіакомпаніям адаптувати маршрути в реальному часі, знижуючи вплив несприятливих погодних умов і оптимізуючи витрати на енергоносії, що є важливим фактором у сучасних умовах високих цін на паливо. Однак, для ефективної реалізації оптимізаційних процесів необхідна потужна інфраструктура.

Інфраструктура є однією з ключових складових, яка визначає ефективність та оптимізацію авіаційних перевезень. Вона охоплює не лише технічні та матеріальні ресурси аеропортів, а й сучасні технології, що забезпечують безперебійне та швидке обслуговування пасажирів і вантажів. Це, в свою чергу, дозволяє знижувати витрати, підвищувати безпеку авіаперевезень та покращувати загальну ефективність роботи авіаційних перевезень на всіх етапах.

Одним із найважливіших елементів інфраструктури є аеропорти, які відіграють вирішальну роль у процесі оптимізації авіаперевезень. Пропускна здатність аеропортів безпосередньо впливає на час обслуговування пасажирів і швидкість обробки вантажів, що визначає ефективність перевезень. В Україні, в умовах поточної війни, багато великих аеропортів, таких як

Бориспіль, Київ, Львів та Одеса, зазнали значних пошкоджень, що вплинуло на їх здатність забезпечувати регулярне та ефективне обслуговування авіаперевезень.

Водночас, після завершення війни в Україні планується реалізація низки проектів модернізації аеропортів. Ці проекти зосереджені на поліпшенні пропускної здатності аеропортів, оновленні терміналів, впровадженні автоматизованих систем реєстрації, перевірки безпеки, а також удосконаленні системи обробки багажу та вантажів. Відновлення та модернізація аеропортової інфраструктури є важливим етапом для забезпечення швидкості та ефективності авіаперевезень, а також для відновлення економіки країни після війни. Важливим аспектом є інтеграція сучасних технологій, таких як біометрична ідентифікація, автоматизовані процеси безпеки та обробки вантажів, що дозволить знизити час на обслуговування пасажирів і вантажів, покращити їх досвід і забезпечити підвищену безпеку. Однак, ці ініціативи залишаються в планах і потребують значних інвестицій, які будуть доступні після стабілізації ситуації в країні.

Наступним важливим чинником є розвиток інфраструктури для управління повітряним рухом. Для забезпечення високої ефективності перевезень необхідно постійно оновлювати систему аеронавігаційних засобів, розвивати мережу наземних станцій та повітряних коридорів. Використання сучасних супутникових технологій для навігації значно підвищує точність руху повітряних суден, дозволяючи зменшити ризик помилок та аварій у повітряному просторі.

Інтеграція супутникових систем та новітніх технологій у сферу аеронавігації дозволяє не тільки підвищити точність польотів, а й значно зменшити витрати пального, оптимізуючи траєкторії польотів. Це є особливо важливим у умовах зростаючого попиту на авіаперевезення та необхідності підвищення пропускної здатності аеропортів і повітряного простору.

Інфраструктура, яка забезпечує ефективну взаємодію між авіаційним транспортом та іншими видами транспорту, відіграє важливу роль у

забезпеченні оптимізації перевезень. Успішна інтеграція авіаційного транспорту з залізничним, автобусним та автомобільним є основою для розвитку мультимодального транспорту, який є проривом у сучасній транспортній інфраструктурі.

Мультимодальний транспорт дозволяє пасажиром безперешкодно пересуватися між різними видами транспорту, що значно підвищує зручність і ефективність подорожей. Він не лише зменшує час на пересадки, а й оптимізує загальну логістику перевезень, покращуючи досвід пасажирів і забезпечуючи більшу доступність для різних категорій людей. Завдяки мультимодальним системам можна без зайвих зусиль поєднувати авіаперельоти з поїздами, автобусами або таксі, що робить подорожі значно зручнішими і швидшими. В Україні активно розвиваються мультимодальні транспортні системи, які дозволяють скоротити час, необхідний для трансферу пасажирів між різними видами транспорту. До лютого 2022 року в Україні вже активно функціонували інтегровані транспортні вузли в аеропортах великих міст, таких як Київ та Львів. Ці вузли забезпечували зручне сполучення з основними залізничними та автобусними маршрутами, що значно знижувало час на добирання до аеропортів. Завдяки такій інтеграції, пасажирів могли швидко та безперешкодно пересідати з одного виду транспорту на інший, що підвищувало комфорт і ефективність подорожей, а також сприяло оптимізації логістики перевезень. Транспортна інфраструктура таких аеропортів була спроектована так, щоб забезпечити максимальну зручність для пасажирів, зокрема через прямі з'єднання з транспортними хабами міста.

Не менш важливою складовою розвитку інфраструктури є впровадження технологій для моніторингу та автоматизації процесів. Автоматизовані системи управління повітряним рухом та аеропортовими терміналами дозволяють значно знизити кількість помилок та затримок, оптимізувати час обслуговування пасажирів і вантажів.

Розвиток систем штучного інтелекту та аналітики даних має значний вплив на ефективність інфраструктури. За допомогою таких систем можна не

лише прогнозувати потреби в обслуговуванні та ремонті, а й оперативно виявляти можливі несправності в обладнанні або затримки в обробці пасажирів і вантажів. Це дозволяє забезпечити безперебійність перевезень і підвищити загальний рівень безпеки.

Тобто, завдяки інтеграції цих технологій у систему управління авіаперевезеннями з'являється можливість для більш точного прогнозування навантажень на аеропорти, зменшення затримок рейсів та оптимізації маршрутів польотів. У результаті, ці інновації дозволяють підвищити ефективність роботи аеропортів і забезпечити безперервність авіаційних перевезень.

Розвиток інфраструктури авіаційного транспорту є ключовим елементом оптимізації перевезень, оскільки він безпосередньо впливає на пропускну здатність аеропортів, ефективність управління повітряним рухом та зниження витрат. В Україні цей процес активно розвивається завдяки впровадженню новітніх технологій, автоматизації процесів та інтеграції різних видів транспорту. У майбутньому ці зміни дозволять значно підвищити ефективність авіаційних перевезень, зменшити затримки та покращити загальну якість обслуговування пасажирів і вантажів.

У майбутньому розвиток інфраструктури авіаційного транспорту в Україні дозволить значно підвищити ефективність перевезень, зокрема завдяки інтеграції передових технологій та автоматизації процесів. Це сприятиме зменшенню затримок, підвищенню пропускну здатності аеропортів та поліпшенню управління повітряним рухом. Інноваційні рішення, такі як впровадження системи "розумних" аеропортів та автоматизованих процесів перевірки пасажирів і вантажів, допоможуть знизити витрати та покращити якість обслуговування, роблячи авіаційні перевезення більш ефективними і комфортними для всіх користувачів.

2.3. Аналіз пропускної здатності аеропорту та ефективності наземного обслуговування.

Пропускна здатність аеропорту та ефективність наземного обслуговування є основними параметрами, які безпосередньо впливають на якість надання послуг авіакомпаніям і пасажиром, економічну ефективність аеропорту, а також на його конкурентоспроможність у сучасному авіаційному середовищі. Успішне функціонування аеропортів залежить від здатності обслуговувати максимальну кількість рейсів та пасажирів при збереженні високого рівня безпеки та комфорту.

У міру зростання авіаційного трафіку проблема оптимізації пропускної здатності аеропортів стає дедалі актуальнішою. Основні виклики включають обмеженість інфраструктури (кількість злітно-посадкових смуг, руліжних доріжок, гейтів), погодні умови, нерівномірність завантаження впродовж доби та складність координації наземного обслуговування. З іншого боку, ефективне наземне обслуговування, яке включає паркування літаків, технічний огляд, дозаправку, посадку/висадку пасажирів та завантаження/розвантаження багажу, відіграє вирішальну роль у зменшенні затримок рейсів і підвищенні загальної продуктивності аеропорту.

Для аналізу пропускної здатності використовується модель Кендала, яка враховує середній час обслуговування одного літака та середню інтенсивність прибуття літаків. Розглянемо це на формулі:

$$C = \frac{\mu}{\lambda} , \quad (2.1.)$$

де:

C - пропускна здатність (літаків/год);

μ - середній час обслуговування ;

λ – середня інтенсивність прибуття літаків (літаків/год).

На прикладі аеропорту Бориспіль , який має дві основні злітно-посадкові смуги (ЗПС-1 і ЗПС-2) використовуючи модель Кендала, визначимо як працює

пропускна здатність однієї з цих смуг. Для аеропорту Бориспіль середній час обслуговування одного літака (зліт або посадка) для ЗПС-1 становить $\mu=0.05$ год (3 хвилини), а інтенсивність прибуття літаків $\lambda=0.025$ год⁻¹ (один літак кожні 40 хвилин). Розрахуємо пропускну здатність:

$$C = \frac{\mu}{\lambda} = \frac{0,05}{0,025} = 2 \text{ літаки/год.}$$

Показник 2 літаки за годину може здаватись низьким, але він лише враховує поточні умови смуги. Оптимізація злітно-посадкових операцій, наприклад, для зменшення часу очікування між літаком, що злітає, і тим, що сідає, дозволить підвищити пропускну здатність до 30 літаків за годину, як за звичай досягається в пікові години.

