

Міністерство освіти і науки України
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

На правах рукопису

МАРІНЦЕВА КРИСТИНА ВАЛЕРІЇВНА

УДК 001.8:65.011.46:629.7(043.3)

**НАУКОВІ ОСНОВИ ТА МЕТОДИ
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ
АВІАТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

05.22.01 – транспортні системи

Дисертація на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Науковий консультант
Юн Геннадій Миколайович
доктор технічних наук, професор

Київ – 2015

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ НАУКИ ПРО	
 ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ	
1.1 Формування концепцій про розвиток та функціонування транспортних систем.....	25
1.2 Огляд наукових положень з проблем ефективного функціонування авіатransпортних систем.....	40
1.2.1 Складові авіаційної транспортної системи.....	40
1.2.2 Вирішенні завдання аналізу і синтезу ефективного функціонування авіатransпортних систем.....	45
1.3 Актуальні напрямки досліджень авіатransпортних систем.....	63
Висновки до розділу 1	71
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ АВІАТРАНСПОРТНИХ	
 СИСТЕМ	
2.1 Системний підхід у дослідженнях авіатransпортних систем.....	74
2.1.1 Визначення основних етапів дослідження.....	74
2.1.2 Дерево цілей функціонування авіатransпортної системи...	83
2.1.3 Вибір критеріїв ефективності.....	87
2.1.4 Формування ресурсів	100
2.1.5 Генерація альтернатив	109
2.1.6 Багаторівнева ієрархія процесу прийняття рішень суб'єктами авіаційної діяльності.....	110
2.2 Методи вивчення закономірностей функціонування авіатransпортних систем.....	116
2.2.1 Застосування теорії складних мереж в дослідженні функціонування авіатransпортних систем.....	116
2.2.2 Застосування регресійного аналізу для прогнозування попиту.....	123

2.2.3	Концепція оцінювання ефективності автоматизації виробничих процесів авіапідприємств.....	126
2.2.4	Загальні положення моделювання прийняття рішень суб'єктами авіаційної діяльності.....	131
	Висновки до розділу 2.....	133
РОЗДІЛ 3 ОПИС АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ		
3.1	Структура авіатранспортної системи та функції її елементів	136
3.2	Попит на авіаційні перевезення.....	146
3.3	Мережа авіаційних маршрутів	153
3.4	Авіакомпанії	160
3.5	Аеропорти.....	175
3.6	Організація повітряного руху.....	187
	Висновки до розділу 3.....	198
РОЗДІЛ 4 АНАЛІЗ АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ		
4.1	Огляд транспортної та логістичної інфраструктури.....	200
4.2	Аналіз показників функціонування елементів авіатранспортної системи України.....	204
4.2.1	Попит на авіаційні перевезення.....	204
4.2.2	Аналіз показників функціонування авіакомпаній.....	211
4.2.3	Аналіз показників функціонування мережі аеропортів.....	223
4.2.4	Визначення структури мережі маршрутів.....	239
4.3	Результати аналізу ефективності функціонування авіатранспортної системи України.....	244
	Висновки до розділу 4.....	248
РОЗДІЛ 5 МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАКОМПАНІЇ НА МЕРЕЖІ АВІАМАРШРУТІВ		
	Вступ	251
5.1	Прогнозування попиту на авіаційні перевезення в Україні	255
5.2	Моделювання функціонування авіакомпанії	264
5.2.1	Детермінована модель функціонування авіакомпанії для випадку стратегічного планування.....	264

5.2.2	Поточне планування функціонування авіакомпанії на мережі маршрутів з низьким рівнем попиту.....	269
5.2.3	Методи планування частоти рейсів на мережі маршрутів авіакомпанії.....	280
5.2.4	Моделі оптимізації доходів авіакомпанії.....	286
5.3	Моделювання взаємозв'язку авіатранспортної системи та авіабудівної галузі.....	295
	Висновки до розділу 5.....	306
РОЗДІЛ 6 МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТІВ ТА ЇХ ПІДСИСТЕМ		
6.1	Стратегії розвитку регіональної мережі аеропортів.....	308
6.2	Метод визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів	314
6.3	Поетапний метод управління розвитком мережі аеропортів.....	333
6.4	Вибір інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності.....	352
6.4.1	Ідея методів нечітких множин.....	353
6.4.2	Нечіткий висновок.....	359
6.4.3	Опис розв'язуваного завдання. Основні умови.....	360
6.5	Оптимізація параметрів системи обслуговування пасажирів в аеровокзалах.....	367
6.6	Оптимізація розподілу ресурсів у завданнях наземного обслуговування в аеропортах.....	384
6.7	Методи забезпечення ефективного функціонування навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту.....	392
	Висновки до розділу 6.....	399
	ВИСНОВКИ.....	404
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	411
	ДОДАТКИ	

ДОДАТОК А	Короткий огляд основного понятійного апарату в наукових роботах з напряму досліджень «Транспортні системи».....	456
ДОДАТОК Б	Приклади встановлених закономірностей функціонування та розвитку транспортних систем.....	464
ДОДАТОК В	Ініціативи Глобального аеронавігаційного плану ІКАО...	473
ДОДАТОК Г	Приклад структури бази даних попиту на авіап перевезення для проведення досліджень з використанням сучасних теорій.....	474
ДОДАТОК Д	Стандарти ІАТА щодо наземного обслуговування ПС та параметрів зон обслуговування пасажирів в аеропортах.....	479
ДОДАТОК Е	Статистичні дані функціонування підсистем АТС.....	483
ДОДАТОК Ж	Економічні передумови формування попиту на авіаційні перевезення.....	489
ДОДАТОК И	Показники функціонування елементів авіатранспортної системи України.....	495
ДОДАТОК К	Вхідні дані та результати розв'язання завдань функціонування авіакомпаній.....	508
ДОДАТОК Л	Результати розрахунків необхідних пропускних спроможностей авіамаршрутів на заданій мережі аеропортів України.....	524
ДОДАТОК М	Принципова схема роботи поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів.....	526
ДОДАТОК Н	Моделювання нечіткої системи вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності в ППП MATLAB.....	543
ДОДАТОК П	Розрахунок оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту.....	549
ДОДАТОК Р	Акти впровадження.....	552

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

А

A-CDM (Airport Collaborative Decision Making) – програма спільного прийняття рішень в аеропорту

ACI (Airports Council International) – Міжнародна рада аеропортів

AIP (Aeronautical Information Publication) – збірник аеронавігаційної інформації

ASM (Airspace Management) – організація повітряного простору

ATFM (Air Traffic Flow Management) – управління потоками повітряного руху

ATM (Air Traffic Management) – організація повітряного руху

ATPL (Airline Transport Pilot License) – свідоцтво пілота транспортних авіаліній – дозволяє виконувати будь-які комерційні польоти як командирів повітряного судна або другому пілоту

AWB (Air Waybill) – авіавантажна накладна (авіатransпортна накладна)

С

CPL(A) (Commercial Pilot License, Aircraft) – свідоцтво комерційного пілота (літак)

F

FAA (Federal Aviation Administration) – Федеральне управління цивільної авіації США

FDPS (Flight Data Processing System) – система обробки польотних даних

FMP – пост організації потоків повітряного руху. Пост, який утворюється в РДЦ з метою забезпечення координації між відповідним органом організації потоків повітряного руху та даним РДЦ з питань, що належать до організації потоків повітряного руху (Doc 7754)

G

GDS (Global Distribution System) – глобальні розподільчі системи бронювання та продажу авіаквитків та інших супутніх послуг

GIS (Geographic Information System) – глобальні інформаційні системи

I

IATA (International Air Transport Association) – Міжнародна асоціація повітряного транспорту

ICAO (International Civil Aviation Organization) – Міжнародна організація цивільної авіації

IFR (Instrument Flight Rules) – правила польотів за приладами

IMC (Instrument Meteorological Conditions) – приладові метеорологічні умови, виражені у величинах дальності видимості, відстані до хмар та висоти нижньої межі хмар. Ці величини нижчі за мінімуми, встановлені для візуальних метеорологічних умов

IRR – внутрішня норма рентабельності

L

LCC (Low Cost Carrier) – низьковитратні (бюджетні) авіакомпанії

LANL (Los-Alamos National Laboratory) – Лос-Аламоська національна лабораторія

M

MPL (Multi-crew Pilot License) – свідоцтво пілота багаточленного екіпажу

N

NDC (New Distribution Capability) – програма підтримки туристичної галузі, яка базується на нових XML стандартах передачі даних, впроваджуваних IATA

NextGen (The Next Generation Air Transportation System) – Система авіаційних перевезень наступного покоління (проектна національна система організації повітряного простору США)

NOC (Network Operation Centre) – Центр з управління мережею, Європа, Брюссель

NPV – чиста поточна вартість

P

PBP – строк окупності проекту

R

RFCC (Rescue and Fire Fighting Category) – категорія ICAO з рятування та боротьби з пожежею

S

SESAR (Single European Sky ATM Research) – програма досліджень з організації повітряного руху в рамках «Єдиного європейського неба»

SITA (Société Internationale de Télécommunications Aéronautiques) – швейцарська багатонаціональна інформаційна організація, яка надає телекомунікаційні та ІТ-послуги в авіаційній галузі.

SGHA (Standard Ground Handling Agreement) – стандартний договір наземного обслуговування

SST (Self-Service Technology) – технологія самореєстрації

T

TAM (Total Airport Management) – загальний менеджмент аеропорту

V

VMC (Visual Meteorological Conditions) – метеорологічні умови, виражені у величинах дальності видимості, відстані до хмар та висоти нижньої межі хмар, що відповідають встановленим мінімумам або перевищують їх

W

WB (WorldBank) – Світовий банк

A

АТС – авіатранспортна система (авіаційна транспортна система)

АСБ – автоматизована система бронювання

АХК – авіахендлінгова компанія

Б

БВП – багаж, вантаж, пошта

БД – бази даних

В

ВЕФ – Всесвітній економічний форум

ВВП – валовий внутрішній продукт

Д

ДАС – Державна авіаційна служба України

ДКС – Державний комітет статистики України

Є

ЄС – Європейський Союз

З

ЗПС – злітно-посадкова смуга

І

ІРМА – індекс розвиненості мережі авіамаршрутів

ІТ – інформаційні технології

К

КЗ – коефіцієнт завантаження

КПК – комерційні пасажиро-кілометри

М

МС – місця стоянок

ММК – матриця маршрутних кореспонденцій

МАУ – ПАТ «Авіакомпанія “Міжнародні Авіалінії України”»

Н

НKK – наявні крісло-кілометри

НРП – навантажувально-розвантажувальні пункти (пости)

НМ – нечіткі множини

О

ОрПР – організація повітряного руху

ОПР – особа, що приймає рішення

П

ПС – повітряне судно

ППП – пакет прикладних програм

Р

РД – руліжна доріжка

РДЦ – районний диспетчерський центр

Т

ТЕП – транспортно-експедиційні підприємства

ТМО – теорія масового обслуговування

ТС – транспортна система

ТТС – теорія транспортних систем

У

УПР (Air Traffic Control) – управління повітряним рухом

Ф

ФП – функція приналежності

Ц

ЦА – цивільна авіація

Скорочені назви аеропортів України

«Бориспіль» – Державне підприємство «Міжнародний аеропорт Бориспіль»

«Бельбек» – Товариство з обмеженою відповідальністю Аеропорт «Бельбек»
(Севастополь)

«Вінниця» – Вінницьке обласне комунальне підприємство Аеропорт «Вінниця»
(Гавришівка)

«Дніпропетровськ» – Товариство з обмеженою відповідальністю
«Міжнародний аеропорт «Дніпропетровськ»

«Донецьк» – Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Донецьк імені
С. С. Прокоф'єва»

«Запоріжжя» – Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Запоріжжя»

«Івано-Франківськ» – Товариство з обмеженою відповідальністю «Скорзонера»
Філія «Міжнародний аеропорт «Івано-Франківськ»

«Київ» – Комунальне підприємство Міжнародний аеропорт «Київ» (Жуляни)

«Кривий Ріг» – Комунальне підприємство криворізької міської ради
«Міжнародний аеропорт Кривий Ріг»

«Львів» – Державне підприємство «Міжнародний аеропорт «Львів» імені Данила Галицького»

«Маріуполь» – ПАТ «Азовзагальмаш» Аеропорт «Маріуполь»

«Миколаїв» – Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Миколаїв»

«Одеса» – Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Одеса»

«Полтава» – Полтавське обласне комунальне підприємство «Аеропорт – Полтава» (Супрунівка)

«Рівне» – Обласне комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Рівне»

«Сімферополь» – Публічне акціонерне товариство «Міжнародний аеропорт «Сімферополь»

«Суми» – Обласне комунальне підприємство «Аеропорт Суми»

«Тернопіль» – Тернопільське обласне комунальне підприємство Фірма «Тернопільавіаавтотранс» «Аеропорт Тернопіль»

«Ужгород» – Закарпатське обласне комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Ужгород»

«Харків» – Товариство з обмеженою відповідальністю «Нью Системс АМ» «Міжнародний аеропорт Харків»

«Херсон» – Комунальне підприємство Херсонської обласної ради «Херсонські авіалінії» Аеропорт «Херсон»

«Черкаси» – Комунальне підприємство «Аеропорт Черкаси»

«Чернівці» – Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт Чернівці»

Коди IATA авіакомпаній

AF – Air France

BA – British Airways

B6 – JetBlue Airways

CA – авіакомпанія «Chinese International Aviation Company» (Air China Ltd)

DL – авіакомпанія Delta Air Lines. Одна з чотирьох компаній-засновників авіаційного альянсу пасажирських перевезень SkyTeam

DW – авіакомпанія Aero-Charter (Аеро-Чартер), бізнес-перевезення в Україні

EK – авіакомпанія Emirates Sky Cargo

EZ – авіакомпанія Sun Air of Scandinavia

FX – вантажна авіакомпанія FedEx Express. Є дочірнім підрозділом FedEx Corporation

KT – ПАТ «Авіалінії Харкова», A1¹

KS – авіакомпанія Peninsula Airways. Працює під брендом PenAir

KE – Korean Air Lines Co., Ltd.

LH – авіакомпанія Deutsche Lufthansa AG

LO – LOT Польські Авіалінії

M9 – авіакомпанія БАТ «Мотор Січ»

PS – ПАТ «Авіакомпанія “Міжнародні Авіалінії України”», A1, A2 (в т. ч. E11)

QU – ТОВ «Авіакомпанія “Ютейр-Україна”» («Utair-Ukraine Airlines», Limited Liability Company), A1, A2

UF – ТОВ «Українсько-середземноморські авіалінії» («Ukrainian-Mediterranean Airlines» Ltd), A1, A2

VV – ПрАТ «Авіакомпанія “Аеросвіт”»

WU – ТОВ «Авіалінії “ВіззЕйр Україна”» («WizzAir Ukraine Airlines»), LLC

XE – авіакомпанія ExpressJet Airlines. Працює за партнерською угодою з магістральною авіакомпанією Continental Airlines, виконуючи рейси під торговою маркою Continental Express

YG – авіакомпанія «Південні авіалінії»

Z6 – ПАТ «Авіаційна компанія “Дніпроавіа”», A1, A2 (в т.ч. E11)

2N – Авіаційна транспортна компанія «Южмашавіа»

7D – Авіакомпанія «Донбасаеро»

7W – ТОВ «Авіаційна компанія “Роза Вітрів”» («“WindRose” AviationCompany»), A1, A2

¹ Види польотів: A1 – пасажирські перевезення; A2 – вантажні перевезення (в т.ч. E11 – перевезення небезпечних вантажів); A3 – медична допомога; A4 – авіаційні роботи

ВСТУП

Актуальність теми. Для багатьох людей основною характеристикою сучасного світу є динамізм, а філософією життя – мобільність. Такий світогляд сприяє активному розвитку науки про транспорт і транспортні системи, які є, за висновками Всесвітнього економічного форуму (ВЕФ), ключовими факторами успішних, соціально орієнтованих економік. Прикладом цілеспрямованої підтримки науки з питань ефективного функціонування транспортних систем є політика Європейського Союзу (ЄС), який вкладає значні фінансові кошти у реалізацію пріоритетних дослідницьких проектів [326].

Для ЄС авіаційний транспорт є дуже важливим, бо в ньому задіяні 5,1 млн. робітників, а частка авіаційного транспорту складає 2,4% валового внутрішнього продукту (ВВП) ЄС (або 365 млрд. євро) [331]. Крім того, комерційна авіація є життєво важливим фактором інтеграції і згуртованості ЄС. Більшість міст у Європі можна дістатися за декілька годин польоту. У 2013 р. було перевезено понад 825 млн. пасажирів, працювало близько 150 регулярних авіакомпаній і 450 аеропортів. Авіаційний транспорт сприяв економічному розвитку, міжнародній торгівлі, і відкрив нові ринки, особливо в периферійних регіонах ЄС [327]. Дерегулювання авіаційного ринку в Європі в кінці 1980-х рр. збільшило його стратегічне й економічне значення. Ціни на авіаквитки знизилися, на Європейський ринок вийшли лоу-кост, або низьковитратні перевізники (LCC), конкуренція між авіакомпаніями збільшилася, регіональні аеропорти стали ефективною альтернативою основним аеропортам, які становляться все більш перевантаженими.

Актуальність проблеми розвитку наукових основ та методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем виходить із пріоритетних напрямків досліджень, які визначені у європейській публікації Transport Research and Innovation Portal [326], та завдань, поставлених у Транспортній стратегії України на період до 2020 р. [210].

В Європі серед пріоритетних досліджень до 2050 р. [333] є наступні 1) методи оптимізації пропускної спроможності аеропортів та підвищення ефективності їх експлуатації; 2) удосконалення системи організації повітряного руху з метою реалізації цілей єдиного Європейського повітряного простору; 3) впровадження значних змін в технологіях обслуговування з метою розширення варіантів і гнучкості розкладу для пасажирів; 4) методи посилення конкурентних переваг авіаційного транспорту, які дозволяють скоротити час авіапідприємствам для виходу на ринок, 5) методи скорочення експлуатаційних витрат з метою підвищення доступності авіатранспорту для більшості громадян.

Транспортна стратегія України [210] серед іншого потребує вирішення наступних завдань: забезпечення з урахуванням світового досвіду швидкої доставки вантажів; скорочення часу, необхідного для обробки вантажів у портах та пунктах пропуску через державний кордон; упровадження новітніх інформаційно-комунікаційних технологій на базі глобальної навігаційної системи; забезпечення розвитку мультимодальних перевезень; інтеграція до європейської авіаційної транспортної системи; оновлення парку повітряних суден (ПС); забезпечення необхідного технічного рівня засобів навігації, радіолокаційного спостереження, зв'язку, аеродромного обладнання, авіаційної наземної техніки, засобів обслуговування пасажирів, багажу та вантажу; збільшення обсягу транзитних перевезень пасажирів і вантажів та створення на базі Державного підприємства «Міжнародний аеропорт Бориспіль» провідного вузлового термінального комплексу.

У вирішенні вищезазначених проблем і завдань розвитку авіаційних перевезень в Україні в останні десятиліття спостерігається криза. Про це свідчать відсутність глибоких науково обґрунтованих оцінок функціонування авіаційної галузі в цілому та відповідних організацій і підприємств зокрема, адекватних середньо- та довгострокових прогнозів, довге очікування дієвих державних програм розвитку для розуміння загальної стратегії. Зазначимо, що за оцінками ВЕФ зі 138 країн світу Україна займає 97 місце за якістю

інфраструктури авіаційного транспорту (це нижчий ранг, ніж, наприклад, у Болгарії (78), Латвії (38) чи Туреччині (31)) [341].

Аналіз показав, що наукових досліджень з напрямку «Транспортні системи», присвячених питанням розвитку і функціонування ринку авіаційних перевезень значно менше, ніж по інших видах транспорту, немає також усталеної загальноприйнятої термінології.

В досліджених роботах С. Батмунх, М.М. Дмитрієва, Є.М. Зайцева, О.В. Конікової, І.А. Козлюк, О.Л. Петрашевського, К.А. Поліщука, В.П. Маслакова, І. П. Садловської, Л.Ю. Филимонюка, Ю.А. Чередніченка, М. Janić, M. Hirst пропонуються методи забезпечення ефективного функціонування окремих авіапідприємств, та управління авіаційною галуззю в цілому. В деяких роботах науковці оперують поняттям *авіатранспортна система* (АТС), але трактування та, відповідно, об'єкти, предмети, методології досліджень є принципово різними.

Сучасний стан організації авіаперевезень в Україні ще не відповідає вимогам й очікуванням пасажирів та вантажної клієнтури. Наприклад, не дивлячись на значні інвестиції в модернізацію аеропорту «Бориспіль» до Євро-2012, вже у 2013 р. спеціалістами та споживачами були відмічені проблеми функціонування даного аеропорту, пов'язані із невідповідністю пропускнуої спроможності технологічних зон терміналів існуючому пасажиро- та вантажопотоку [79].

Разом з тим зростає значення ефективного використання капітальних вкладень у авіаційну галузь з точки зору досягнутого технічного рівня, технології, економіки і надійності. Адже необґрунтоване технічне рішення може обернутися багатомільйонними втратами як при будівництві нового спорудження, так і при його реконструкції. До того ж стійкою тенденцією розвитку технологічних процесів обслуговування пасажирів та обробки вантажу під час авіаперевезень є не тільки ускладнення принципу їх організації, збільшення вкладень у будівництво, обладнання, парк ПС авіапідприємств, але й необхідність всебічного зниження ймовірності затримок і збійних ситуацій.

Поки що серед 160 країн світу Україна займає лише 61 місце за індексом ефективності логістики (LPI) [397], що є значно нижчою позицією ніж у Румунії (40 місце) чи Польщі (31 місце). Причина цього, на думку міжнародних експертів, багато в чому полягає у відсутності уваги до перевезень і транспортної інфраструктури як продукту системи єдиного господарського комплексу. Аналіз наукових робіт, показує також дефіцит досліджень щодо інтегрування авіаційного транспорту в логістичну концепцію організації перевезень, особливо це стосується України.

Частка українських авіапідприємств на світовому ринку перевезень є незначною і не відповідає потенціалу країни, зумовленого її географічним положенням, рівнем розвитку і наявністю власного виробництва ПС.

Майже всі спеціалісти, які задіяні в авіаційній галузі, зокрема Т. А. Акімова, С. Л. Омеляненко, Г. С. Прокудін та інші, доводять, що розвиток авіаперевезень пов'язаний з можливостями доступу до ринку, прикордонним управлінням і бізнес-середовищем. В сучасних наукових працях А. М. Новікової, М. Ю. Григорак, О. В. Ільєнко визнається, що провідними тенденціями на транспорті у всьому світі є перехід на логістичні технології, які, в свою чергу, передбачають розвиток міжнародних транспортних коридорів та мультимодальних перевезень. Окремі аспекти специфічних проблем проектування, експлуатації повітряних суден (ПС) та методологічні засади узгодження характеристик ПС з суб'єктами ринку авіаперевезень розглянуті в роботах В. І. Рябкова, О. Г. Гребеннікова, О. А. Ховрунової, Г. М. Юна, W. A. Gunn та інших. Останнім часом активно проводяться дослідження в області економіки і географії авіаційного транспорту, які опубліковані в роботах Г. В. Жаворонкової, М. А. Королькової, В. Б. Марінічева, Н. А. Абрамочкіної, С. С. Ісаєва, Є. С. Гінзбурга та інших сучасних науковців.

Але, виходячи з того, що сьогодні суспільство має досвід раптового банкрутства провідних авіакомпаній, з відповідною кризою на ринку праці для вузькокваліфікованого авіаційного персоналу, значного довгострокового виробничого простою реконструйованих аеропортів, з відповідною проблемою

швидкого морального старіння технологій обслуговування пасажирів та обробки вантажу, можна зробити висновок про необхідність подальшої розробки та удосконалення управлінських рішень, які б базувалися на встановлених або уточнених закономірностях функціонування складних систем, якими є авіатранспортні системи.

Незважаючи на значну кількість досліджень в області транспортних систем, є необхідність у розробці *науково обґрунтованих стратегій розвитку та раціонального функціонування АТС України*. Все ще є труднощі *об'єктивної оцінки ступеня розвитку існуючої мережі авіап перевезень*, як у географічному, так і в економічному, технічному та технологічному аспектах. В даний час бракує фундаментальних досліджень, які б закладали *методи визначення перспективної мережі авіасполучень в країні та масштабів необхідного розвитку інфраструктури АТС*.

Отже, враховуючи кардинальні зміни в останні роки у функціонуванні та взаємозв'язках авіапідприємств України та сучасні напрями досліджень закордонних вчених, можна стверджувати, що *встановлення науково обґрунтованих принципів, закономірностей розвитку, а також розроблення методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем (з позиції незалежного суб'єкту, чи експерта)* є актуальною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана в рамках держбюджетної НДР МОН України за темою «Проблема ефективного функціонування транспортних систем і раціональної організації авіаційних перевезень, робіт і послуг» (державний реєстраційний номер 0112 У 007297) та НДР Міністерства інфраструктури України за темою «Проведення дослідження основних проблем функціонування галузі транспорту і розробка прогнозу його розвитку на період до 2020 року» (державний реєстраційний номер 0113 У 007345).

Мета роботи та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розроблення наукових основ та методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем.

Для досягнення поставленої мети в роботі визначені такі основні завдання дослідження:

- узагальнити сучасний стан розвитку теорії транспортних систем;
- проаналізувати та описати фундаментальні наукові положення про авіатранспортні системи;
- розробити методологію досліджень АТС;
- описати зовнішнє середовище, структуру та закономірності функціонування АТС;
- визначити закономірності впливу зовнішнього середовища та формування мережі авіамаршрутів на ефективність функціонування АТС;
- розробити метод оцінки ефективності функціонування АТС;
- виявити особливості та закономірності розвитку АТС України;
- розробити методи забезпечення ефективного функціонування АТС та її підсистем;
- провести апробацію розроблених моделей і методів забезпечення ефективного функціонування АТС.

Об’єкт дослідження – функціонування авіатранспортних систем.

Предмет дослідження – наукові основи (наукові положення і факти, поняття, принципи, теорії, закономірності) та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань були використані теорія систем і системний аналіз, методологія багаторівневої ієрархії, положення теорії складних мереж, кореляційно-регресійний аналіз, математичне програмування, імітаційне моделювання, теорія масового обслуговування, теорія нечітких множин.

Основними джерелами інформації для проведення апробації запропонованої методології дослідження та методів забезпечення ефективного функціонування АТС були: статистичні бази даних ІКАО, Державіаслужби України, Держкомстата України, Світового банку та статистичні

спостереження, отримані здобувачем під час проведення експериментів на авіапідприємствах України.

Наукова новизна одержаних результатів.

Важливі наукові рішення, які запропоновані в процесі досліджень і визначають новизну дисертації, полягають у наступному:

вперше:

- розроблено методологію ефективного функціонування АТС на основі визначення відношень між попитом на авіаційні перевезення та ресурсами, техніко-технологічними, економіко-організаційними й іншими обмеженнями;

- розроблена матрична структура інформаційних відношень між елементами АТС, завдяки якій, по-перше, враховується взаємозв'язок між споживачем, який отримує досвід використання системи, і процесом формування потенційного попиту, а, по-друге, у розробника АТС з'являється мотивація для уточнення структури АТС і особливо синергетичних зв'язків між елементами і підсистемами;

- розроблені показники ефективності АТС України на основі теорії складних мереж, що дає можливість кількісно оцінити рівень розвитку досліджуваної системи з метою її подальшого удосконалення;

- розроблено метод єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі, який вносить узгодженість в організаційну структуру процесу взаємодії розробника ПС та авіакомпаній – потенційних замовників проектного ПС;

удосконалено :

- стратифікований підхід до побудови методу багаторівневого аналізу і синтезу цілей і функцій кожної страти АТС, який, на відміну від існуючих загальних теоретичних викладок, містить параметри досліджуваної АТС;

- структуру дослідницької бази даних для аналізу ефективності функціонування АТС, в якій, на відміну від існуючих, визначені множини та джерела даних, необхідні для проведення досліджень з використанням сучасних теорій;

- класифікацію аеропортів для формування концепції стратегічного розвитку та функціонування мережі аеропортів України, в якій, на відміну від існуючих, пропонується використовувати в якості ознак класифікації не тільки обсяги пасажиропотоків, але й дані про стан інфраструктури аеропорту, види перевезень і соціально-економічні показники регіону, який обслуговує аеропорт;

- модель визначення граничних умов доцільності синтезу безпосадкових маршрутів з низьким рівнем попиту і придбання авіакомпаніями ПС малої пасажиромісткості для мереж з перевантаженими хабами, в якій, на відміну від існуючих моделей, пропонується враховувати додаткові параметри витрат на очікування та затримки;

- метод обґрунтування необхідної пропускнуєї спроможності аеропортів в умовах дефіциту інформації про майбутню АТС, який, на відміну від існуючих, заснований на поєднанні положень теорії графів та лінійного програмування;

- метод поетапного управління розвитком мережі аеропортів, в якому, на відміну від існуючих методів, враховується взаємозалежність ефектів підвищення класу аеропорту і розширення множини ПС, які можуть експлуатуватися на заданій мережі авіамаршрутів для розв'язання проблеми визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між аеропортами;

- метод оптимального розподілу ресурсів авіахендлінгової компанії за рахунок пропозиції використання теорії двоїстості та введення параметрів, які враховують сучасні технології обслуговування ПС в аеропортах;

отримало подальший розвиток:

- моделі прогнозування попиту на пасажирські перевезення в Україні, засновані на вивченні відомих на теперішній час економетричних моделей в частині уточнення факторів, які мають істотний вплив на обсяги попиту;

- метод обґрунтування вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності за рахунок опису необхідних для даного завдання вхідних та вихідних параметрів, альтернатив, критеріїв функціонування

аеропортів, побудови відповідних функцій приналежності термів лінгвістичних змінних та нечіткої бази знань, які впливають на множину можливих розв'язків з прийняття рішень щодо вибору аеропорту для подальшої реконструкції.

Практичне значення результатів дослідження полягає у розробленні та впровадженні:

- методики аналізу розвитку авіаційних перевезень в Україні, які базуються на теорії складних мереж, для обґрунтування кількісних показників ефективності функціонування АТС України;
- комплексу рекомендацій щодо довгострокового прогнозування обсягів авіаперевезень;
- практичних рекомендацій щодо процесу прийняття рішень з метою координації функцій підсистем АТС;
- методики розподілу ресурсів хендлінгової компанії між структурними підрозділами, експериментальні розрахунки за якою показали можливість збільшення місячного прибутку функціонуючої на авіаційному ринку України хендлінгової компанії на 2,2 % (або не менше ніж на 5 тис. дол. США);
- методики визначення оптимальної частоти рейсів та меж бронювання для кожного типу тарифів, реалізація якої дозволила отримати рішення щодо варіантів підвищення тижневого прибутку до 3,95 % в умовах функціонування провідної авіакомпанії України за рахунок оптимізації планів робіт на мережі авіамаршрутів авіакомпанії та перерозподілу відповідних ресурсів;
- методики оптимізації параметрів зон реєстрації та контролю пасажирів в аеровокзалах із дослідженням впливу зміни законів розподілу вхідного пасажиропотоку та продуктивності обслуговування на кількісні показники системи, що дозволило визначити оптимальні параметри роботи системи обслуговування пасажирів в аеропортах «Бориспіль», «Київ» та «Одеса» і скоротити час перебування пасажирів в зоні реєстрації більш ніж на 14 %;
- методики розрахунку оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів (НРП) вантажного складу аеропорту, в якій

враховуються показники вартості обслуговування НРП та витрат на очікування автомобілів.

Наукові положення та результати дослідження впроваджено і застосовано в діяльності суб'єктів державного управління, зокрема, Державіаслужби України, ДП «ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ» та суб'єктів господарювання: ДП МА «Бориспіль», КП «Міжнародний аеропорт Одеса», КП Міжнародний аеропорт «Київ», ПАТ «Міжнародні авіалінії України», ТОВ «ІНТЕРАВІА», ТОВ «Челендж Аеропорт», ТОВ «Аеропорт Хендлінг». Методичні розробки, схеми та алгоритми упроваджено в навчальний процес, зокрема їх використано у теоретичному забезпеченні та при розробці навчально-методичних комплексів для дисциплін «Авіаційні пасажирські перевезення», «Вантажні перевезення», «Методи наукових досліджень» на кафедрі організації авіаційних перевезень в Національному авіаційному університеті МОН України.

Апробація основних наукових і практичних результатів дисертації на вказаних підприємствах підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Сформульовані у дисертації наукові положення, висновки та рекомендації, які винесено на захист, одержані особисто автором і є його самостійним науковим доробком. Практичне впровадження результатів здійснено на основі особистих наукових ідей. Особистий внесок здобувача в роботах, які опубліковані у співавторстві, полягає у наступному:

- розроблення методу підвищення ефективності функціонування авіахендлінгових компаній, проведення експериментальних досліджень та виконання аналізу отриманих даних [368];
- розроблення методу обґрунтування пропускнуєї спроможності мережі аеропортів [367];
- розроблення методу оцінки ефективності декомпозиції мережі авіамаршрутів [266];

- розроблення загальної схеми та методу дослідження аспектів взаємозв'язку авіакомпанії та виробника ПС [146];

- визначення основних параметрів функціонування авіаційного навчального центру [240].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи та результати наукових розробок доповідались та обговорювалися на:

- Міжнародній науково-практичній конференції (МНПК) «Техніка і технологія. Здійснення наукових досліджень та реалізації проектів» (Польща, м. Краків, 2015 р.);

- VII МНПК «Актуальні питання науки, технології та виробництва» (Росія, м. Санкт-Петербург, 2015 р.);

- XXVIII-й МНПК «Перспективні напрями вітчизняної науки» (м. Запоріжжя, 2014 р.);

- Міжнародній конференції «Розвиток інформаційно-ресурсного забезпечення освіти і науки в гірничо-металургійній галузі та транспорті 2014» (м. Дніпропетровськ, 2014 р.);

- Шостому Всесвітньому конгресі «Авіація у XXI столітті» – «Безпека в авіації та космічні технології» (м. Київ, 2014);

- 4-й міжнародній конференції «Математичне моделювання, оптимізація та інформаційні технології» (Молдова, м. Кишинев, 2014);

- II-й та III-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми організації авіаційних перевезень та застосування авіації в галузях економіки» (м. Київ, 2013, 2014);

- Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Перспективні інновації в науці, освіті, виробництві і транспорті» 2013» (<http://www.sworld.com.ua/>, 2013);

- Міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Наукові дослідження і їх практичне застосування. Сучасний стан і шляхи розвитку '2013» (<http://www.sworld.com.ua/>, 2013);

- IV-й МНПК «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (м. Євпаторія, 2013);
- 19-й всеукраїнській науково-практичній конференції «Інноваційний потенціал української науки – XXI сторіччя» (м. Запоріжжя, 2013);
- I-й Міжнародній Інтернет-конференції молодих учених і студентів «Проблеми розвитку транспортних систем в євразійському регіоні» (м. Луганськ, 2013 р.);
- МНПК «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» (м. Дніпропетровськ, 2012);
- 25-й міжнародній конференції «Перспективні комп'ютерні, управлінські та телекомунікаційні системи для залізничних доріг України» (м. Харків, 2012).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 47 наукових праць, із них: 1 монографія, 21 стаття у фахових виданнях України, 5 статей у закордонних фахових виданнях, 20 публікацій в інших періодичних науково-практичних виданнях. При цьому особисто здобувачем написані монографія й 38 наукових статей, інші – у співавторстві.

РОЗДІЛ 1

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ НАУКИ ПРО ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ

Наукові основи забезпечення ефективного функціонування АТС являють собою систему наукових знань про управління, утворюючи теоретичний і методологічний фундамент організації та управління авіатранспортним виробництвом. Дане визначення передбачає вивчення таких питань, як:

- 1) наукова термінологія, яка забезпечує однаковість трактування основних понять теорії транспортних систем;
- 2) принципи, закономірності, функції, методи і технології авіаперевезень.

1.1 Формування концепцій про розвиток та функціонування транспортних систем

У кінці 80-х та на початку 90-х років XX століття проблеми дослідження транспортних систем (ТС) були зведені в США в ранг проблем національної безпеки. До вирішення цього завдання були залучені кращі вчені знаменитих Los-Alamos National Laboratory (LANL) та RAND Corporation. Аналіз наукових робіт з проблем функціонування та розвитку ТС [1, 8, 10, 15, 16, 17, 19, 20, 27, 30, 35, 37, 42, 44, 51, 54, 56, 58, 63, 64, 68, 76, 77, 81, 86, 90, 91, 94, 95-100, 105, 107, 109-111, 147, 148, 157-159, 169, 170, 175, 176, 179, 186, 193, 194, 201, 202, 208, 212, 213, 216, 217, 232, 237, 239, 246, 250, 257, 259, 260, 268, 271, 342, 350, 351, 385, 386, 410] показав, що понятійний апарат в даному напрямку досліджень на всіх видах транспорту ґрунтується на теорії систем.

У радянській науці транспорт вже на ранніх періодах розвитку розглядався як система (див., наприклад, в роботи [63, 175]). Системний підхід, методи системного аналізу і відповідні базові поняття *система, критерій ефективності, моделювання та модель* активно впроваджувалися з 70-х років XX століття в роботах [20, 51, 179, 216, 217, 268] для вирішення проблем організації та

управління на транспорті. При цьому системний підхід до дослідження ТС є спрямованим на виявлення функціональних особливостей, властивостей, механізмів взаємодії між підсистемами і елементами з урахуванням впливу зовнішнього середовища даних систем.

Дональд Дрю у своїй монографії [51] 1972 р. аналізує важливість принципів системного підходу до проектування автомобільних доріг. Основний принцип, за його думкою, полягає в мінімізації витрат на проект при заданих експлуатаційних характеристиках [51, стор. 65]. С. М. Резер в праці 1982 р. [217, стор. 207] висловлює думку про необхідність системного підходу в задачах наукового обґрунтування єдиних технологічних процесів у ТС і впровадженні методів дослідження операцій в роботі станцій, портів, аеропортів та автогосподарств. Авторами [179, с.7], зазначається, що під час оцінювання ефективності використання *ресурсів* на транспорті є доцільним керуватися системним підходом, враховувати як *прямі*, так і *зворотні внутрішні і зовнішні зв'язки елементів транспортних систем*. Далі автори описують поняття і важливість *синергетичного ефекту* в транспортних системах. М. Б. Петров у дослідженні 2004 р. проводить детальний аналіз понятійного апарату теорії систем із проекцією на проблеми єдиної ТС [193, с. 18–27]. Подібні судження знаходимо і в роботі Е. А. Мамаєва (2006 р.), який приділяє значну увагу опису системного підходу до дослідження ТС та відповідній термінології теорії систем і системного аналізу [110, с. 27–48].

Усі дослідники в галузі ТС оперують базовим поняттям *транспортна система*, але строгого визначення воно й досі не має. Нижче наведемо деякі приклади визначень основної термінології, яка застосовується в теорії транспортних систем (ТТС).

Поняття *єдиної ТС* розкривається в економічному словнику 1987 р. [94] і визначається як «взаємопов'язана система діючих у країні видів транспорту, функціонування і розвиток яких планомірно погоджені в просторі і в часі з метою забезпечення максимального задоволення транспортних потреб населення та галузей народного господарства при мінімальних витратах. Основними

технічними підсистемами єдиної ТС є транспортні засоби та мережа сполучень, яка ними обслуговується». В роботі [100, с. 34] єдина ТС розглядається як «такий стан галузі, в якому вона (єдина ТС — *прим. автора*) забезпечує високу ефективність транспортного обслуговування ринкових потреб у відповідності з установленими критеріями за рахунок раціонального використання ресурсів усіх видів транспорту в процесі їх взаємодії».

Методологія оптимізації управління ТС в [179] будується виходячи з розуміння, що ТС — це сукупність шляхів, терміналів, рухомого складу та тягових засобів. Інший дослідник, розглядаючи проблему змішаних перевезень, дає таке визначення: «Транспортна система — це організоване об'єднання взаємопов'язаних і взаємодіючих підприємств (елементів), об'єктів транспортного простору для здійснення перевезень *одним* видом транспорту» [58].

На думку автора [216], транспортні системи слід розглядати як «складні динамічні системи щодо здійснення перевезень вантажів та пасажирів, які є водночас економічними, технічними, технологічними, а крім того (і це головне), мають соціологічний аспект». Наявність у складних системах множини елементів різної природи і складних зв'язків між ними є головною проблемою організації їх ефективного функціонування. Ця проблема досить актуальна для транспортних систем, умови взаємодії між елементами яких багато в чому визначаються стохастичними параметрами (метеорологічною обстановкою, людським фактором, надійністю техніки і т. д.).

Під *промисловими ТС* в дослідженні [246] розуміється сукупність об'єктів залізничного промислового транспорту, а основними підсистемами ТС визначено систему управління, яка формує цілі ТС і контролює процес їх досягнення, комунікаційну систему, яка виконує функції обміну ресурсами й інформації ТС з зовнішнім середовищем, організаційну систему та технологічну, яка змінює параметри матеріального потоку у відповідності з вимогами ринку. Структуру промислової ТС С. В. Трофімов [246, с. 63] трактує як комбінацію

двох елементів — каналу (транспортних та переробних елементів) та бункерів (накопичувальних елементів).

В роботі [213], яка присвячена вирішенню проблем *автотранспортних систем міст*, дано визначення поняття *транспортна система міста* під яким розуміється «сукупність транспортних комунікацій для всіх видів транспорту з їх інженерним обладнанням і спорудами, транспортних господарств і всього рухомого складу (в т. ч. річкових, морських, ПС), учасників дорожнього руху, навколишнього середовища, а також методів управління та організації міського руху, що забезпечують ефективність і безпеку пересування пасажирів і вантажів».

Ще одним із базових понять ТТС є *потік*. О. С. Балалаєв у роботі [16] приділяє велику увагу даному поняттю, робить класифікацію потоку у ТС. Автор розрізняє матеріальний, вантажний та транспортний потоки. Транспортний потік, як визначено в [16, с. 72–76], залежить від *пропускної спроможності* перегонів, *переробної спроможності* технічних станцій на шляху руху, *вантажопідйомності* транспортних засобів.

Практично всі сучасні дослідження напряму ТС доводять важливість та значний вплив на ефективність функціонування ТС організації проходження *інформаційних потоків* у даній системі. Інформація і процес обміну інформацією грають ключову роль в ефективній організації і оперативному регулюванні транспортування і взаємодії видів транспорту. Як стверджує автор [77, с. 65] впровадження логістичних принципів потребує застосування в технологіях обробки матеріальних потоків системи *електронного документообігу* на базі уніфікованих форм, єдиних правил інформаційного сповіщення, підтвердження та контролю проходження вантажопотоків.

В дисертаційній роботі [27, с. 10] розглянуто поняття *транспортний зв'язок* і визначено як деякий транспортний цикл, який має економічний зміст. Відзначено важливість правильного розрахунку пропускної та переробної спроможності елементів інфраструктури ТС: станцій, перевантажувальних фронтів, перегонів тощо [27, с. 16].

Виділення математичних досліджень транспортних потоків в самостійний розділ прикладної математики вперше було здійснено Ф. Хейтом [255]. В LANL було розроблено багато моделей, призначених для оптимізації функціонування транспортних мереж. У цьому класі моделей розв'язується завдання оптимізації маршрутів пасажирських і вантажних перевезень, вироблення оптимальної конфігурації транспортної мережі та ін. Методи оптимізації транспортних мереж становлять значний сегмент досліджень. Основи цього напрямку викладені, наприклад, в [3, 238].

Узагальнення показує, що конкретизація кожним дослідником визначення ТС коректна, бо таким чином формується уточнене уявлення про систему, що досліджується.

Загальними в понятійному апараті ТТС є також категорії, які відображають характеристики ТС: обсяги перевезень, ціна організації руху товарів, строки доставки вантажу, надійність, транспортна доступність, комплексність послуг, екологічність, стабільність тарифної та економічної політики та інші. Наведений у додатку А короткий огляд основного понятійного апарату, який застосовується в наукових роботах з напрямку досліджень «транспортні системи», доводить, що сукупність та визначення багатьох термінів та понять залежить від виду транспорту чи перевезень, що досліджуються.

Вивчення вказаних вище наукових робіт в сфері ТС дає підстави зробити висновок про сформований набір цілей, завдань та методів у даній галузі знань. У роботах українських та зарубіжних науковців традиційно розглядаються такі проблеми й завдання: вибір раціональних та оптимальних схем переміщення вантажів чи пасажирів між кінцевою кількістю пунктів, оптимальне завантаження транспортного засобу, складання графіку та розкладу руху, оптимізація використання всіх видів ресурсів транспортних підприємств, оптимізація виробничо-транспортного планування логістичних систем, визначення оптимальних тарифів.

Як приклад наведемо результати деяких наукових робіт, присвячених дослідженням проблем ТС. Так, у роботах [110, 193] запропоновано *моделі* для

розв'язання завдань *управління та організації* перевезень у межах регіонів Російської Федерації на прикладі залізничного транспорту. В роботі [271] розроблено модель лінійного програмування для оптимізації автомобільної транспортної системи міста, а в дослідженні [212] наведено синтез матрично-мережевої *моделі управління* перевезеннями вантажів у транспортних системах, яку побудовано на основі *транспортної задачі* (зазначимо, що експериментальні розрахунки більше стосувалися автомобільного виду транспорту).

А. Л. Обуховою [176] розв'язано науково-прикладне завдання підвищення ефективності обробки вагонів на прикордонних станціях шляхом удосконалення технології використання технічного оснащення та поліпшення технології роботи служб, які виконують операції державного контролю. А в дослідженні [96] узгоджено подачу вагонів на вантажні фронти станції під розвантаження із роботою навантажувально-розвантажувальної техніки і автотранспортом, який вивозить вантажі споживачу. При цьому враховувався критерій мінімальних витрат вивантаження вагонів і доставки вантажів. Для розв'язання даного завдання було запропоновано математичну модель лінійного програмування, яку було розв'язано симплекс-методом із використанням стандартних пакетів прикладних програм (ППП).

Завдання оптимізації розташування пунктів перевалювання вантажів у мультимодальних системах розв'язано В. В. Сторожевим [239]. Завдання розв'язано за двома основними критеріями: «мінімум сумарних витрат з перевезення заданої кількості вантажу» і «мінімум часу перевезення цього вантажу». Далі сформульовано в термінах геометричного програмування задачу оптимізації основних техніко-експлуатаційних параметрів транспортних засобів: експлуатаційної швидкості й чистої вантажопідйомності, задіяних в n -ланцюговій мультимодальній системі. Зазначимо, що автор [239] у можливих проектах створення і розвитку мультимодальних систем не розглядає включення в дані системи авіаційного транспорту.

Приклад оцінювання ефективності змішаних авіаційно-морських перевезень, які почали впроваджувати у 1960–1970-х рр., можна знайти в

роботах [38, 58]. Найбільш економічним, згідно з [38], є використання незавантажених авіаційних напрямків із перевантаженням вантажів у проміжних аеропортах із стандартних двадцяти- і сорокафутових контейнерів, що доставляються морем, у авіаційні. Прикладами таких транспортних схем є перевезення побутової електротехніки, офісної техніки, запчастин та іншого за напрямком: Японія–Ванкувер (море); Ванкувер–Монреаль (залізниця); Монреаль–аеропорти Європи (авіаційний транспорт). Інший приклад: Гонконг–Дубаї (Шарджа) – морем, а потім в аеропорти Європи (авіаційний транспорт).

Отже, більшість наукових робіт [15, 42, 64, 95, 97-100, 110, 148, 193, 213, 246, 257, 259] присвячені вивченню проблем окремих видів транспорту. Якщо ж розглядається проблема взаємодії видів транспорту, то здебільшого це взаємодія двох видів транспорту, наприклад, морського та залізничного [54, 81, 158], залізничного та автомобільного [77], авіаційного і морського [38], авіаційного та автомобільного або залізничного [58].

Незважаючи на те, що багато вчених вказують на універсальність введених ними понять, методів чи методик у галузі ТС, глибоке їх вивчення доводить необхідність уточнення чи доповнення для практичного застосування в рамках конкретної ТС. Це можна пояснити по-перше, великою кількістю досі не розв’язаних специфічних завдань та проблем окремих видів транспорту, які потребують обов’язкового врахування особливостей техніки та технологій в умовах швидких темпів інформатизації суспільства; по-друге, великим обсягом завдання формалізації підсистем ТС, які, в свою чергу, є складними системами, що погано формалізуються.

Зазначимо, що проаналізовані вище дослідження є міждисциплінарними, вони мають тісний зв’язок як з технічними, так і з природничими та економічними науковими задачами. Деякі роботи, які б можна було віднести до робіт у галузі ТС, наприклад [1, 19, 35, 68], були захищені з економічних та географічних галузей наук.

Підсумовуючи зазначимо: на формування понятійного апарату ТТС значний вплив мала інтеграція декількох наукових напрямів (рис. 1.1). Основні

компоненти ТС тісно пов'язані з економічною, політичною, регіональною, історичною географією, логістикою та економікою, а також з техніко-технологічним розвитком видів транспорту. Поняття, які використовуються в системному аналізі, регіональному плануванні, інформаційних системах, дослідженні операцій в ТТС, є вже засобами і методами аналізу перевезень.



Рисунок 1.1 – Міждисциплінарність галузі науки «транспортні системи»

У підсумку отримуємо, що концепції функціонування і розвитку ТС формувалися на перетині кількох наукових теорій, які були розроблені за межами даної проблематики і адаптовані для вирішення проблем і завдань ТС.

Враховуючи проведений аналіз вищезазначених робіт, пропонуємо дещо узагальнити трактування поняття *ТС* для можливості подальшого обґрунтування визначення *авіаційна транспортна система* (скорочено: *авіатранспортна система*).

Концептуально багато вчених розглядають ТС (TS) як множину зв'язків R між транспортними вузлами N , мережами A та попитом D , яка визначається місцями розміщення (формування) попиту в просторі L , потоками між ними F та відповідною інфраструктурою для обслуговування пасажирів та обробки вантажу I (рис. 1.2):

$$TS \equiv \{D, N, A, R(L, F, I)\}. \quad (1.1)$$

У формалізованому записі (1.1) визначення ТС мається на увазі, що дана система не є простою сукупністю елементів та зв'язків, а включає тільки ті елементи та зв'язки, які знаходяться в сфері перетину між собою.

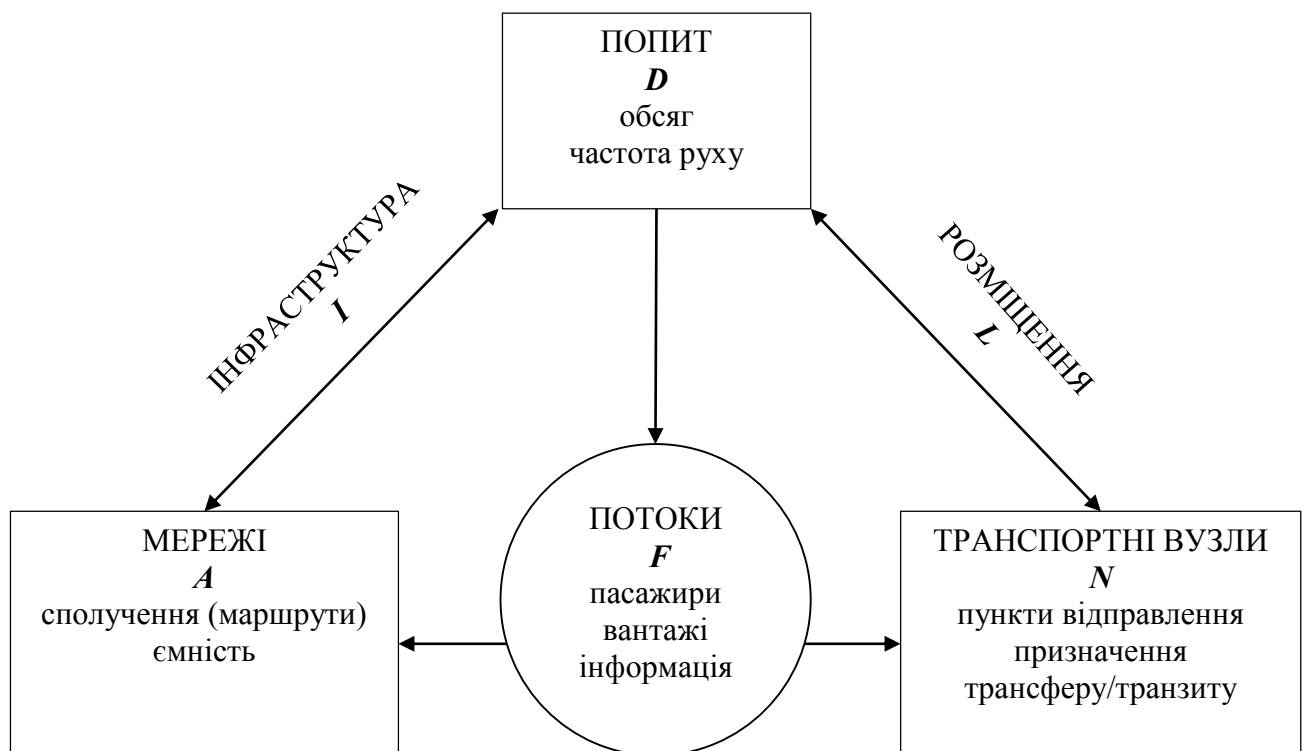


Рисунок 1.2 – Елементи транспортної системи

Розглядаючи ТС як об'єкт дослідження чи проектування, скористаємося визначенням *системи*, наведеним у [243, с. 629], в якому система

характеризується як сукупність компонентів, принципово необхідних для її існування та функціонування:

$$TS \equiv \langle \{Cond\}, \{Z\}, \{Str\}, \{Tech\} \rangle, \quad (1.2)$$

де $\{Cond\}$ – умови, фактори, які впливають на створення, функціонування та розвиток ТС;

$\{Z\}$ – сукупність цілей створення, функціонування та розвитку ТС;

$\{Str\}$ – сукупність структур (організаційних, виробничих, топологічних і т.д.), які реалізують дані цілі;

$\{Tech\}$ – сукупність технологій, які сприяють реалізації цілей ТС.

Вчені [1, 8, 10, 15, 16, 17, 19, 20, 27, 30, 35, 37, 42, 44, 51, 54, 56, 58, 63, 64, 68, 76, 77, 81, 86, 90, 91, 94, 95-100, 105, 107, 109-111, 147, 148, 157-159, 169, 170, 175, 176, 179, 186, 193, 194, 201, 202, 208, 212, 213, 216, 217, 232, 237, 239, 246, 250, 257, 259, 260, 268, 271, 342, 350, 351, 385, 386, 410] обґрунтовують необхідність постійного вивчення та удосконалювання усіх компонентів ТС з метою полегшення перевезень пасажирів та вантажів і обміну відповідної інформації. А отже, визначаємо, що емерджентною властивістю ТС є *ефективне переміщення вантажів та пасажирів*.

В роботах, присвячених методам оцінювання ефективності функціонування ТС [50, 154], основним показником ефективності називають *інтегральну транспортну доступність*, яка вимірюється в середньозважених витратах часу, необхідних для того, щоб дістатися з будь-якого населеного пункту до будь-якого іншого в межах певної території. Показник розраховується окремо для вантажних та пасажирських перевезень і характеризує потенційні можливості даного місця (населеного пункту, адміністративного району, регіону в цілому) для здійснення різноманітних транспортних зв'язків, оцінює технічну надійність мережі комунікацій. Тобто транспортна доступність розглядається як специфічний територіальний ресурс, одна з найважливіших умов розвитку економіки на даній території. Показник інтегральної транспортної доступності

оцінює позиційно-технічну надійність зв'язків у регіоні і є характеристикою транспортно-географічного положення населених місць. Доступність є синтетичною характеристикою територіальної організації транспорту. Не випадково вона широко застосовується у формуванні принципів транспортної політики [103], при оцінюванні якості життя.

Закономірності функціонування і розвитку транспортних систем

Багато дослідників, наприклад [100, с. 286; 193, с. 83–87; 110, с.29; 297], сходяться на думці, що розробка стратегій розвитку як окремих підсистем, так і ТС у цілому повинні бути засновані на розумінні закономірностей та принципів їх функціонування і розвитку, які відображаються в закономірностях систем. У теорії систем виділяють досить багато закономірностей. Коротко розглянемо найістотніші закономірності з точки зору функціонування та розвитку ТС, приклади доведення яких наведено у Додатку Б:

1. Закономірність цілісності (емерджентності). Дана закономірність пов'язана з ціллю, для виконання якої створюється система. В теорії систем закладено три складові цілісності [243]:

1.1. Властивості системи (цілого) Q_s не є простою сумою властивостей елементів (компонентів, підсистем) q_ε , які становлять дану систему:

$$Q_s \neq \sum_{\varepsilon=1}^E q_\varepsilon . \quad (1.3)$$

1.2. Властивості системи залежать від властивостей її елементів:

$$Q_s = f(q_\varepsilon) . \quad (1.4)$$

Всі роботи в галузі ТС розглядають залежності властивостей ТС від властивостей елементів (підсистем) даної системи. Дослідження, як правило, передбачає формалізацію даних залежностей з метою визначення шляхів удосконалення ТС через вплив на властивості елементів.

1.3. Об'єднані в систему елементи, як правило, втрачають частину своїх властивостей, але, з іншого боку, елементи, потрапивши в систему, можуть набути нових властивостей.

2. Закономірності формулювання цілей. Основними закономірностями формулювання цілей системи є [81]:

2.1. Залежність уявлення про ціль і формулювання цілі від стадії пізнання об'єкта (процесу) і від часу.

2.2. Залежність цілі від зовнішніх і внутрішніх факторів.

2.3. Можливість і необхідність зведення завдання формулювання загальної (глобальної) цілі до завдання її структуризації.

3. Закономірність історичності – положення про наявність «життєвого циклу» будь-якої системи.

4. Закономірність комунікативності – складна єдність системи із середовищем. Дана закономірність є основою ознаки структуризації, згідно з якою середовище – це складне й неоднорідне утворення, яке містить надсистему (систему вищого порядку, яка задає вимоги та обмеження системі, яка досліджується), підсистеми (системи нижчого порядку), системи одного рівня з тією, що досліджується, та власне саму систему. Досліджувана система формує внутрішнє середовище, яке ініціює власні потреби.

5. Закономірність потенційної ефективності. Ця закономірність теорії систем пояснює можливість функціонування системи, говорить про необхідність пошуку кількісних виражень граничних законів надійності, керованості та інших якостей системи, які, в свою чергу, допомагають отримати кількісні оцінки «здійсненості» системи, граничні показники потенційної ефективності.

Принципи і закономірності формування попиту в транспортних системах

Практично в усіх роботах, присвячених дослідженню ТС, значну увагу приділено питанню формування попиту, встановленню та вивченню закономірностей впливу на обсяги перевезень різних факторів. Так, у джерелах [110, 177, 193, 360, 385] знаходимо теоретичні викладки щодо методів прогнозування та формалізовані залежності (економетричні моделі) для

прогнозування попиту у конкретних ТС. Наприклад, на думку М. Б. Петрова [193, с. 191], основою визначення (прогнозування) попиту на вантажні перевезення в регіоні є показник регіонального ВВП. Крім того, він відзначає, що обсяг послуг магістрального транспорту регіону обмежується виробничими можливостями регіональної ТС. Тому попит на вантажі перевезення також залежить від потоку інвестицій у розвиток даної системи.

Загалом, можна зробити висновок, що в ТТС встановлено залежність попиту на перевезення від таких основних факторів:

- соціально-економічний розвиток: кількість населення (жителів, працюючих, туристів); вікова структура; життєвий цикл; спосіб життя; переваги; рівень зайнятості; кількість робочих місць; доходи; бізнес-діяльність; рух товаропотоків; туристська діяльність;
- ціни та податки на послуги: ціни на паливе і податки на транспортні підприємства; податки і збори на транспортні засоби; дорожні збори; плата за паркування; страхування транспортного засобу; тарифи на транспортні послуги;
- розвиток інфраструктури транспорту: якість доріг та транспортних вузлів; транзитні можливості; організація інформаційного потоку; можливість і засоби взаємодії видів транспорту.

Загальний вид функціонального взаємозв'язку, використовуваний при складанні економетричних прогнозів обсягів перевезень, розробляється вченими за допомогою міркувань і експериментів, а адекватність взаємозв'язків встановлюється лише емпірично, за допомогою звіряння з фактичними даними за минулі роки. Нижче наведено приклад загального формалізованого запису моделей, які використовувалися для прогнозування попиту в ТС в роботах [66, 78, 106, 110, 177, 193, 278, 315, 317, 337, 369, 386, 398]. У кожному з випадків $Pax \vee PaxFlow$ – обсяг перевезень, або пасажиропотік, X_1 та X_2 – незалежні змінні, a , b і c – постійні статистичні коефіцієнти (звичайно ж, може бути більше ніж дві незалежні змінні, а може бути й тільки одна):

1) лінійна

$$Pax \vee PaxFlow = a + bX_1 + cX_2; \quad (1.5)$$

2) мультиплікативна (або подвійна логарифмічна)

$$Pax \vee PaxFlow = aX_1^b X_2^c; \quad (1.6)$$

3) лінійно-логарифмічна

$$10^{Pax \vee PaxFlow} = aX_1^b X_2^c. \quad (1.7)$$

Закони розподілу часу надходження замовлень на обслуговування в ТС

Для розв'язання багатьох завдань оптимізації функціонування ТС та їх підсистем необхідним є знання імовірнісного розподілу часу між надходженням замовлень на обслуговування в системі (підсистемі). У базових моделях теорії масового обслуговування (ТМО) часто використовується експоненціальний розподіл. Можливість використання припущення щодо експоненціального розподілу часу надходження замовлень на обслуговування в ТС (прибуття морських суден у порт, вагонів на відповідні станції чи пасажирів в аеропорт) доведено в багатьох наукових роботах. Так, у [232] було вивчено статистичні дані щодо потоків суден з імпор্তними вантажами й лісовозів, що прибувають у порт, та потоків вагонів з лісовими вантажами і вагонів з експортними вантажами, що надходять у порт залізницею, вагонів з імпор্তними вантажами, що відправляються з порту. Побудовані гістограми розподілу проміжків часу надходження зазначених вище потоків дали змогу підтвердити гіпотезу про його відповідність експоненційному закону.

В. І. Шевченко у [261] зазначає, що вхідні й вихідні потоки контейнерів та час їх перебування на терміналі станції Харків–Ліски на Південній залізниці є пуасонівськими і підпорядковуються розподілу згідно з експоненційним законом.

У [212, Додаток Н] Г. С. Прокудін зазначає, що «практика дослідження систем масового обслуговування показує, що в багатьох випадках прийнятною видається апроксимація функції розподілу інтервалів між моментами

надходження замовлень до системи експонентною функцією... У цьому випадку вимоги на вході створюють так званий пуасонівський потік...». Далі, для того, щоб розв'язати проблему статистичного спостереження за реальною ТС автор пропонує використовувати схему алгоритму, яка імітує логіку роботи каналу обслуговування і водночас здійснює накопичення статистичних даних.

Принципи визначення пропускної спроможності елементів ТС

Спираючись на висновки дослідження [246, с.35], виділимо такі уявлення про визначення пропускної спроможності елементів ТС (транспортні вузли, мережі, засоби):

- величина пропускної спроможності елементу ТС обернено пропорційна часу його зайнятості;
- завдання з розрахунку оптимальної пропускної спроможності заданого транспортного об'єкту слід розв'язувати при одночасному розгляді всього комплексу транспортних об'єктів;
- пропускна спроможність елементів ТС є ймовірнісною характеристикою, оскільки параметри транспортного потоку і час його обробки носять випадковий характер;
- у стохастичних умовах величина пропускної спроможності одних елементів обумовлюється пропускною спроможністю та ємністю інших елементів ТС;
- використання пропускної спроможності може бути покращене за рахунок управління технологією перевізного процесу.

Найбільш прийнятним методом аналізу та оптимізації пропускної спроможності є метод «синтезу моделей», ідея якого полягає у застосуванні комплексу імітаційних та однієї чи декількох оптимізаційних моделей. Причому для отримання адекватних результатів розв'язання завдань пропускної спроможності елементів ТС загальні моделі необхідно конкретизувати з метою відображення специфіки видів транспорту.

1.2 Огляд наукових положень з проблем ефективного функціонування авіатранспортних систем

1.2.1 Складові авіаційної транспортної системи

Аналіз показав, що наукових досліджень, присвячених питанням розвитку і функціонування авіатранспортної системи значно менше, ніж по аналогічним проблемам у інших видах транспорту, немає також усталеної загальноприйнятої термінології. В досліджених роботах [17, 58, 69, 82, 86, 109, 147, 192, 202, 250, 257] понятійний апарат та пропоновані методи забезпечення ефективного функціонування АТС також базуються на теорії систем та системному аналізі із застосуванням економіко-математичного моделювання. Але об'єкти та предмети досліджень є принципово різними, тому що різним є трактування самого поняття *авіатранспортна система*. Так, у роботі [250] дано таке визначення: «Авіаційно-транспортна система – це множина компонентів: повітряне судно, екіпаж, служба підготовки та забезпечення польоту, служба управління повітряним рухом, а також фактори, які впливають на неї, такі як погодні, правові, психологічні та ін.». Виходячи з такого тлумачення, об'єктом дослідження є процеси входу в зону відповідальності аеропорту і посадки ПС в авіаційно-транспортних системах, а предметом – моделі, методи та алгоритми для підвищення безпеки авіаційно-транспортних систем на етапах посадки і входу ПС в зону відповідальності для тренажерів.

У технічній енциклопедії [264] АТС включає літак (вертоліт), екіпаж, службу підготовки та забезпечення польоту, служби управління повітряним рухом (УПР). При цьому безпека польотів визначається спроможністю АТС здійснювати авіаційні перевезення без загрози для життя і здоров'я людей. У патенті [2] до АТС входять повітряно-космічний літак із системою управління і носій, що включає крило, фюзеляж з паливним баком, повітряно-реактивні двигуни і систему управління. Фюзеляж носія розміщений у вантажному відсіку повітряно-космічного літака, система управління носія з'єднана з системою

управління повітряно-космічним літаком, а вісь повітряно-реактивних двигунів проходить через центр ваги АТС.

В дослідженні [90, с. 31] вжито поняття *система повітряного транспорту*, а як елементи розглядаються аеропорти та авіакомпанії. Для вивчення функціонування та створення нових ефективних транспортних систем автор наукової роботи [90] пропонує тензорну методологію, яку застосовує для оптимізації мережі авіамаршрутів заданої авіакомпанії Росії.

В. П. Маслаков [147, с. 32] розглядає *систему повітряного транспорту Російської Федерації* як елемент системи світового повітряного транспорту, який є, в свою чергу, складною, широко розгалуженою системою, що складається з підприємств-авіаперевізників, підприємств, що виконують різні види авіаційних робіт, забезпечують інфраструктуру, а також керуючих, контролюючих і навчальних державних закладів. У цьому ж дослідженні знаходимо визначення *організаційно-технічної системи повітряних перевезень* як складної системи, що складається з множини елементів, які обслуговують різні потоки, а саме: системи продажу перевезень, що приймають заявки від пасажирів (авіакаси, агенції), аеропорти зі службами та підприємствами інфраструктури, що забезпечують підготовку літаків і пасажирів, вантажів, багажу до виконання авіарейсів, парк ПС і служби авіакомпаній.

В монографії [208] наведено таке визначення АТС цивільної авіації (ЦА) Росії: «Це єдність частин організації пересування по повітрю повітряними суднами людей і вантажів, які закономірно розташовані і перебувають у взаємозв'язку». Крім того у роботі [208] зазначається, що основною метою діяльності АТС є забезпечення потреб громадян і економіки у сфері надання послуг із здійснення авіаційних перевезень і виконання авіаційних робіт. Структура АТС Росії, з точки зору автора [208], включає ПС, науково-дослідні організації, аеропорти, авіакомпанії, підприємства з організації повітряного руху, персонал, навчальні заклади, центри підготовки персоналу. Незважаючи на те, що кожен елемент системи відносно самостійний, виконує тільки йому

притаманні, специфічні функції, всі елементи взаємодіють як між собою, так і з іншими системами.

Є. М. Зайцев [58] пропонує досліджувати структуру АТС, яка складається з таких підсистем:

- перевезення пасажирів, вантажів, пошти, військ, спеціалістів з надзвичайних ситуацій і т.д. Елементами підсистеми є транспортний вузол, рух комунікаціями, перевезення повітряною трасою, УПР, рух комунікаціями аеропорту;
- підготовки до перевезення учасників процесу з елементами підготовки транспортного вузла, транспортної компанії, комунікацій аеропорту, системи УПР до прийняття ПС;
- підтримки готовності (життєздатності) ТС (ресурсозабезпечення) з елементами підтримки транспортного вузла і транспортної компанії, комунікацій аеропорту, комунікацій і системи УПР.