Наземне обслуговування в аеропорту Бориспіль охоплює декілька важливих етапів:

- Паркування-встановлення літака відповідно до гейту;
- Дозаправка- паливозаправка відповідно до плану рейсу;
- Технічний огляд- перевірка стану літака перед польотом;
- Посадка/висадка- обслуговування пасажирів та їх багажу.

Згідно зі статистикою аеропорту Бориспіль, середній час виконання кожної операції має такі показники:

Паркування: 5 хв. ($\pm 10\%$).

Дозаправка: 20 хв. ($\pm 5\%$).

Технічний огляд: 25 хв. ($\pm 8\%$).

Посадка/висадка: 35 хв. ($\pm 12\%$).

Загальний час визначається як сума тривалості всіх етапів:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{парк.}} + T_{\text{дозаправка}} + T_{\text{огляд}} + T_{\text{пас.}}, \quad (2.2.)$$

$$T_{\text{заг}} = 5 + 20 + 25 + 35 = 85 \text{ хв.}$$

Таким чином, середній час перебування літака на землі між рейсами в аеропорту Бориспіль становить близько 85 хвилин. Такий показник свідчить про те, що, навіть за ефективного розподілу ресурсів, забезпечення швидкого обороту повітряних суден може бути ускладненим без додаткових заходів з

оптимізації. Для зменшення загального часу обслуговування літаків у Борисполі необхідно зосередитися на таких ключових аспектах:

Синхронізація операцій: розробка і впровадження механізмів паралельного виконання наземних процедур, таких як дозаправка літака і посадка пасажирів, може істотно скоротити тривалість обслуговування;

Використання сучасних технологій: впровадження автоматизованих рішень для дозаправки та інших технічних операцій. Це не лише пришвидшить процеси, а й зменшить потребу у великій кількості персоналу;

Оптимізація логістики: використання інструментів для точного планування графіків та попередження затримок. наприклад, створення системи управління чергами літаків біля гейтів для уникнення конфліктів у часі.

Таблиця 2.5.

Порівняльний аналіз оптимізаційних заходів

Заходи	Очікуваний ефект	Складність впровадження	Приклад використання
Паралельне виконання операцій	Скорочення часу на обслуговування до 15–20%	Середня	Одночасне завантаження багажу та дозаправка
Автоматизація процесів	Підвищення точності та зменшення часу на окремі етапи обслуговування	Висока	Роботизовані паливозаправники
Модернізація інфраструктури	Збільшення пропускної здатності ЗПС та оптимізація потоків літаків	Висока	Розширення руліжних доріжок

Оптимізація розкладу рейсів	Підвищення регулярності рейсів та зменшення навантаження в пікові години	Низька	Інтелектуальні системи управління трафіком
-----------------------------	--	--------	--

Результати аналізу показують, що шляхом поєднання технологічних рішень та модернізації операційних процесів можна досягти значного зниження часу наземного обслуговування. Це дозволить аеропорту Бориспіль збільшити оборотність літаків і підвищити свою конкурентоспроможність на міжнародному ринку. Основними напрямками для вдосконалення є впровадження паралельних процедур, використання автоматизації та підвищення точності розкладу рейсів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

У другому розділі були розглянуті основні підходи до аналізу та оцінки ефективності функціонування аеропортових підсистем та проведений огляд інфраструктурних та операційних недоліків, які впливають на продуктивність аеропортових операцій.

Методологія аналізу ефективності роботи аеропортових підсистем представлена як багатогранний процес, який охоплює використання як кількісних, так і якісних методів. А саме, для оцінки ефективності аеропортових підсистем важливими є методи моделювання, аналізу даних, оцінки продуктивності за допомогою ключових показників ефективності (KPI) та комплексні інструменти моніторингу й оптимізації, що дозволяють отримати точну інформацію щодо рівня обслуговування пасажирів, ефективності ресурсів та безпеки.

Аналіз інфраструктурних та операційних недоліків, що стосуються роботи аеропортових підсистем, вказав на критичні проблеми, які можуть

знижувати загальну ефективність аеропорту. Тобто, недостатня пропускна здатність окремих підсистем (таких як багажне обслуговування, контроль безпеки чи інтерфейси між різними зонами аеропорту) призводить до затримок, збільшення часу очікування та зниження рівня комфорту для пасажирів. Такі недоліки часто є результатом застарілої інфраструктури та неправильної організації процесів, що негативно позначається як на іміджі аеропорту, так і на економічних показниках його діяльності.

Одним із аспектів ефективної роботи аеропортів є пропускна здатність, яка безпосередньо залежить від узгодженості роботи всіх підсистем. Оцінка пропускної здатності дозволяє не тільки визначити максимальну кількість пасажирів, які можуть бути оброблені за певний період часу, але й оптимізувати використання наявних ресурсів для забезпечення безперебійного обслуговування. Це особливо важливо в умовах постійно зростаючого попиту на авіап перевезення та обмежених інфраструктурних можливостей аеропортів.

Аналіз ефективності наземного обслуговування є критичним напрямом в оцінці діяльності аеропорту. Проблеми з обслуговуванням на злітно-посадкових смугах, обробкою багажу або недостатньою кількістю техніки призводять до затримок рейсів і негативно впливають на загальну ефективність роботи аеропорту. Використання сучасних технологій, таких як автоматизовані системи управління потоками пасажирів і багажу та вдосконалення процесів технічного обслуговування наземного транспорту, дозволяє значно підвищити ефективність наземного обслуговування і зменшити кількість затримок.

Тобто, для забезпечення високої ефективності роботи аеропортів необхідно враховувати не тільки технічні характеристики окремих підсистем, але й комплексне управління, яке включає оптимізацію взаємодії між різними елементами аеропорту, це дозволить мінімізувати ризики, покращити використання ресурсів і досягти кращих результатів щодо швидкості обслуговування та рівня комфорту пасажирів. Врахування всіх цих аспектів є

необхідним для забезпечення конкурентоспроможності аеропортів на світовому ринку авіаційних послуг.

РОЗДІЛ 3.

РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ АЕРОПОРТОВИХ ПІДСИСТЕМ

3.1. Математичні моделі взаємодії аеропортових підсистем

Оптимізація аеропортових підсистем є важливою задачею для підвищення ефективності роботи, зменшення затримок та забезпечення комфортного досвіду для пасажирів.

Аеропорти є складними транспортними системами, що включають низку взаємодіючих підсистем, таких як пасажирські потоки, обробка багажу, безпека, управління повітряним рухом, технічне обслуговування та інші. Зростання кількості пасажирів, підвищення вимог до безпеки та ефективності роботи вимагає застосування математичних моделей для оцінки та оптимізації взаємодії цих підсистем.

Математичні моделі допомагають виявляти вузькі місця в операціях аеропорту, оптимізувати ресурси, зменшувати час обслуговування пасажирів і багажу, підвищувати безпеку та надійність роботи. Для аналізу обрано три основні підсистеми аеропорту:

Обслуговування на злітно-посадковій смузі (ЗПС).

Технічне обслуговування літаків.

Процеси посадки/висадки пасажирів.

Модель обслуговування M/M/1 є одним з найпоширеніших типів моделей масового обслуговування. Вона використовується для аналізу систем, в яких заявки (літаки) надходять випадковим чином з середньою інтенсивністю λ (кількість літаків на годину) і обслуговуються одним сервером (тобто, злітно-посадковою смугою) зі середньою інтенсивністю обслуговування μ (кількість обслугованих літаків на годину).

Модель обслуговування М/М/1 характеризується пуассонівським потоком заявок, що надходять випадково з інтенсивністю λ , та експоненціальним розподілом часу обслуговування з параметром μ . Заявки обслуговуються в порядку їх надходження в єдину чергу необмеженої довжини. Модель описує систему, де клієнти (заявки) прибувають випадково, а час їх обслуговування є випадковою величиною, розподіленою за експоненціальним законом. При цьому система здатна обслуговувати лише одного клієнта одночасно, а черга на обслуговування може бути довільно довгою.

Середній час перебування заявки в системі (включаючи час очікування в черзі та час обслуговування) обчислюється за формулою:

$$T_i = \frac{1}{\mu_i - \lambda} ,$$

де:

T_i — середній час перебування в i -тій підсистемі;

μ_i — інтенсивність обслуговування i -тої підсистеми;

λ — інтенсивність потоку заявок.

Загальний час обслуговування літака за всіма підсистемами:

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^N T_i ,$$

де N — кількість підсистем.

Вихідні дані:

λ -12 літаків/год (1 літак кожні 5 хв);

ЗПС($\mu_1 = 30$ літаків/год);

Технічне обслуговування ($\mu_2 = 20$ літаків/год);

Посадка та висадка пасажирів ($\mu_3 = 15$ літаків/год);

Для ЗПС:

$$T_1 = \frac{1}{\mu_1 - \lambda} = \frac{1}{30 - 12} = \frac{1}{18} \approx 0,056 \text{ год}(3,36 \text{ хв.})$$

Технічне обслуговування:

$$T_2 = \frac{1}{\mu_2 - \lambda} = \frac{1}{20 - 12} = \frac{1}{8} \approx 0,125 \text{ год}(7,5 \text{ хв.})$$

Посадка та висадка пасажирів:

$$T_3 = \frac{1}{\mu_3 - \lambda} = \frac{1}{15 - 12} = \frac{1}{3} \approx 0,333 \text{ год}(20 \text{ хв.})$$

Загальний час обслуговування:

$$T_{\text{заг}} = T_1 + T_2 + T_3 = 0,056 + 0,125 + 0,333 = 0,514 \text{ год} (30,84 \text{ хв.})$$

Пропонуємо розширити пропускну здатність злітно-посадкової смуги (ЗПС) до $\mu_1=40$ літаків/год. Це можна реалізувати за рахунок впровадження сучасних систем управління повітряним рухом, які дозволять зменшити інтервал між зльотами та посадками. Наприклад, використання автоматизованих систем рулювання та зменшення часу на розворот літаків на смузі суттєво збільшить пропускну здатність ЗПС.

Для підвищення інтенсивності технічного обслуговування літаків ($\mu_2=25$ літаків/год), варто збільшити кількість технічного персоналу та автоматизувати перевірки літаків. Застосування сенсорних систем для швидкої діагностики та планово-попереджувального обслуговування дозволить значно зменшити час на перевірки та ремонти.

Оптимізація процесів посадки та висадки пасажирів ($\mu_3=20$ літаків/год) можлива завдяки використанню додаткових телетрапів, що дозволить одночасно висаджувати та приймати пасажирів через кілька дверей літака. Розробка адаптивних алгоритмів для управління пасажиропотоком допоможе уникнути затримок.

Час обслуговування на ЗПС:

$$T_1 = \frac{1}{\mu_1 - \lambda} = \frac{1}{40 - 12} = \frac{1}{28} \approx 0,036 \text{ год}(2,16 \text{ хв.})$$

Завдяки підвищенню μ_1 до 40 літаків/год, середній час очікування на ЗПС зменшився з 3.36 хв до 2.16 хв, це дозволить аеропорту обслуговувати більшу кількість літаків у той самий час.

Час технічного обслуговування:

$$T_2 = \frac{1}{\mu_2 - \lambda} = \frac{1}{25 - 12} = \frac{1}{13} \approx 0,077 \text{ год}(4,62 \text{ хв.})$$

Завдяки збільшенню кількості персоналу та впровадженню автоматизації, середній час ТО зменшився з 7.5 хв до 4.62 хв, тобто це знижує затримки на стоянці, дозволяючи швидше підготувати літак до рейсу.

Час для посадки і висадки пасажирів:

$$T_3 = \frac{1}{\mu_3 - \lambda} = \frac{1}{20 - 12} = \frac{1}{8} \approx 0,125 \text{ год}(7,5 \text{ хв.})$$

Завдяки використанню додаткових телетрапів і автоматизації процесу, середній час на посадку і висадку пасажирів зменшився з 20 хвилин до 7.5 хвилин, що значно покращує оборотність літаків.

Загальний час обслуговування після оптимізації:

$$T_{\text{заг}} = T_1 + T_2 + T_3 = 0,036 + 0,077 + 0,125 = 0,238 \text{ год} (14,28 \text{ хв.})$$

Тобто, загальний час обслуговування одного літака скоротився з 30.84 хв. До 14.28 хвилин, що є суттєвим результатом оптимізації, це дозволяє аеропорту збільшити кількість рейсів та зменшити затримки у роботі.

Таблиця 3.1.

Порівняльний аналіз

Показник	До оптимізації	Після оптимізації
Час обслуговування на ЗПС (хв)	3.36	2.16
Час технічного обслуговування (хв)	7.5	4.62
Час посадки/висадки пасажирів (хв)	20	7.5
Загальний час обслуговування (хв)	30.84	14.28

Запропоновані заходи оптимізації забезпечують суттєве скорочення часу обслуговування в усіх ключових підсистемах, що дозволяє зменшити загальний час обробки літака на 53.7%. Такий підхід відкриває можливості для значного підвищення оборотності літаків, ефективного використання інфраструктури аеропорту та мінімізації витрат, пов'язаних із затримками.

Впровадження новітніх технологій, включно з автоматизацією процесів і використанням інноваційних діагностичних рішень, сприяє прискоренню робочих процедур і забезпечує їхню більшу надійність. Підхід також враховує раціоналізацію управління ресурсами, що дозволяє одночасно зменшити навантаження на персонал і підвищити оперативність. Гнучкість моделі робить її придатною для адаптації до умов різних аеропортів, що підвищує її практичну цінність.

Реалізація запропонованих рішень сприятиме зміцненню конкурентних позицій аеропорту, поліпшенню пасажирського досвіду і створенню умов для довгострокового розвитку та економічного зростання.

3.2. Технології та стратегії аеропортових процесів

Аеропорти є критичними елементами транспортної інфраструктури, що забезпечують безперебійну взаємодію повітряного транспорту з іншими видами транспорту, а також задоволення вимог безпеки, ефективності та комфорту пасажирів. У зв'язку з постійним зростанням обсягів авіаційних перевезень та збільшенням кількості пасажирів, аеропорти стикаються з необхідністю оптимізації своїх процесів для забезпечення швидкості обслуговування, безпеки та зручності.

Аеропорти виконують велику кількість процесів, які можна умовно розподілити на три основні категорії. Перша категорія охоплює пасажирські процеси, які включають реєстрацію на рейс, перевірку безпеки, трансфер пасажирів та організацію зон відпочинку, а також саму процедуру посадки на літак. Друга категорія стосується операційних процесів, таких як обробка багажу, обслуговування повітряних суден і технічне обслуговування аеропортової інфраструктури. Третя категорія охоплює логістичні процеси, до яких відносяться координація руху авіаційного транспорту, вантажні

перевезення та зберігання й обробка товарів. Кожен з цих процесів має важливе значення для ефективної роботи аеропорту та забезпечення безпеки і комфорту пасажирів.

Інноваційні технології відіграють ключову роль в оптимізації роботи аеропортів. Вони сприяють значному зменшенню часу, що пасажир витрачає на обслуговування, підвищенню ефективності процесів та забезпеченню високого рівня безпеки. Сучасні технології допомагають аеропортам справлятися з великими потоками пасажирів, покращувати якість обслуговування та забезпечувати безпеку, знижуючи при цьому витрати та вплив на навколишнє середовище.



Один з основних напрямків оптимізації аеропортових процесів — це автоматизація реєстрації на рейс та посадки на літак. Системи самообслуговування, як-от автоматизовані кіоски для реєстрації пасажирів і здачі багажу, дозволяють значно скоротити час перебування пасажирів на цих етапах. Ці кіоски можуть бути оснащені сенсорними екранами, на яких пасажир вибирає свій рейс, реєструється на нього та здає багаж, це дозволяє зменшити навантаження на персонал і звільнити місце для інших пасажирів.

Іншим елементом є впровадження біометричних технологій. Використання технології розпізнавання обличчя або відбитків пальців для контролю безпеки та посадки на борт літаків є досить перспективним. Така система дозволяє автоматично ідентифікувати пасажирів, що значно прискорює процес перевірки та дозволяє зменшити кількість необхідних персональних перевірок. Наведемо приклад, аеропорт Шарль-де-Голль у Парижі вже активно використовує біометричні системи для реєстрації та посадки пасажирів.

Таблиця 3.2.