М. Janić [351] розглядає АТС як таку, що включає аеропорти, авіакомпанії та УПР. Далі автор ділить АТС на два основні компоненти: *фізичний* (попит та пропозиція) та *нефізичний* (множина виробничих правил та процедур регулювання фізичних компонентів з метою забезпечення безпеки та ефективності транспорту). Попит, у свою чергу, автор поділяє на три загальні категорії: попит пасажирів та вантажної клієнтури на авіаперевезення, попит авіакомпаній на ПС, а також попит, який утворюється всередині АТС для забезпечення перевізного процесу (попит на кейтерінг, послуги експедиторів, інформаційні технології і т. і.). Під пропозицією в АТС Milan Janić розуміє: канали продажу, наземну систему для доступу до аеропорту, аеропорт, ПС, систему УПР, засоби та обладнання для забезпечення інформаційного потоку. Відповідно до вищезазначеного визначення АТС, у роботі [351] пропонується набір математичних моделей для оцінювання та моделювання ємності та якості функціонування окремо кожного компонента системи.

Приблизно таке саме бачення АТС знаходимо в роботі ще одного закордонного науковця Mike Hirst [342], який описує умови та закони

функціонування елементів АТС, а саме: авіакомпаній, аеропортів, повітряного простору, ПС. Причому автор охоплює як економіко-правові так і техніко-технологічні питання розвитку, але, знов-таки, кожного з елементів АТС окремо.

На погляд автора дисертації, останні два визначення АТС більше відповідають узагальненому визначенню *транспортні системи*, яке було розглянуто вище. У даній роботі пропонується досліджувати ***авіатранспортну систему як складну цілеспрямовану систему, що складається з аеропортів, авіакомпаній та підсистеми організації повітряного руху, які пов'язані відношеннями попиту на авіаційні перевезення, ресурсами, техніко-технологічними обмеженнями, економіко-організаційними та правовими вимогами, безпекою та екологією*** (рис.1.3).

Формально визначення АТС (ATS_{def}) в неявному вигляді можна записати таким чином:

$$ATS_{def} \equiv \langle (Airports, Airlines, ATM), (D, R, TT, EM, LR, AS, EB) \rangle, \quad (1.8)$$

де *Airports* – аеропорти – комплекс споруд, призначених для приймання, відправлення ПС та обслуговування авіаційних перевезень;

Airlines – авіакомпанії;

ATM – підсистема організації повітряного руху (ОрПР) – комплекс бортових та наземних функцій (обслуговування повітряного руху, організація повітряного простору та організація потоку повітряного руху), необхідних для забезпечення безпечного і ефективного руху ПС на всіх етапах польоту [233];

D – попит на авіаційні перевезення;

R – ресурси;

TT – техніко-технологічні обмеження;

EM – економіко-організаційні вимоги;

LR – правові вимоги;

AS – безпека;

EB – екологія.

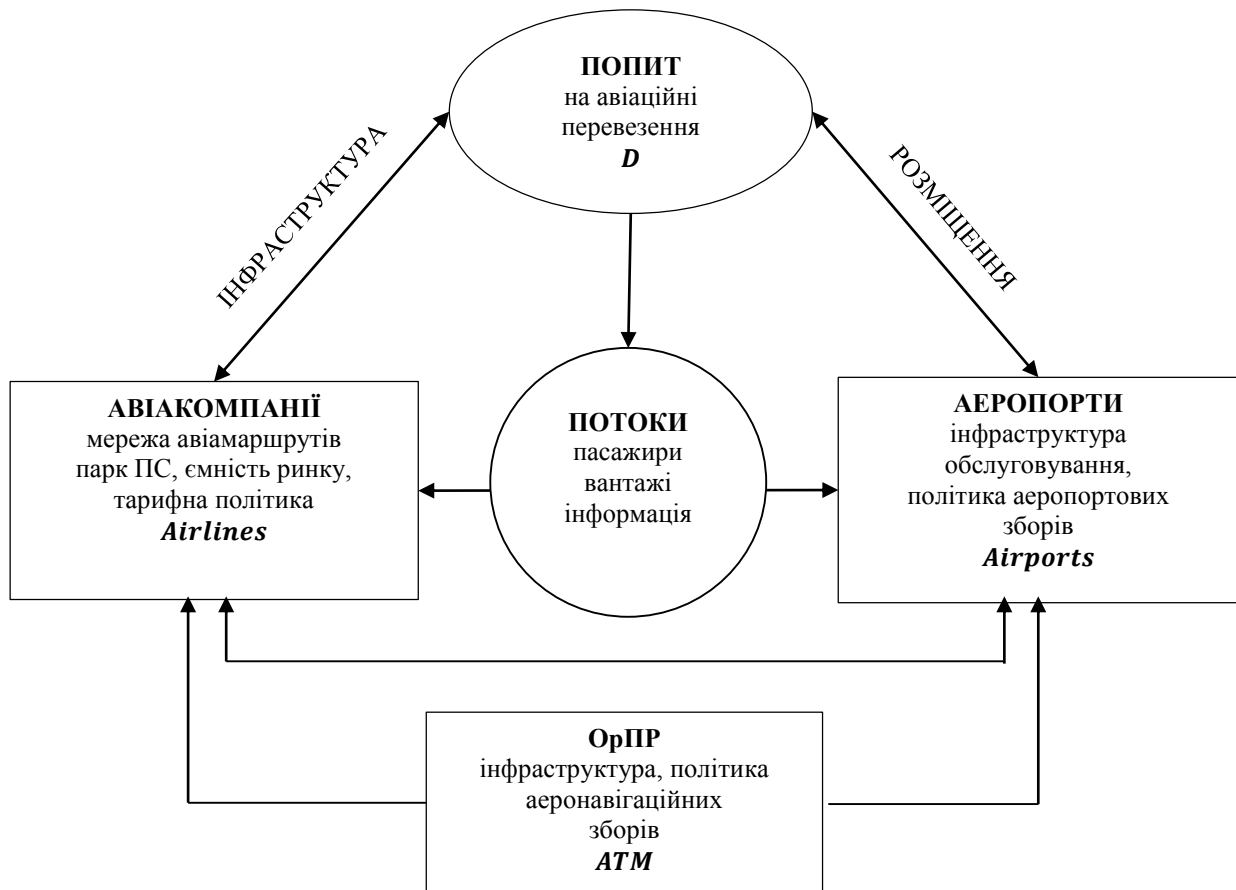


Рисунок 1.3 – Елементи АТС

Зазначимо, що відповідно до ст. 96 Конвенції [85] *авіакомпанією* є «будь-яке підприємство повітряного транспорту, яке пропонує або експлуатує міжнародну повітряну лінію». При цьому під *міжнародною повітряною лінією* мається на увазі «повітряна лінія, яка проходить через повітряний простір над територією більш ніж однієї держави». Більш загальним є визначення *експлуатант* та *льотно-експлуатаційне агентство* – «особа, організація або підприємство, що займається експлуатацією повітряних суден або пропонує свої послуги в цій галузі» [233]. Далі досліджувати елемент *авіакомпанія* будемо виходячи саме із загального його визначення. Відмітимо, що в даній роботі буде використовуватися замість поняття *повітряна лінія* термін *авіамаршрут*, виходячи з міжнародної практики застосування авіаційних визначень [233, 342, 351].

Емерджентну властивість АТС визначимо як ефективне задоволення попиту суспільства на авіаційні перевезення, роботи та послуги. Для процесу дослідження АТС будемо використовувати формалізований запис (1.2) з урахуванням особливостей організації та технології авіаційних перевезень.

1.2.2 Вирішені завдання аналізу і синтезу ефективного функціонування авіатранспортних систем

Функціонування будь-якої системи – це певний процес, який полягає у виконанні взаємопов'язаних робіт і дій (операцій), об'єднаних загальним задумом і єдиною метою. Оскільки підсистеми АТС мають різноманітні цілі, які відрізняються за своєю природою, складністю і часом появи, то діяльність будь-якої підсистеми можна подати як множину операцій, що мають одну або кілька цілей. Функціонування АТС у цілому також можна розглядати як операцію, яка має певну глобальну мету, що складається з ієрархії окремих цілей і завдань її підсистем. Для оцінки ефективності функціонування АТС можна скористатися положеннями теорії ефективності [242]. Ця теорія має добре розвинений понятійний апарат і методологію, яка успішно використовується в різних галузях практичної діяльності. Хоча однозначного тлумачення поняття «ефективність системи» та способів її оцінювання немає, на сьогодні склалося стійке уявлення про те, що ефективність системи – це в загальному випадку сукупність властивостей, які характеризують якість функціонування системи через відповідність між необхідним та досягнутим результатами.

Зазначимо, що у теорії ефективності враховують три групи показників ефективності процесу, що характеризують: ступінь досягнення мети (цільові ефекти); витрати ресурсів (ресурсоємність процесу); витрати часу (оперативність процесу). Крім того, в теорії ефективності розрізняють завдання аналізу і синтезу ефективності процесу. Завданнями аналізу ефективності процесу є:

- оцінювання ефективності процесу за вибраним критерієм;
- аналіз чутливості показників до зміни параметрів;

- дослідження спрямованості й ступеня впливу параметрів на показники ефективності;
- вибір параметрів, які найістотніше впливають на показники ефективності процесу.

У завданні синтезу формулюється мета процесу із зазначенням показників і критеріїв оцінювання її досягнення, а потім розроблюються вимоги до параметрів системи, організації і управління процесом за певних умов їх застосування. До завдань синтезу в теорії ефективності можна віднести:

- визначення закону зміни структури системи залежно від умов її застосування;
- визначення закону управління системою через її параметри;
- вибір виду витраченого ресурсу та створення системи забезпечення, зберігання і поповнення;
- розробка вимог до параметрів і показників якості системи залежно від умов їх застосування.

Сучасні дослідження з питань ефективного функціонування АТС у визначені (1.8) можна класифікувати за предметом дослідження таким чином:

- методи та моделі прогнозування розвитку АТС у цілому чи її окремих підсистем та елементів;
- технології та моделювання процесів обслуговування пасажирів та обробки вантажів у підсистемах АТС;
- методи та моделі оптимізації економічних, технічних та технологічних параметрів підсистем АТС;
- методологія та методи аналізу розвитку мереж АТС.

Нижче наведемо короткий огляд розроблених наукових положень за визначеними напрямками досліджень.

Методи та моделі прогнозування розвитку АТС у цілому чи її окремих підсистем та елементів. Прогнозування поведінки системи дає змогу відповісти на запитання: які основні фактори визначають розвиток, і як зміняться параметри даної системи в майбутньому.

Загальний огляд методів прогнозування попиту на авіаційному ринку можна знайти в циркулярі американської науково-дослідної ради з перевезень [398], де коротко описані методи, які використовуються FAA (Федеральним управлінням цивільної авіації, США), ICAO, Boeing та інших організацій. Більшість наведених у циркулярі [398] методів є кількісними, деякі потребують ретельного комп'ютерного моделювання.

Значний внесок в акумуляцію методів прогнозування авіаційних перевезень та досвіду їх застосування роблять міжнародні авіаційні організації – ICAO та IATA. В документі ICAO [347] визначено методологію прогнозування, описано конкретні моделі для деяких країн світу та модель ICAO для розробки глобального прогнозу авіаперевезень. Зокрема, пропонується така класифікація методів прогнозування: кількісні (аналіз часових рядів, методи визначення причинно-наслідкового зв'язку), якісні (метод Дельфи, технологічне прогнозування) та методи теорії прийняття рішень. Також зазначимо, що ICAO пропонує вибирати методи прогнозування в залежності від таких часових горизонтів: короткострокові – до 1 року, середньострокові – від 1 до 5 років, та довгострокові – більше ніж 5 років. Необхідність розподілу процесу прогнозування на такі самі три часові горизонти знаходимо і в роботі [106]. І. Г. Лобов доходить висновку, що є некоректним застосування методів оперативного планування авіаперевезень, які, до речі, добре описані в радянських наукових роботах, наприклад, [78], в розробках стратегічних прогнозів.

Як зазначено в керівництві з прогнозування Міжнародної ради аеропортів (ACI) [278], для кожного регіону світу є різними рейтинги визначальних факторів розвитку авіаперевезень (туризм, наявність хабу, базового перевізника чи LCC та інші), але стан економіки є найважливішим фактором у всіх регіонах. Тому загальним в методології середньострокового та довгострокового прогнозування є обов'язкове врахування залежності обсягу авіаперевезень від стану економіки. Дана залежність вивчається шляхом введення в модель незалежних змінних, які виражають різні показники економічного розвитку

країни та регіонів, до яких є чи плануються авіасполучення. Так, у роботі [317] довгостроковий прогноз обсягу пасажирських авіаційних перевезень у Великобританії до 2050 р. базується на економетричних моделях, які враховують обсяги перевезень за ретроспективний період, можливі обмеження пропускнуої спроможності аеропортів країни та динаміку економічного зростання.

Проблема довгострокового прогнозування авіаперевезень полягає у високому ступені невизначеності розвитку як підсистем АТС, так і соціально-економічного середовища. Аналіз точності довгострокових прогнозів ІКАО, проведений у [66], доводить адекватність застосування економетричних моделей попиту, в яких для пасажирських перевезень як основні пояснюючі змінні враховуються ВВП і питома прибутковість авіаперевезень, а для вантажних – експорт і так само питома прибутковість.

Серед основних організацій, що розробляють глобальні й регіональні довгострокові прогнози розвитку ринку авіаційних перевезень можна також виділити Airbus Industries [337], Boeing Commercial Airplanes [315], Rolls Royce [369]. Методології прогнозування розвитку підсистем АТС в зазначених організаціях базуються переважно на кількісних методах з урахуванням прогнозу соціально-економічного розвитку країн та регіонів, етапів лібералізації ринку авіаперевезень, наявних та очікуваних провізних ємностей авіакомпаній.

В оперативному, коротко- і середньостроковому видах прогнозування кількісні моделі прогнозування також дістали досить високий ступінь довіри. Про це свідчить активне впровадження на авіапідприємствах інформаційних технологій щодо прийняття рішень, які базуються на згенерованих підпрограмами прогнозування даних (наприклад, програми Yield Management [120]). Поточне прогнозування обсягів авіаперевезень передбачає ретельне дослідження експлуатованих авіамаршрутів. Цей аналіз ставить за мету всебічне вивчення ринків, на яких присутня конкретна авіакомпанія. Аналізуються всі відповідні показники: кількість пасажирів, рівні тарифів, додаткові послуги та можливості, які перевізники можуть запропонувати пасажирові, фінансові результати виконання рейсів. Якщо середньострокові й довгострокові прогнози

авіаперевезень по країні в цілому можна побудувати, використовуючи моделі (1.5)–(1.7), то для поточного прогнозування необхідно розробляти спеціальні методики, адже на завантаження авіарейсу впливає чимало факторів. Загальною ідеєю досліджень [26, 84, 253, 358, 404] є пошук відповіді на запитання: коли відкривати, а коли закривати продаж дешевих класів бронювання, тобто які обсяги ємності по класах бронювання будуть оптимальними. Як зазначають автори даних робіт, прийняття рішення у даному випадку спирається на результати поточного прогнозування завантаження кожного окремого рейсу в конкретний день. І, незважаючи на великий перелік наукової літератури, присвяченої питанням статистичного вивчення і прогнозування соціально-економічних явищ і процесів, у даний час відчувається брак робіт з викладенням питань з поточного прогнозування авіаційних перевезень, багато сучасних інструментів поточного прогнозування все ще недостатньо вивчені й мало застосовуються.

Технології процесів обслуговування пасажирів та обробки вантажів у підсистемах АТС. Завданням науки в сфері технологічних процесів обслуговування є виявлення закономірностей функціонування з метою визначення й використання на практиці найбільш ефективних і економічних процесів, що потребують найменших витрат часу й матеріальних ресурсів. У результаті здійснення технологічних процесів обслуговування пасажирів, їхнього багажу, обробки вантажів та пошти формується продукт – «авіаперевезення» або «авіапослуга». Підвищення ефективності технологічних процесів – важлива умова розвитку авіаційних перевезень, яка гарантує конкурентоспроможність АТС країни чи регіону. Найважливіші показники, що характеризують техніко-економічну ефективність технологічного процесу, це питомі витрати ресурсів, зокрема й енергії на одиницю авіаперевезення (на одного пасажирів чи на один кілограм вантажу); обсяги і якість надаваних авіаперевезень; рівень продуктивності праці; інтенсивність процесу; витрати на виконання технологічного процесу; собівартість технологічних операцій.

Технологія авіап перевезень постійно оновлюється й змінюється в міру розвитку техніки і інформаційних технологій (ІТ). Сьогодні є великий вибір техніки для механізації і автоматизації технологічних процесів в аеропортах. Тому при прийнятті рішень, щодо шляхів підвищення ефективності обслуговування авіапасажирів та обробки багажу, вантажів та пошти (БВП) важливим є наявність добре структурованої класифікації даних засобів. Приклади ґрунтовної класифікації засобів механізації та автоматизації, їх структурований опис, розв'язання завдань оптимального оснащення аеропортів можна знайти в наукових роботах Л. В. Горецького, Н. Ашфорда, В. І. Блохіна, В. Є. Канарчука та ін. [33, 71, 72, 224]. Але згадані роботи були виконані здебільшого в 1970–1990-х роках, тому не дають повної інформації для вивчення властивостей, факторів і ефективності технології обслуговування авіапасажирів та визначення ступеню вирішення проблеми автоматизації та інформатизації процесів обслуговування на авіапідприємствах.

Опис методів організації і технології обслуговування пасажирів, які відлітають з аеропортів, можна знайти в багатьох наукових роботах. Вже у 1976р. в роботі [224] розроблено класифікацію методів організації виконання технологічних операцій (порейсовий і вільний) з обслуговування пасажирів та виконано опис процесів автоматизації робіт з реєстрації пасажирів та оформлення багажу.

Останнє глобальне дослідження SITA – однієї з провідних компаній з інформаційних технологій в авіації – показало: аеропорти постійно інвестують в ІТ-технології, навіть під час кризи, демонструючи готовність до збільшення кількості пасажирів [67]. Аеропорти світу реалізують масштабні програми з підвищення якості обслуговування всіх категорій пасажирів і авіакомпаній, а також комплекс заходів з забезпечення безпеки польотів. Так, активно впроваджується програма IATA «Спрощення бізнесу» («Simplifying the Business» або «St») [152], яка була запущена в 2004 р. Програма «Швидка подорож» («Fast Travel»), як елемент програми «St», наділяє пасажирів здатністю контролювати свою поїздку за рахунок функцій самообслуговування

в чотирьох аспектах: реєстрація багажу, сканування документів, самостійний прохід на посадку й самостійна рекламація загубленого багажу. Основним стимулом для інвестицій в ІТ, згідно [152], є скорочення витрат на бізнес-операції, а також підвищення якості обслуговування клієнтів.

Протягом останніх кількох років електронна комерція, онлайн-реєстрація та кіоски самообслуговування змінили подорожі. Сьогодні ці технології забезпечують гнучкість для пасажирів, знижуючи завантаженість аеропорту. Нові тенденції в подорожі – це впровадження мобільних пристроїв пасажирів і соціальна медіареволюція. Проведене у великих міжнародних аеропортах ключових регіонів світу опитування щодо самообслуговування [273] ілюструє думку пасажирів про технології, що використовуються протягом усієї поїздки. Висновком опитування є те, що технологія самообслуговування має тенденцію позитивного зростання. Перед пасажирами відкриваються нові можливості самообслуговування для багажу, харчування та трансферу. Авіакомпанії активно впроваджують технології самореєстрації. Наприклад, пасажир, який зареєструвався на рейс авіакомпанії SWISS на сайті *swiss.com*, можуть замовити доставку посадкового талона у формі SMS або повідомлення електронною поштою на мобільний, який має доступ в Інтернет [306]. Штрих-код у форматі 2D містить усю необхідну інформацію про політ. «Мобільний посадковий талон» дійсний на стійках реєстрації для здачі багажу (drop-off baggage).

Дослідження сучасних технологій реєстрації пасажирів проведено також у [321, 390]. У цих роботах технологія самореєстрації (self-service technology (SST)) визначається як об'єкт, який дає змогу клієнтам взаємодіяти з програмним забезпеченням самообслуговування. Такі кіоски можуть бути розміщені в різних місцях; вони зазвичай включають комп'ютер, який завантажується програмним забезпеченням. Дослідження [390] сфокусовано на відгуках агентів і пасажирів Egypt Air щодо використання SST. Результати опитування підтвердили, що пасажир позитивно реагує на процеси самостійного проходження аеропортових формальностей і, як правило, розуміють процес. Однак прийняття

цієї відносно нової технології співробітниками Egypt Air не є однозначно позитивним, що стримує розвиток самореєстрації.

Критерії оцінювання рівня механізації і автоматизації праці основних процесів технологічного обслуговування пасажирів наведено у нормах технологічного проектування аеровокзалів [29]. Згідно з вищезазначеним документом рівень механізації і автоматизації праці для аеропорту пропускною спроможністю понад 2500 пасажирів на годину, має становити не менше 65 %, а річна продуктивність праці персоналу, зайнятого основним технологічним обслуговуванням пасажирів, – 18000 пасажирів на одного працівника. Зазначені рекомендації [29] можуть застосовуватися тільки для приблизних розрахунків відповідності автоматизації технологічних процесів обслуговування пасажирів за деякими нормативами (але нагадаємо, що ці нормативи були встановлені ще за часів СРСР), не даючи змоги визначити оптимальні характеристики системи обслуговування в цілому.

Проблемам організації і технології вантажних перевезень на авіаційному транспорті було присвячено багато робіт вчених СРСР, зокрема, О. А. Крючкова, В. О. Подшипкова, І. Я. Русінова, Б. В. Артамонова, Г. М. Юна та інших. Серед сучасних учених, які досліджують проблеми і завдання технології вантажних авіаційних перевезень, слід зазначити А. А. Коромислова, Т. Ю. Габрієлову, J. Petersen [380]. Аналіз праць згаданих авторів показує, що практично всі дослідження, моделі, технології та організаційні питання вантажних авіаційних перевезень пов'язані з вимогами, правилами і досягненнями, які викладено в документах ІАТА. Серед сучасних наукових робіт щодо технологій взаємодії авіаційного транспорту з іншими видами можна відзначити роботу [38], в якій, по-перше, доводиться актуальність і економічність використання авіатранспорту в схемах змішаних перевезень, по-друге, викладено особливості технології перевезення і перевантаження авіаційно-наземних контейнерів. У роботі [71] викладено деякі методичні засади розрахунків оптимальних характеристик вантажних комплексів аеропортів і

засобів перонної механізації, що є досить важливим для інтеграції авіаційного транспорту в логістичні системи, мультимодальні перевезення.

Моделювання процесів обслуговування пасажирів та обробки вантажів у підсистемах АТС. У низці вітчизняних та зарубіжних наукових робіт запропоновано різні моделі оптимізації технологічних процесів в аеропортах. На думку автора дисертаційної роботи [248], математичне моделювання технологічних процесів в аеропортах повинно включати три основні напрями: моделювання процесів, пов'язаних з поведінкою авіапасажира, моделювання технологічних процесів у системі ЦА, формування технології обслуговування пасажирів.

Процес обслуговування пасажирів розбито автором [248] на два вузли генерації заявок. Перший вузол моделює процес прибуття пасажирів в аеропорт, тобто момент реєстрації заявок. Другий вузол генерації заявок – обробка багажу пасажира після реєстрації. Цільова функція побудованих моделей вказує на необхідність вибору таких параметрів, за яких середній час перебування пасажира в аеропорту мінімально відхиляється від розрахованого на основі використання апарату напівмарківських процесів.

І. Я. Русінов [224, с. 71–74] доводить, що вхідний потік пасажирів аеровокзалу має властивості стаціонарності, ординарності й відсутності післядії і є внаслідок цього найпростішим потоком. Як відомо з ТМО, найпростіший потік (P_n) має таку властивість, що кількість вимог, які припадають на деякий інтервал часу, розподіляється за законом Пуассона, тобто ймовірність прибуття до аеровокзалу n пасажирів за інтервал часу t визначається за формулою:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t}, \quad (1.9)$$

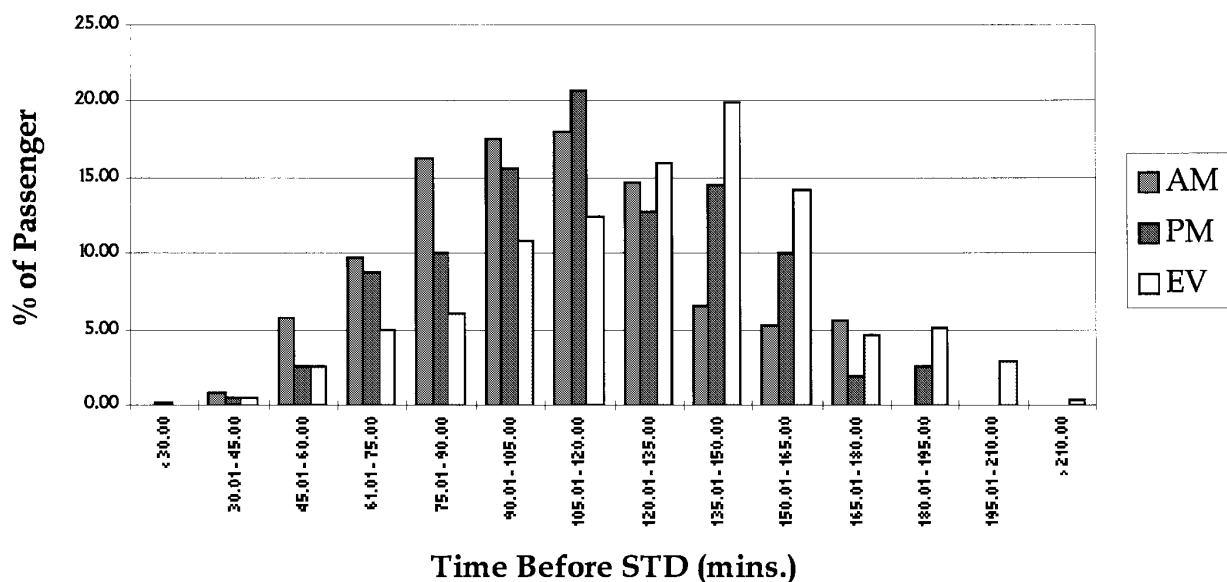
де λ – інтенсивність вхідного потоку пасажирів, тобто середня кількість пасажирів, які прибувають в аеровокзал за одиницю часу.

Далі у [224, с. 74] наводиться приклад того, що щільність розподілу ймовірності $p_i(t)$ прибуття пасажирів в аеропорт за час t до вильоту ПС за розкладом визначається законом гама-розподілу:

$$p_i(t) = \begin{cases} \frac{\nu^n t_i^n e^{-\nu t_i}}{\Gamma(n)}, & t_i < 0 \\ 0, & t_i = 0, \end{cases} \quad (1.10)$$

де n та ν – параметри вхідного потоку пасажирів, які визначаються експериментальним шляхом.

W. Hon Chun та R. Mak Tak Wai, дослідивши характеристики вхідного потоку пасажирів в аеропорті Kai Tak (Гонконг) [309], зробили висновок, що це є нестационарний пуассонівський випадковий процес (рис. 1.4) і для моделювання часу прибуття пасажирів на реєстрацію було використано експоненційний розподіл.



% Passenger – відсоток пасажирів; Time Before STD (mins.) – час до відправлення рейсу за розкладом (хв.); AM – ранкові рейси; PM – післяобідні рейси; EV – вечірні рейси

Рисунок 1.4 – Типова модель прибуття пасажирів економ-класу на реєстрацію [309]

У роботі [91], стверджується, що використання найпростішого потоку при вивченні систем обслуговування пасажирів в аеропортах несе в собі методологічну похибку. Автор приділяє багато уваги вивченню законів розподілу вхідного пасажиропотоку та часу обслуговування і стверджує, що в розглянутих ним роботах не проведено ретельного аналізу того, як впливає на точність моделі заміна реального закону розподілу на закон Пуассона, наскільки важливим це є для проектування аеровокзалу, розробки технології обслуговування пасажирів та обробки багажу чи оперативного коригування даної технології. Для визначення законів розподілу часу прибуття пасажирів до початку реєстрації та тривалості обслуговування пасажирів А. І. Косовим було проведене детальне дослідження процесу обслуговування пасажирів, які відлітають, у шести радянських аеропортах у період найінтенсивніших перевезень пасажирів з червня по серпень 1982 р. [91, с. 55–60]. У результаті дослідження було зібрано і оброблено численні статистичні дані (близько 7500), які показали, що закон розподілу часу прибуття пасажирів в аеропорт до вильоту є в основному логнормальним. Далі ці дані було використано у статистичних моделях оптимізації порейсового, вільного й комбінованого методу реєстрації.

Але у зв'язку із значною зміною технологій обслуговування ПС, пасажирів та обробки вантажів відтоді, як було проведено дослідження [224, 237], вважаємо, що є необхідність додаткового вивчення законів розподілу часу надходження замовлень в АТС для подальшого їх використання в моделях оптимізації параметрів системи та висновків про необхідну міру відповідності теоретичних та емпіричних даних.

Слід зазначити, що для процесу обслуговування пасажирів надійних детермінованих моделей з аналітичним рішенням практично не може бути через імовірнісний характер багатьох факторів, що впливають на цей процес. Тому багатьма дослідниками, наприклад [72, 280, 307], було розроблено спрощені моделі обслуговування пасажирів в аеровокзалах, які використовують методи ТМО, наприклад, для визначення необхідної кількості пунктів реєстрації, обсягу накопичувачів багажу і т.п.

В роботі О. О. Лашкевича [101] дано змістовну класифікацію математичного апарату для прийняття рішень у ланцюгах поставок експрес-вантажів, зроблено висновок про можливість використання добре вивчених моделей формування складської мережі та транспортного завдання. В роботі [101] викладено прикладну програму, що дає змогу розробляти оперативні плани заванезення/вивезення вантажів на термінали аеропортів для різних вихідних даних щодо завантаження та видам сервісу для клієнтів.

Методи та моделі оптимізації економічних, технічних та технологічних параметрів підсистем АТС.

Авіакомпанії. У дисертаційному дослідженні [147] було удосконалено та розроблено такі методи та моделі стосовно оптимізації діяльності авіакомпаній:

1. Комплексна модель функціонування авіакомпанії як сукупності структурно-функціональної, імітаційної та графічної моделей, а також впорядкованої послідовності їх використання для вирішення заданої проблеми.

2. Метод обґрунтування структури системи планування і організації транспортного забезпечення авіаперевезень.

3. Метод обґрунтування оптимальної структури парку ПС авіакомпанії.

4. Метод розробки гнучкої системи ціноутворення авіакомпанії на ринку авіатранспортної продукції Російської Федерації.

5. Метод аналізу ринків авіатранспортної продукції і прогнозування попиту на даних ринках.

6. Метод розробки і використання (впровадження) системи оцінювання якості транспортних послуг авіакомпанії.

Дані моделі було розроблено та апробовано на базі даних російських авіапідприємств і умов функціонування російського ринку авіаперевезень. Автор [147] здебільшого спирається на поняття та методи, які закладені в основах менеджменту.

Методичні положення, що відображають закономірності й характеристики впливу формування хабів на мережу маршрутів у Росії та методичні підходи до вдосконалення планування мережі маршрутів авіакомпанії

на основі формування і опису технології цього процесу з виділенням завдань визначення трансферних потоків у вузлових аеропортах розроблено автором дослідження [1].

Аеропорти. Важливе значення має модель підготовки ПС до вильоту, яка дає можливість пов'язати в єдину систему як процеси обслуговування авіапасажирів, так і інші виробничі фактори в аеропорту. Раціональний розподіл внутрішніх ресурсів оператора наземного обслуговування в аеропортах (авіахендлінг) є одним із основних факторів ефективного функціонування аеропортів ЦА. Це завдання набуває особливого значення для великих авіахендлінгових компаній (АХК) з багатьма підрозділами (службами), де існують також різні технологічні способи обслуговування пасажирів, вантажів і ПС, від яких залежать, зокрема, і витрати споживаних ресурсів [310].

Питання оптимізації наземного обслуговування розглянуто в роботах [237, 395, 403]. Наприклад, у [237] запропоновано: методику розрахунку потрібної кількості машин і механізмів, яка використовує фактичний розклад рейсів ПС, технологію їх наземного обслуговування; технічні характеристики засобів механізації. На основі методики розрахунку необхідної кількості машин та механізмів розроблено комп'ютерну програму, яка виконує планування технологічних операцій та розрахунок кількості засобів механізації при оперативному управлінні наземним обслуговуванням авіаційних перевезень та реконструкції аеропорту.

І. О. Козлюк розробила методику розрахунку раціональної кількості ПС українського виробництва з прикріпленням їх до базових аеропортів, математичні моделі для інформаційних технологій обслуговування функціональних систем ПС та запропонувала методику (на прикладі двигуна Д-436-148 для ПС типу Ан-148), що дає можливість проводити розрахунки для визначення оптимальної кількості запасних частин (обмінний фонд) будь-яких функціональних систем ПС на прогнозований період [82].

У роботі [258] визначено кілька можливих критеріїв оцінювання ефективності функціонування аеропорту. По-перше, це соціальний критерій, що

враховує рівномірність завантаження різних виконавців s -ї операції, зайнятих проведенням однієї і тієї самої операції обслуговування рейсу по кожній службі аеропорту. Даний критерій ефективності, на думку автора роботи [258], можна використовувати для визначення кількості виконавців і потреби різних змін для проведення s -ої операції під час обслуговування ПС, пасажирів, вантажу. Другий критерій – мінімізація технічних засобів обслуговування, необхідних для виконання s -ї технологічної операції при функціонуванні аеропорту. Критерій ефективності використання пересувних засобів обслуговування – третій критерій – було визначено мінімальною величиною сумарного пробігу. Застосування цього критерію має сприяти зменшенню витрат пального, зниження зносу гуми й покриття перону. Крім того, пропонуються такі критерії, як мінімальні економічні збитки, які зазнає аеропорт через затримки r -го рейсу протягом деякого часу t , і максимізація комерційного завантаження. Наведені в роботі [258] критерії є цілком обґрунтованими, але процес моделювання виконано частково, тому що не визначено обмеження моделі, засоби розв’язання побудованих моделей і оцінка адекватності.

Організація повітряного руху. Важливим елементом підтримки життєздатності ЦА є створення безпечної, ефективної та екологічно стабільної системи ОрПР на глобальному, регіональному та національному рівнях. За даним напрямом було проведено дослідження в багатьох роботах, зокрема в [147, 195].