Використання інноваційних технологій відповідно до функціональних зон терміналів аеропортів

Назва зони	Інноваційні технології та їх можливості	Зображення
Зона паркування транспорту	<p><i>Роботи-паркувальники «Stanley Robotics».</i></p> <p>Сутність цієї інновації полягає в тому, що пасажир залишає свій автомобіль на парковці біля входу, і робот перевозить його для зберігання на автостоянці та повертає транспортний засіб на станцію паркування в потрібний час. Ця технологія створює до 50% додаткових паркувальних місць.</p>	
Вхідна зона	<p><i>Система тепловізійної камери «FevIR Scan»</i> (розробник «Infrared Cameras Inc.»).</p> <p>Можливість відстежувати за екраном телевізора на відстані хворих осіб та робити скринінг температури.</p>	
	<p><i>Дезінфекційна кабіна «CLEANtech».</i></p> <p>Можливість використовувати дезінфікуючий спрей зі швидким (40 секунд) видаленням бактерій з поверхні шкіри й одягу людей.</p>	
Зона очікування	<p><i>Автономні роботи-доставники «Ottobots»</i> (розробник «Ottonomy»).</p> <p>Дають змогу пасажирам замовляти безконтактну доставку їжі безпосередньо до місця розташування в залі для очікування.</p>	
Зона реєстрації	<p><i>Біометричний термінал «Delta».</i></p> <p>Дає можливість скорочувати час перевірки пасажирів під час реєстрації.</p>	
	<p><i>Технологія «Elenium»</i></p> <p>пропонує багатогранний підхід до безконтактної технології, яка передбачає розпізнавання голосу, безконтактне керування та сканування ідентифікаторів.</p>	

	Вона дає змогу пасажирам, до яких входять й особи з обмеженою рухливістю, керувати пристроєм самообслуговування за допомогою руху голови.	
Зона перевірки безпеки	<p><i>Технологія віртуальної черги «SEA Spot Saver».</i></p> <p>Дає змогу пасажирам забронювати місце замість того, щоб приєднуватися до фізичної черги. Технологія допомагає усунути довгі черги, покращуючи так соціальне дистанціювання та взаємодію з клієнтами.</p>	

Зазначені інновації в дизайні аеропорту мають ключове значення для забезпечення авіаційної безпеки, оскільки вони інтегрують безпеку авіакомпаній з безпекою пасажирів та вантажів.

Сучасні аеропорти активно впроваджують технології для управління пасажирськими потоками. Вони використовують системи на основі штучного інтелекту та великих даних для прогнозування і моніторингу пасажирських потоків у режимі реального часу. Завдяки таким системам можна визначати, коли і де можуть виникати черги, оптимізувати пропускну здатність та перенаправляти пасажирів до найближчих вільних точок контролю або перевірки.

У Гонконгському міжнародному аеропорту використовуються системи аналізу великих даних для прогнозування поведінки пасажирів. Ці технології дозволяють визначати оптимальні місця для розташування черг і контрольних пунктів, що сприяє ефективному управлінню пасажирськими потоками та запобіганню заторів.

Інтелектуальні системи безпеки, що впроваджуються в аеропортах, забезпечують високий рівень захисту, автоматизуючи перевірку багажу та пасажирів з використанням передових технологій. Наведемо головні приклади використання таких технологій у аеропортах:

Таблиця 3.3.

Використання інтелектуальних систем безпеки в аеропортах для перевірки пасажирів і багажу

Аеропорт	Технології безпеки	Опис впровадження
Гонконгський міжнародний аеропорт	Системи аналізу великих даних, біометричні технології, автоматизовані перевірки багажу	Використання аналізу великих даних для прогнозування пасажиропотоків, автоматизовані системи для перевірки багажу без необхідності відкриття, покращення управління чергами.
Лондонський аеропорт Хітроу	Сканери для ручної поклажі, біометричні сканери для ідентифікації пасажирів, відеоаналітика	Встановлення високочутливих сканерів для ручної поклажі, що дозволяють виявляти небезпечні предмети, використання біометрії для перевірки особи пасажира, відеоаналітика для моніторингу ситуацій.

Продовження табл. 3.3.

Дубайський міжнародний аеропорт	Інтелектуальні сканери для багажу, алгоритми машинного навчання для виявлення підозрілих ситуацій, біометрія для безконтактної ідентифікації	Використання інтелектуальних сканерів для автоматичної перевірки багажу, алгоритмів для виявлення підозрілих ситуацій в реальному часі та біометричних технологій для швидкої ідентифікації пасажирів.
---------------------------------	--	--

Технології сприяють значному підвищенню рівня безпеки та комфортності обслуговування, зменшуючи час, витрачений на перевірку пасажирів і їхнього багажу, та дозволяючи оперативно реагувати на потенційні загрози.

Інтернет речей (IoT) дозволяє підключити пристрої до єдиної мережі для збору даних про стан інфраструктури аеропорту. Це можуть бути датчики, що вимірюють температуру в залах, а також контролюють стан авіаційного обладнання або ж рівень завантаження терміналів. Завдяки таким технологіям аеропорти можуть оперативно реагувати на несправності і забезпечувати комфорт для пасажирів, наприклад, перенаправляючи їх до менше заповнених залів. Аеропорти, такі як в Амстердамі (Схіпхол), використовують систему IoT для моніторингу всіх важливих аспектів інфраструктури, включаючи стан

туалетів, зали очікування, що дозволяє підтримувати високий рівень обслуговування та швидко реагувати на потреби пасажирів.

Автоматизація процесів обслуговування літаків на землі також є важливим елементом сучасних аеропортових технологій. Роботизовані системи для доставки палива та багажу та роботи з обслуговування пасажирських салонів дозволяють скоротити час, необхідний для підготовки літака до наступного рейсу. Це сприяє підвищенню ефективності роботи аеропорту та зменшенню кількості помилок, пов'язаних з обслуговуванням.

Таблиця 3.4.

Порівняння застосування технологій в аеропортах

Технологія	Приклад використання	Переваги
Автоматизація реєстрації та посадки	Аеропорти Шарль-де-Голль, Амстердам (Схіпхол)	Скорочення часу на реєстрацію та посадки, зменшення черг
Управління пасажирськими потоками	Гонконгський міжнародний аеропорт	Оптимізація розподілу потоків, мінімізація черг
Інтелектуальні системи безпеки	Лондон, Дубай, Франкфурт	Зниження затримок, покращення рівня безпеки
Інтернет речей (ІоТ)	Аеропорт Схіпхол, Сінгапур Чангі	Моніторинг інфраструктури, покращення комфорту пасажирів
Автоматизоване обслуговування літаків	Аеропорти Сінгапур Чангі, Абу-Дабі	Підвищення ефективності обслуговування літаків, зменшення часу обробки

Впровадження інноваційних технологій в аеропортах значно підвищує ефективність роботи та забезпечує високий рівень обслуговування. Системи автоматизації, біометричні технології, інтелектуальні системи безпеки, IoT та роботизовані технології змінюють стандартні процеси і дозволяють аеропортам бути більш гнучкими, швидкими і безпечними. Такі інновації не тільки забезпечують кращу взаємодію з пасажирами, але й дозволяють знизити витрати та підвищити загальну ефективність роботи аеропорту.

Для забезпечення максимальної ефективності в аеропортах, технологічні інновації мають бути інтегровані з організаційними стратегіями. Використання новітніх технологій у поєднанні з чіткими управлінськими підходами дозволяє не лише оптимізувати пасажирські потоки та операційні процеси, але й покращити загальний досвід користувачів аеропорту. Впровадження таких стратегій дає змогу аеропортам знижувати витрати, підвищувати безпеку та забезпечувати високий рівень обслуговування, що є критично важливим в умовах постійного зростання попиту на авіаційні послуги. Наведемо приклади основних стратегій, які активно застосовуються в сучасних аеропортах.

Однією з найбільш ефективних стратегій є інтеграція різних етапів аеропортових процесів. Згладжування лінії між реєстрацією, контролем безпеки та посадкою дає змогу значно скоротити час перебування пасажирів в аеропорту. Інтеграція біометричних технологій з системами реєстрації та контролю дозволяє пасажирам здійснювати швидкий доступ до рейсів, без необхідності стояти в чергах. Використання біометрії для автоматичної ідентифікації пасажирів під час реєстрації, проходження контролю безпеки та посадки забезпечує не тільки зручність, але й підвищує рівень безпеки. Це дозволяє значно зменшити час очікування та знизити навантаження на персонал.

Інша стратегія полягає в управлінні навантаженням на інфраструктуру аеропорту. Оптимізація використання таких елементів, як ворота для літаків і перевізні системи, має велике значення для ефективного управління потоком

пасажирів, особливо під час пікових періодів. Завдяки прогнозуванню пасажиропотоків, аеропорти уникають перевантажень в години пік, коли пасажирські потоки найбільші. Це дозволяє ефективно планувати розподіл ресурсів і уникати затримок, що можуть виникати через перевантаження інфраструктури.

Використання великих даних (big data) є однією з ключових стратегій для покращення управління ресурсами аеропортів. Аналіз великих обсягів даних дає змогу прогнозувати попит на різні послуги, такі як перевезення багажу, обробка пасажирів, обслуговування літаків та інші. Завдяки цьому можна оптимізувати розподіл персоналу та технічних ресурсів, що значно підвищує ефективність і знижує витрати. Крім того, обробка великих даних дозволяє більш точно прогнозувати час завантаження аеропорту, що дає можливість передбачити і запобігти можливим проблемам, таких як перевантаження зони реєстрації або контролю безпеки.

Не менш важливою є стратегія розвитку сталого аеропорту, що включає впровадження екологічно чистих технологій та рішень. Багато аеропортів активно впроваджують стратегії сталого розвитку для зменшення свого екологічного впливу. Це включає використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові турбіни, для забезпечення енергетичних потреб аеропортів. Крім того, аеропорти працюють над скороченням відходів, покращенням систем утилізації та зменшенням рівня викидів CO₂. Це важливий крок, оскільки зменшення екологічного впливу стає все більш важливим для міжнародної спільноти, а також відповідає вимогам сучасних стандартів екологічної відповідальності.

Ці стратегії допомагають аеропортам не тільки покращувати ефективність своїх процесів, але й забезпечувати високу якість обслуговування пасажирів, підтримувати безпеку та сприяти збереженню навколишнього середовища. Інтеграція передових технологій і підходів дозволяє знизити витрати, підвищити швидкість обслуговування та збільшити пропускну здатність аеропорту. В результаті, аеропорти, які активно

впроваджують ці стратегії, можуть залишатися конкурентоспроможними на міжнародному ринку авіаційних послуг.

Таблиця 3.5.

SWOT-аналіз технологій та стратегій аеропортових процесів

Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)
<p>Збільшення пропускну здатності: Автоматизація процесів дозволяє швидше обробляти пасажирів і збільшувати пропускну здатність аеропорту.</p>	<p>Високі інвестиційні витрати: Впровадження нових технологій потребує значних фінансових затрат на модернізацію інфраструктури.</p>
<p>Підвищення безпеки: Інноваційні системи безпеки, такі як біометрія та автоматизоване сканування, дозволяють швидко виявляти загрози і підвищують рівень безпеки.</p>	<p>Необхідність навчання персоналу: Для ефективного використання нових технологій персонал повинен постійно проходити навчання, що може бути дорогим та часу затратним процесом.</p>
<p>Покращення комфорту пасажирів: Технології, такі як біометрична ідентифікація та автоматизовані кіоски для реєстрації, скорочують час очікування і зменшують черги.</p>	<p>Захист даних: Збір та обробка великих обсягів даних про пасажирів вимагає посиленних заходів з охорони інформації, що створює ризики для безпеки та конфіденційності.</p>

Продовження табл.3.5.

Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
<p>Впровадження сталих технологій: Активне використання відновлюваних джерел енергії та екологічно чистих рішень може покращити екологічний імідж аеропортів.</p>	<p>Технологічні збої: Ризик виникнення технічних несправностей або збоїв у роботі нових систем може призвести до затримок і зниження ефективності роботи аеропорту.</p>

<p>Інтеграція з іншими транспортними системами: Поглиблене інтегрування аеропортів з іншими видами транспорту (залізниця, автобуси) може покращити зручність для пасажирів і зменшити навантаження на аеропорти.</p>	<p>Правові та нормативні ризики: Зростаючі вимоги до забезпечення безпеки даних та перевірки технологій можуть створити додаткові юридичні виклики та затримки в реалізації проектів.</p>
<p>Залучення інвесторів у інноваційні проекти: Технології і стратегії оптимізації аеропортових процесів відкривають нові можливості для залучення інвестицій в інфраструктуру аеропортів.</p>	<p>Конкуренція між аеропортами: Впровадження нових технологій може підвищити конкуренцію серед аеропортів, що потребує значних інвестицій для підтримки конкурентоспроможності.</p>

Технології аеропортових процесів мають численні переваги, зокрема підвищення ефективності роботи аеропортів, покращення безпеки та комфорту пасажирів, а також збільшення пропускну здатності завдяки автоматизації. Однак впровадження нових технологій вимагає великих фінансових витрат, що може бути проблемою для менших аеропортів, а також потребує постійного навчання персоналу. Можливості для розвитку включають впровадження сталих та екологічно чистих технологій, інтеграцію з іншими видами транспорту і залучення інвестицій. Однак є і загрози, такі як технічні збої в системах, нормативні проблеми щодо безпеки даних та посилена конкуренція між аеропортами, що потребує додаткових інвестицій.

Технології та стратегії аеропортових процесів мають обширний вплив на ефективність роботи аеропортів, забезпечення безпеки та покращення досвіду пасажирів. Їх впровадження дозволяє не лише оптимізувати внутрішні процеси, але й значно знижує витрати та підвищує рівень обслуговування. Однак для досягнення максимальних результатів необхідно продовжувати інвестувати в новітні технології та зберігати баланс між інноваціями та безпекою.

3.3. Аналіз оптимізації та їх вплив на ефективність аеропортових операцій

Аеропорти є багатокomпонентними системами, що включають різноманітні підсистеми, такі як технічне обслуговування, обробка пасажирських потоків та управління злітно-посадковими операціями. Постійне зростання обсягів авіаційного трафіку підвищує потребу в ефективності функціонування цих підсистем. Для підвищення ефективності роботи аеропорту розроблено комплекс заходів, спрямованих на вдосконалення трьох ключових підсистем.

Злітно-посадкова смуга (ЗПС). З метою підвищення пропускної здатності злітно-посадкової смуги до 40 літаків на годину було впроваджено автоматизовані системи управління рухом повітряних суден. Це дозволило значно зменшити затримки між рейсами та оптимізувати логістику повітряного простору.

Технічне обслуговування літаків. Для збільшення швидкості виконання технічних перевірок до 25 літаків на годину впроваджено автоматизацію процесів діагностики. Це включало використання інтелектуальних систем моніторингу стану авіаційного обладнання, які дозволяють швидко виявляти й усувати потенційні несправності.

Процеси посадки та висадки пасажирів. Ефективність управління пасажиропотоком була значно підвищена завдяки використанню додаткових телетрапів і впровадженню сучасних алгоритмів розподілу пасажирів. Це забезпечило оптимізацію завантаження й розвантаження пасажирів, дозволивши обслуговувати до 20 літаків на годину.

Після впровадження запропонованих заходів оптимізації вдалося досягти значного скорочення часу обслуговування літаків у всіх ключових підсистемах аеропорту. Зокрема, час, необхідний для виконання операцій на

злітно-посадковій смузі, було суттєво зменшено завдяки впровадженню автоматизованих систем управління, які забезпечили ефективніше використання інфраструктури. У сфері технічного обслуговування вдалося скоротити тривалість перевірок завдяки автоматизації діагностичних процесів, що дозволило прискорити і спростити операції, пов'язані з підготовкою літаків до рейсів.

Одним із найвагоміших досягнень стало скорочення часу на посадку та висадку пасажирів. Це стало можливим завдяки розширенню інфраструктури, включаючи встановлення додаткових телетрапів та впровадженню новітніх алгоритмів управління пасажиропотоком. Такі зміни дозволили значно покращити загальну координацію та організацію процесів обслуговування літаків.

У сукупності ці заходи скоротили загальний час обслуговування літака майже вдвічі, що суттєво підвищило пропускну здатність аеропорту. Це сприяло не лише покращенню операційної ефективності, але й зробило аеропорт більш конкурентоспроможним на ринку, дозволяючи йому обробляти більші обсяги авіаційного трафіку без втрати якості послуг.

Загалом впровадження автоматизованих технологій та сучасних алгоритмів управління заклало основу для стабільного зростання аеропорту. Досягнутий прогрес демонструє його готовність адаптуватися до зростаючих потреб авіаційної галузі, забезпечуючи якісний сервіс для перевізників та пасажирів навіть за умов інтенсивного збільшення трафіку.

Таблиця 3.6.

Порівняльний аналіз часу обслуговування

Показник	До оптимізації (хв)	Після оптимізації (хв)	Зменшення часу (%)

Час обслуговування на ЗПС	3,36	2,16	35,7%
Час технічного обслуговування	7,5	4,62	38,4%
Час посадки/висадки пасажирів	20	7,5	62,5%
Загальний час	30,84	14,28	53,7%

Таблиця 3.7.

Використання інноваційних технологій

Назва зони	Інноваційні технології	Опис можливостей
Зона паркування транспорту	Роботи-паркувальники	До 50% додаткових паркувальних місць.
Вхідна зона	Системи тепловізійних камер, дезінфекційні kabіни	Скринінг температури, швидке видалення бактерій.
Зона реєстрації	Біометричні термінали, безконтактне керування	Прискорення реєстрації пасажирів.
Зона перевірки безпеки	Віртуальна черга, автоматизовані сканери	Усунення довгих черг, оптимізація взаємодії з клієнтами.

Запропоновані оптимізаційні заходи демонструють значний потенціал для скорочення часу обслуговування літаків та підвищення загальної ефективності функціонування аеропортів. Інтеграція сучасних технологій не лише зменшує операційні витрати, але й значно посилює конкурентні переваги аеропортів у динамічному ринку авіаперевезень.

Таким чином, аналіз результатів впроваджених рішень, оцінка ефективності оптимізаційних підходів і подальший розвиток аеропортових підсистем є ключовими чинниками, що сприяють підвищенню якості обслуговування, вдосконаленню процесів та забезпеченню сталого економічного зростання аеропортів у сучасних умовах.

ВИСНОВКИ ДО ТРЕТЬОГО РОЗДІЛУ

У третьому розділі було проведено детальний аналіз існуючих моделей взаємодії підсистем аеропорту, визначено ключові параметри, що впливають на їх продуктивність, та розроблено пропозиції щодо оптимізації роботи цих підсистем.