Автором [147] розроблено такі положення:

- аналітико-статистична модель визначення характеристик обслуговування повітряного руху в аеродромній зоні;
- модель визначення ймовірності виявлення ПС у просторі мультирадарного спостереження;
- аналітико-статистична модель безпечного польоту при порушенні мінімуму повздовжнього ешелонування;
- аналітико-статистична модель оцінювання ризику зіткнень ПС з перешкодами, вздовж яких здійснюються польоти;

– ряд аналітико-статистичних моделей для аналізу безпеки польотів на маршрутах, що перетинаються.

Метод оцінювання ефективності функціонування підприємства використання повітряного простору України запропоновано в роботі [195], де розглянуто економічні питання ОрПР із застосуванням методів маркетингу.

Розроблений ІКАО Глобальний аеронавігаційний план [320], визначає методику планування, орієнтовану на глобальну гармонізацію національних систем ОрПР та їх інтеграцію у світову. У плані [320], містяться розраховані на найближчу і середньострокову перспективу рекомендації державам щодо однакового переходу до системи ОрПР, яке передбачено Глобальною експлуатаційною концепцією ІКАО. Державам пропонується зосередитися на конкретних цілях планування, виборі та розробці прийнятного конкретного варіанту удосконалення існуючих національних систем ОрПР. Прикладом такого планування є консультації під егідою ІКАО з узгодження європейської (SESAR) та американської (NextGen) програм розвитку національних систем ОрПР.

Компоненти національних систем ОрПР можуть істотно розрізнятися в залежності від держави. Однак реалізовані на їх основі технології повинні відповідати міжнародним стандартам з метою забезпечення в процесі польотів «безшовних» переходів. Як такі технології прийняті 23 ініціативи (додаток В) Глобального аеронавігаційного плану ІКАО, які підлягають реалізації незалежно від компонент, використовуваних в національній системі ОрПР [320].

З 1997 р. проводяться спеціальні міжнародні наукові семінари щодо розвитку систем ОрПР, де обговорюються передові концепції, методології, підходи до вирішення проблем ОрПР, зокрема, досліджуваних у рамках робіт за програмами SESAR і NextGen.

Методологія та методи аналізу розвитку мереж АТС. Важливим елементом АТС є *мережа шляхів сполучення* (у даному разі авіасполучення). Методи оптимізації транспортних мереж являють широке поле для досліджень. Засади цього напрямку викладено, наприклад, в [179, 217]. З 1978 р., після початку

лібералізації, можливо, найістотнішим нововведенням в авіатранспортній індустрії було прийняття моделі формування мережі «hub-and-spoke» – прокладення авіамаршрутів через проміжні вузли під назвою «хаби», що дає змогу обслужити більшу кількість пунктів призначення, використовуючи ефект масштабу. Дослідження ефективності топології мережі «hub-and-spoke» з'явилися як у сфері економіки, так і в царині дослідження операцій на транспорті [351]. Всі моделі зазначених робіт можна звести до такої постановки питання: економія від масштабу за рахунок концентрації фактично і апріорі моделюється з урахуванням міжхабових транспортних витрат. Крім того, у більш складних моделях розглядається вплив завантаження ПС і, таким чином, виручки. Передбачається, що рейси між центральними містами матимуть постійний коефіцієнт завантаження близько 80 %, а рейси між хабовими і невеликими містами – в середньому 60 %.

З кінця 1990-х років для вивчення складних систем розвивається новий ефективний інструмент дослідження – теорія складних мереж. Складні мережі – це міждисциплінарна галузь знань. Зараз закладаються її основні поняття і отримані перші результати. Дослідники, які працюють у цій галузі, прийшли з математики, комп'ютерних наук, фізики, біології, соціології, економіки. Відповідно результати досліджень мають як теоретичне значення, так і практичне застосування в цих науках.

За визначенням *складні мережі* – це існуючі в природі мережі (графи), які мають нетривіальні топологічні властивості. Вузли в таких мережах являють собою елементи цих складних систем, а зв'язки між вузлами – взаємодію між елементами [52]. Такі мережі утворюють своєрідний каркас відповідних складних систем, а дослідження властивостей цих мереж дає змістовну інформацію про властивості складних систем в цілому, що дає змогу подолати деякі недоліки, властиві редукціонізму.

У дослідженні [375] проаналізовано топологію і структуру мережі аеропортів Індії за допомогою показників аналізу складних мереж. Розрахунки показали, що даний аналіз корисний не тільки при плануванні інфраструктури та

розширенні мережі авіамаршрутів, але також в управлінні потоком перевезень у надзвичайних ситуаціях, таких як випадкові відмови аеропорту, закриття аеропорту через несподівану зміну клімату, терористичні атаки та ін. У статті [375] також зазначено, що щільно з'єднані мережі авіаперевезень відігравали головну роль в поширенні інфекційних захворювань, а саме: пташиного грипу, свинячого грипу та ін., переростаючи з епідемії на пандемію. За висновками авторів дослідження [375], розробка шаблону прийняття рішень для скорочення рейсів на деяких маршрутах може сприяти зменшенню поширення хвороби.

Dorothy P. Cheung та Mehmet Hadi Gunes зазначають, що, незважаючи на те, що існують спеціальні служби, наприклад, Official Airline Guide (www.oag.com) та Anna Aero (www.anna.aero), які забезпечують аналіз авіації для громадськості, функції мережі АТС США та відповідні властивості потребують додаткового вивчення [305]. Такий аналіз, на думку D. P. Cheung та M. H. Gunes, може бути вельми корисним для галузі авіаперевезень у досягненні високої ефективності, коли виникають непередбачені ситуації, які викликають затримки чи скасування рейсів. Корисним є аналіз мережі авіамаршрутів і для підвищення ефективності сезонних перевезень. Для дослідження властивостей мережі АТС США вищезгадані автори пропонують використовувати саме теорію складних мереж та відповідні показники: *середній найкоротший шлях* (average shortest path), *розподіл вузлів за кількістю зв'язків* (degree distribution), *асортативне змішування* (assortative mixing), *коефіцієнт кластеризації, або кластерний коефіцієнт* (clustering coefficient), *навантаження вузла* (betweenness centrality) та *здатність до відновлення* (resiliency). У зв'язку з тим, що застосування методів теорії складних мереж для дослідження властивостей АТС є відносно новим, ще немає однозначно встановлених термінології для кожного визначення та методик розрахунків зазначених вище показників. Але, на погляд автора даної дисертаційної роботи, ідея кількісного оцінювання властивостей авіамережі є дуже перспективним науковим напрямом.

Ще однією важливою проблемою функціонування АТС є розвиток мережі аеропортів. Проблема визначення перспективних для розвитку й інвестицій

аеропортів розглядається вченими у сфері як економічних, так і технічних наук. Так, у роботі [177] для прогнозування обсягів відправлень з аеропортів України пропонується враховувати економічну ефективність функціонування даних підприємств. Для цього автор [177] розробив інтегральний показник ефективності, за допомогою якого потім складається рейтинг аеропортів. У свою чергу, інтегральний показник ефективності складається з обробки п'ятнадцяти виділених автором економічних показників, які, на його думку, характеризують ефективність функціонування аеропортів. Застосування такого підходу показало високу кореляцію економічних показників діяльності з обсягами пасажиро- і вантажопотоків. Виявлено, що зіставлення показників аеропорту «Бориспіль» з аналогічними показниками інших аеропортів України не є коректним, адже вони значно перевершують середні значення по аеропортах України. За запропонованою методикою найперспективніші виявилися такі аеропорти: «Бориспіль», «Одеса», «Сімферополь», «Миколаїв», «Львів», «Київ», «Дніпропетровськ», «Донецьк», «Запоріжжя» і «Харків». Тобто, здебільшого, це ті аеропорти, які на той час мали більш-менш стабільний пасажиропотік.

Для визначення перспективних аеропортів Т.А. Акімовою [6] запропоновано використовувати узагальнений коефіцієнт конкурентоспроможності аеропорту, який залежить від таких критеріїв ефективності, як вартість обслуговування, якість обслуговування, безпека держави. В іншій роботі цього автора [5] для оцінювання інвестиційної привабливості аеропортів використано метод аналізу ієрархій, суть якого зводиться до обробки експертних суджень про важливість розрахованих економічних показників (NPV, IRR, PBP) за проектами розвитку аеропортів.

Системне бачення проблеми вибору аеропортів для інвестування знаходимо в роботі [411], в якій підкреслено важливість урахування взаємозв'язку економічних та техніко-технологічних параметрів аеропорту.

Але важливою проблемою залишається розвиток методичних підходів до черговості фінансування аеропортів. Які аеропорти необхідно модернізувати насамперед: ті що функціонують і є прибутковими, ті що функціонують, але

збиткові, або ті, які в силу сформованої соціально-економічної ситуації припинили функціонування?

1.3 Актуальні напрямки досліджень авіатранспортних систем

Програма стратегічних досліджень АТС в Європі

Європа визначає майбутнє розвитку авіаційного транспорту в Програмі стратегічних досліджень та інновацій (Strategic Research and Innovation Agenda) [300]. В контексті даної Програми науково-дослідні центри, які є *незалежними від будь-яких економічних інтересів*, відіграють ключову роль у забезпеченні розвитку авіації. Європейська науково-дослідна установа в галузі авіації (EREA) надала Європейській комісії та авіаційному співтовариству свій прогноз розвитку АТС до 2050 р. і розробила рекомендації відносно пріоритетних досліджень, які мають бути профінансовані [333].

Спеціалісти EREA вважають, що пріоритетними в наукових дослідженнях та розробках мають бути методи революційного підвищення пропускної спроможності й ефективності експлуатації аеропортів – як основної підсистеми АТС. При цьому основними критеріями ефективності розв’язання даного завдання є екологічність, комфорт для пасажирів і безпека.

Основна мета на 2050 р., зазначена у [333], – це швидка, надійна і зручна подорож пасажирів «від дверей до дверей», незалежно від способу перевезення. АТС має бути орієнтована на споживача (пасажирів, вантажну клієнтуру), тому наукові дослідження варто зосередити на розробці методів та технологій які дають змогу заощаджувати час за рахунок скорочення затримок і черг, а аеропортові формальності зроблять зручними і «дружніми». Актуальними, з точки зору європейських дослідників, є також проблеми оптимізації і підвищення надійності зв’язків між різними видами транспорту для значного скорочення часу пасажирів та вантажів у дорозі.

Для підвищення ефективності експлуатації аеропортів у [333] виділено «критично важливі елементи»: УПР, проблема якого пов’язана з об’єднанням

аеропортів у мережу; необхідність корегування технологій у контрольованих і загальнодоступних зонах аеропорту; інтеграція авіаційного транспорту з іншими видами транспорту.

Європейські спеціалісти вважають, що у 2050 р. у повністю автоматизованому аеропорті взаємодії пасажирів з персоналом аеропорту під час проходження реєстрації та інших видів контролю практично не буде. Деякі формальні процедури повністю зникнуть. Основна ідеологія сучасної технології обслуговування авіапасажирів – це зв'язок зі службами авіакомпанії та аеропорту у режимі он-лайн (рис. 1.5) [374].



Рисунок 1.5 – Принципи нових технологій обслуговування пасажирів в аеропортах (за джерелом [374])

Авіапасажирів повинні мати доступ до інформації в будь-якому місці і можливість поділитися цією інформацією через соціальні мережі. Авіакомпанії і аеропорти бачать необхідність активного використання нових мобільних технологій, щоб надавати інформацію про стан рейсу, багажу. Аеропорти, в свою чергу, зможуть передбачати потреби пасажирів і пропонувати рішення, перш ніж проблема стане серйозною.

На думку європейських учених [333], глобальна оптимізація може бути досягнута лише шляхом розширення концепції мультимодальних перевезень для всієї ТС. Мета сучасних досліджень полягає у підвищенні ефективності транспортного ланцюга шляхом вдосконалення взаємодії різних видів транспорту, підвищення екологічності процесів та ефективнішого використання існуючої інфраструктури.

Взаємозв'язок АТС з іншими видами транспорту є обов'язковим. Цей взаємозв'язок необхідно моделювати і здійснювати як на фізичному рівні, так і на рівні управління. Фізичний рівень передбачає розробку стикувальних технологій АТС з іншими транспортними системами, тимчасом як управління – розробку централізованої комплексної системи управління транспортом для забезпечення взаємозв'язку між різними суб'єктами діяльності на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях.

Експерти зазначають, що на даний момент для оптимізації процесу доставки вантажів під час авіаційного перевезення і задоволення потреб клієнтів є дуже важливими організаційні інновації, нові форми кооперації та організації процесу транспортування, впровадження новітніх досягнень сфери ІТ [89]. Традиційно конкурентною перевагою авіаційного транспорту була швидкість перевезення. Але посилення заходів безпеки, тривалі процедури оформлення вантажів знижують позитивний ефект від технічних нововведень. Як зазначено в джерелі [41], досі процес оформлення вантажів в авіасполученні практично нічим не відрізняється від того, що застосовувався 30 років тому. Це, безсумнівно, не відповідає потребам сучасного суспільства. Оформлення понад 20 документів на одну відправку істотно збільшує вартість перевезення та час перебування вантажу в дорозі.

Для зниження витрат і підвищення якості обслуговування авіатранспортні підприємства, що об'єднуються ІАТА, здійснюють програму «спрощення бізнесу», яка дає змогу знизити витрати шляхом ефективнішого використання технологічних досягнень і усунення зайвої складності операцій. Для авіаційної вантажної галузі найбільшу ефективність може мати система електронного

оформлення вантажів *e-Freight*, приблизний аналог якої в пасажирських перевезеннях – електронний квиток – уже досить широко використовується авіакомпаніями світу. У 2007 р. IATA провела пілотні проекти електронного оформлення вантажів у Великобританії, Нідерландах, Швеції із залученням найбільших авіаційних вантажоперевізників і експедиторів [323]. Наразі тривають дослідження досвіду та можливостей впровадження стандартів *e-Freight* в інших аеропортах світу.

Актуальні проблеми АТС в Україні. За визначенням Global Enabling Trade, інфраструктура транспорту і зв'язку входить до числа ключових факторів щодо можливості розвитку міжнародної торгівлі. Крім транспорту важливими є також питання доступу до ринку, прикордонного управління і бізнес-середовища, які у сукупності враховуються в основному індексі ефективності торгівлі – GETI. Зі 118 країн світу Україна займає 68 місце за даним індексом [397]. Це нижчий ранг, ніж у Болгарії (60) і Румунії (57) і, значно нижчий, ніж у Польщі (45). Серед 155 країн світу, за даними Світового банку, Україна зайняла 102 місце за індексом ефективності логістики (LPI) [397]. Це найнижчий рейтинг серед країн-сусідів, так, наприклад, Польща займає 30 місце, Румунія – 59, Росія – 94. Причина цього, на думку міжнародних експертів, багато в чому полягає у відсутності уваги до перевезень і транспортної інфраструктури як продукту системи єдиного господарського комплексу.

Для транспортного комплексу з його складним, безперервним і динамічним характером роботи необхідне злагоджене функціонування різних видів транспорту, тому проблема інтеграції АТС у ТС країни та координація роботи її підсистем є актуальною для України. Підвищення транзитного потенціалу України потребує попереднього аналізу для виявлення «вузьких» місць як транспортної та логістичної інфраструктури в цілому, так і АТС зокрема.

Враховуючи проведений аналіз наведених вище наукових робіт, кардинальні зміни у функціонуванні та взаємозв'язках підсистем АТС України, конфлікти інтересів їх власників, актуальним питанням є методологічні підходи

до аналізу та моделювання функціонування АТС України з позиції незалежного суб'єкта (експерта).

У більшості опублікованих прогнозів ІСАО є примітка про виключення країн СНД із статистичної вибірки [343, с. І–33], [66, с. 13, 31, 48], що свідчить або про неякісну статистичну базу даних щодо вказаних країн, або про невідповідність загальним закономірностям функціонування. Для визначення ефективності стратегій розвитку АТС України є необхідність перегляду кількісних моделей довгострокового прогнозування авіаперевезень, та підходів до формування відповідної статистичної бази даних для можливості їх застосування.

Реалізація концепцій державних цільових програм розвитку аеропортів, наприклад [211, 268], та конкретних завдань щодо кожного з аеропортів породжує проблему методів визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між функціонуючими і не функціонуючими аеропортами.

Із статистичних досліджень Світового банку [283] виходить, що на сьогодні етап інтенсивного розвитку світової авіатранспортної мережі в основному завершився. Маючи певну «консервативність», обумовлену сформованими напрямками основних пасажиропотоків, сталими центрами бізнесу, традиційними місцями туризму й відпочинку, світова авіатранспортна мережа в найближчій перспективі розвиватиметься порівняно повільними темпами і в рамках сформованої структури. Водночас цілком можливі і навіть неминучі зміни структури авіатранспортної мережі в окремих регіонах, зокрема й в Україні. У звіті про розвиток авіаційної галузі України [196] зазначено, що в 2000–2011 рр. ринок авіаційних перевезень у нашій державі розвивався досить динамічно (за винятком 2009 р.). Поступово в цілому протягом 11 років обсяги пасажирських перевезень українських авіакомпаній зросли майже в 6 разів (по відношенню до 2000 р.). Як суттєві фактори зростання у звіті [196] названі подальше розширення маршрутної мережі, збільшення інтенсивності польотів на опанованих напрямках, оновлення парку ПС, введення в експлуатацію в деяких аеропортах

(«Бориспіль», «Донецьк», «Львів»,» Харків», «Київ») нових об'єктів і реконструкція існуючих. Слід зазначити, що на розширення ринку авіаційних послуг останнім часом впливає входження на ринок України авіакомпаній, що дотримуються політики низьких витрат (LCC) при організації своєї діяльності. Але зважаючи на політичну та економічну ситуацію в державі у 2014 р., призупинення авіасполучення із Кримом та Донецькою і Луганською областями, зменшення купівельної спроможності населення, зниження рівня ділової та туристичної активності, обсяги авіаційних перевезень в Україні продовжують зменшуватися. Отже, є необхідність розробки методологічних засад: об'єктивного оцінювання ступеня розвитку існуючої мережі авіаперевезень, як у географічному, так і в економічному, технічному та технологічному аспектах; організації раціонального функціонування авіатранспортної мережі України; визначення перспективної мережі авіасполучень в країні та масштабів необхідного розвитку інфраструктури АТС.

Сучасний стан організації наземного обслуговування пасажирів в аеропортах України ще не відповідає вимогам та очікуванням пасажирів. Наприклад, незважаючи на значні інвестиції в модернізацію аеропорту «Бориспіль», вже на початку червня 2013 р. у на засіданні Кабінету Міністрів було розглянуто проблеми функціонування даного аеропорту [79]. За відгуками пасажирів, проблеми технології обслуговування є й досі такими самими, що й до реконструкції: довгі черги на реєстрацію та тривале очікування видачі багажу, брак пунктів харчування, мала пропускна спроможність місць паркування автомобілів. Чимало пасажирів витрачають значний час у черзі, чекаючи на реєстрацію або паспортний контроль. Спостерігаються випадки перевищення нормативного часу обслуговування пасажирів, невідповідності пропускної спроможності аеровокзалів існуючому пасажиропотоку, недостатня надійність систем обробки багажу. Не повною мірою розглянуті питання інформаційного обслуговування пасажирів, особливо в регіональних аеропортах.

Разом з тим зростає значення ефективного використання капітальних вкладень з точки зору досягнутого технічного рівня, технології, економіки й

надійності. Адже необґрунтоване технічне рішення може обернутися багатомільйонними втратами як при будівництві нової споруди, так і при реконструкції. До того ж, стійкою тенденцією розвитку технологічних процесів обслуговування пасажирів в аеропорту є не лише ускладнення принципу їх організації, збільшення вкладень у будівництво та обладнання аеровокзалів, але й необхідність всебічного зниження ймовірності затримок і збійних ситуацій.

Сьогодні для багатьох керівників підприємств аеропортової галузі не стоїть питання про те, використовувати ІТ в бізнесі чи ні. Проте, проблемним питанням є методика вибору впроваджуваних ІТ, який приймається на вищих рівнях управління авіапідприємством. Ці обставини визначають необхідність побудови математичних моделей складних технологічних процесів, зокрема, обслуговування пасажирів, щоб, варіюючи вхідними параметрами системи, перевіряти висунуті рішення, а отже й отримувати оптимальні з них на етапах проектування і експлуатації підсистем АТС.

Аналіз наукових робіт [83, 226, 256, 336] показав, що залишається актуальною проблема взаємозв'язку елементів АТС та авіабудівної галузі з питань узгодження характеристик ПС.

Оскільки вивезення і доставка вантажів з аеропортів України здійснюється автомобілями, практично всі вантажні перевезення авіаційним транспортом можна організувати як мультимодальні. Технологічна сфера взаємодії авіаційного і автомобільного видів транспорту полягає в узгодженні технологічних режимів за логістичними схемами «від дверей до дверей» та «точно в строк» за обсягами робіт у часі і просторі. Рациональна система організації роботи взаємодіючих видів транспорту у вантажному комплексі аеропортів потребує сучасних автоматизованих систем прийняття рішень, а отже й розвитку економіко-математичного апарату для оптимізації технології перевезень. Додамо також, що створення ефективного авіаційного експрес-перевізника в Україні для реалізації потенціалу «швидкої доставки», є також недостатньо дослідженою науковцями. Причинами цього можуть бути, по-перше, зародковий стан розвитку авіаційних експрес-перевезень на українському

ринку, а, по-друге, відсутність статистичної та експериментальної бази для проведення наукових досліджень.

Зазначимо також, що розвиток України як авіаційного транзитного вузла, логістичного центру не можливий без чітких та прозорих процедур митного очищення. Технологія оформлення міжнародного авіавантажу має відповідати міжнародній практиці. Цьому може посприяти впровадження нової технології IATA *e-Freight*. Але дана технологія потребує системного підходу, тому що в вантажних перевезеннях задіяні різні підсистеми ТС: авіакомпанії, вантажовласники, вантажовідправники, провайдери логістичних послуг, консолідатори, аеропорти, складські господарства, служби наземного сервісу, агентства з продажу, експедитори, автотранспортні компанії, митні органи і т.д. Є необхідність у серйозних змінах організації процесу вантажних перевезень і зміни нормативно-правової бази для функціонування і взаємодії багатьох зацікавлених сторін.

Виходячи із проведеного аналізу стану розвитку ТТС, наукових результатів, актуальних проблем та завдань ефективного функціонування АТС, в табл. 1.1 визначено сферу дослідницьких завдань, які будуть розглянуті в наступних розділах даного дисертаційного дослідження.

Таблиця 1.1 – Сфера завдань дослідження АТС

Етап дослідження	Зміст дослідження	Завдання, що розв'язуються
1	2	3
Розробка методології досліджень АТС	Визначення етапів аналізу функціонування АТС Розробка дерева цілей функціонування АТС Вибір критеріїв ефективності АТС Методи та методики вивчення законів функціонування АТС	Аналіз функціонування АТС з позиції незалежного експерта Оцінювання ефективності функціонування АТС
Опис структури та закономірностей функціонування АТС	Опис структури та функцій елементів АТС: попит; авіакомпанії; мережа авіаційних маршрутів; ПС; аеропорти; ОрПР	Побудова математичних моделей технологічних процесів у підсистемах АТС Обґрунтування вибору впроваджуваних ІТ

Продовження табл. 1.1.

1	2	3
Опис зовнішнього середовища АТС	Опис регуляторного, технічного, технологічного, економічного середовища АТС	Довгострокове прогнозування авіап перевезень Оцінювання можливостей інтеграції АТС в інші ТС
Аналіз АТС України	Опис структури та функцій елементів АТС України Вплив зовнішнього середовища на функціонування АТС України	Визначення перспективної мережі авіасполучень та масштабів необхідного розвитку інфраструктури АТС України
Моделювання ефективного функціонування АТС	Розробка методів забезпечення ефективного функціонування авіакомпаній та аеропортів, визначення взаємозв'язку АТС і авіабудівельної галузі	Підвищення ефективності підсистем АТС Оптимізація технологій обслуговування пасажирів, обробки вантажу Оновлення парку ПС

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I

1. На основі дослідження низки наукових робіт, присвячених проблемам розвитку ТС, встановлено, що:

– актуальними є проблеми і задачі: вибору раціональних та оптимальних схем переміщення вантажів чи пасажирів; оптимізації завантаження транспортного засобу, графіку та розкладу руху; використання всіх видів ресурсів транспортних підприємств, логістичних систем; визначення оптимальних тарифів та інші. Пропоновані методи вирішення вищезазначених задач базуються на теорії систем і застосуванні методів дослідження операцій;

– сформований понятійний апарат ТТС має значний набір специфічних термінів та понять в залежності від виду транспорту та точки зору наукових дослідників, а тому він не може бути автоматично і в повній мірі використаний в дослідженні АТС.

2. Підходи до визначення *авіатransпортна система* в сучасних дисертаційних дослідженнях є дуже різними. В даній роботі пропонується досліджувати *авіатransпортну систему* як складну цілеспрямовану систему,

що складається з аеропортів, авіакомпаній та підсистеми управління повітряним рухом, які зв'язані відношеннями попиту на авіаційні перевезення, ресурсами, техніко-технологічними обмеженнями, економіко-організаційними та правовими вимогами, безпекою та екологією. Таке визначення, на наш погляд, відповідає узагальненому поняттю *транспортні системи* та сучасним підходам до вирішення пріоритетних задач розвитку авіаційних перевезень.

3. Не дивлячись на велику різноманітність факторів, які впливають на формування попиту в транспортних системах, проведені теоретичні дослідження підтвердили припущення автора роботи, що основними є: соціально-економічний розвиток країни (регіону), ціни (тарифи) на перевезення та послуги і розвиток інфраструктури транспорту. Тому вплив саме цих факторів буде вивчатися у ході дослідження розвитку АТС.

4. В багатьох наукових роботах доводиться можливість використання припущення щодо експоненціального розподілу часу надходження замовлень на обслуговування в ТС. З врахуванням змін в технологіях обслуговування ПС, пасажирів та обробки вантажів, таких як впровадження технологій персоналізації обслуговування, програми ІАТА «спрощення бізнесу», в тому числі технології *e-Freight*, для подальшої оптимізації оперативного функціонування підсистем АТС необхідно додатково вивчити закони розподілу часу надходження і обслуговування замовлень.

5. Сучасні закордонні та вітчизняні дослідження з питань ефективного функціонування ТС пропонують наступні засоби рішення: методи та моделі прогнозування розвитку ТС в цілому чи її окремих підсистем та елементів; технології та моделювання процесів обслуговування пасажирів та обробки вантажів в підсистемах ТС; методи та моделі оптимізації економічних, технічних та технологічних параметрів підсистем ТС; методи аналізу розвитку мереж. Але для моделей оптимізації функціонування конкретних АТС, зокрема АТС України, виявлена необхідність їх подальшої розробки та деталізації, опису параметрів, визначення критеріїв *ефективності даної системи*.

6. Виходячи із проведеного аналізу стану розвитку ТТС, наукових результатів та актуальних проблем та задач ефективного функціонування авіатранспортних систем, визначені необхідні етапи і зміст досліджень, які планується вирішити в рамках даного дисертаційного дослідження, зокрема: розробка методології досліджень АТС, опис структури та законів функціонування АТС, опис зовнішнього середовища АТС, аналіз АТС України, моделювання ефективного функціонування АТС.

Основні наукові результати опубліковано у наукових працях [121, 123, 127, 128, 135, 136].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ АВІАТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

2.1 Системний підхід у дослідженнях авіатранспортних систем

2.1.1 Визначення основних етапів дослідження

Передбачення та запобігання загибелі системи, що здебільшого є результатом порушення стійкості чи зв'язків між елементами системи і вичерпання ресурсів, потребує глибокого вивчення процесів її функціонування, слабих та сильних сторін. Після цього можна починати нескінчену процедуру удосконалення та оптимізації функціонування досліджуваної системи.

Методологія дослідження складних систем потребує особливої єдності процедур синтезу і аналізу. Нижче наводимо запропоновані нами етапи аналізу та моделювання функціонування АТС (рис. 2.1).

1. Визначення меж досліджуваної АТС.

Ці межі умовні. Незважаючи на гадану об'єктивність, вони диктуються конкретним завданням дослідження. Наприклад, межі АТС України в одному випадку можуть включати як підсистеми лише авіакомпанії, що зареєстровані в Україні, в іншому – може виникнути необхідність включення й іноземних експлуатантів. Можна розширити ці межі за рахунок постачальників ПС чи лізингових компаній. Межі АТС, яка буде досліджена в даній роботі, визначені виразами (1.8) та (1.2), але зазначимо, що об'єктом дослідження будуть підсистеми АТС: *авіакомпанії та аеропорти*. Параметри підсистеми *ОрПР* розглядатимуться як вхідні дані чи обмеження пропускну́ї спроможності маршрутів та пропускну́ї спроможності аеропортів і їх здатності обслуговувати ПС певного класу.

2. Опис складу та структури АТС.

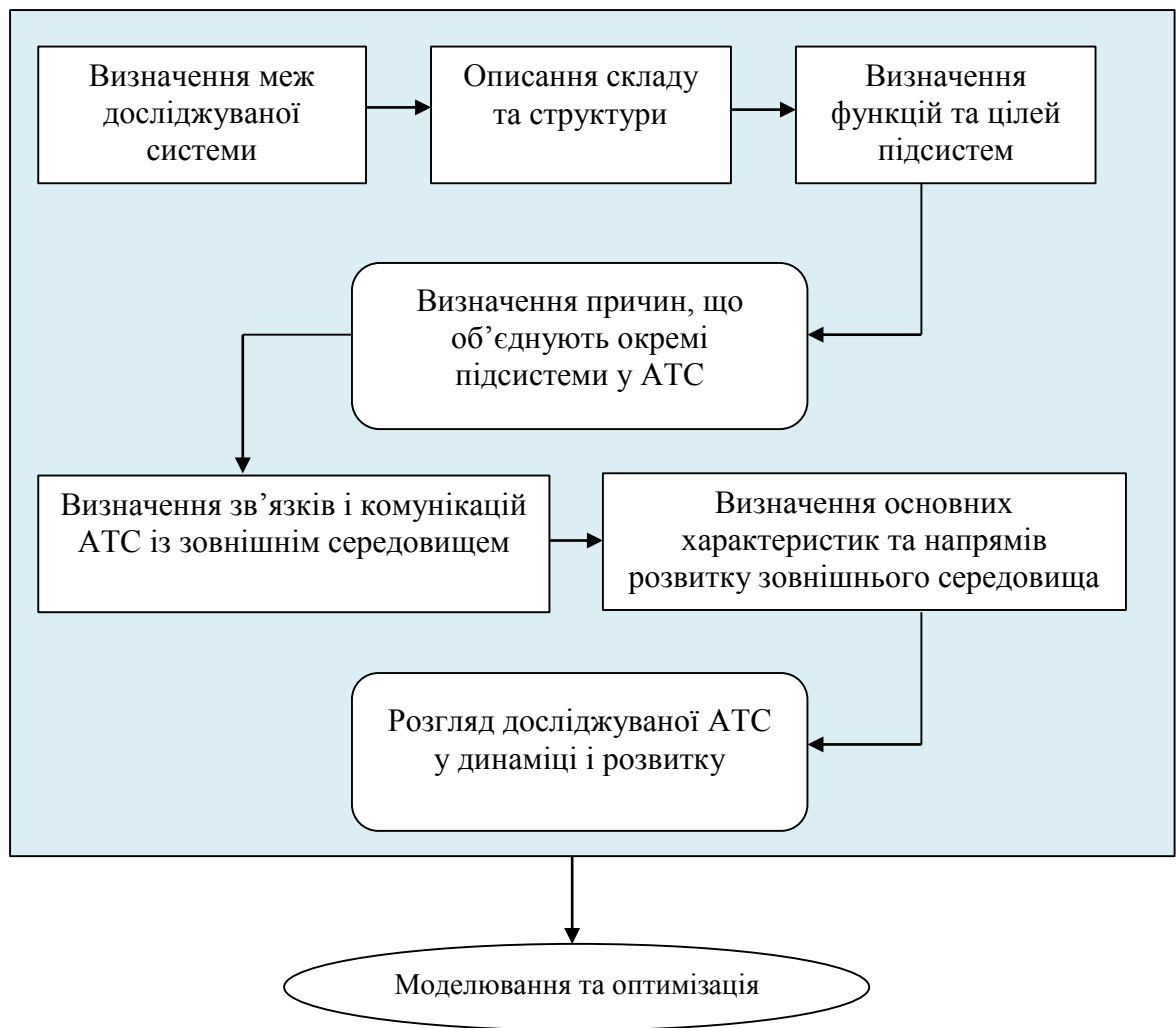


Рисунок 2.1 – Етапи аналізу та моделювання функціонування АТС

Зазначимо, що структура АТС має чітко відображати взаємозв'язок між підсистемами та елементами системи. Як зазначає автор [156], структура системи визначається сформульованою метою, а елементи системи, які не беруть участь в розв'язанні основного завдання, є рудиментами та історично відмирають. Але реально система має нести в собі надмірність, обумовлену проблемою виживання у непередбачених екстремальних умовах. Структура системи, тобто відношення між елементами, їх взаємозв'язок, є найбільш уразливою для втрати її стійкості.

3. Визначення функцій та цілей підсистем АТС, тобто їх цілеспрямовані дії, «внесок» у реалізацію ролі системи в цілому.

Ця процедура має особливу значущість, оскільки в реальних процесах кожна підсистема АТС має не лише корисні властивості, що забезпечують досягнення цілей системи в цілому, але й негативні. Тому необхідно при дослідженні та створенні АТС виокремлювати корисні, доцільні дії (тобто їх функції) серед множини інших дій. Для цього слід відокремити проголошені або розпорядчі функції підсистем від тих, що реально виконуються.

Аналіз функціонування підсистем АТС є необхідним для визначення проблем і завдань: взаємодії транспортних підприємств в умовах самостійності і децентралізації управління; організації виробництва в умовах конкуренції; проведення реорганізації та реструктуризації авіапідприємств та видів їх діяльності; зниження рівня невизначеності в прийнятті стратегічних рішень підсистем АТС.

4. Визначення причин, що об'єднують окремі підсистеми у АТС.

Визначення генеральної мети й вибір засобів її досягнення – основна ідея дослідження систем. Рух системи має сенс, коли він поєднаний із генеральною метою, яка має бути інтегруючим фактором системи. Цілеспрямовано створюючи будь-яку систему, в тому числі і АТС, необхідно закласти в неї бажану концепцію розвитку, тобто здійснити цілепокладання.

Визначення реальної мети, що стала причиною створення тієї або іншої системи, є непростим завданням, оскільки мета – завжди, в будь-якій сфері діяльності – являє собою складне поєднання різних суперечливих інтересів. Наприклад, максимізація прибутку не є метою АТС, це лише один із інтересів її підсистем. Інший, не менш важливий інтерес, – стабільність отримання прибутку. Третій суттєвий інтерес – надійність та безпека авіаційних перевезень. І подібних інтересів багато, і лише в їх перетині, своєрідній комбінації полягає справжня мета. Всебічне пізнання мети дає змогу судити про рівень стійкості АТС, про її несуперечність, цілісність, а головне – передбачати характер подальшого розвитку системи.