У межах дослідження було розроблено математичні моделі взаємодії аеропортових підсистем, які дозволили оцінити ефективність основних операцій у реальних умовах. Ці моделі базувалися на використанні теорії масового обслуговування та враховували специфіку функціонування таких критичних компонентів, як обслуговування на злітно-посадковій смузі, технічне обслуговування літаків, а також процеси обробки пасажиропотоків. Застосування моделей дозволило виявити слабкі місця в поточних процесах та визначити найбільш перспективні напрямки їх удосконалення. Було запропоновано впровадження технологічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи аеропортових підсистем. Це включало автоматизацію процесів технічного обслуговування, оптимізацію використання телетрапів, модернізацію систем управління рухом на злітно-посадкових смугах, а також впровадження сучасних алгоритмів управління пасажиропотоками. Такі заходи дозволяють значно скоротити час обслуговування літаків та пасажирів, підвищуючи пропускну здатність аеропорту.

Проведений аналіз продемонстрував суттєве скорочення часу обслуговування для кожної з ключових підсистем. Автоматизація процедур дозволила зменшити час обслуговування літаків на злітно-посадковій смузі, оптимізація технічного обслуговування скоротила затримки, пов'язані з діагностикою, а впровадження інфраструктурних та алгоритмічних рішень значно прискорило процеси посадки та висадки пасажирів. У результаті

загальний час обслуговування літака зменшився більш ніж удвічі, що свідчить про високий потенціал запропонованих заходів.

Зменшення часу обслуговування дозволило підвищити пропускну здатність аеропорту, оптимізувати використання ресурсів і зменшити витрати. Окрім цього, застосування запропонованих заходів забезпечує адаптацію до зростаючих обсягів авіаційного трафіку, що є важливим у сучасних умовах. Ефективне управління підсистемами сприяє покращенню якості обслуговування пасажирів та авіакомпаній, що позитивно впливає на репутацію та економічні показники аеропорту.

Проведена оптимізація створила основу для розробки більш складних моделей, що враховують специфічні аспекти різних аеропортів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення багатоканальних систем обслуговування, інтеграцію штучного інтелекту для прийняття рішень у реальному часі та аналіз впливу зовнішніх факторів на ефективність роботи аеропортів. Тобто, третій розділ підкреслив важливість використання системного підходу до управління аеропортовими підсистемами. Проведені дослідження та запропоновані рішення дозволяють значно підвищити продуктивність аеропортів, зробити їх більш конкурентоспроможними та забезпечити стійкий розвиток у контексті постійного зростання обсягів авіаційного трафіку.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних факторів у роботі аеропортових підсистем

У роботі аеропортових підсистем є низка небезпечних факторів, що негативно впливають на безпеку та ефективність роботи. Ключовими аспектами для забезпечення безпечних умов праці є організація робочих місць, технологічне обладнання, а також фізичні та психоемоційні навантаження.

Наведемо основні фактори, які загрожують безпеці в аеропортах.

1. Шумове навантаження

На території аеропорту рівень шуму є значним, особливо в зонах, де відбувається посадка та зліт літаків і у місцях обслуговування літаків, технічних перевірок. Постійне впливання сильного шуму спричиняє втрату слуху, стрес, а також погіршення психоемоційного стану працівників. Для зниження ризиків необхідно використовувати засоби захисту, такі як навушники або шлеми із шумоізоляцією, а також створювати зони для відпочинку, де рівень шуму знижений.

2. Фізичне навантаження та робота в складних погодних умовах*

Працівники аеропорту часто виконують свої обов'язки на відкритому повітрі, де вони піддаються фізичному навантаженню, яке може бути небезпечним при надмірній втомі. Роботи часто виконуються за різних погодних умов: під час сильного вітру, дощу чи снігу, що підвищує ризик травм. Наявність відповідного одягу, регулярні перерви та контроль за станом здоров'я працівників є важливими для мінімізації цих ризиків.

3. Небезпека на злітно-посадковій смузі та при обслуговуванні літаків

Злітно-посадкові смуги є зонами з підвищеною небезпекою, де можуть виникати зіткнення між технікою, літаками та працівниками. Порушення

технології обслуговування літаків або неправильне маневрування можуть призвести до серйозних аварій. Для попередження таких ситуацій важливе правильне планування операцій та використання автоматизованих систем для управління рухом техніки.

4. Електричні та механічні ризики

Аеропорти мають великі потоки електричної та механічної техніки. Погане обслуговування або неправильне використання обладнання може призвести до електричних ударів, короткого замикання або механічних пошкоджень. Для забезпечення безпеки необхідно регулярно перевіряти стан техніки, проводити навчання для працівників з правил безпеки та використовувати захисні механізми на всіх електричних пристроях.

5. Стресові ситуації та психоемоційні навантаження

Робота в аеропорту пов'язана з високими темпами та необхідністю швидкого прийняття рішень, що може призвести до стресових ситуацій. Високий рівень стресу негативно впливає на увагу працівників, знижувати їх здатність до оперативної реакції та призводити до нещасних випадків.

6. Пожежна небезпека

В аеропортах, де знаходяться великі запаси пального та інші горючі матеріали, існує підвищений ризик виникнення пожежі. Пожежні ситуації можуть виникнути як під час обслуговування літаків, так і внаслідок технічних несправностей або людської помилки. Для запобігання таким ситуаціям необхідно забезпечувати аеропорти сучасними системами пожежної безпеки, регулярно навчання персоналу та відповідне обладнання для гасіння вогню.

7. Небезпека через маніпулювання багажем та вантажем

Обробка багажу та вантажу пов'язана з підйомом важких предметів та транспортуванням їх на великі відстані. Такі завдання можуть призвести до травм, якщо не дотримуватись правил безпеки. Для зменшення ризиків необхідно використовувати спеціальне обладнання, навчати працівників техніці підняття важких предметів та забезпечити відповідну інфраструктуру для транспортування вантажів.

Усі ці фактори потребують контролю та постійного вдосконалення технічних і організаційних заходів для забезпечення безпечних умов праці на аеропортах.

4.2. Розрахунок заходів захисту для забезпечення безпеки в аеропортових операціях

Для забезпечення безпеки в аеропортових операціях необхідно враховувати різні аспекти, зокрема заходи щодо захисту працівників від шкідливих та небезпечних факторів. У контексті аеропортових підсистем розрахунок заходів захисту охоплює низку технологічних, організаційних і фізичних параметрів. Розглянемо заходи щодо захисту для забезпечення безпечних умов праці на аеропортах, зокрема з урахуванням шумового навантаження, безпеки електричних установок та забезпечення нормованих умов освітлення на робочих місцях.

Шум є важливим фактором, що впливає на безпеку працівників аеропорту. Найвищий рівень шуму виникає у зонах злітно-посадкових смуг, а також в операційних зонах, де обслуговуються літаки. . Нормування рівня шуму здійснюється на основі державних стандартів, зокрема на підставі норм ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Для оцінки рівня шуму на робочих місцях в аеропорту слід розрахувати необхідні заходи захисту. Якщо рівень шуму на робочих місцях перевищує 85 дБ (що є критичним для працівників), необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту — навушники або шлеми з шумоізоляцією. Також, необхідно встановлювати звукоізоляційні панелі в зонах найбільшого шумового навантаження, знижуючи рівень шуму до 80-85 дБ.

Аеропорти використовують велику кількість техніки, що працює від електричної мережі, тому забезпечення безпеки від електричних ризиків є одним з важливих аспектів охорони праці. Для цього важливо проводити регулярні перевірки електричних установок і використовувати засоби захисту, такі як автоматичні вимикачі та заземлення обладнання.

Розрахуємо захист для робочої зони технічного обслуговування літаків. Наприклад, якщо на території обслуговування використовується енергозабезпечення з електричними генераторами з номінальною потужністю 100 кВт, необхідно встановити автоматичні вимикачі, що здатні розірвати ланцюг при перевищенні допустимого струму в 150 А. Для цього використовується автоматичний вимикач типу С16, що відповідає вимогам безпеки.

Робочі місця аеропорту, де проводяться основні операції (наприклад, обслуговування літаків на технічному майданчику, перевірка багажу), повинні відповідати вимогам освітленості. Для нормування освітлення враховуються такі параметри, як рівень освітленості робочих поверхонь та тип робіт, що виконуються.

Нормовану освітленість для робочих місць в аеропортах визначають згідно з ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Наведемо приклад, для зони, де проводиться технічне обслуговування літаків, освітленість повинна бути на рівні 300-500 лк. Для збереження безпеки в темний час доби на відкритих майданчиках застосовують світильники з потужністю понад 500 лк.

Розрахуємо необхідну кількість світильників для освітлення майданчика розміром 30 м². Для цього застосовуємо формулу розрахунку світлового потоку, яка враховує площу освітлюваної зони, коефіцієнт корекції (Z), а також використання світлового потоку.