5. Визначення всіх надсистем, в які входить досліджувана АТС, та всіх можливих зв'язків, комунікацій АТС із зовнішнім середовищем.

Виходячи із взаємозв'язку всіх сфер життя сучасного суспільства, будь-який об'єкт, зокрема, АТС, слід вивчати як складову частину транспортної, економічної, міжнародно-правової системи (рис. 2.2).

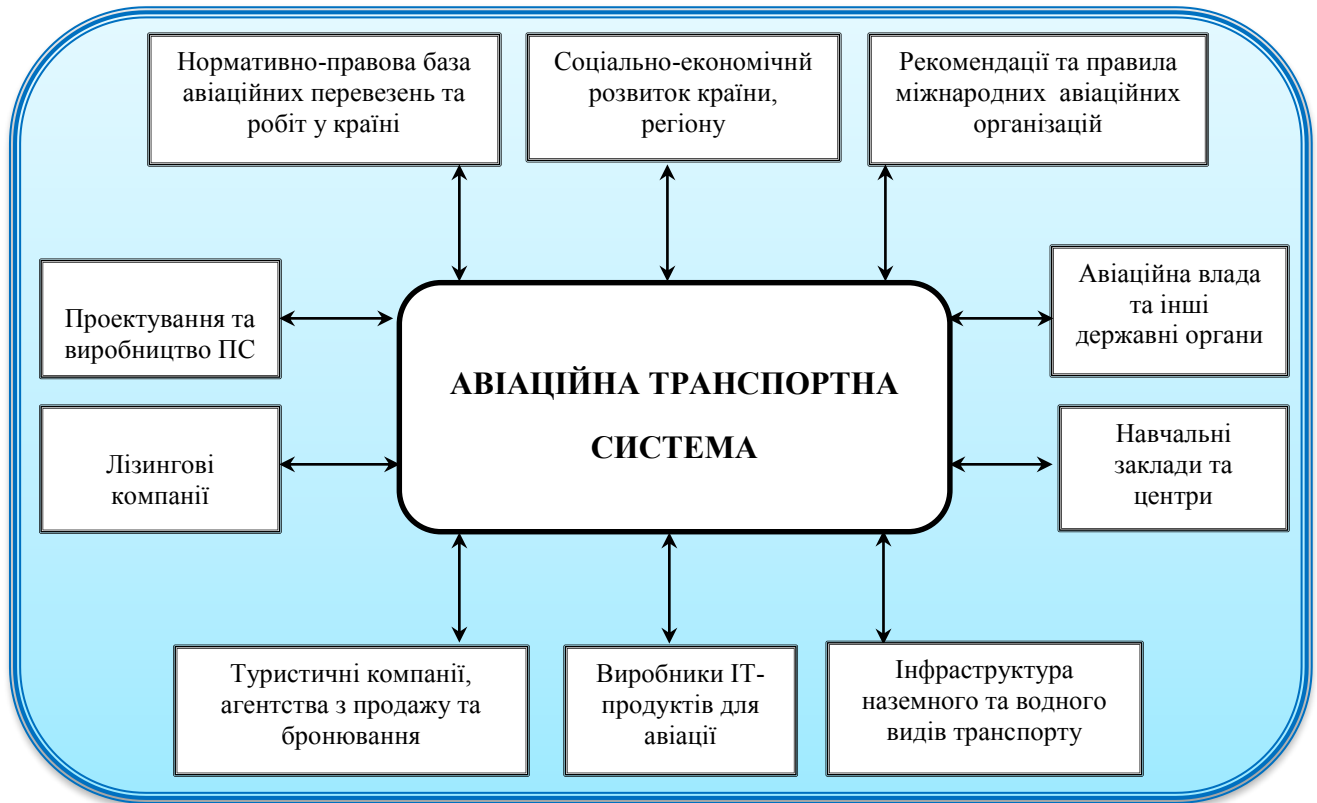


Рисунок 2.2 – Зовнішнє середовище АТС

Кожна з надсистем, у свою чергу, має чимало компонентів, з якими пов'язана АТС, наприклад, необхідність врахування такого компоненту, як процедури та рекомендації ІКАО. Ці ж компоненти входять одночасно і до інших надсистем – соціокультурної, екологічної і т. п. А якщо ще врахувати, що кожна з цих систем, а також кожний з їх компонентів мають свої специфічні цілі, які суперечать одна одній, то стає зрозуміла необхідність свідомого вивчення середовища, що оточує АТС. В іншому разі вся сукупність численних впливів, які здійснюються надсистемами на АТС, буде здаватися хаотичною і непередбачуваною.

Для дійсно глибокого, всебічного вивчення АТС недостатньо виявити її зв'язки з усіма надсистемами, яким вона належить. Необхідно ще пізнати такі

системи у зовнішньому середовищі, до яких належать підсистеми досліджуваної АТС. Наприклад, авіакомпанія зареєстрована в Україні, але фактично належить іншій компанії, яка зареєстрована за кордоном.

6. Визначення основних характеристик та напрямів розвитку основних надсистем, до яких належить АТС, зокрема, сформулювати їх цілі і суперечності між ними.

7. Розгляд досліджуваної АТС в динаміці і розвитку. Це означає: сформулювати історію системи, джерело її виникнення, періоди становлення, тенденції і перспективи розвитку, етапи переходу до якісно нових станів.

Методологія дослідження функціонування та розвитку АТС включає етап моделювання (див. рис. 2.1), який тісно пов'язаний з проблемою ефективного планування. Багато сучасних авторів пропонують різні методології процесу планування на транспорті (наприклад, [377, 383]). Шляхом адаптації найважливіших складових деяких варіантів даного процесу в цілому по ТС було розроблено схему взаємозв'язку етапів від постановки проблеми до моделювання ефективного функціонування та розвитку АТС. На рис. 2.3 видно, що збір даних про елементи (підсистеми) та про систему в цілому – це лише один із етапів дослідження, що веде до оцінювання, відбору та здійснення конкретних рішень щодо ефективного функціонування АТС.

Для обробки бази даних можна використати методи регресійного аналізу, теорії графів і складних мереж. Але підкреслимо, що результати застосування даних методів багато в чому залежать від наявності *достовірної* статистичної бази даних. Достовірність вхідної та вихідної інформації стосовно будь-якої системи має вирішальний вплив на процес моделювання та розробку управлінських рішень.

Зазначимо, що статистична база даних по АТС має задовольняти вимогу повноти опису даної системи і її окремих елементів. Наведемо тезу автора роботи [156, с.37]: «На якість роботи системи сильно впливає ступінь достовірності інформації, яка надходить до неї. Цілеспрямоване спотворення останньої, дезінформація можуть привести систему до загибелі».

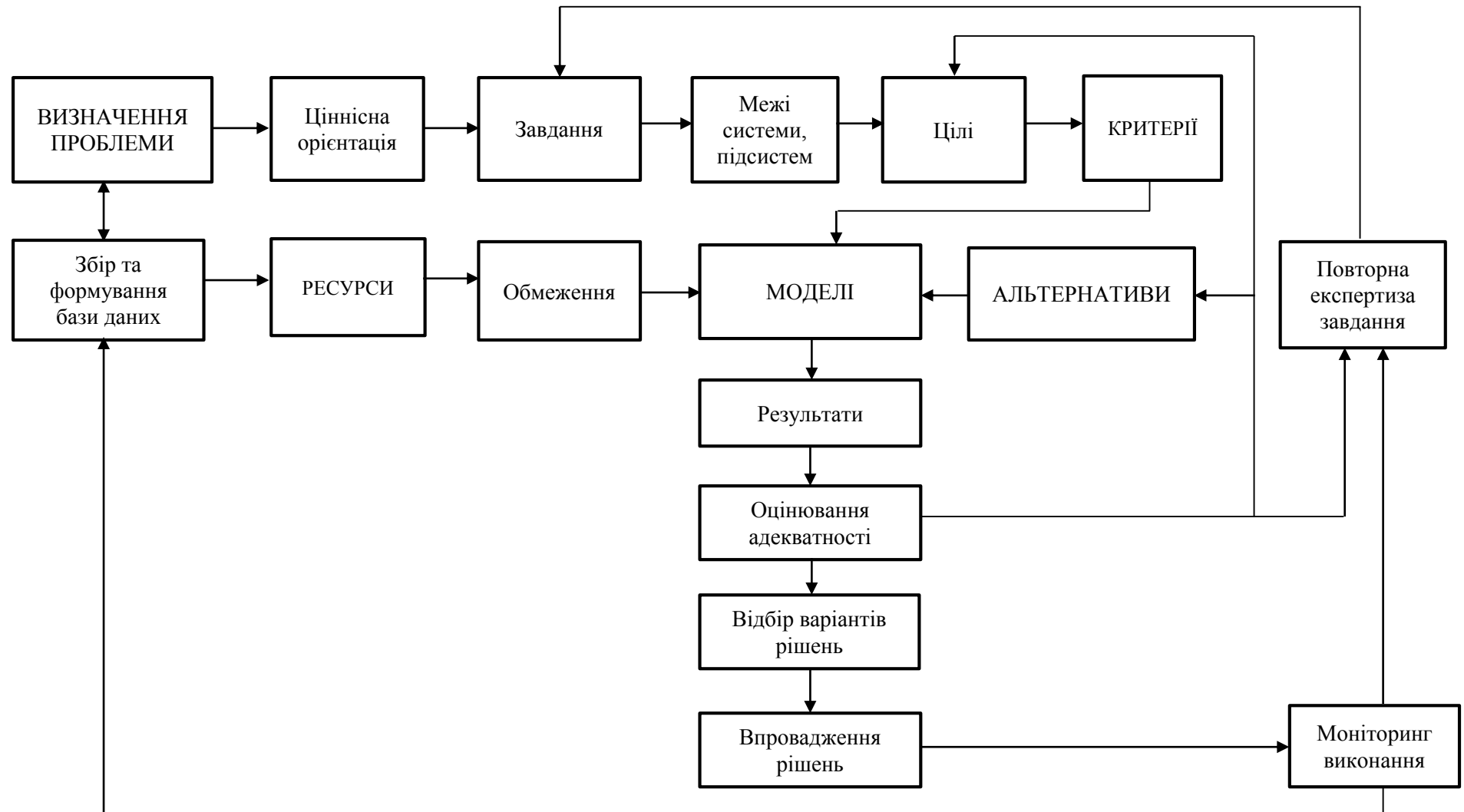


Рисунок 2.3 – Взаємозв’язок етапів аналізу та моделювання АТС

Відправною точкою в процесі аналізу та моделювання АТС (звичайно, в даному випадку *відправна точка* є умовним визначенням, адже процес дослідження й удосконалення АТС є безперервним та замкнутим процесом) є постановка завдання (або проблеми) на стадії розгляду. Це, мабуть, найважливіший компонент процесу дослідження. Дуже часто ретельне визначення проблеми сприяє знаходженню можливих рішень. Важливість визначення проблеми підкреслив J. S. Armstrong [290], який стверджує, що «точне визначення проблем знизить ймовірність помилок III-го типу, (III-й тип – це хороші рішення неправильної проблеми)».

Загалом проблеми АТС часто можуть бути визначені як розбіжність між бажаним і реальним станом системи. Бажаний стан системи може бути відображений у *ціннісних орієнтаціях* і *цілях* (держави, суспільства, індивіда).

У пункті 1.1. АТС було віднесено до категорії складних цілеспрямованих систем, причому на її ускладнення впливають як об'єктивні причини, пов'язані з техніко-технологічним розвитком, так і тенденція до комплексного розгляду процесів, пов'язаних із транспортом. Нагадаємо, що для цілеспрямованих систем важливим є результат досягнення деякого заданого стану [156, с. 82]. Але при визначенні генеральної мети (місії) АТС, у формулюванні якої є важливішим не точно сформульований кінцевий результат, а сам процес реалізації емерджентної властивості системи, суттєвим, на нашу думку, є врахування поняття *ціннісної орієнтації*. У даному разі під *ціннісною орієнтацією системи* будемо розуміти *узагальнені уявлення про блага і прийнятні способи їх отримання, на базі яких у системі здійснюється вибір цілей і засобів діяльності*. Визначені керуючою підсистемою цінності, які має реалізувати АТС, є основою для формування стратегій, концепцій, держаних програм розвитку даної системи. Важливим є врахування того, що проголошені цінності, як і цілі, мають відповідати параметрам стану системи, що досліджується.

Генерування альтернатив, за допомогою яких проблема може бути розв'язана, є, можливо, найскладнішою частиною процесу дослідження АТС, позаяк даний етап потребує творчого підходу. Необхідно визначити

альтернативи, які відповідатимуть встановленим критеріям і обмеженням, накладеним на розв'язання проблеми. Хоча більша частина цього етапу дослідження пов'язана із застосуванням логічних міркувань, необхідно пам'ятати, що нові ідеї часто виходять від нелогічних і випадкових думок [178].

Прикладами альтернативних варіантів рішень, які можуть бути розглянуті для розв'язання проблем АТС, є:

- залишити все без змін;
- змінити технології;
- здійснити будівництво нових об'єктів;
- змінити методи організації роботи;
- диверсифікувати діяльність авіапідприємства;
- змінити регламент або законодавство;
- змінити цінову (тарифну) політику;
- змінити ставлення споживачів (суспільства, авіапідприємства) до проблеми.

Прогноз результатів реалізації різних альтернатив може зумовити потребу перегляду меж системи, цілей і критеріїв, а, відповідно, і змін у моделі.

Використання моделей для опису функціонування системи є ключовою особливістю дослідження транспортного процесу. Концептуально можна було б досліджувати функціонування системи, реалізуючи альтернативні варіанти рішень та спостерігаючи за їх впливом на екологічне, техніко-технологічне, економічне і соціальне середовище. Однак такий підхід має чимало економічних, фінансових, політичних, соціальних та інженерних недоліків. Модель системи має бути підставою для розробки, прогнозування і оцінювання результатів обраних рішень. На думку авторів роботи [382, с. 22], можна визначити три типи моделей АТС (рис. 2.4): 1) моделі «пропозиції», які описують фізичні характеристики системи; 2) моделі «попиту», які описують, як приймають рішення користувачі системи; 3) моделі «ефекту», за допомогою яких вивчають ефекти від використання системи в галузях економіки, екології, соціальної політики.

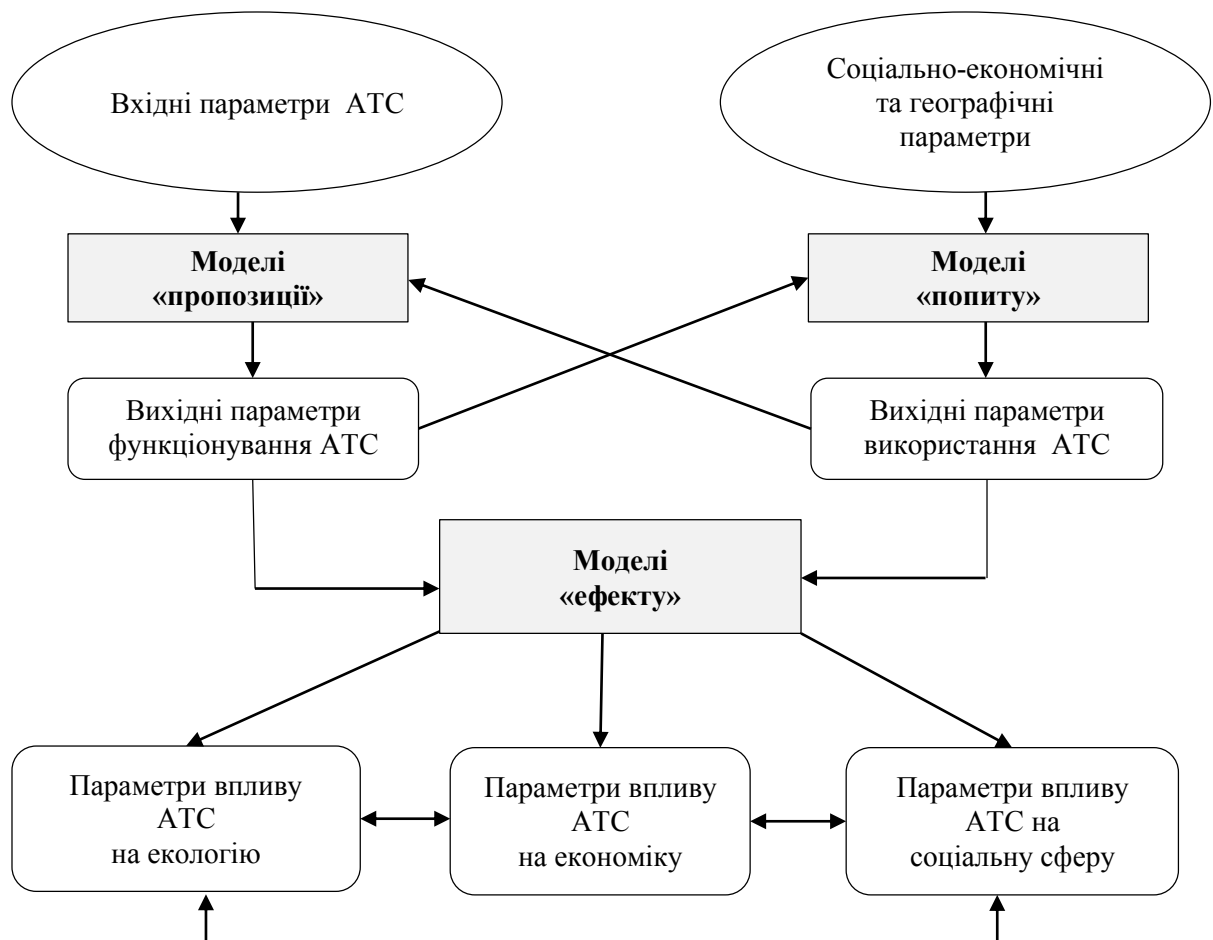


Рисунок 2.4 – Взаємозв’язок типів моделей функціонування АТС
(складено за матеріалами [382])

Ідея моделювання ТС – виявлення законів управління. За допомогою моделей можливе виявлення вже сформованих тенденцій у функціонуванні системи з метою їх аналізу, мобілізації позитивних резервів і нейтралізації загроз. Найбільшою мірою можливості побудови моделей не лише з метою аналізу, а й синтезу системи можуть бути реалізовані при моделюванні розвитку. За організаційно-управлінським змістом основним завданням у такому разі є прогнозування системи.

Складність моделювання функціонування та розвитку АТС визначається наявністю багатьох параметрів даної системи. Тому виникає необхідність упорядкування та автоматизації процедур формування розрахункових умов для отримання раціональних рішень щодо розвитку АТС у залежності від зовнішніх і внутрішніх факторів. Таке завдання може бути розв’язане на базі планування

імітаційних експериментів.

При створенні системи моделей функціонування та розвитку АТС важлива реалістичність моделей, достатня для розумного наближення її результатів до властивостей системи, що моделюється, точність, адекватна точності вихідної інформації, прийнятна швидкість рішення. Моделі повинні забезпечувати інформаційну та математичну сумісність. Величезна кількість елементів і зв'язків у складних системах транспорту, наявність усередині них керуючої підсистеми, яка в принципі є такою, що слабо формалізується, виключає яку-небудь еталонну перевірку якості системи моделей. Оцінка її має експертний характер.

У цих умовах логіка розробки системи моделей призводить до ієрархії моделей, що відбиває декомпозиційний підхід до вивчення й моделювання системи. Для кожної підсистеми АТС модель включає низку взаємопов'язаних блоків:

- блок транспортних потреб – прогнозування попиту;
- блоки функціонування елементів АТС – моделі оптимізації прийняття оперативних рішень усередині елементів АТС;
- блок зовнішніх зв'язків АТС – оптимізація управлінських та інших рішень на рівні державних органів влади та міжнародних авіаційних організацій.

2.1.2 Дерево цілей функціонування авіатранспортної системи

Термін *дерево цілей* було введено У. Черчменом у зв'язку з проблемами прийняття рішень у промисловості [243]. В ситуаціях прийняття рішень застосовують термін *дерево рішень*; при виявленні й уточненні функцій системи управління говорять про *дерева цілей і функцій*; при структуризації науково-дослідної тематики користуються терміном *дерево проблем*, а при розробці прогнозів – *дерево напрямів розвитку* або *прогнозний граф*. У будь-якому разі процедура розробки дерева цілей пов'язана з поняттями *мета* і *структуризація цілі*. Метод дерева цілей орієнтований на отримання повної і відносно стійкої

структури цілей (проблем, напрямів), тобто такої структури, яка протягом певного періоду часу мало змінювалася б за неминучих змін, які відбуваються в системі, що розвивається. Для досягнення цього при побудові варіантів структури необхідно враховувати закономірності формулювання цілей (див. пункт 1.1).

У пункті 1.2.1 було прийняте припущення, що емерджентною властивістю АТС є ефективне задоволення попиту суспільства на авіаційні перевезення. Виходячи з цього, побудуємо дерево цілей АТС за видами діяльності, які забезпечують досягнення цієї властивості (генеральної мети, місії) (рис. 2.5).

Після структуризації цілей АТС за видами діяльності можна перейти до процесу структуризації цієї діяльності. Даний рівень ієрархії цілей буде залежати від світових довгострокових тенденцій, очікуваних тенденцій розвитку регіону чи окремої країни, певних цінностей та очікувань суспільства та відповідних стратегій, затверджених особами, що приймають рішення, наприклад, міжнародними авіаційними організаціями, авіаційною владою країни.

АТС є суттєвим економічним сектором, що не лише надає роботу десяткам мільйонів людей у світі в сфері туризму й подорожей, а й відіграє важливу роль, вносячи вклад у ВВП світу загальною вартістю 1,5 трлн дол. США [377]. На думку директора аеронавігаційного управління ІКАО Ненсі Грема, протягом майбутнього століття на нові технології і системи в світі очікується витратити понад 120 млрд дол. США [40]. Для впевненості, що капіталовкладення такого масштабу будуть задовольняти всі вимоги і очікування, необхідна гармонізація еволюційного розвитку авіаційної системи.

Практика показала, що вирішувати технічні та експлуатаційні проблеми, пов'язані з еволюцією АТС, відносно просто; набагато важчими для подолання є політичні та економічні виклики. Світові фінансові ринки сьогодні виявляються більш вразливими щодо значного зростання рівнів ризику. Особи, які приймають рішення, повинні провести розстановку пріоритетів для своїх інвестицій, зосередившись на закладенні фундаменту забезпечення соціального та економічного процвітання держав. Тобто, на сьогодні для світової АТС є

актуальним завдання розробки методів прийняття рішень щодо «правильних» інвестицій та стратегій, які гарантують підтримку безпечної та ефективної АТС завтрашнього дня.



Рисунок 2.5 – Дерево цілей функціонування АТС за видами діяльності

Процес визначення цілей пов'язаний з формулюванням вимог, які висуваються до закінчення етапу управління. Вимоги виражаються через

параметри стану системи. Згідно з концепцією раціонального планування [156, с. 80] мету необхідно визначати якомога ближче до границі сфери досягнення. Особливо це справедливо для завдань управління з обмеженими ресурсами. На нашу думку, у визначенні цілей АТС є важливим звернути увагу на декілька концептуальних зауважень автора роботи [156, с. 81–109]:

- 1) якщо визначення мети сформульовано малою кількістю суттєвих вимог до системи, то є більше можливостей контролю та корекції управління її руху;
- 2) при визначенні мети необхідно максимально враховувати природний рух системи разом з середовищем в інтересах зменшення міри управління, а отже, зниження кількості ресурсів, необхідних для досягнення мети;
- 3) у складних системах не лише не вдається побудувати єдину траєкторію руху, але й важко ідентифікувати стан системи, а тому можна казати лише про тенденції та напрямки розвитку;
- 4) найбільший ефект функціонування системи досягається при мінімальному впливі на неї, який приводить до мети і задовольняє встановлені вимоги (приклад: економічна свобода, процеси лібералізації).

На основі робіт [82, 171, 229, 370, 371, 401] узагальнимо основні актуальні цільові орієнтири діяльності АТС:

1. Соціальні: підвищення рухливості населення і доступності авіатранспортних послуг; зниження аварійності, ризиків і загроз безпеці; зниження частки транспорту в забрудненні навколишнього середовища.
2. Економічні: інтеграція зі стратегіями та програмами розвитку суміжних галузей; розвиток транспортної мережі у відповідності з потребами економіки і суспільства; підвищення фондівіддачі, продуктивності і рентабельності підсистем АТС.
3. Техніко-технологічні: розвиток транспортної інфраструктури, що забезпечує реалізацію транзитного потенціалу країни (регіону); впровадження техніки і технологій, що забезпечують стандарти безпеки, екологічності, економічності та якості транспортних послуг.

2.1.3 Вибір критеріїв ефективності

Об'єктом дослідження ефективності АТС є результати функціонування даної системи, а предметом – причинно-наслідкові зв'язки й залежності економічних, технологічних і технічних явищ і процесів, що формують ці результати.

Для формування показників ефективності (критеріїв), насамперед, необхідно розуміти цілі досліджень ефективності АТС – теоретичні дослідження з пошуком нових закономірностей розвитку або ж прикладні для розробки рекомендацій з виявлення резервів ресурсів і формування чітких пропозицій з підвищення ефективності функціонування.

Важливим також є визначення суб'єкта оцінювання: чи це зовнішня незалежне оцінювання, чи внутрішня ревізія. Так, для авіаційної влади держави ефективною може вважатися АТС, що має ресурси для забезпечення необхідної мережі авіамаршрутів. Для топ-менеджерів підсистем АТС, наприклад, авіакомпанії, ефективність роботи може оцінюватися приростом прибутку в цілому по компанії або збільшенням прибутковості на 1 пас.-км (т-км). Для наукових досліджень ефективність може оцінюватися шляхом оптимізації деяких параметрів за заданими критеріями, наприклад, порівняння оптимального розподілу парку ПС на заданій мережі авіамаршрутів за критерієм максимального прибутку з фактичним.

Критерії ефективності функціонування АТС залежать також від аспектів дослідження: фінансовий, технічний, технологічний, соціально-економічний, екологічний. Оцінювання ефективності діяльності може проводитися до початку функціонування – *перспективне оцінювання* – для обґрунтування управлінських рішень і планів-прогнозів. *Ретроспективне оцінювання* ефективності необхідне для вивчення тенденцій розвитку, об'єктивного оцінювання й діагностики результатів діяльності підсистем АТС і системи в цілому.

Критерії ефективності формуються з огляду на комплексність оцінювання: оцінювання функціонування АТС за усіма напрямками, або за окремими

підсистемами. Кожна підструктура (сфера) (рис. 2.6), що формує цілісне уявлення про функціонування АТС, потребує визначення низки показників (критеріїв). Деякі з них, наприклад, показники фінансових результатів, фінансової стабільності й ліквідності підприємства, ефективності інвестиційної діяльності, є загальноприйнятими й добре вивченими (див. [92, 162, 163, 195]). Інші критерії, наприклад, для оцінювання ефективності технологій обслуговування, тарифної політики та політики зборів, використання ресурсів, потребують більш детального вивчення й обґрунтування.

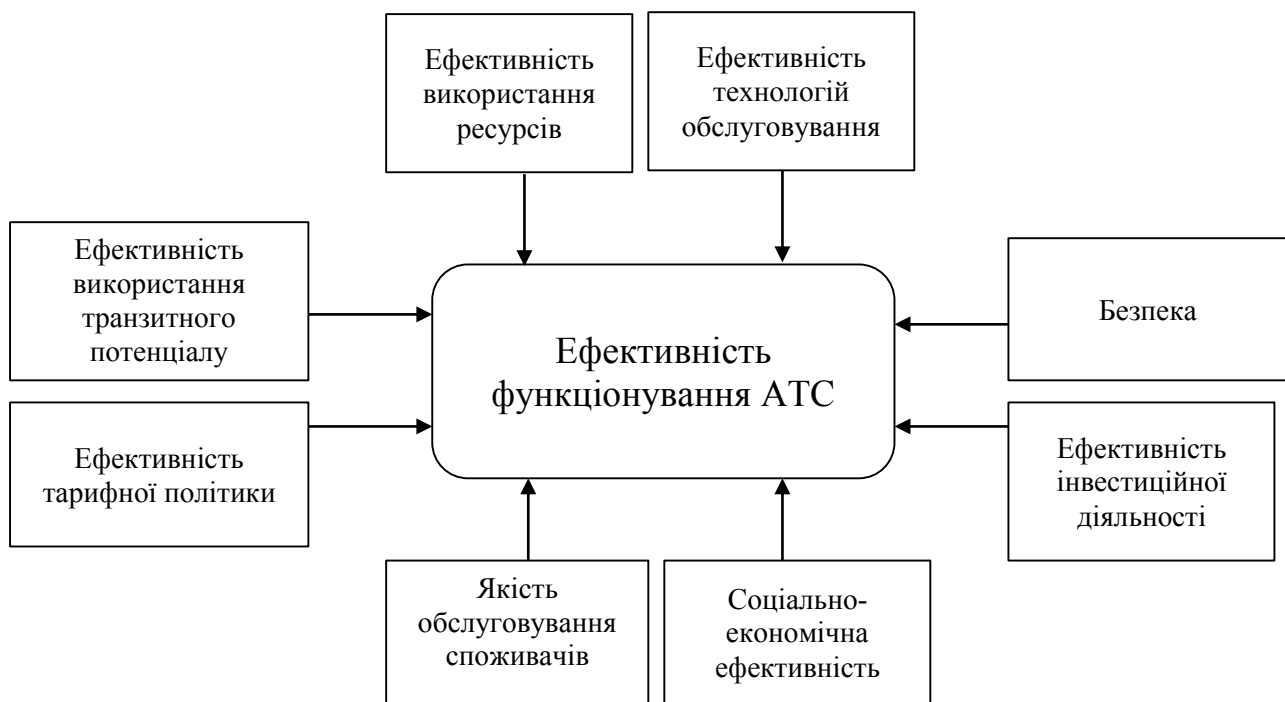


Рисунок 2.6 – Деякі сфери формування критеріїв ефективності функціонування АТС

Топ-менеджери авіапідприємств, науковці, споживачі транспортних послуг завжди з інтересом вивчають звіти міжнародних авіаційних організацій, державних авіаційних властей щодо розвитку авіаційної галузі. На інтуїтивному рівні ми робимо висновки про ефективність функціонування АТС, якщо фіксуємо приріст авіаперевезень, збільшення кількості рейсів, появу нових

маршрутів, нових моделей бізнесу авіакомпаній тощо. Але проблема оцінювання ефективності функціонування та розвитку АТС є більш глибокою та складною.

З інженерної точки зору системи, продукти, події можуть бути охарактеризовані з використанням коефіцієнта ефективності або корисного виходу із загального входу, що називається ефективністю. Взагалі, ефективність це те, що ми можемо додатково отримати з будь-якого процесу. Ефективність можна охарактеризувати за допомогою різних показників. Легко зрозуміти, що існує забагато різних показників, які можуть бути застосовані для оцінювання ефективності.

Здається, що ефективність може бути дуже просто визначена як якість або компетентність у продуктивності, тобто можливість виконати будь-яке завдання з мінімальними витратами ресурсів. Ефективність є й показником того, якою мірою система або компонент виконує свої функції при фіксованому (заданому) споживанні ресурсів.

З іншого боку, оцінити ефективність – це важке завдання, тому що цей термін має різні значення для різних суб'єктів, тимчасом як ТС має визначальну роль в економіці та суспільстві. Ефективність залежить від:

- характеристик, вибраних для її оцінювання;
- потреб і вимог, визначених особистістю, суспільством і економікою;
- наявних наукових результатів, технологій;
- можливих альтернатив (у порівнянні з іншими системами).

Незважаючи на те, що кожна із підсистем є відносно самостійною, виконує тільки їй притаманні специфічні функції, всі вони взаємодіють як між собою, так і з іншими системами зовнішнього середовища АТС. Постає проблема оцінювання *ефективності* та моделювання функціонування даної системи. Системна ефективність, у даному разі, – це категорія, яка відображає відповідність функціонування АТС основним завданням ефективного задоволення потреб економіки в перевезенні вантажів та забезпечення мобільності населення. Тобто ми виходимо за межі визначення ефективності як

досягнення оптимальності виконання відповідних процесів окремих підсистем АТС.

Важливим фактором, що впливає на показники обсягів авіаційної галузі, є структура та характеристика мережі АТС. Jean-François Arvis та Ben Shepherd у дослідженні [291] наполягають на необхідності аналізу одного з аспектів глобальної АТС, якому приділялося відносно мало уваги економістів і експертів у сфері політики, а саме, характеристики АТС як мережевої індустрії. Таким чином, підкреслюється важливість *розвиненості мережі авіамаршрутів* (connectivity) як загальної величини рівня обслуговування – частоти рейсів, надійності та диверсифікації напрямків – доступного для кінцевих користувачів. Розвиненість мережі авіаційного транспорту все частіше визначається як ключова політична концепція, зокрема, у роботі міжнародних форумів, таких як Асоціація країн Південно-Східної Азії і країн Азіатсько-Тихоокеанського економічного співробітництва, але вона на сьогодні не має чіткої емпіричної бази, що не дає змоги директивним органам проводити міждержавні зіставлення або відстежувати прогрес.

У табл. 2.1 наведено короткий опис показників, які використовуються у звітностях міжнародних організацій для визначення розвитку мережі авіамаршрутів країн, який показує, що єдиного підходу з цього питання немає.

Досі перед дослідниками постають питання:

1. Які напрямки мережі авіамаршрутів країни є найважливішими і чому?
2. Який вплив на споживача має впровадження трансферних рейсів?
3. Як оцінити розвиненість мережі авіамаршрутів для пасажирів, метою подорожі яких є відпочинок?
4. Який вплив на розвиток мережі авіамаршрутів мають частота та розклад рейсів?

Охопити різні аспекти роботи АТС в одному числовому показнику пропонується в дослідженні [291], де під розвиненістю мережі розуміється можливість зв'язку і важливість країни як вузла в глобальній системі авіаційного транспорту. Пропонується в ІРМА країни враховувати не лише кількість зв'язків,

але й вартість переїзду до інших країн мережі. Підхід J.-F. Arvis та B. Shepherd у роботі [291] до визначення і вимірювання IPMA впливає з узагальненої моделі тяжіння (гравітаційна модель). У теорії торгівлі ця модель пояснює розбіжності в інтенсивності процесу торгової інтеграції як функції, що залежить від розміру ВВП і близькості торгових партнерів [338].

Таблиця 2.1 – Приклади показників для оцінювання розвиненості мережі авіамаршрутів

Показники	Пояснення значення
Кількість напрямків, що обслуговуються	Скільки напрямків є доступними. Частота рейсів
Добуток кількості напрямків, що обслуговується, на частоту рейсів	Скільки рейсів є доступними за деякий період часу
Наявна ємність	Скільки пасажирів можуть скористатися авіаційним транспортом на заданій мережі авіамаршрутів
York-індекс розвиненості мережі авіамаршрутів (IPMA) для бізнесу (York Aviation Business Connectivity Index)	Охоплює економічну значущість напрямків
Netscan IPMA (Netscan Connectivity Index,)	Оцінює наявну ємність, враховує як прямі так і стикувальні рейси, час, що витрачається на трансфер, та потенційний час затримок
IPMA IATA (IATA Connectivity Index)	Оцінює важливість пункту призначення на підставі обсягів кінцевого аеропорту призначення
IPMA Всесвітнього Економічного Форуму (World Economic Forum Connectivity Index)	Наведено дані про заплановані наявні крісло-кілометри на тиждень у 2012 р. для вибірки з 144 країн. Не враховує частоту маршрутів, або економічну значущість пунктів призначення

У загальному вигляді гравітаційна модель може бути записана так [291]:

$$X_{ij} = K_{ij}A_iB_j, \quad (2.1)$$

де X_{ij} – показник взаємодії між об'єктами,

K_{ij} – зовнішній фактор, що об’єднує об’єкти i та j (наприклад, відстань, витрати на перевезення типу «туди й назад»). Вибір факторів залежить від конкретної моделі,

A_i – деяка міра значущості об’єкта i ,

B_j – деяка міра значущості об’єкта j .

Кінцева модель визначення IPMA в дослідженні [291] має вигляд:

$$\log C_i = -\sum_j \frac{X_{ij}}{X_i} (-\log K_{ij}) - \sum_j \frac{X_{ij}}{X_i} \left(-\log \frac{\frac{X_{ij}}{X_i}}{\frac{B_j}{\sum_j B_j}} \right), \quad (2.2)$$

де C_i – зв’язність, або IPMA; $X_i = \sum_j K_{ij} A_i B_j$.

Детальне вивчення роботи [291] показує, що запропонований підхід (2.1), (2.2) відображає переваги хабів, але є все ж таки важким для інтерпретації. Таку саму оцінку даного підходу знаходимо і в дискусійному огляді [318].

В даній роботі визначимо ефективність АТС країни як ефективність розвитку авіатранспортної мережі – системи аеропортів і авіамаршрутів, що їх з’єднують. У даному разі під мережею G будемо розуміти множину аеропортів N , пов’язаних множиною авіамаршрутів A :

$$G = [N, A], \quad (2.3)$$

де $N = X \cup Y$ – множина аеропортів, яка об’єднує в собі множину аеропортів X , які належать АТС, що розглядається, та мають зв’язки з множиною аеропортів Y , які належать іншим АТС.

Нехай кожному авіамаршруту $(x, y) \in A$ мережі G відповідає невід’ємне число $p(x, y)$, яке ми будемо називати пропускнуою спроможністю авіамаршрута (x, y) . Функцію P назвемо функцією фактичної ємності АТС, яка кількісно відображає можливий ступінь задоволення потреб в авіаційних перевезеннях і є показником розвитку даної системи. В загальному вигляді функцію P можна записати так:

$$P = \sum_{(x,y) \in A} p(x,y) = f(\max_{x,y \in N} B_{x,y}, TS, TP, TH), \quad (2.4)$$

де x, y – аеропорти, пов’язані авіамаршрутами A ; $\max_{x,y \in N} B_{x,y}$ – максимальна пропускна спроможність аеропортів x, y , які входять у мережу G ; TS – сумарна місткість ПС, що експлуатуються на авіамаршрутах A ; TP – кількість персоналу, задіяного в обслуговуванні АТС; TH – сумарний наліт ПС, що експлуатуються на авіамаршрутах A .

Ефективність авіатранспортних мереж пов’язана з такими питаннями, як: формування попиту, обґрунтування обсягів авіап перевезень і місткості, що надається, способів виробництва польотів, раціональне використання наявних у авіапідприємств ресурсів.

В ході оцінювання ефективності функціонування авіатранспортної мережі необхідно визначити наявність попиту на цю мережу у потенційних користувачів. Сучасні умови розвитку авіатранспортних мереж потребують обов’язкового врахування динаміки відповідного сегмента ринку. Без попиту розвиток авіатранспортної мережі є економічно, а отже, й технологічно необґрунтованим. Зроблене твердження кардинально змінює методологічні підходи до проблеми підвищення ефективності АТС.

Дослідження ефективності розвитку авіатранспортної мережі як складної системи вимагає чіткого визначення понять, критеріїв і методів оцінки ефективності.

Слід розрізняти *цільову і технологічну ефективність*. Під цільовою ефективністю авіатранспортної мережі розуміють ступінь відповідності функціонування досліджуваної мережі її цільовим призначенням, тобто ступінь досягнення мети. Під технологічною (ресурсною) ефективністю будемо розуміти ступінь інтенсивності використання ресурсів мережі з точки зору співвідношення між обсягами перевезень, з одного боку, і обсягами витрачених

ресурсів – з іншого. Ця характеристика може вимірюватися в загальному випадку векторними показниками.

Важливим є визначення *показника ефективності*. Міру інтенсивності прояву ефективності називають показником ефективності W . Дамо більш розгорнуте визначення ефективності авіатранспортної мережі: показник ефективності авіатранспортної мережі – це кількісна характеристика кінцевого результату її функціонування і розвитку протягом обумовленого періоду в порівнянні з витратою ресурсів при заданих характеристиках стану мережі та впливу зовнішнього середовища, а також при заданому векторі управління.

У найзагальнішій формі показник ефективності авіамережі пропонується будувати як певну функцію:

$$W = F(\Phi_K, \Phi_H, R_K, R_H) \quad (2.5)$$

де Φ_K – можливий або фактично досягнутий корисний ефект (кінцевий результат) функціонування і розвитку авіамережі; Φ_H – цільовий корисний ефект (необхідний кінцевий результат) функціонування і розвитку авіамережі; R_K – можлива або фактична кількість витрачених ресурсів для отримання Φ_K ; R_H – мінімально необхідна кількість ресурсів для отримання Φ_H . Якщо (Φ_K, R_K) розглядаються як можливі величини, то мова йде про прогнозування ефективності, а у разі, коли (Φ_K, R_K) фактично отримані, то показник W буде відображати фактично досягнуту ефективність за деякий період функціонування авіамережі.

Для ухвалення рішення про досягнення мети необхідно обрати *критерій ефективності*, тобто правило, яке дає змогу зіставляти стратегії, що характеризуються різним ступенем досягнення мети, і здійснювати цілеспрямований вибір стратегій з множини припустимих. Критерій ефективності вводиться на основі певної концепції раціональної поведінки (розробки рішень): придатності, оптимізації, адаптації [156] (рис. 2.7).

Критерії ефективності функціонування авіатранспортної мережі		
<i>Концепція придатності</i> Раціональною визнається будь-яка стратегія u, для якої значення показника ефективності W не нижче деякого необхідного рівня W^n: $W(u) \geq W^n, u \in U$	<i>Концепція оптимізації</i> Раціональними вважаються ті стратегії u^*, які дають максимальний ефект: $W(u^*) = \max_{u \in U} W(u)$	<i>Концепція адаптації</i> Раціональною вважається така адаптивна стратегія $u(t)$ з множини $U(t, \tau)$, яка забезпечує виконання умови: $W_t(u^*(t), \tau) \geq W_t^{opt}(u(t), \tau),$ $u(t) \in U(t, \tau)$, де t – час, τ – випередження прогнозу

Рисунок 2.7 – Концепції вибору критерію ефективності функціонування авіатранспортної мережі

Концепція придатності авіатранспортної мережі. Раціональною визнається будь-яка стратегія u , для якої значення показника ефективності W не нижче деякого необхідного рівня W^n :

$$W(u) \geq W^n, u \in U, \quad (2.6)$$

де U – множина припустимих стратегій.

Концепція оптимізації авіатранспортної мережі. Раціональними вважаються ті стратегії $u^* \in U$, які дають максимальний ефект:

$$W(u^*) = \max_{u \in U} W(u). \quad (2.7)$$

Рішенням може бути множина рівноцінних оптимальних стратегій $\{u^*\} \subset U$. При цьому показник ефективності $W(u)$ – скаляр.

Концепція адаптації авіатранспортної мережі. За цією концепцією стратегія u може змінюватися в процесі функціонування мережі. При цьому в поняття стратегії включаються також параметри мережі і її структура. Зміни відбуваються на основі не тільки апріорної інформації, але й поточної і прогнозної інформації. Множина припустимих стратегій U і мета

функціонування авіамережі також можуть змінюватися. У рамках такої концепції раціональною вважається така адаптивна стратегія $u^*(t)$ з множини $U(t, \tau)$, що забезпечує, наприклад, виконання умови:

$$W_t(u^*(t), \tau) \geq W_t^{opt}(u(t), \tau), \quad u(t) \in U(t, \tau), \quad (2.8)$$

де t – час, τ – випередження прогнозу, $W_t^{opt}(u(t), \tau)$ – оптимальний показник ефективності стратегії $u(t)$. Запис W_t означає, що показник ефективності може змінюватися в часі.

Найважливішим правилом при виборі критерію ефективності авіатранспортної мережі є узгодженість її мети функціонування з обраним критерієм.

Ефективність авіатранспортної мережі може бути досліджена на різних рівнях, тобто на рівні інтересу і рівні розміру. У першому випадку оцінка ефективності залежить від поставленої мети і може бути визначена витратами енергії, фінансів, індивідуальними і суспільними потребами (рис. 2.8).

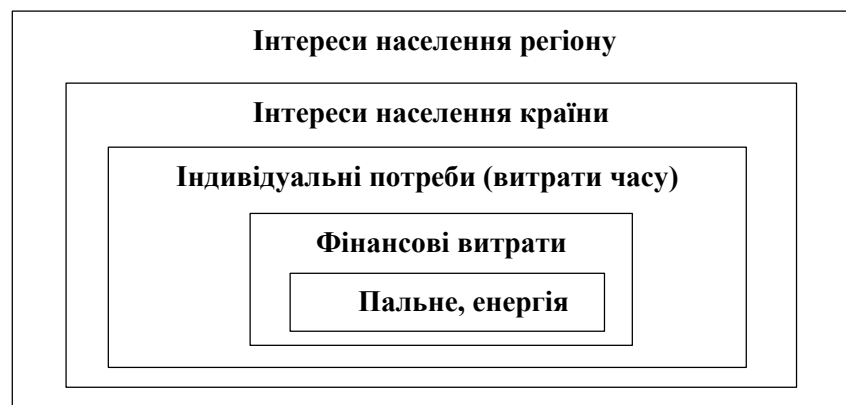


Рисунок 2.8 – Перетин множин інтересів у визначенні ефективності розвитку авіатранспортної мережі країни (за ідеєю [387])

Критерій паливної ефективності авіатранспортної мережі – це енергія, яка використовується для однієї льотної години, транспортування одиниці

комерційного завантаження, одного пасажирів або транспортна робота, виконана шляхом використання однієї одиниці енергії. Згідно з висновками, зробленими у роботі [387], дані критерії можна записати в такому виді:

$$K_{\text{еф}1} = \frac{\text{кількість використовуваного пального}}{\text{наліт годин}} \left[\frac{\text{кг (л)}}{\text{год.}} \right], \quad (2.9)$$

$$K_{\text{еф}2} = \frac{\text{кількість використовуваного пального}}{\text{кількість транспортної роботи}} \left[\frac{\text{кг (л)}}{\text{ткм}} \right], \quad (2.10)$$

$$K_{\text{еф}3} = \frac{\text{кількість використовуваного пального}}{\text{пасажирообіг}} \left[\frac{\text{кг (л)}}{\text{пас.км}} \right], \quad (2.11)$$

$$K_{\text{еф}4} = \frac{1}{K_{\text{еф}3}} \left[\frac{\text{пас.км}}{\text{т (л)}} \right], \quad K_{\text{еф}5} = \frac{1}{K_{\text{еф}2}} \left[\frac{\text{ткм}}{\text{т (л)}} \right]. \quad (2.12)$$

Виробники ПС скорочують споживання пального безперервно. Сьогодні звичайний повітряний транспорт споживає пального на 1 пас.-км не більше, ніж автомобільний транспорт [387].

Якщо енергетичні коефіцієнти визначати для всієї ТС країни, то розрахунки будуть набагато складнішими, тому що необхідно брати до уваги використання енергії в ході створення інфраструктури, наприклад, дорожнього будівництва, будівництва злітно-посадкових смуг (ЗПС) і т.п.

Критерії ефективності витрат дуже схожі на коефіцієнти паливної ефективності (2.9)–(2.12), тільки замість пального, що витрачається, розглядаються витрачені фінансові ресурси. Звичайно, витрати можуть бути розраховані за допомогою різних підходів, як це показано на рис. 2.9.

З точки зору авіакомпанії, слід окремо розглянути прямі й непрямі експлуатаційні витрати. Однак для користувачів авіатранспорту загальні витрати на перевезення є важливішими, ніж витрати на окремі операції чи стадії перевезень, адже потенційні пасажирів і вантажна клієнтура є користувачами послуг ТС у цілому. Користувачі намагаються мінімізувати вартість

перевезення, об'єднуючи різні види транспорту. Тому у формуванні авіатранспортної мережі необхідно використовувати логістичні підходи. Крім того, слід узяти до уваги загальні витрати, пов'язані з використанням природних ресурсів і розвитком інфраструктури, необхідні для функціонування авіатранспортної мережі країни.

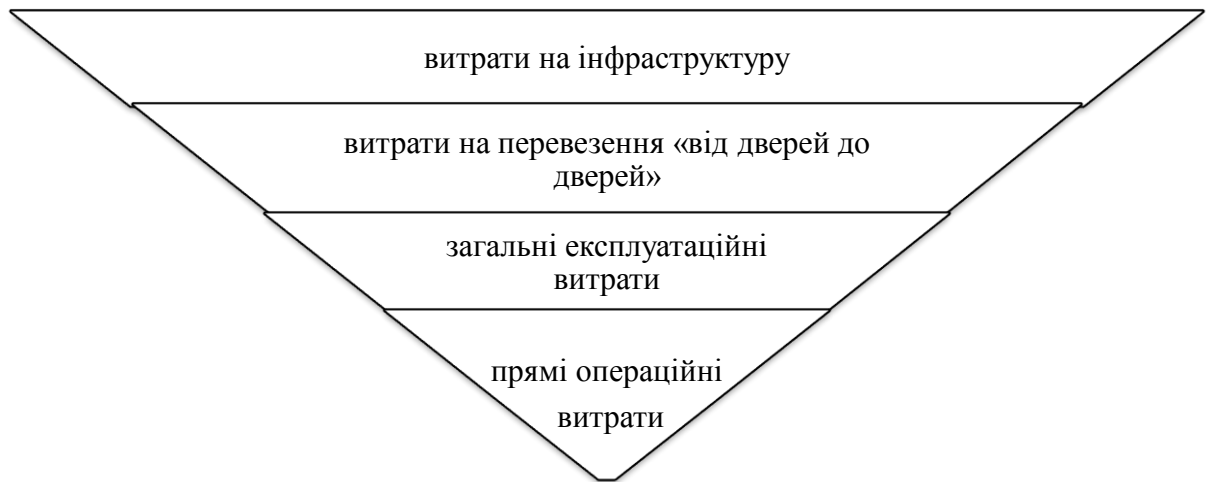


Рисунок 2.9 – Ієрархія витрат на функціонування авіатранспортної мережі країни (за ідеєю [387])

Критерії ефективності з точки зору індивідуальних потреб базуються на ступені задоволення попиту на окремі авіамаршрути. Однак формулювання цих критеріїв і оцінок є досить складною проблемою. Різні групи людей мають різні пріоритети в оцінюванні можливостей перевезення. Рішення про перевезення приймаються в залежності від часу, вартості, доступності, безпеки і т.д. Зупинимося на часовому критерії, тобто на тих споживачах авіамережі, для яких ефект економії часу може бути найважливішим чинником. З цієї точки зору індивідуальні вимоги можуть бути охарактеризовані часом, використовуваним для заданої поїздки, перевезення. Критерії, виражені часовим коефіцієнтом, можуть бути розраховані як енергетичні коефіцієнти (2.9)–(2.12) із заміною енергії або пального на час. Тут необхідно врахувати час польоту, час, необхідний для поїздки від аеропорту до аеропорту, час, витрачений на перевезення «від дверей до дверей», тобто з урахуванням витраченого часу на

перевезення іншими видами транспорту або час, пов'язаний з експлуатацією транспортних систем для підтримки економіки (у разі вантажних перевезень).

Час, який використовується для перевезення, здебільшого залежить від дальності. З іншого боку, час польоту залежить від характеристик ПС, часу на доставку від аеропорту до аеропорту, який, у свою чергу, залежить від характеристик і розвитку відповідної інфраструктури та умов експлуатації (наприклад, погодні умови). Як правило, час перевезення залежить також від взаємодії на міждержавному рівні (час, що використовується для адаптації ТС до умов різних країн), узгодження розкладу (надання слотів) і т. д. Нарешті, суспільство може мати економічні, соціальні й політичні пріоритети, які потребують деякого додаткового часу, у використанні нових ТС, нових авіатранспортних мереж. Все це слід враховувати при розрахунку часового коефіцієнта критерію ефективності розвитку авіамережі з точки зору індивідуальних потреб.

Інструментарій, застосовуваний для дослідження ефективності авіамережі, можна розділити на три рівні [13]:

- базовий інструментарій: теорії множин, графів, математичне програмування, теорія диференціальних рівнянь, статистичні методи й ін.;
- спеціалізовані методи дослідження ефективності, які будуються на основі інструментарію першого рівня (наприклад, теорія виробничих функцій, імітаційне моделювання);
- макроінструменти (методики, що поєднують у собі різні інструменти перших двох рівнів).

Вибір інструментарію визначається розв'язуваним завданням і рівнем складності досліджуваної мережі.

Наступним кроком у дослідженні ефективності АТС має бути розробка конкретних методів із застосуванням інструментарію дослідження ефективності різних рівнів узагальнення чи спеціалізації, які нададуть можливість більш формалізовано та об'єктивно оцінювати відповідність функціонування та планів

розвитку системи реальним потребам споживачів авіапослуг та національним інтересам країни.

2.1.4 Формування ресурсів

Ресурси авіакомпанії

Основним продуктом авіакомпанії є виробництво послуг з авіаційних перевезень пасажирів, вантажу та пошти. Обсяг послуг, які надано за заданий період, зазвичай оцінюється у наявних крісло-кілометрах та доходних пасажиро-кілометрах. Як будь-який виробник послуг авіакомпанія споживає відповідні ресурси. Ресурси авіакомпанії можна розподілити на фізичні та нефізичні [351].

Основні фізичні ресурси це: трудові, які визначені наявним персоналом авіакомпанії; капітальні, представлені парком ПС, будівлями та спорудами, обладнанням для ремонту та технічного обслуговування, засобами комунікацій та засобами для виконання технологічних операцій з обслуговування пасажирів та обробки багажу, вантажу та пошти (БВП).

Авіаційний персонал – це особовий склад авіаційного підприємства, організації, підрозділу, навчального закладу, який складається з авіаційних спеціалістів за професійною ознакою. Особа, яка належить до авіаційного персоналу, повинна бути сертифікована на відповідність її чинним у країні кваліфікаційним вимогам за професійною ознакою. Правила і порядок сертифікації авіаційного персоналу встановлюються відповідним органом державного регулювання діяльності авіації.

Обсяг *трудових ресурсів* характеризується кількістю, структурою, фондом робочого часу. Загалом персонал поділяється на авіаційний та неавіаційний. У статистичних збірниках ІКАО персонал класифікується так:

- пілоти та другі пілоти;
- інші члени льотного екіпажу;
- бортпровідники;

- персонал з технічного обслуговування та ремонту:
- а) інженери з обслуговування ПС, що мають свідоцтво;
- б) інший персонал;
- персонал з продажу;
- інший персонал.

Парк ПС, який становить левову частку основних фондів авіакомпанії, може складатися з різних типів і, відповідно, ПС різної місткості. Кількість і типаж ПС залежить від бізнес-моделі авіакомпанії (рис. 2.10) та мережі авіамаршрутів, що експлуатується.

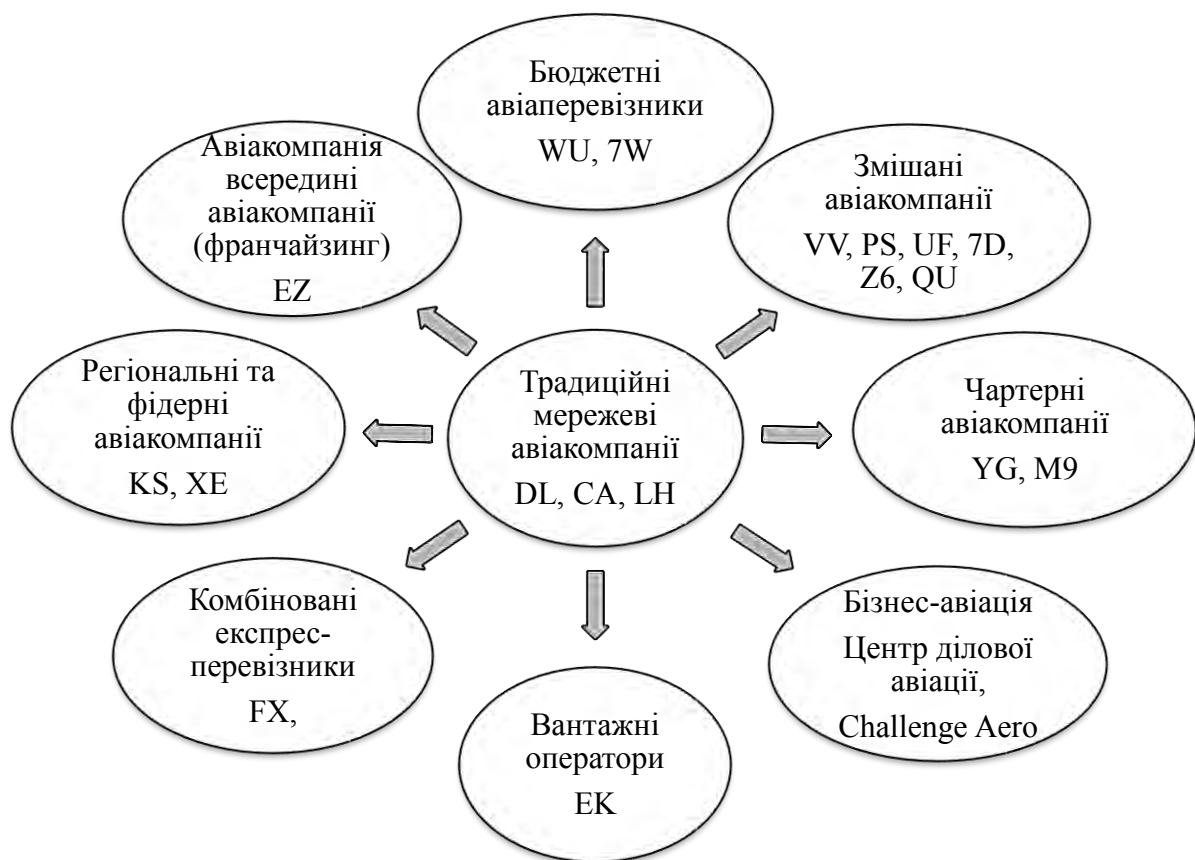


Рисунок 2.10 – Бізнес-моделі авіакомпаній¹

Під час формування парку ПС необхідно враховувати техніко-економічні характеристики різних типів. Характеристики й відповідні класифікації ПС пов'язані з характеристиками аеропортів, які можуть бути включені в мережу

¹ Розшифровування кодів авіакомпаній наведено у списку скорочень.

авіамаршрутів авіакомпанії (зокрема, важливими є розміри виходів на посадку, перону та руліжних доріжок та ін). Більшість із стандартів дизайну аеропортів пов'язані з розмірами літаків (розмах крил, довжина ПС, база колісного шасі літаків, місткість ПС та інші). Для експлуатації парку ПС крім технічних параметрів важливо враховувати економічні питання, а саме, розуміти структуру собівартості рейсу та тарифної політики авіакомпанії [136, додаток Г].

Основними нефізичними ресурсами є *комерційні права авіакомпанії на експлуатацію авіамаршрутів та ринок споживачів*. Дані ресурси залежать від зовнішніх факторів, а саме від обраної державою концепції (моделі) розвитку АТС. Умовно можна визначити

– «адміністративну» концепцію із прямим державним регулюванням доступу на ринок, місткості, тарифів, аеропортових зборів, іноземних інвестицій тощо (часто передбачає монополію ринку), та

– «ліберальну» – яка означає невтручання держави в питання економіки авіапідприємств.

Державне регулювання має сприяти створенню та підтримці конкурентного середовища починаючи з розширення комерційних прав авіаперевізників аж до вільного доступу на ринок авіаперевезень – чистої конкуренції на ринку транспортних послуг.

Отже, обсяг ринку авіакомпанії (кількість пасажирів та вантажної клієнтури) залежить від того, чи є авіакомпанія монополістом узагалі, чи на деякому специфічному ринку авіапослуг, або від успіху в конкурентній боротьбі з іншими авіакомпаніями та видами транспорту на заданих маршрутах.

Покажемо взаємозв'язок між фізичними та нефізичними ресурсами авіакомпанії на прикладі залежності частки ринку авіакомпанії від наявної місткості парку ПС.

Наявні ресурси авіакомпанії визначають *обсяг пропозиції*, який, в свою чергу, може бути визначений обсягом наявних пасажиро-кілометрів або тонно-кілометрів на окремому авіамаршруті чи мережі авіамаршрутів, які експлуатуються даною авіакомпанією.

Обсяг пропозиції V авіакомпанії k на авіамаршруті j за деякий період часу t може бути оцінений як:

$$V_{jt}^k = v_{jt}^{max} S_j, \quad (2.13)$$

де v_{jt}^{max} – максимальна кількість рейсів, яка може бути виконана на маршруті j за деякий період часу t ,

S_j – середня місткість ПС, які використовуються на авіамаршруті j , кількість крісел.

Використовуючи вираз (2.13), легко знайти ємність мережі маршрутів авіакомпанії:

$$V_{jt}^k = \sum_{j=1}^n v_{jt}^{max} S_j. \quad (2.14)$$

Теоретично v_{jt}^{max} залежить від пропускної спроможності повітряної траси, де проходить авіамаршрут j , і може бути легко визначена як $v_{jT}^{max} = \frac{T}{h_{min}}$, де T – період часу, що розглядається, h_{min} – це мінімум ешелонування між ПС, які прямують один за одним, згідно із застосовуваними правилами УПР. Правила мінімуму ешелонування необхідно розглядати тільки у разі, якщо є безперервний попит на даний авіамаршрут [351]. Але в реальних системах така умова є швидше винятком. Тому важливішими факторами, що визначають v_{jt}^{max} , є потенційний попит, комерційні права на маршрут, політика авіакомпанії. Додамо, що міжурядові двосторонні та багатосторонні угоди про повітряне сполучення визначають та обмежують кількість та можливості отримання слотів в окремих аеропортах. В умовах лібералізації ринку авіаційних перевезень авіакомпанії можуть конкурувати між собою, використовуючи частоту польотів як інструмент конкуренції.

Згідно [393], на маршруті, який експлуатують K авіакомпаній, відношення між обсягом ринку авіакомпанії та загальним обсягом пропозиції може бути

аналітично записане таким чином:

$$MS_{jt}^k = \frac{(v_j^k S_j^k)^\alpha}{\sum_{k=1}^K (v_j^k S_j^k)^\alpha} \quad \forall j = \overline{1, a}, \quad (2.15)$$

де v_j^k – частота рейсів k -ої авіакомпанії на авіамаршруті j ;

S_j^k – місткість ПС, яке експлуатується k -ою авіакомпанією на авіамаршруті j ;

α – емпірична константа в діапазоні між 1 та 2 (визначається трендом S -подібної кривої [393]).

Ресурси аеропорту

Граничний обсяг пропозиції аеропорту може бути визначений максимальною кількістю споживачів (ПС, пасажирів, вантажі, вантажна клієнтура), які можуть бути обслужені у заданий період часу за умови безперервного попиту на послуги аеропорту.

Обсяг пропозиції аеропорту визначається ресурсами двох його підсистем: наземної та повітряної (контрольованої) зонами (в зарубіжній літературі визначені як *Airport Landside Area* та *Airport Airside Area*).

Наземна інфраструктура аеропорту складається з двох частин: системи наземного доступу до аеропорту та пасажирських і вантажних терміналів. Повітряна зона аеропорту складається з комплексу місць стоянок ПС, виходів на посадку у ПС із відповідним устаткуванням для користувачів аеропортових послуг. Іншим компонентом повітряної зони є система руліжних доріжок і ЗПС із прилеглим повітряним простором, де знаходяться літаки до посадки та після злету.

Загальний обсяг пропозиції аеропорту визначатиметься «слабким» елементом чи «вузьким місцем», де наявні ресурси не відповідатимуть існуючому попиту.

Система наземного доступу аеропорту залежить від характеристик наявного ресурсу відповідної інфраструктури, а саме: автомобільних доріг чи залізничний

колій, які з'єднують населені пункти з аеропортом та відповідних транспортних засобів, якими доставляють пасажирів, БВП до і з аеропорту.

Ресурсами повітряної зони аеропорту є кількість та напрямок ЗПС, руліжних доріжок, обладнання ЗПС для посадки за приладами. Важливим фактором є також характеристика місця розташування аеропорту за метеоумовами і, відповідно, можливість виконання операцій за правилами ІМС (приладові метеорологічні умови) та VMC (візуальні метеорологічні умови). Ці правила визначають тип норм ешелонування між літаками, які застосовуються в АТС.

Ресурс повітряної зони аеропорту характеризується також можливістю приймати різні типи ПС. Так, в FAA і ICAO техніко-експлуатаційні характеристики, які дають можливість аеропорту обслуговувати певні типи ПС, застосовуються як критерій класифікації аеропортів.

На ресурс повітряної зони, крім того, впливають такі фактори:

- тактика АТС, яка застосовується в управлінні своєчасного закриття прильотів і вильотів в повітряній зоні аеропорту;
- показники руху ПС на руліжних доріжках (швидкість, безпечна відстань між ПС, що здійснюють руління, згідно правил АТС);
- кількість місць стоянок, кількість персоналу, яке здійснює технічне обслуговування ПС;
- різні експлуатаційні прийоми зниження шуму, необхідні як за правилами АТС, так і місцевого аеропорту.

Важливими ресурсами аеропортів є засоби автоматизації та механізації технологічних процесів. Технологічний процес у нашому випадку – це послідовність операцій, необхідних для підготовки рейсу.

Для опису ресурсів аеропортів проведемо класифікацію засобів автоматизації і механізації обслуговування авіапасажирів та обробки БВП. На рис. 2.11 наведено ієрархію критеріїв (ознак) класифікації [127].

Засобами автоматизації і механізації обслуговування авіапасажирів за місцем розташування є:

1. Термінальні засоби механізації і автоматизації:

- пристрої для реєстрації пасажирів та оформлення БВП;
- вагове обладнання;
- устаткування для передачі інформації з комплектування рейсу;
- обладнання для транспортування БВП у терміналах (саморушний візок або візок, призначений для засобу пакетування вантажу);
- засоби пакетування вантажу (ULD);
- пристрої для сортування БВП;
- обладнання для видачі багажу (роликові доріжки, стрічкові, роликові, пластинчасті й карусельні транспортери);
- пристрої для передачі інформації для пасажирів.



Рисунок 2.11 – Ієрархія ознак класифікації засобів автоматизації та механізації

Вантажні термінали аеропортів можуть мати митні склади тимчасового зберігання, склади автоматизованої обробки вантажів, склади для зберігання небезпечних і цінних вантажів, холодильні камери з температурним режимом до мінус 180°); спецтехніку для механізованої обробки вантажів (навантажувачі контейнерів, виловні навантажувачі вантажопідйомністю від 1,5 до 7 т, контейнерні візки, вантажні автомобілі з підйомним кузовом, стрічкові транспортери, рокли, тягачі).

2. До перонної механізації належать:

- пристрої, призначені для транспортування, посадки і висадки пасажирів;
- засоби для транспортування БВП і бортового харчування;
- пристрої для навантажувально-розвантажувальних робіт з БВП і бортовим харчуванням.

Серед засобів перонної механізації можна виділити мобільні (автопоїзди, автобуси, самохідні й несамохідні трапи, автобуси з підйомним кузовом, підйомні салони-накопичувачі) й стаціонарні (ескалатори, пасажирські ліфти, рухомі тротуари, транспортні системи, конвеєри, пасажирські телескопічні трапи-містки, трапи-галереї).

3. Для механізації етапу завантаження БВП на борт ПС використовуються:

- пристрої для розподілу БВП всередині багажних й вантажних приміщень літака;
- контейнерне обладнання.

4. Основним засобом обслуговування авіапасажирів і вантажної клієнтури в офісах бронювання і продажу є автоматизована система бронювання авіаперевезень.

Згрупуємо автоматизоване обладнання, системи та ІТ-продукти, що використовуються сьогодні при обслуговуванні авіапасажирів, за технологічною ознакою:

1. Продаж авіаперевезень: автоматизовані системи бронювання та продажу (Amadeus, Galileo та ін.); квиток з мікрочіпом, магнітною смугою або будь-якою іншою системою кодування (Automated Ticket and Boarding Pass); електронний

квиток (e-ticket).

2. Митний і паспортний контроль, верифікація посадкового талона в момент посадки на рейс: біометричні системи, зчитувачі посадкових талонів (Boarding Gate Reader).

3. Реєстрація: термінали самообслуговування для реєстрації, які друкують двомірні штрих-коди, читають електронні паспорти і реєструють пасажирів з багажем чи без (Common Use Self Service), принтер посадкових талонів (Boarding Pass Printer), посадковий талон з двомірним штрих-кодом (Bar Coded Boarding Pass), сканер штрих-кодів (Bar Code Reader), принтер для друку списків (пасажирів, багаж і т.д.), принтер міток для багажу, ІТ-система авіакомпанії, яка містить усі програми, необхідні для обробки пасажирів і багажу (Departure Control System); технології бездротового зв'язку ближнього радіусу дії (NFC).