Розрахунок світлового потоку для освітлення майданчика:

$$F = E \times K \times S \times Z / \eta , \quad (4.1.)$$

де:

$E=500$ лк (нормована освітленість для технічного обслуговування),
 $K=1.5$ (коефіцієнт запасу для забезпечення додаткового освітлення в разі забруднення світильників),

$S=30$ м² (площа освітлюваної зони),

$Z=1.1$ (відношення середньої освітленості до мінімальної),

$\eta=0.7$ (коефіцієнт використання світлового потоку).

$$F = 500 \times 1.5 \times 30 \times 1.1 / 0.7 = 31\,500 \text{ Лм.}$$

Для підбору ламп з використанням світильників з потужністю 4000 лм (люмінесцентні лампи ЛБ 40-1) розрахуємо кількість необхідних ламп:

$$N = \frac{F}{F_{\text{л}}} = \frac{31\,500}{4\,000} = 7,875 \approx 8 \text{ ламп.}$$

Таким чином, для освітлення майданчика в аеропорту необхідно встановити 8 світильників з лампами типу ЛБ 40-1.

Для зменшення ризику травм, пов'язаних з рухом техніки на аеропортовій території, важливо застосовувати сигнальні засоби, а також спеціальну розмітку та бар'єри, які знижують ймовірність зіткнень між технікою і персоналом. Встановлення камери відеоспостереження та автоматизованих систем контролю руху техніки дозволяє ефективно управляти рухом і запобігати аваріям.

Таким чином, розрахунок заходів захисту в аеропортах є важливим етапом для забезпечення безпеки та зниження ризиків, пов'язаних з експлуатацією аеропортових підсистем.

4.3. Пожежна безпека в інфраструктурі аеропорту

Забезпечення пожежної безпеки є важливою складовою в загальній системі безпеки аеропорту, оскільки в аеропортах завжди є ризик виникнення пожеж через високий рівень концентрації технічних засобів, паливно-

мастильних матеріалів, а також великої кількості людей, які перебувають на території. Аеропорти часто є складними об'єктами з різноманітними функціями — пасажирськими залами, терміналами, склади, злітно-посадковими смугами та технічними майданчиками.

Згідно з Законом України «Про пожежну безпеку», власники аеропортових об'єктів повинні забезпечити належний рівень пожежної безпеки на своїх підприємствах. Це включає в себе:

- Розробку та впровадження комплексу заходів пожежної безпеки, що забезпечують захист працівників та пасажирів від виникнення пожеж;
- Інструктажі та навчання з питань пожежної безпеки для персоналу аеропорту, включаючи інструктажі при прийнятті на роботу та щорічні тренінги з питань безпеки;
- Забезпечення працездатності систем протипожежного захисту, включаючи автоматичні системи пожежогасіння, водопостачання, а також засоби сигналізації;
- Забезпечення евакуації людей у випадку пожежі або іншої надзвичайної ситуації;
- Контроль за станом протипожежного обладнання, техніки, інвентарю, а також своєчасне обслуговування та технічний огляд цих засобів.

В аеропортах зазвичай використовуються кілька систем для забезпечення пожежної безпеки: Для забезпечення своєчасного реагування на пожежу в аеропортах повинні бути встановлені автоматичні системи виявлення, які включають детектори диму та температури, що можуть виявити пожежу на її ранніх стадіях. Необхідно передбачити автоматичні системи гасіння, такі як спринклери, що дозволяють локалізувати пожежу до того, як вона стане неконтрольованою. Також в аеропортах мають бути передбачені первинні засоби для гасіння пожеж, зокрема вогнегасники та пожежні рукави, які дозволяють персоналу оперативно розпочати боротьбу з вогнем до того, як на місце прибудуть рятувальні підрозділи.

Системи водопостачання повинні бути спроектовані таким чином, щоб забезпечити достатній тиск води для ефективного гасіння пожеж у будь-який час. Зокрема, для великих аеропортів, де можуть виникати великі пожежі, водопостачання повинно бути резервним та автономним.

Особлива увага приділяється евакуації пасажирів та персоналу у разі виникнення пожежі. Для цього:

- Планування шляхів евакуації має відповідати вимогам безпеки та бути позначене на карті;
- Розміщення евакуаційних виходів повинно бути таким, щоб забезпечити безперешкодний доступ до них з будь-якої точки аеропорту;
- Аеропорти повинні бути оснащені системами оповіщення про надзвичайні ситуації, включаючи голосові повідомлення, сигналізацію та автоматичне включення аварійного освітлення.

Аеропорти, через їх специфіку, можуть мати вибухонебезпечні зони, де зберігаються палива, мастила або хімічні речовини, що можуть призводити до вибуху при певних умовах.

Згідно з ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека», вибухонебезпечні зони повинні бути чітко визначені, і в них не допускаються:

- Порушення технологічних процесів, що можуть призвести до накопичення вибухонебезпечних сумішей;
- Виникнення джерел ініціювання вибуху (відкрите полум'я, електричні розряди, іскри та інші механічні і теплові ефекти).

Особлива увага приділяється забезпеченню автоматичних систем захисту на таких об'єктах, а також введенню обмежень на використання певних джерел ініціації вибуху, таких як відкриті полум'я або іскри від устаткування.

Для запобігання вибухам в аеропортах:

- Потрібно виключити утворення вибухонебезпечного середовища. Це можна зробити, забезпечивши належне зберігання та транспортування пального, мастил, рідких газів тощо, з урахуванням вимог безпеки;

- Для виключення джерела ініціації вибуху, повинні бути застосовані засоби захисту від іскріння та електричних розрядів.

Не менш важливою є постійна перевірка стану всіх протипожежних систем аеропорту, включаючи перевірки наявності і справності:

- Пожежних гідрантів, водопровідних систем;
- Систем відеоспостереження та сигналізації;
- Пожежних машин та засобів індивідуального захисту.

Контроль за виконанням норм і стандартів пожежної безпеки повинен здійснюватися органами державного пожежного нагляду. В аеропортах також можуть створюватися власні підрозділи пожежної охорони, що відповідатимуть за негайну реакцію у разі надзвичайної ситуації.

У разі виникнення пожежі, необхідно негайно провести розслідування, щоб встановити причину виникнення пожежі та вжити заходів для запобігання повторенню подібних інцидентів у майбутньому. Розслідування проводиться із залученням фахівців з пожежної безпеки та відповідних органів контролю.

Таким чином, комплексний підхід до організації пожежної безпеки в аеропортах, враховуючи як попереджувальні заходи, так і заходи на випадок надзвичайної ситуації, є необхідним для забезпечення безпеки людей і майна.

4.4. Інструкції з техніки безпеки для персоналу аеропортових підсистем

Згідно з вимогами НПАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», персонал аеропортових підсистем зобов'язаний дотримуватись певних інструкцій і правил для забезпечення безпеки на робочому місці.

Основним обов'язком кожного працівника є виконання своєї роботи відповідно до посадової інструкції та забезпечення належного стану робочого місця. Працівники повинні утримувати робоче місце в чистоті, дотримуватися

порядку, підтримувати обладнання в робочому стані та своєчасно закривати всі активні задачі при тимчасовому припиненні роботи.

Однією з важливих складових є дотримання санітарно-гігієнічних норм, а також встановлених режимів праці та відпочинку. Працівники повинні строго дотримуватися правил експлуатації електроустаткування, а саме не перевантажувати електричні мережі, використовувати обладнання тільки за призначенням та в установлені технічні межі. Важливим аспектом є контроль за відстанню від очей до екрана комп'ютера, що дозволяє уникнути проблем зі здоров'ям, зокрема зору.

Згідно з вимогами техніки безпеки, забороняється допускати попадання вологи на системний блок, клавіатуру, дисководи, принтери або інші периферійні пристрої, оскільки це призводить до короткого замикання або виходу з ладу техніки. Перемикання кабелів та рознімання при включеному живленні категорично забороняється, оскільки це може спричинити ураження електричним струмом або знищення електронного обладнання. Самостійний ремонт техніки без відповідної кваліфікації та дозволу також суворо заборонений. У разі виникнення несправностей необхідно вимикати комп'ютери та інші електронні пристрої, а також дотримуватися встановленої послідовності підключення й виключення обладнання.

Іншою важливою вимогою є регулярні перерви для зменшення навантаження на здоров'я працівників. Переривчаста робота, зміна типу діяльності, наприклад, чергування роботи з текстом і з цифрами, є важливими для збереження фізичного та психічного здоров'я працівників, зменшення монотонності і перевтоми. Тому організація робочого процесу повинна передбачати час для відпочинку, фізичних вправ або зміну виду діяльності.

Особлива увага приділяється жінкам, які перебувають у періоді вагітності або годування дитини. Вони повинні бути звільнені від виконання робіт, що можуть мати негативний вплив на їх здоров'я або здоров'я дитини, таких як робота з персональними комп'ютерами або іншими технічними пристроями, що можуть спричинити шкідливий вплив.