4. Обробка багажу: система сортування і відстеження багажу, яка гарантує, що кожна одиниця багажу відповідає пасажирові, який перебуває на борту; системи автоматизації та роботизації обробки багажу; автоматизовані системи розпізнавання багажу (Baggage Reconciliation System); системи пошуку багажу; технологія радіочастотної ідентифікації (RFID).

5. Прийняття оперативних рішень щодо оптимізації обслуговування: центральна база даних (AODB), яка зберігає всю інформацію стосовно діяльності аеропорту і з'єднується з іншими ІТ-системами за допомогою спеціальної комунікаційної системи (AIMS); система управління ресурсами (Resource Management System); «хмарні сервіси» (Cloud Computing); широке використання планшетних комп'ютерів.

Додамо, що важливим ресурсом аеропортів є висококваліфікований, освічений і сертифікований персонал. Загальновизнаною є сертифікація персоналу навчальними центрами IATA й ICAO.

Ресурси підсистеми організації повітряного руху

Підсистема АТМ забезпечує автоматизований сервіс наземними службами для УПР. Завдання підсистеми полягає в такому проведенні ПС через зону своєї відповідальності, щоб виключити їх небезпечне зближення по горизонталі і

вертикалі. Вторинне завдання полягає в регулюванні потоку ПС та доведення необхідної інформації екіпажам, зокрема погодних повідомлень і навігаційних параметрів.

Основними ресурсами АТМ є:

- аеронавігаційні засоби та засоби зв'язку, які частково розташовані на землі, на борту ПС і в повітряному просторі;
- засоби спостереження;
- система організації повітряного руху, яка включає комплекс бортових та наземних функцій (обслуговування повітряного руху, організація повітряного простору та організація потоку повітряного руху), необхідних для забезпечення безпечного й ефективного руху ПС на всіх етапах польоту;
- трудові ресурси АТМ, які можна поділити на дві групи: авіаційні диспетчери (диспетчери УПР) та пілоти (члени екіпажу).

2.1.5 Генерація альтернатив

Одним із етапів аналізу функціонування АТС є створення множини можливих способів досягнення сформульованої цілі. Іншими словами, на даному етапі необхідно згенерувати множину альтернатив (див. рис. 2.3), з яких потім здійснюватиметься вибір найкращого шляху розвитку системи. Згідно з положеннями системного аналізу, необхідно генерувати якомога більшу кількість альтернатив.

Способи генерації альтернатив функціонування та розвитку АТС такі:

- пошук альтернатив у патентній та науковій літературі;
- залучення декількох експертів, які мають різну підготовку й досвід;
- збільшення кількості альтернатив за рахунок їх комбінації;
- модифікація наявної альтернативи, тобто формування альтернатив, які лише частково відрізняються від відомої;
- включення альтернатив, протилежних запропонованим, зокрема й «нульової» альтернативи (не робити нічого, тобто розглянути наслідки розвитку

подій без втручання);

- інтерв'ювання зацікавлених осіб і ширші анкетні опитування;
- генерування альтернатив, розрахованих на різні інтервали часу (довгострокові, короткострокові, оперативні).

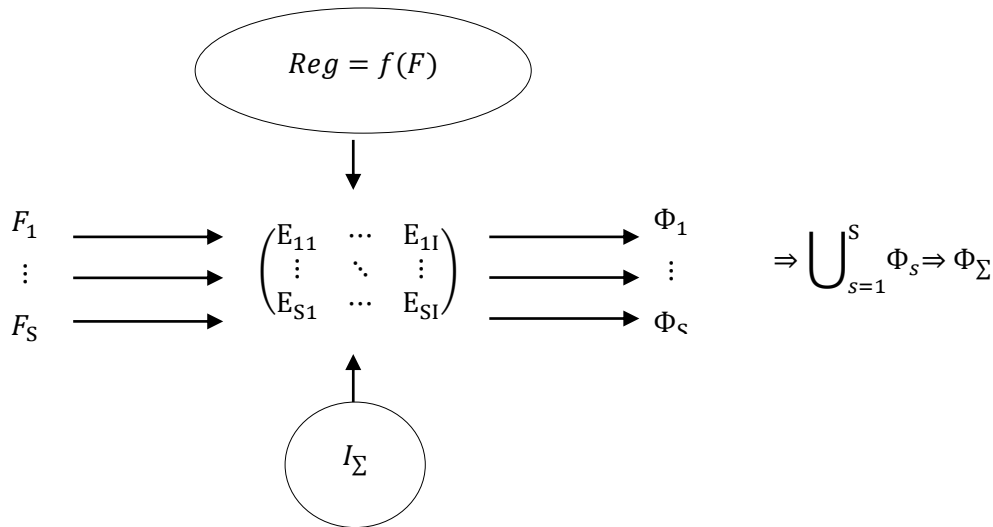
Для проведення роботи з формування множини альтернатив розвитку АТС можна використати вже вивчені методи системного аналізу, наприклад, методи колективної генерації ідей (метод мозкового штурму, або мозкової атаки), метод сценаріїв, морфологічні методи, імітаційне моделювання, методи експертного аналізу.

2.1.6 Багаторівнева ієрархія процесу прийняття рішень суб'єктами авіаційної діяльності

Виникнення ієрархічної структури управління було обумовлене зростаючою складністю технології керованих об'єктів, що створює значні труднощі для централізованого управління [205]. Тому з'явилася необхідність розділення всього процесу прийняття рішень на таку кількість рівнів, щоб розв'язання завдання оптимізації на кожному з них не було складним. На відміну від існуючих методів синтезу завдань вищого рівня на основі первісно визначених завдань нижнього рівня управління, метод декомпозиції починається з концентрування на глобальному завданні управління всією системою в цілому. Ієрархічна структура системи управління з'являється внаслідок декомпозиції загального завдання управління. Але з виникненням багаторівневих ієрархічних систем управління з'явилося і нове завдання узгодження і координації рішень, що приймаються на всіх рівнях управління.

Підсистеми АТС – авіакомпанії, аеропорти та УПР – є організаціями, які подібні одна до одної тим, що складаються із взаємодіючих ієрархічно розташованих елементів, які мають право приймати рішення. Очевидно, що дана ієрархія має бути відображена в процесі прийняття рішення щодо функціонування та розвитку АТС.

АТС можна зобразити як матрицю, де елементи матриці є складовими підсистем (рис. 2.12).



Reg – керівний(регулюючий) елемент (підсистема); F_s – управління s -ю підсистемою, $s = \overline{1, S}$ – ступінь ієрархії АТС; E_{sl} – l -ий елемент s -ї підсистеми, $l = \overline{1, L}$, який може розглядатися як система; Φ_s – мета s -ї підсистеми; I_Σ – інформаційний вхід в систему; Φ_Σ – глобальна ціль АТС

Рисунок 2.12 – Матрична форма ієрархічної структури АТС

Згідно з рис. 2.12, для здійснення авіап перевезень кожна s -та підсистема АТС та кожний l -ий елемент s -ї підсистеми виконує свої функції (виробництво) F_{ls} , які визначають конкретні цілі Φ_{ls} , для досягнення яких необхідно розв’язання певних завдань Ω_{ls} , кожне з яких потребує відповідних методів розв’язання M_{ls} . Всю цю послідовність дій можна уявити у вигляді ланцюжка $F_{ls} \rightarrow \Phi_{ls} \rightarrow \Omega_{ls} \rightarrow M_{ls}$.

У подальших дослідженнях спиратимемося на три поняття рівнів ієрархії, які наведені у [204]:

- 1) рівень опису, або абстрагування – страта;
- 2) рівень складності рішення, що приймається, – шар;
- 3) організаційний рівень – ешелон.

Термін «рівень» є загальним для всіх вище наведених понять і застосовується, коли немає потреби в уточненні.

АТС майже неможливо описати повно й детально, що, по суті, впливає з визначення такої системи. Основна дилема полягає у знаходженні компромісу між простотою опису, що є однією з передумов розуміння, і необхідністю врахування численних характеристик даної складної системи. Розв'язання цієї дилеми слід шукати в ієрархічному описі [204]. Система визначається сімейством моделей, кожна з яких описує поведінку системи з точки зору різних рівнів абстрагування. Для кожного рівня існує ряд характерних особливостей і змінних, закономірностей і принципів, за допомогою яких описується поведінка системи. Щоб такий ієрархічний опис був ефективним, необхідна якомога більша незалежність моделей для різних рівнів системи.

Зробимо загальні зауваження щодо стратифікованого опису АТС.

1. Вибір страт залежить від дослідника, його знання і зацікавленості у діяльності системи, що досліджується. Стратифікація нерозривно пов'язана з інтерпретацією функцій системи. Контекст, у якому розглядається й застосовується система, визначає, яку страту вибрати як основну і які страти будуть використовуватися.

2. Стратифікований опис є описом однієї і тієї самої системи з різних точок зору (рис. 2.13).

3. Вимоги, що висувають до системи на будь-якій страті, виступають як умови або обмеження діяльності на нижчестоящих стратах. Це означає також наявність у ієрархічних системах зворотного зв'язку з результатами.

4. Те, що є об'єктом розгляду на одній страті, більш докладно розкривається на розташованій нижче страті; елемент стає підсистемою; підсистема на даній страті є системою для нижчої страти.

Розуміння системи зростає при послідовному переході від однієї страти до іншої: чим нижче ми спускаємося по ієрархії, тим детальнішим стає розкриття системи, чим вище ми піднімаємося, тим яснішим стає сенс і значення всієї системи.

Інше поняття ієрархії – шар – стосується процесів прийняття складних рішень. Основна дилема прийняття рішення полягає в тому, що, з одного боку,

необхідне рішення слід приймати негайно, а з іншого боку, перш ніж приступати до дій, необхідно краще зрозуміти ситуацію.



Рисунок 2.13 – Приклад стратифікованого зображення АТС

Під час прийняття рішень у складних ситуаціях розв'язання цієї дилеми шукають в ієрархічному підході. Складна проблема прийняття рішення розбивається на сімейство послідовно розташованих більш простих проблем, так що розв'язання всіх підпроблем дозволяє вирішити і вихідну проблему. Розв'язок вищезазначеної проблеми визначає обмеження (допустиму область спрощення) при моделюванні на нижньому рівні, тобто знижує невизначеність нижчої проблеми, але без втрати загального задуму розв'язання всієї проблеми.

Така ієрархія називається ієрархією шарів прийняття рішень, а вся система – багатошаровою системою прийняття рішень.

Проблемами прийняття рішення в умовах повної невизначеності є:

- 1) вибір стратегії, яка повинна бути використана в процесі розв'язання;
- 2) зменшення або усунення невизначеності;
- 3) пошук прийняттого або допустимого способу дій, який задовольняє задані обмеження.

Рішення проблеми – це, по суті, вибір однієї або декількох з наявних альтернатив. Проблема прийняття рішень у нечітких умовах інтерпретується як комплексний вплив нечіткої цілі O і нечіткого обмеження R на вибір альтернатив і характеризується перетином $O \cap R$, яке й утворює нечітку множину рішень U , тобто $U = O \cap R$.

Функціональна ієрархія складається з трьох шарів:

1. Шар вибору. Завдання цього шару – вибір способу дій. Елемент, що приймає рішення на цьому шарі, отримує зовнішні дані (інформацію) і, застосовуючи той чи інший алгоритм, знаходить потрібний спосіб дій.
2. Шар навчання, або адаптації. Завдання цього шару – конкретизація множини невизначеностей, з якими має справу шар вибору.
3. Шар самоорганізації. Цей шар повинен вибирати структуру, функції і стратегії, що використовуються в нижчих шарах, таким чином, щоб за можливості наблизитися до глобальної мети.

Поняття ієрархії «ешелони» (організаційна структура) передбачає, що:

1. Система складається з сімейства чітко виділених взаємодіючих підсистем.
2. Деякі з підсистем є елементами, що приймають рішення.
3. Елементи, що приймають рішення, розташовуються ієрархічно.

Незважаючи на наявні відмінності, існують спільні для всіх трьох понять риси.

1. Верхній рівень розглядає більш великі підсистеми або ширші аспекти поведінки системи в цілому.

2. Період прийняття рішення для елемента верхнього рівня більший, ніж для елементів нижніх рівнів.

3. Елемент верхнього рівня має справу з більш повільними аспектами поведінки всієї системи.

4. Описи і проблеми на верхніх рівнях менш структуровані, мають більше невизначеностей і важчі для кількісної формалізації.

Для ефективного використання багаторівневої структури істотно, щоб елементам, які ухвалюють рішення, була надана певна свобода дій. Слід провести раціональний розподіл зусиль щодо прийняття рішень між елементами різних рівнів. Тільки за цієї умови буде виправдане саме існування ієрархії.

Багаторівнева ієрархія процесу прийняття рішень підсистемами АТС потребує відповідної координації (*Reg*, див. рис.2.12), яка може бути визначена за рівнем організації взаємодії [206]:

1. Координація за цілями. Система управління вищого рівня може встановлювати для нижчої підсистеми цілі функціонування й показники, що їх характеризують, із зазначенням їх кількісних значень на планований період, тобто цільова функція підсистеми формується вищим рівнем.

2. Координація за обмеженнями. У цьому разі на ряд параметрів у точках дотику підсистем встановлюються обмеження вищою системою управління. Ці обмеження задаються з системних позицій і враховують цілі та обмеження підсистем.

3. Координація в часі (синхронізація роботи підсистем).

4. Координація за вхідним або вихідним параметрами.

Координуючі дії, пов'язані із обраною концепцією раціональної поведінки підсистем (2.6)-(2.8), і можуть бути визначені за такими видами [206]:

1. Інтегральна координація (слабка), коли для кожної підсистеми задається плановий показник W на певний період часу T і різноманітні обмеження (нормативи):

$$\int_0^T [z(t) - z^*] dt \leq W, \quad (2.16)$$

де $z(t)$, z^* – відповідно стан системи в момент часу t та оптимальний стан.

2. Чітка (жорстка) координація, коли для параметра W , який координується, в кожний момент часу ставиться вимога дотримання рівності:

$$W(t) = W. \quad (2.17)$$

3. Інтервальна координація, яка вимагає лише належності координуючого параметра W заданому інтервалу:

$$W(t) \in [W_{min}, W_{max}]. \quad (2.18)$$

4. Лінгвістична координація, під час якої генеруються нечіткі координуючі вказівки природною мовою.

2.2 Методи вивчення закономірностей функціонування авіатранспортних систем

2.2.1 Застосування теорії складних мереж у дослідженні функціонування авіатранспортних систем

Більшість систем природи і суспільства мають бінарні зв'язки, які можна зобразити у вигляді мережі, де кожна система (підсистема) – це вузол, а її зв'язок з іншою системою (підсистемою) – це ребро або дуга.

У сучасній англomовній науковій літературі з теорії мереж оцінка *важливості вузла* визначається показником «центральне розташування» (centrality) [396]. Існує три основних категорії даного показника: *ступінь* (degree of node), *близькість* (closeness centrality) і *навантаження вузла* (betweenness centrality).

Отже, *ступінь вузла* – це кількість зв'язків вузла. Для орієнтованих мереж розрізняють вихідний і вхідний ступені вузла.

У даному дослідженні визначимо матрицю A заданої мережі G (див. формули (2.3), (2.4)) як прямокутну матрицю $n \times m$, елемент якої $a_{xy} = 1$, якщо існує

прямий авіамаршрут між вузлами $x \in X$, $x = \overline{1, n}$ та $y \in Y$, $y = \overline{1, m}$, і $a_{xy} = 0$ – в іншому випадку.

Згідно з теорією графів кожен вузол множини X можна охарактеризувати показником k_x – ступенем вузла. У даному разі це кількість авіамаршрутів, що виходять з вузла $x \in X$ до вузлів $y \in Y$ мережі G . Ступінь вузла x може бути визначена за формулою:

$$k_x = \sum_{y \in Y} a_{xy} \text{ для } \forall x \in X. \quad (2.19)$$

Розподіл вузлів за кількістю зв'язків чи розподіл ступенів вузлів $P(k)$, який визначається як імовірність того, що вузол x має ступінь $k_x = k$, є важливою характеристикою складної мережі. Більшість складних мереж мають близький до степеневого закону розподіл ступенів вузлів [52]. Такі мережі називають *безмасштабними* або *масштабно-інваріантними* (scale-free network). При дослідженні стійкості масштабно-інваріантних мереж виявилось, що вони мають таку властивість: можна випадково видалити істотну частку вузлів мережі без порушення її цілісності [294].

Група дослідників під керівництвом A-L. Barabási вивчала також стійкість мережі до спрямованих атак на вершини. У цих експериментах вершини (хаби) вилучалися з мережі одна за одною. Видалення першої вершини не порушувало цілісності системи, тому що інша їх частина була все ще здатна скріпити мережу, але після видалення декількох вершин руйнівний ефект ставав очевидним. Продовжуючи видаляти все більше й більше вершин, можна було спостерігати розвал мережі [285]. Видалення невеликої кількості вершин перетворює мережу на множину крихітних ізольованих частин.

Отже, масштабно-інваріантні мережі мають високу стійкість до випадкових відмов, але надзвичайно вразливі до спрямованих атак. Для того щоб зруйнувати масштабно-інваріантні мережі, достатньо видалити приблизно 5–15 % хабів [285].

Мережі авіамаршрутів деяких АТС мають вузли з дуже високим ступенем (хаби) [375, 305], і саме вони визначають важливі властивості даної системи.

Два вузли називають сусідами, якщо існує зв'язок між ними. Для комплексних мереж характерно, що два вузли, сусідніх до будь-якого вузла, часто також є сусідами між собою. Щоб охарактеризувати це явище, і було запропоновано *кластерний коефіцієнт* C_x вузла x . Припускають, що якщо вузол має ступінь k_x , це означає, що у нього k_x сусідів і між ними може бути максимум $\frac{k_x(k_x-1)}{2}$ зв'язків. Тоді

$$C_x = \frac{2q_x}{k_x(k_x-1)}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (2.20)$$

де q_x – число зв'язків між сусідами вузла x . Очевидно, що завжди $0 \leq C_x \leq 1$.

Число q_x є сумарне число трикутників – циклів довжини 3, – прикріплених до вузла x , а $\frac{k_x(k_x-1)}{2}$ – максимально можлива кількість трикутників.

Якщо всі найближчі сусіди вузла x взаємопов'язані, то $C_x = 1$. Коли між ними немає зв'язків (як у дерев), то $C_x = 0$.

Середнє значення кластеризації за всім вузлам можна визначити як

$$\langle C \rangle = \frac{\sum_x C_x}{n}. \quad (2.21)$$

Усереднений кластерний коефіцієнт вузлів (2.21) називається *кластерним коефіцієнтом мережі*. Для більшості складних мереж він істотно більший, ніж кластерний коефіцієнт випадкового графа таких самих розмірів. У роботі [52] зазначається, що чим вище кластерний коефіцієнт, тим краща зв'язність вузлів мережі.

У роботі [375] для визначення важливості вузла (аеропорту) вводиться поняття *сили вершини вузла x* (strength of node x), яку можна визначити за формулою:

$$s_x = \sum_{y=1}^m a_{xy} w_{xy}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (2.22)$$

де w_{xy} – інтенсивність взаємодії (кількість рейсів, або обсяг потоків) між пунктами x та y мережі аеропортів.

Введемо показник, який поєднує топологічну інформацію та розподіл ваги мережі – *зважений коефіцієнт кластеризації* [296, 134]:

$$c_x^w = \frac{1}{s_x(k_x-1)} \sum_{h,t} \frac{(w_{xh}+w_{xt})}{2} a_{xh} a_{xt} a_{ht}, \quad (2.23)$$

де w_{xh} , w_{xt} – інтенсивність взаємодії (кількість рейсів, або обсяг потоків) між пунктами $x \in X$ та $h, t \in Y$, при цьому $h \neq t$;

a_{xh} , a_{xt} , a_{ht} – дорівнює 1, якщо існує прямий авіамаршрут між вузлами і 0 – в іншому випадку.

Цей коефіцієнт враховує важливість кластерної структури на основі інтенсивності взаємодії. Таким чином, можна оцінити не тільки кількість замкнутих трикутників у розглянутій мережі, але і їх загальну питому вагу відносно сили вершини. Нормалізація коефіцієнта $s_x(k_x - 1)$ гарантує, що $0 < c_x^w < 1$. Визначення $\langle C^w \rangle$ та $c^w(k)$ забезпечує загальну інформацію про кореляцію між вагою вузла та топологією мережі, особливо під час порівняння з аналогічними мережами.

Близькість вузла характеризує середню близькість до даного вузла всіх інших вузлів мережі. Формальне визначення цього показника таке: близькість Cl_x вузла x є величина

$$Cl_x = \frac{N}{\sum_y q_{xy}}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (2.24)$$

де N – загальне число вузлів в мережі,

q_{xy} – число зв'язків за найкоротшим шляхом (маршрутом) між вузлами x та y , або відстань між двома вершинами x і y (довжини зв'язків між суміжними вершинами вважаються рівними 1).

Найкоротші шляхи відіграють важливу роль у транспортуванні й комунікаціях усередині мережі, а також у визначенні властивостей структури графа. Максимальне значення ϱ_{xy} називається *діаметром графа*. Якщо кількість вершин у графі велика, а відстані між ними – ні, то говорять про *ефект малого світу*.

Згідно з [305] середній найкоротший шлях у мережі авіамаршрутів США дорівнює 3,24, тобто від випадково обраного пункту відправлення до пункту призначення пасажир відвідає в середньому близько 3 аеропортів. Це відповідає моделі мережі “hub and spoke”, де регіональні аеропорти «підключені» до хабів, які забезпечують перельоти на великі відстані. Що стосується всесвітньої мережі аеропортів, то, за даними [296], середній найкоротший шлях становить 4,37, що є дуже малим значенням у порівнянні з розміром мережі.

Близькість показує, наскільки просто вузлу x зв'язатися з іншим вузлом. Якщо вузол є центральним, то він може швидко взаємодіяти з іншими вузлами.

Іншою мірою важливості вузла є, як було зазначено вище, *навантаження вузла*. Цей показник визначається як частка сумарного числа найкоротших шляхів між усіма вузлами, які проходять через вузол x до загальної кількості найкоротших шляхів мережі:

$$B_x = \sum_{h,t} \frac{\sigma_{ht}(x)}{\sigma_{ht}}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (2.25)$$

де $\sigma_{ht}(x)$ – кількість найкоротших шляхів з вузла h у вузол t через вузол x ,

σ_{ht} – загальна кількість найкоротших шляхів між усіма парами h та t , які належать мережі G .

Вузли з високим значенням B є найбільш завантаженими. На відміну від ступеня вузла, що є характеристикою локальної мережі, поняття навантаження вузла відображає топологію всієї мережі в цілому.

Дослідження соціальних мереж показало, що в деяких ситуаціях вершини з високим ступенем мають схильність зв'язуватися з іншими вершинами, які також мають високі ступені. В цьому випадку мережа показує так зване *асортативне змішування*. Якщо, навпаки, вершини, які мають високі ступені,

приєднуються до вершин з низькими ступенями, то таке змішування називається *дисасортативним* [150]. Причини появи таких властивостей ще повністю не вивчені.

Для того щоб визначити, які властивості має задана мережа, необхідно порахувати кореляцію між вершинами – наскільки дві вершини схожі між собою. Для визначення наявності кореляцій у мережі можна використати *середню ступінь найближчих сусідів* (nearest neighbours) вершини x – k_{nn}^x [150]. Її значення для вершини i для зв'язків різного типу обчислюється за формулою:

$$k_{nn}^x = \frac{1}{k_x} \sum_{y=1}^m a_{xy} k_y, \quad (2.26)$$

де k_y – ступінь вузла y .

Інтерес має зміна величини k_{nn}^x при зростанні ступеня розглянутої вершини k_x . Якщо середній ступінь найближчих сусідів зростає, то вершини з високим ступенем (хаби) пов'язані між собою, і, навпаки, вершини з низьким ступенем зв'язуються з вершинами низького ступеня – тобто маємо асортативне змішування. З іншого боку, якщо k_{nn}^x зменшується зі збільшенням k_x , то більшість зв'язків хабів ведуть до більш або менш ізольованих вершин, тобто вершини з високим ступенем зв'язуються з вершинами з низьким ступенем. І в цьому випадку мережа демонструє дисасортативне змішування. Якщо k_{nn}^x не змінюється від ступеня вершин, то така мережа називається такою, що не корелює.

Разом із зваженим коефіцієнтом кластеризації (див. ф.(2.23)), можна розглянути зважену середню ступінь найближчих сусідів:

$$k_{nn,w}^x = \frac{1}{s_x} \sum_{y=1}^m a_{xy} w_{xy} k_y. \quad (2.27)$$

Порівняння показників (2.27) та (2.26) може дати інформацію про кореляцію між вершинами, тобто, якщо $k_{nn,w}^x > k_{nn}^x$, то вузли із значною вагою

мають сусідів з високим ступенем, а якщо $k_{nn,w}^x < k_{nn}^x$ – навпаки, з низьким ступенем.

Щоб охарактеризувати кореляцію між вершинами, користуються також коефіцієнтом асортативності r_{xy} чи коефіцієнтом кореляції Пірсона між ступенем сусідніх вузлів [53]:

$$r_{xy} = \frac{a \sum_{j=1}^a k_{xj} k_{yj} - \left[\sum_{j=1}^a k_{xj} \right]^2}{a \sum_{j=1}^a k_{xj}^2 - \left[\sum_{j=1}^a k_{xj} \right]^2}, \quad (2.28)$$

де a – кількість авіамаршрутів у мережі,

k_{xj} і k_{yj} – кількість зв'язків вузлів на обох кінцях авіамаршруту j .

Якщо вузли з великою кількістю зв'язків (хаби) пов'язані один з одним, то $r_{xy} \approx 1$. Якщо вузли з великою кількістю зв'язків пов'язані з вузлами з невеликою кількістю зв'язків, то $r_{xy} \approx -1$.

У роботі [305] було отримано коефіцієнт кореляції Пірсона, близький до 1, який показав, що мережа АТС США є асортативною. Тобто великі аеропорти пов'язані з великими аеропортами набагато більше, ніж невеликі аеропорти між собою. Тому подорож між основними містами США вимагає менше проміжних посадок, ніж подорож між невеликими містечками. Це автор пояснює результатом економічної оптимізації мережі маршрутів, яку проводять авіакомпанії.

Результати дослідження стійкості асортативних і дисасортативних мереж показують: щодо випадкових відмов дані мережі ведуть себе практично однаково, а щодо спрямованих атак стійкість дисасортативних мереж виявляється значно меншою, ніж асортативних [31].

Ще одна характеристика мережі, яка використовується при дослідженні стійкості мережі, – це *розмір компоненти*, що дає змогу отримати уявлення про глобальну топологію мережі [150]. За допомогою цієї характеристики можна визначити, чи є граф пов'язаним чи ні, і якщо ні, то зі скількох компонент він складається. *Гігантською компонентою* називається така компонента, яка має

максимальний розмір. Отже, досліджується, як змінюється розмір гігантської компоненти при випадкових відмовах у вузлах та спрямованих атаках. Наприклад, якщо будуть збої в 10 % аеропортів США з найвищими ступенями вузлів (у хабах), то розмір гігантської компоненти зменшиться наполовину, тимчасом за випадкових відмов цей показник може бути отриманий у разі вилучення з мережі 30 % різних аеропортів [305].

Наведену методику теорії складних мереж пропонується використовувати під час аналізу ефективності функціонування АТС.

2.2.2 Застосування регресійного аналізу для прогнозування попиту

Як відомо, використання методу регресії дає змогу розв'язати такі основні завдання: 1) встановити характер і тісноту зв'язку між досліджуваними явищами; 2) визначити й кількісно виміряти ступінь впливу окремих факторів і їх комплексу на рівень досліджуваного явища; 3) на підставі фактичних даних моделі залежності показників від різних факторів розраховувати кількісні зміни аналізованого явища при прогнозуванні показників і давати об'єктивну оцінку діяльності систем.

Методологія довгострокового прогнозування Євроконтролю являє собою екстраполяцію зростання показників, здобутих при середньостроковому прогнозуванні. В даній організації планується змінити отриману методологію на ближчу до процедур середньострокового прогнозування, які наведено на рис. 2.14.

Проблема доступу до статистичної бази даних

Для досліджень за наведеними у [398] методами необхідно сформувати структуровану детальну статистичну базу даних як за авіаперевезеннями, так і за основним факторами, які впливають на розвиток АТС. Наприклад, дані для дослідження [305] були отримані з Бюро транспортної статистики США (Bureau of Transportation Statistics), яке публічно надає статистику на сайті TranStatC [382]. База даних містить звітності американських перевізників, які агреговані за

аеропортами, перевізниками, місцями походження та призначення, класами обслуговування.

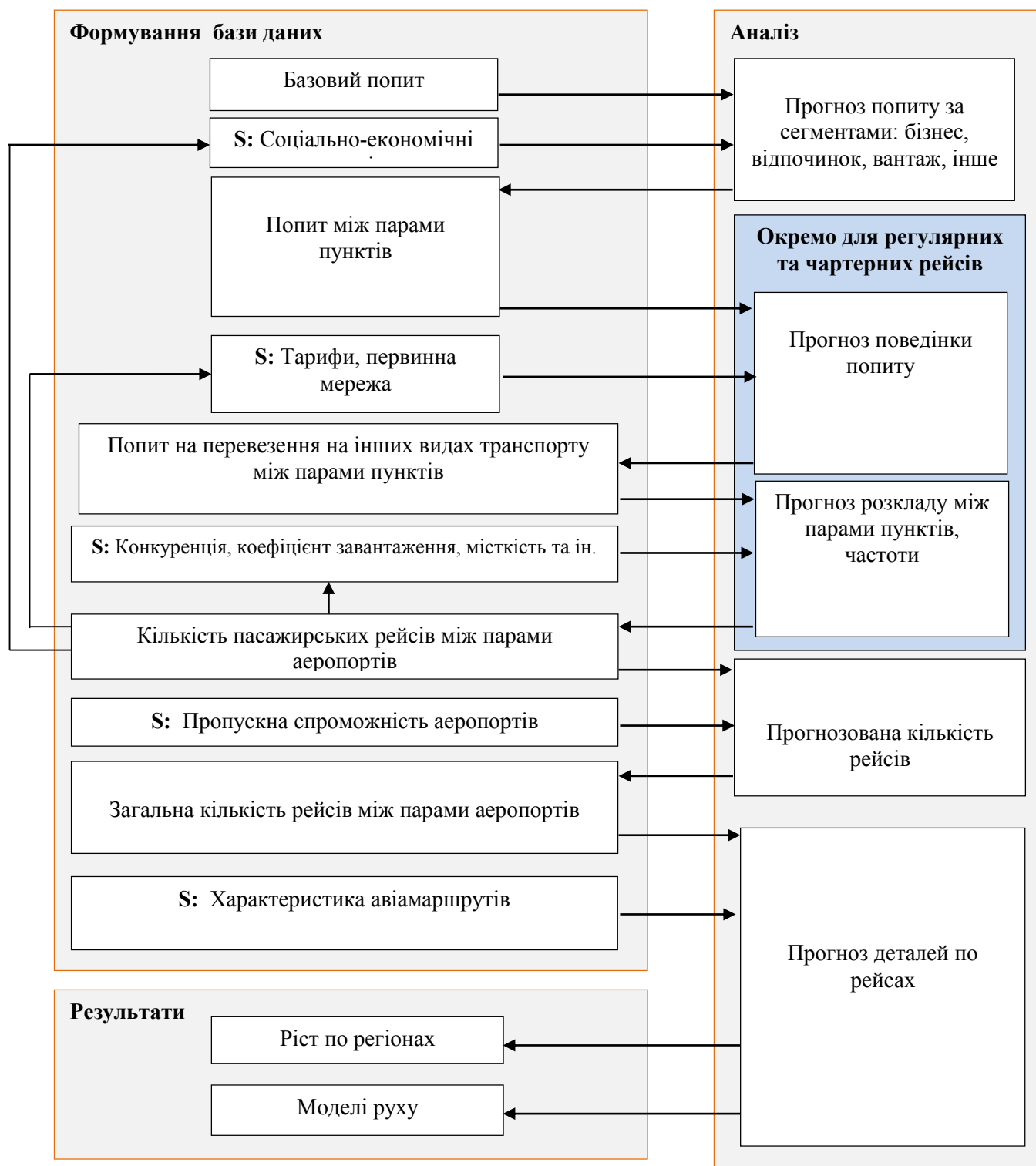


Рисунок 2.14 – Схема взаємозв'язку компонентів середньострокового прогнозування за методологією Євроконтролю (за джерелом [347])

ІСАО в своїх дослідженнях використовує: статистичні щорічники ІСАО, статистичні видання Організації Об'єднаних Націй, Конференції Організації Об'єднаних Націй з торгівлі та розвитку, Європейської конференції ЦА, Організації економічного співробітництва і розвитку, ІАТА, Асоціації європейських авіакомпаній, міністерства транспорту (DOT) і міністерства енергетики США, Всесвітньої туристської організації, Міжнародного валютного фонду, Світового банку, компанії «BECK aviation solution» та виробників авіаційної техніки. Зазначимо, що доступ до більшості статистичних баз названих вище організацій є платним.

Сьогодні єдиним детальним джерелом інформації для ознайомлення із результатами функціонування авіакомпаній та аеропортів України є база даних ІСАО. Але вона стосується лише міжнародної діяльності. В базі даних ІСАО передбачено дві форми обліку міжнародних перевезень за парами міст:

1) форма типу “В” – OFOD “On-flight Origin and Destination” – регулярні і нерегулярні перевезення пасажирів, вантажів і пошти на міжнародних авіамаршрутах між початковими і кінцевими пункту-ми польоту (квартальні дані);

2) форма типу “С” – TFS “Traffic by Flight Stage” – регулярні перевезення авіакомпаній на міжнародних авіамаршрутах за етапами польоту (дані за рік).

Слід зазначити, що статистичні дані OFOD надаються на умовах конфіденційності і платного доступу. Крім того, діють обмеження на їх публікацію, як за змістом, так і за термінами випуску цих даних. Тому база даних з авіаперевезень в Україні у формі звітності типу “С” є більш доступною та інформативною, хоча стосується лише регулярних перевезень.

Хоча запропонований автором підхід до аналізу авіатранспортної мережі з використанням теорії складних мереж та кореляційно-регресійного аналізу має достатній ступінь узагальненості, щоб за наявності даних за внутрішніми і нерегулярними авіаперевезеннями можна було б включити їх у загальну структуру даних, відзначимо наявність проблеми, яка виходить за рамки даного дослідження, а саме: необхідність створення ефективної державної статистичної бази даних діяльності авіапідприємств з метою забезпечення науково-дослідної

роботи відповідних структур щодо розробки обґрунтованих техніко-економічних рішень з питань розвитку авіаційної галузі України. Дану проблему не можна вирішити на рівні одного вченого чи навіть дослідницького інституту. На нашу думку, завдання створення, підтримання та організації доступу до відповідної статистичної бази даних можна розв'язати за умови співпраці авіаційної влади країни із відповідними міністерствами (прикладом може бути статистична база FAA, США).