Для забезпечення безпеки під час виконання робіт за комп'ютером необхідно постійно перевіряти стан техніки та її справність, використовувати лише сертифіковані пристрої і системи, забезпечити правильне освітлення робочого місця і підтримувати температурний режим, що відповідає стандартам. У разі необхідності, працівники повинні проходити навчання та інструктажі з техніки безпеки, зокрема, з питань пожежної безпеки, електробезпеки, і використання засобів захисту.

Всі працівники, незалежно від посади, зобов'язані своєчасно проходити медичні огляди, дотримуватися норм здоров'я та безпеки на робочому місці, а також своєчасно повідомляти про будь-які порушення техніки безпеки або виявлені несправності обладнання. Важливо здійснювати регулярні перевірки систем охорони праці та безпеки, щоб забезпечити належні умови для кожного працівника аеропорту.

ВИСНОВКИ

У рамках проведеного дослідження було розглянуто основні методи та моделі функціонування аеропортових підсистем, що сприяють оптимізації авіаційних транспортних перевезень. Аналіз наявних технологій, інструментів і практик дозволив виявити ключові аспекти, які впливають на ефективність роботи аеропортів та зменшують час обробки авіаційних перевезень.

В дослідженні було визначено, що впровадження систем автоматизації та алгоритмів штучного інтелекту в аеропортові підсистеми дозволяє значно покращити управлінські процеси. Моделі, зосереджені на динамічному управлінні потоками пасажирів та вантажів, продемонстрували свою ефективність у зменшенні затримок та черг, а також у покращенні загального обслуговування.

Враховуючи динамічний розвиток авіаційної індустрії та її залежність від економічних процесів, оптимізація технологій наземного обслуговування залишається важливим питанням, яке слід враховувати як на стратегічному, так і на оперативному рівні управління. Згідно з аналізом технологічного стану в авіаційній галузі, інвестиції мають бути спрямовані на впровадження сучасних ІТ-рішень, які значно спростять контрольні процедури, зменшать вплив людського фактору і підвищать комфорт для пасажирів завдяки поліпшенню якості обслуговування. Проте рішення щодо модернізації чи зміни певних процесів і оснащення для обслуговування повинні базуватися на конкретних розрахунках, які враховують як історичні, так і прогнозні дані розвитку аеропорту.

У процесі дослідження були розроблені математичні моделі взаємодії аеропортових підсистем, що дозволило більш точно оцінити ефективність роботи аеропортів та розробити оптимізаційні стратегії для підвищення їх пропускної здатності та зниження витрат. Були виявлені інфраструктурні та операційні недоліки, які впливають на ефективність функціонування аеропортів, і запропоновані конкретні заходи щодо їх усунення.

Важливою частиною роботи стало дослідження та аналіз заходів щодо охорони праці в аеропортах. У результаті оцінки небезпечних факторів і розрахунку заходів захисту вдалося виявити потенційні загрози, а також розробити ефективні інструкції з техніки безпеки та заходи для забезпечення пожежної безпеки, що сприяло покращенню умов праці та безпеки персоналу.

Завдяки впровадженим заходам та рекомендаціям, спостерігаються значні покращення в роботі аеропортових підсистем. Впроваджені інноваційні технології та оптимізовані процеси дозволяють зменшити час обробки пасажирів і вантажів, підвищити пропускну здатність аеропортів, а також покращити загальний рівень безпеки на всіх етапах операцій. Система техніки безпеки та охорони праці була приведена у відповідність до міжнародних стандартів, що значно підвищило рівень безпеки як для персоналу, так і для пасажирів.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують важливість використання сучасних методів і моделей для покращення функціонування аеропортових підсистем. Реалізація запропонованих заходів не лише підвищить ефективність авіаційних перевезень, але й сприятиме зміцненню конкурентоспроможності аеропортів на світовій арені.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ашфорд Н., Стентон Х.П.М., Мур К.А. Функціонування аеропорта: Пер. з англ. – М.: Транспорт, 2016. – 256-258 с.
2. Блудова Т. В. Транзитний потенціал України: формування та розвиток. Київ : НІПМБ, 2018. - 186 с.
3. Войцехівський, В.О., Лопатін, О.А. "Основи функціонування аеропортових підсистем: теорія та практика." Київ: Видавництво "Аеропорт", 2020.
4. Державне управління: словник-довідник / за заг. ред. В. М. Князева, В. Д. Бакуменка. Київ: Вид-во УАДУ, 2002. 228 с.
5. Дзвінчук Д.І. Державне управління: курс лекцій. Івано-Франківськ: Місто НВ, 2010. 501 с.
6. НПАОП 0.00-4.15-98. Положення про розробку інструкцій з охорони праці. Міністерство соціальної політики України, 1998.
7. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги. Київ: Державний стандарт України, 2015.
8. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення». Київ: Державний стандарт України, 2019.
9. Енциклопедія державного управління: у 8 т. / Нац. акад. держ.упр. при Президентові України; наук.-ред. колегія: Ю. В. Ковбасюк (голова) та ін. Київ: НАДУ. Т. 4, 2021. 425-427 с.
10. Закон України "Про авіацію" від 19.12.1993 № 3777-ХІІ, із змінами та доповненнями. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3777-12>.
11. Каплун В.І., Єременко В.Ю. Техніка безпеки та охорона праці в аеропортах. К.: Аеропорт, 2020. С. 45-50.
12. Катерна О. К. Вплив новітніх інформаційних технологій на розвиток аеропорту. Проблеми системного підходу в економіці: зб. наук. праць. К. : НАУ, 2017. Вип. 42. С. 212 –214.

13. Конкурентоспроможність та сталий розвиток морегосподарського комплексу України ; за заг. ред. О.М. Котлубая. Одеса : ІПРЕЕД, 2011. - 427 с. 3.
14. Кострюков С. В. Навчально-методичне забезпечення дисципліни «Транспортне право» / упоряд.: С.В. Кострюков; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. Дніпро: НГУ, 2014. 200 с.
15. Кочубей А.О. Оцінка ризиків та стратегія управління безпекою на аеропортах. Одеса: ОДУ, 2018.
16. Малярчук Н. В., Хом'яченко С. І. Цивільна авіація України: проблеми державного регулювання. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Npnau_2015_2_4.pdf.
17. Марінцева, К. В. Авіаційні пасажирські перевезення : метод. вказівки / К. В. Марінцева. – К.: НАУ, 2018, С. 125-126.
18. Міністерство з надзвичайних ситуацій України. Пожежна безпека в аеропортах та на транспорті. Київ, 2017. URL: <https://www.mns.gov.ua/>
19. Новікова А. М. Україна в системі міжнародних транспортних коридорів. Київ : НППМБ, 2013. - 245 с.
20. Офіційний сайт Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO). URL: <https://www.icao.int>
21. Повітряний кодекс України від 19 травня 2011 р. No 3393-VI // Відомості Верховної Ради України. 2011. No 48-49. Ст. 536.
22. Положення про систему управління безпекою польотів в Україні. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2017. URL: <https://mtu.gov.ua>
23. Пономаренко М.В., Коваль О.В. Управління безпекою авіаційних операцій: теорія та практика. Львів: ЛНУ, 2021, с. 125-127.

24. Принципи роботи систем на базі RFID технології [Електронний ресурс]: <http://asupro.com/gps-gsm/system/principle-work-systems-based-on-rfid.html>
25. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 377-р. Про затвердження Національної програми розвитку аеропортів України до 2030 року. Київ, 2019. URL: <https://www.kmu.gov.ua>
26. Тачина О.М. Автоматизація авіаперевезень. Конспект лекцій. Київ: НАУ, 2022. 122 С.
27. Указ Президента України "Про затвердження Стратегії розвитку авіаційного транспорту України". Київ, 2018. URL: <https://www.president.gov.ua>
28. Шевченко В.С., Білоус Ю.О. Безпека польотів та управління ризиками в авіаційних операціях. Черкаси: Черкаський національний університет, 2020, с.-84-87.
29. Яновський П.О., Валько А.М. Використання передових інформаційних технологій для обслуговування пасажирів в аеропорту. URL: https://eprints.kname.edu.ua/45714/1/ilovepdf_com3940.pdf
30. Baldwin, R., Irons, J. "Airport Operations and Performance Modeling", 2021.
31. Horonjeff, R., McKelvey, F. "Planning and Design of Airports", 2020.
32. ICAO. "Global Air Navigation Plan", 2019.
33. Chopra, S., Meindl, P. "Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation", 2019, 78-81.
34. Polianskaia, N. E., Palamarchuk, Yu. A. and Polianskaia, N. A. (2008), "Dokhody mezhdunarodnykh aeroportov" [International airport revenue], *Ekonomika: problemy teorii ta praktyky: Zb. nauk. pr. Vypusk 246; v 5 t. T. 2.* DNU, Dnipropetrovsk, Ukraine.