2.2.3 Концепція оцінювання ефективності автоматизації виробничих процесів авіапідприємств

Проблемним питанням є вибір впроваджуваних ІТ, який приймається на вищих рівнях управління підсистемами АТС. Як правило, це обумовлено трьома причинами:

- складність оцінювання економічної ефективності інвестицій в ІТ;
- складність порівняльного аналізу характеристик різних інформаційних продуктів, особливостей їх старих і нових версій;
- бажання уникнути пов'язаної з ІТ трансформації існуючих бізнес- і технологічних процесів авіапідприємства.

У результаті на прийняття рішення, крім прямої доцільності, діє низка додаткових факторів (емоційних, психологічних, матеріальних і т. п.), які роблять у даний момент часу прийняття, здавалося б, однозначно правильного рішення неможливим.

Як складні соціотехнічні системи, ІТ-системи висувають особливі вимоги до оцінювання їх ефективності. Принципова проблема оцінювання ІТ-систем полягає в тому, що інвестиції в ІТ не відповідають стандартній ситуації, яка розглядається у вченні про економіку підприємства [18]. У разі вкладення інвестиції, наприклад, у нове виробниче обладнання (стійки реєстрації, конвеєри для багажу і т.д.), мова йде про прийняття рішення в структурованій ситуації, сфера дії та реалізації якої – за винятком окремих випадків – чітко обмежена.

Будь-яку інвестицію можна розглядати як послідовність надходжень і виплат коштів. Їх величина визначається виручкою від реалізації послуг авіапідприємств і залишковою вартістю обладнання, витратами на придбання та утримання обладнання. Крім того, «класичні» інвестиції часто впливають лише на один підрозділ підприємства. Для оцінювання їх прибутковості досить застосування відповідних методів розрахунку рентабельності інвестицій.

При спробі розглядати внесок ІТ-продукту на рівні аеропорту чи авіакомпанії в цілому, неминуче ігноруються бізнес-процеси, на рівні яких ІТ-системи впроваджуються. На першому етапі ІТ-ефекти позначаються на оперативних показниках, наприклад, часі обробки багажу пасажирів, контролю на безпеку, завантаження виробничих потужностей. На другому етапі ці показники впливають на показники, які стоять вище, такі як частка ринку або прибутковість авіапідприємства. При цьому можна виходити з того, що вищі показники є агрегацією нижчих за рівнем показників, що відображають, насамперед, вплив ІТ-продуктів на процеси підприємства. На підставі цього сформуємо узагальнену схему, що описує механізм впливу ІТ-систем на ефективність підсистеми АТС (рис. 2.15).

Вплив ІТ-продукту на ефективність роботи підприємства обмежується технологічними межами, які характеризуються максимальним значенням показника результату в межах прийнятої технології. Поряд із цією межею існує ще ряд перешкод, що стримують отримання фінансових результатів від впровадження нових ІТ. До них слід віднести:

- діяльність конкурентів. Підвищення результативності трансформується в ринкову перевагу лише в тих організаціях, які домоглися його першими. Більше ніхто ринкової переваги не отримає. Тобто варто вкладати інвестиції в нові технології, саме вони можуть дати конкурентну перевагу;

- насичення ринку;

- радикальна зміна бізнес-процесу. Так, наприклад, поки аеропорт удосконалює процес реєстрації пасажирів і обробки багажу в аеропорту, в інших аеропортах світу вже кардинально змінюється даний бізнес-процес. Отже, значні

вкладення в ІТ-технології класичної реєстрації вже неефективні, тому що вона морально застаріла.

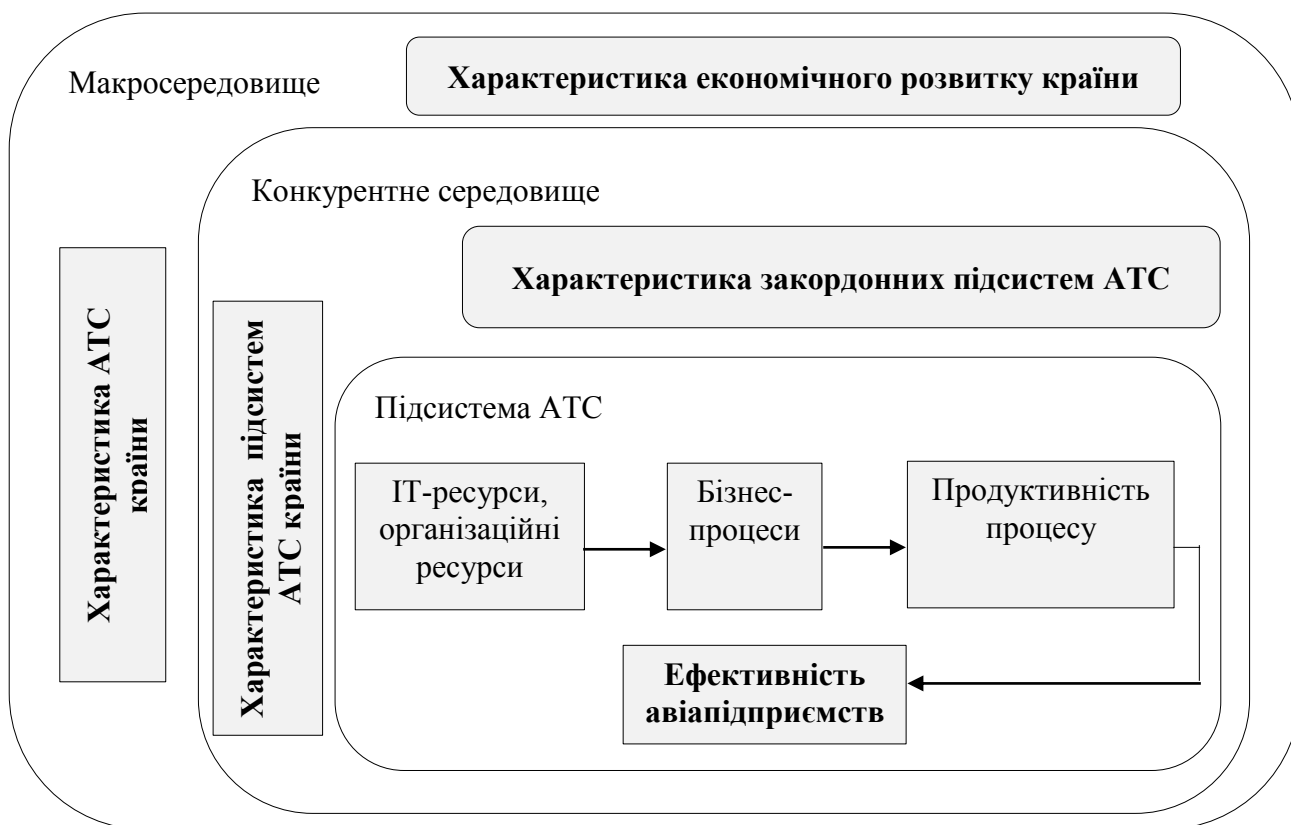


Рисунок 2.15 – Механізм впливу ІТ-продукту на ефективність підсистем АТС (авіапідприємств)

До алгоритму оцінювання ефективності автоматизації виробничих процесів авіапідприємств слід ввести два ключові компоненти: організаційний і експлуатаційний (рис. 2.16).

Організаційний компонент включає такі фактори:

1. Перехід до електронного документообігу. Оцінюється упущена вигода через несвоєчасну обробку документів (інформації) шляхом порівняння витрат на обробку документів до і після впровадження автоматизації процесу.

2. Ліквідація і розподіл дублювання функцій. На етапі вибору автоматизованої системи при аналізі бізнес-процесів, які беруть участь у

досягненні ключових цілей авіапідприємств, можна виявити дублювання функцій співробітниками, яке зводиться до неявного скорочення величини доходу. Оцінювання спрямоване на визначення та раціональний перерозподіл таких функцій, виходячи з процедури мінімізації витрат на виконання кожної з них.



Рисунок 2.16 – Структура компонентів ефективності автоматизації виробничих процесів в авіапідприємствах

Експлуатаційний компонент ефекту від впровадження автоматизації визначають такі фактори:

1. Відповідність автоматизованої системи авіаційній специфіці підприємства. Для різних галузей характерні особливості методології управління й технології обробки інформації. Практично неможливо створити універсальну систему, яка повністю задовольняє вимоги всіх галузей економіки, що

нерационально через надмірності як з фінансової, так і з технічної точки зору. Система, яка ефективно працює, має бути орієнтована саме на авіаційну галузь. Результат від впровадження програмного продукту з точки зору галузевої специфіки підприємства визначається як різниця поточних і очікуваних витрат на реалізацію вибраних вимог (керуючих і інших завдань).

2. Функціональна повнота автоматизованої системи. Авіапідприємство має досить широкий спектр напрямів діяльності, функціональних підрозділів (підсистем), виділених з певної функції (управління виробництвом, управління фінансами і т.д.) і має властивість інформаційно-алгоритмічної цілісності. Автоматизована система повинна надавати можливість керувати підприємством за всіма підсистемам в цілому, з урахуванням повноти фаз управління і цілісності структури виробничого процесу.

3. Науково-технічний рівень системи. Обов'язковою умовою є орієнтація системи на сучасні інформаційні технології та економіко-математичні методи і засоби, включаючи можливість застосування власних розробок. Економіко-математичні методи можуть бути використані для прогнозування розвитку авіапідприємства та управління ризиками, управління якістю і сертифікацією послуг. Оцінювання ефекту спрямоване на порівняння поточних і очікуваних витрат на обслуговування бізнес-процесів підприємства в результаті використання науково-технічного потенціалу системи.

4. Відповідність автоматизації національним вимогам. Методи розв'язання функціональних завдань і форм подачі інформації мають бути адекватні вимогам законодавства відповідної країни й стандартам, умовам роботи на підприємстві. Оцінювання показника зводиться до обчислення витрат на усунення виявлених недоліків системи.

5. Програмно-апаратна складова системи. Використовувані в автоматизованій системі операційні системи, системи управління базами даних, мови програмування повинні бути загальноприйнятими і перевіреними практикою. Ризик вибору програмно-апаратного забезпечення вираховується за допомогою коефіцієнта відповідності чинному ринку, шляхом аналізу

стратегічних даних відносного числа інсталяцій, реальних впроваджень персоналу фірм-розробників за певний період. Оцінювання показника ефекту здійснюється виходячи з визначення витрат на освоєння нового програмно-апаратного забезпечення, оптимальної величини втраченого доходу, пов'язаного з відволіканням працівників від виробничого процесу і коефіцієнта відповідності.

6. Надійність функціонування інформаційної системи, рівень захисту інформації від несанкціонованого доступу в рамках автоматизованої системи. На будь-якому авіапідприємстві існують документопотоки, що містять конфіденційну, закриту інформацію, розкриття, псування, зміна яких може призвести до суттєвих втрат доходів підприємства, аж до повного припинення діяльності. Часто недостатньо використовувати існуючі в системі засоби і методи захисту від несанкціонованого доступу. Порівняльний аналіз функціонування авіапідприємства з урахуванням можливих втрат при настанні випадку несанкціонованого доступу до інформації з використанням криптографічних засобів дасть можливість оцінити доцільність вбудовування в автоматизовані системи засобів захисту від несанкціонованого доступу до інформації.

У цілому ефективність роботи ІТ-продукту визначається ефектом, отриманим від застосування, і величиною витрат на їх придбання та експлуатацію. При грамотній експлуатації ефект від застосування ІТ-технологій певною мірою залежить від їхньої продуктивності й здатності відповідати поставленим завданням, включаючи надійність роботи цих систем.

2.2.4 Загальні положення моделювання прийняття рішень суб'єктами авіаційної діяльності

Сучасне виробництво всіх галузей національного господарства, зокрема й авіаційного транспорту, потребує широкого застосування методів моделювання і особливо оптимізаційного.

Моделювання і вивчення транспортних процесів відбуваються шляхом від простого до складного; у даному разі прості моделі можуть використовуватися для отримання якісних рішень на мезо-і макро- рівнях, тимчасом як складні моделі можуть бути реалізовані для розв'язання завдань оперативного рівня, деталізація яких призводить до збільшення розмірності, але при цьому складні моделі дають раціональні рішення з урахуванням фактичного стану досліджуваних процесів.

Для підсистем АТС розрахункові методи моделювання дають змогу прийняти рішення щодо оптимального розподілу ресурсів для здійснення транспортного процесу.

Серед характерних завдань ефективного функціонування підсистем АТС, які потребують процесу моделювання, як зазначено в [342, 351], важливими є завдання оптимізації пропускної спроможності (або ємності), що пропонується, зокрема:

- у підсистемі аеропорти це задачі оптимізації мережі, доступності, технології обслуговування пасажирів, обробки БВП, технічного обслуговування ПС;
- у підсистемі АТМ це завдання оптимізації використання повітряного простору, продуктивності авіадиспетчерів, засобів зв'язку повітря / земля;
- у підсистемі авіакомпанії – розвиток мережі маршрутів авіакомпанії, парку ПС авіакомпанії, планування частоти рейсів та розподілу ресурсів;
- у всіх підсистемах АТС це завдання оптимізації економічних рішень, наприклад, застосування методів Yield Management, оперативного прогнозування з метою оптимізації продажів, тарифної політики та політики зборів, а також оцінювання якості послуг підсистем АТС.

Серед методів оптимізації функціонування підсистем АТС виділимо ті, які будуть використовуватися у подальших дослідженнях даної роботи, а саме: статистичні методи; математичне програмування; методи ТМО та теорії нечітких множин.

Згадані вище теорії та відповідні методи добре описані в багатьох наукових роботах, наприклад [108, 251, 301, 389, 399]. Для зручності викладу методи, що використовуються в роботі, досить докладно описуються безпосередньо в тих розділах дисертації, де їх застосування природним чином впливає з математичної моделі відповідного завдання.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Базуючись на методології системного підходу запропоновані взаємопов'язані найбільш істотні етапи дослідження АТС, які забезпечують його цілісність: окреслення меж досліджуваної АТС; описання складу та структури АТС, функцій та цілей підсистем АТС; виявлення причин, що об'єднують окремі підсистеми у АТС; зазначення надсистем та всіх можливих зв'язків АТС з зовнішнім середовищем; визначення основних характеристик та напрямків розвитку основних надсистем, яким належить АТС; розгляд досліджуваної АТС в динаміці і розвитку.

2. Базуючись на узагальненні досвіду розробки стратегій розвитку АТС провідних країн світу встановлено, що коректна постановка проблеми функціонування та розвитку АТС залежить від розуміння і визначеності *ціннісних орієнтацій і цілей* держави, суспільства, індивіда.

3. Виходячи з аналізу дерев стратегічних цілей та критеріїв оцінки досягнення заданих цілей розвитку авіатранспортних систем деяких країн світу, виявлено актуальність проблеми пошуку «правильних» інвестицій в інфраструктуру та стратегії, які відповідають попиту та гарантують безпечне та ефективне функціонування АТС.

4. Запропоновано визначати ефективність АТС країни як ефективність розвитку авіатранспортної мережі – системи аеропортів і авіамаршрутів, що їх з'єднують. Дане бачення ефективності відображає відповідність функціонування

АТС основним задачам ефективного забезпечення мобільності населення та задоволення потреб економіки в перевезенні вантажів.

5. Запропоновано для цілей подальшого дослідження АТС враховувати:

- наявність та взаємозв'язок фізичних і нефізичних ресурсів в авіакомпанії, що дозволить зробити критичний аналіз ефективності функціонування авіакомпаній на заданому ринку та кількісно обґрунтувати прийняття рішень щодо лібералізації авіаційних перевезень;

- розподіл ресурсів аеропорту за двома його підсистемами: наземної інфраструктури та повітряної (контрольованої) зони та класифікацію засобів автоматизації і механізації що спрощує дослідження «вузьких місць» пропускної спроможності;

- вплив програм розвитку національних систем організації повітряного простору на структуру ресурсів підсистеми ОрПР з метою узгодження вхідних параметрів та обмежень даної підсистеми.

6. Запропоновано в методології досліджень АТС враховувати багаторівневу ієрархію процесу прийняття рішень та спиратися на три поняття рівнів ієрархії: страта; шар; ешелон, що сприяє координації опису системи, декомпозиції задач прийняття рішень та оцінки їх впровадження в АТС.

7. На основі аналізу досліджень з питань методів оцінки ефективності розвитку авіатранспортної мережі (як відображення ефективності АТС) встановлено, що найбільш перспективними є положення теорії складних мереж. Визначено, що основні показники даної теорії можуть адекватно відображати рівень розвитку і місце досліджуваної АТС не тільки в національному (регіональному), але і в світовому масштабі.

8. Аналіз методів прогнозування провідних авіаційних організацій показав, що найбільш прийнятним з точки зору практичного застосування є економетричне моделювання, застосування якого передбачає доступ та використання добре організованої детальної бази даних. Визначено, що є складна невирішена проблема формування та доступу до бази даних авіаперевезень в Україні для цілей системних наукових досліджень, яка потребує

співпраці авіаційної влади країни із відповідними міністерствами та науково-дослідними інститутами.

9. Враховуючи триваючі процеси автоматизації технологій авіапідприємств, активного впровадження нових ІТ-продуктів та дискусійність питання оцінки їх ефективності у науковій літературі, сформовано узагальнену схему, що описує механізм впливу ІТ-систем на ефективність підсистем АТС. Запропоновані організаційний та експлуатаційні компоненти оцінки ефективності автоматизації виробничих процесів в авіапідприємствах можуть бути підґрунтям для методики дослідження впливу існуючих та нових ІТ-рішень, що відрізняються від засад проектного аналізу врахуванням більшої кількості параметрів функціонування АТС.

Основні наукові результати опубліковано у наукових працях [125, 130, 133, 134, 136, 139, 145, 146].

РОЗДІЛ 3

ОПИС АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Структура авіатранспортної системи та функції її елементів

Будь-яка складна система має деяку множину структур, пов'язаних між собою. При аналізі окремих підприємств виділяють, наприклад, виробничу, організаційну, фінансову, юридичну структуру. У будь-якому підході до вивчення структури системи головна мета дослідження – це пізнання природи цілісності досліджуваної системи. При аналізі структури важливо визначити взаємозв'язки між елементами, способи впливу одного елемента на інший.

Зазвичай спосіб опису структур системи – це графічне зображення [155, 243], хоча можливі матрична й аналітична форми. У графі елементи, компоненти, підсистеми та інші об'єкти системи відображаються у вигляді вершин графа, зв'язки між об'єктами подають у вигляді дуг.

Зв'язки між елементами системи можуть бути жорсткими (зазвичай в технічній і технологічній взаємодії) і гнучкими, які змінюються в процесі функціонування системи (в питаннях економічної взаємодії), а також безпосередніми й опосередкованими. З точки зору кібернетики зв'язок – це відносно стійкий процес обміну інформацією, який регулює поведінку систем (тобто управляє ними). Найважливішими вважаються такі види зв'язків: прямі, зворотні, рекурсивні, синергічні й циклічні [108]. За напрямом впливу зв'язки можна розділити на позитивні й негативні. У першому випадку зростання однієї змінної тягне за собою зростання іншої пов'язаної з нею змінної. У другому – навпаки, зростання однієї змінної веде до зниження (зменшення) іншої.

Одночасно з дослідженням структури системи здійснюється функціональний аналіз шляхом дослідження процесів зміни її стану на основі

прийнятих алгоритмів (принципів, методів, способів) управління. Функціональний аналіз може включати:

- визначення і опис загального процесу функціонування системи;
- декомпозицію загального процесу на ряд частих функцій (задач, операцій), які виконуються елементами системи;
- визначення кількісних та якісних характеристик процесів і функцій, що досліджуються.

Спираючись на класичне визначення поняття *структура* [243], під структурою АТС будемо розуміти склад її елементів та постійні зв'язки між ними. На рис. 1.3 наведено структуру АТС, яка визначає концептуальні внутрішні зв'язки між визначеними елементами. Дану структуру можна охарактеризувати як матричну: кожен елемент виконує свій «проект», але для ефективності системи в цілому необхідно мати велику кількість системних комунікаційних каналів і центрів прийняття спільних рішень. Нагадаємо, що основоположним принципом у матричному підході до організаційних структур управління є не вдосконалення діяльності окремих структурних підрозділів (окремих елементів АТС), а поліпшення їх взаємодії з метою реалізації того чи іншого загальносистемного проекту або ефективного розв'язання певної проблеми. Нижче проведемо більш детальний аналіз структури АТС.

Структура АТС з точки зору формування попиту на авіаперевезення (страта 4, рис. 2.13)

Уявлення про структуру, функції і важливість чітко організованих взаємозв'язків між елементами АТС можна отримати, провівши аналіз етапів формування попиту на авіаперевезення (рис. 3.1, 3.2).

За умови наявного платоспроможного попиту та потреб у мобільності потенційні пасажери та вантажовідправники починають етап пошуку пропозицій авіакомпаній.

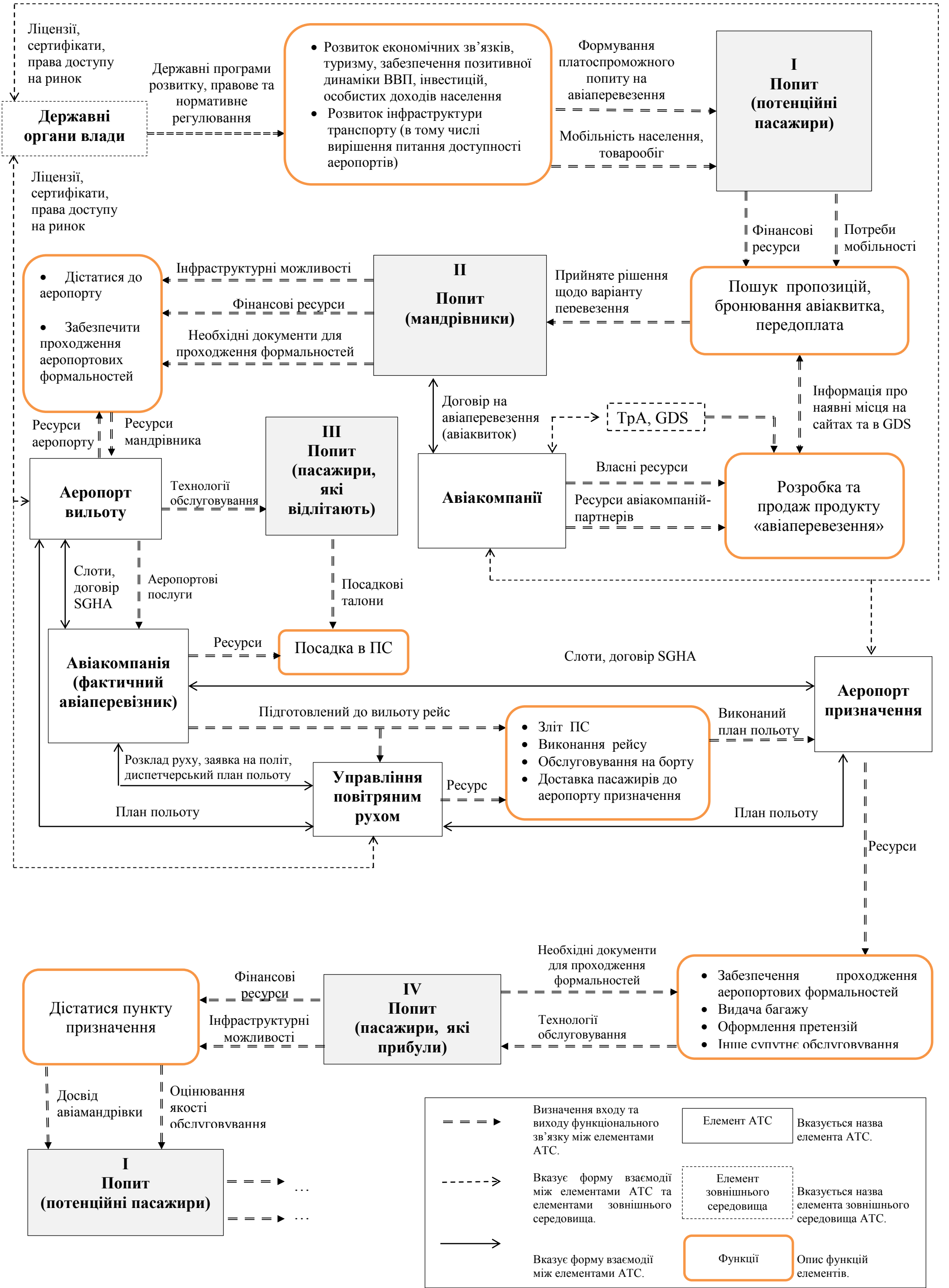


Рисунок 3.1 – Структура АТС: взаємозв'язки елементів при формуванні попиту на пасажирські авіаперевезення

Рисунок 3.2 – Структура АТС: взаємозв'язки елементів при формуванні попиту на міжнародні вантажні авіап перевезення

Основною функцією авіакомпанії як елементу АТС є формування та продаж продукту «авіаційні перевезення пасажирів, багажу, вантажів і пошти», ієрархічну структуру якого наведено на рис. 3.3.

Спеціалістами підраховано, що на даний час у світі продається близько 1 млрд авіаквитків. Організація каналів продажу перевезень є одним із найважливіших факторів, що визначають успіх комерційної експлуатації мережі маршрутів авіакомпанії. За сучасних обсягів перевезень авіакомпаній і складності маршрутних мереж управління ресурсом місць і забезпечення доступу до нього агентів неможливе без системи бронювання авіаперевезень. Витрати авіакомпанії на обслуговування в системі бронювання становлять приблизно 15 дол. США за квиток (тобто сумарно це приблизно 10 млрд дол. США на рік) [389]. Практика показала, що при організації продажу авіаквитків через власні веб-сайти авіакомпанії заощаджують до 12 дол. США за квиток (тобто вартість обслуговування становить лише 3 дол. США). Але навіть сьогодні, коли Інтернет є скрізь, близько 60 % авіаквитків в світі (близько 40 % у США) продаються через турагентів (ТрА) [389].

За ідеєю ІАТА [301, 399], авіапасажири мають отримувати вигоду від цільових, індивідуальних пропозицій, незалежно від каналу продажів. Мандрівники, які бронюють авіаквитки через веб-сайт авіакомпанії, вже приймають персональну продаж як норму і мають доступ до цілої низки додаткових пропозицій. При бронюванні через турагентство, як правило, надається інформація тільки про тариф і розклад. У жовтні 2012 р. ІАТА прийняла резолюцію, в якій затверджено засадничі стандарти NDC – нові можливості для систем продажу авіаперевезень (New Distribution Capability). Основна мета стандарту NDC – дати змогу авіакомпаніям надавати клієнтам більше можливостей та інформації під час купівлі авіаквитків через всі канали продажів. Детальний опис пропонованих ІАТА стандартів для впровадження NDC можна знайти в джерелі [301].



Рисунок 3.3 – Структура продукту авіакомпанії

Тоні Тайлер (генеральний директор IATA) на Світових щорічних загальних зборах Ради аеропортів (ACI) заявив, що «авіакомпанії не можуть мати будь-який бізнес без аеропортів та аеропорти без авіакомпаній, ймовірно, будуть визначатися як незручно розташовані торгові центри з даремно витраченою великою кількістю бетону» [373]. Взаємодія аеропортів та авіакомпаній є одним із найважливіших партнерств в авіаційній галузі. Співпраця аеропорту та авіакомпанії – це приклад вертикального співробітництва, де авіакомпанія є споживачем (верхній рівень), який купує продукт інфраструктури аеропорту (нижній рівень) (рис. 3.4). Однак авіакомпанія водночас є постачальником потенційних клієнтів до аеропорту; таким чином, авіакомпанія може також розглядатися на нижчому за аеропорт рівні. Це ясно ілюструє складність зв'язків між аеропортом і авіакомпанією.

Тимчасом як традиційно аеропорти розглядалися як провайдери інфраструктури для авіакомпаній, на сьогодні в наукових роботах проблема розглядається більше з точки зору АТС в цілому. З часом структура потоків і мереж авіакомпаній змінилася

таким чином, що конкуренція вже існує не лише між окремими авіакомпаніями, але й між їх глобальними вузловими аеропортами.

Аеропорти та авіакомпанії фокусуються на одній й тій самій меті – якісному обслуговуванні. В авіації якість здебільшого залежить від пунктуальності, надійності і сервісу. У [284] зазначається, що конкуренція

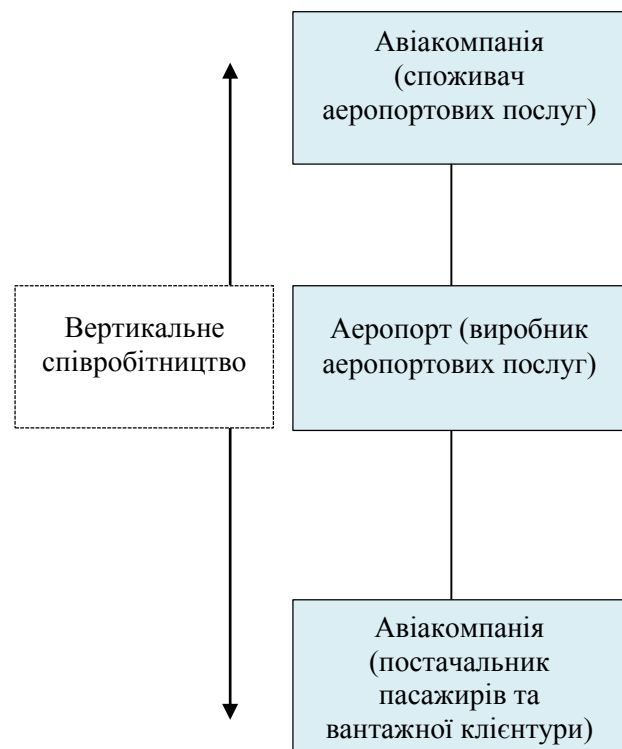


Рисунок 3.4 – Загальна структура взаємодії аеропорту і авіакомпанії

між міжнародними авіакомпаніями має тенденцію до однорідності в плані продажів, обслуговування та надання сервісу в повітрі. Надалі конкуренція, швидше за все, розглядатиметься з точки зору сервісу на землі, і в цьому сенсі є важливими форми взаємодії аеропортів та авіакомпаній-партнерів.

Проте ми можемо також стверджувати, що аеропорт є місцем взаємодії всіх елементів АТС: власне, аеропорту, якому може належати частина підсистеми АТМ; авіакомпанії; підсистеми АТМ; користувачів (попиту).

Аналізуючи або проектуючи структуру та функції аеропорту необхідно враховувати, що кожен з елементів АТС має власні інтереси, як це зазначено у [7], а саме:

- для власників аеропорту важливою є максимізація грошових надходжень, збільшення обсягів послуг, що надаються, максимізація вартості компанії;
- до інтересів хендлінгових компаній належить своєчасна оплата послуг;
- авіакомпанії прагнуть прийнятних рівнів аеропортових зборів, якості обслуговування та задоволення в попиті на слоти;
- пасажери очікують на розвинуту транспортну інфраструктуру, якісне обслуговування, зменшення витрат на мандрівку.

Крім того, елемент зовнішнього середовища *держава* має свої інтереси, пов'язані з реалізацією політики розвитку транспортної інфраструктури, задоволення попиту населення на авіап перевезення, збільшення податкових надходжень, захисту навколишнього середовища.

Функції аеропорту можуть бути класифіковані різними способами і розподілятися між структурними підрозділами, службами (відділами) аеропорту в різному поєднанні.

Загалом, основними функціями аеропорту є надання авіаційних і неавіаційних послуг користувачам: авіакомпаніям, пасажирам, вантажовідправникам, вантажоодержувачам та іншим.

У [377] зазначено, що функції аеропорту залежать від його розміру, виду перевезень, сфер відповідальності і моделі ведення бізнесу. Наприклад, деякі

аеропорти відповідають за УПР, а також за метеорологічне забезпечення, тимчасом як у більшості інших аеропортів такі послуги забезпечуються окремими організаціями. Чимало аеропортів покладають на себе різною мірою функції безпеки і забезпечують можливості для роботи митної, імміграційної та медико-санітарної служб. Деякі аеропорти надають авіакомпаніям наземне обслуговування, тоді як в інших випадках такі послуги забезпечують авіакомпанії або спеціалізовані агентства або АХК. Деякі аеропорти здійснюють функції, які виходять за межі звичайної аеропортової діяльності, такі як консультаційні послуги, громадські роботи та інше.

Функції аеропорту також визначені у рекомендаціях ІКАО [223], а саме: управління та фінанси; експлуатація об'єктів і технічних засобів аеропорту; інженерно-будівельні роботи та ремонтно-технічні служби; наземне обслуговування; забезпечення повітряного руху; взаємодія зі службою безпеки, імміграційною, медико-санітарною і митною службами; маркетинг та зв'язки з громадськістю.

Зазначимо, що типовою є ситуація, коли наземне обслуговування літаків авіакомпаній в аеропортах здійснюють АХК. У зв'язку з тим, що у світі існує багато авіакомпаній, виникла необхідність узгодити правила та процедури наземного обслуговування, а також розробити стандартні форми відповідних угод. Уперше це було зроблено у 1967 р. ІАТА у вигляді стандартної угоди наземного обслуговування (SGHA), яку включили у Довідник ІАТА з наземного обслуговування в аеропортах (АНМ). Згідно із зазначеними міжнародними документами, послуги з наземного обслуговування включають: надання відомостей про представництво обслуговуючої компанії і її розміщення; процедури контролю завантаження ПС, надання засобів зв'язку та автоматизованої системи керування вильотом (DCS); контроль за засобами пакетування вантажів (ULD); обробку багажу і обслуговування пасажирів, вантажів і пошти; використання перонних технологій (супровід, стоянка, зв'язок з екіпажем, навантаження–розвантаження, запуск,

переміщення ПС, безпека); обслуговування ПС після польоту та перед вильотом (очищення, внутрішнє прибирання, обслуговування туалетів, заправлення водою, кондиціонування, послуги діайсингу, обслуговування окремих сервісних систем пасажирського салону, внутрішньої екіпіровки); заправлення паливом, дозаправлення мастильними матеріалами і спецрідинами; технічне обслуговування ПС (транзитне, додаткове, місце в ангарі тощо); забезпечення польоту та робота з екіпажами; забезпечення спецтранспортом; забезпечення бортовим харчуванням; здійснення контролю та управління; забезпечення охорони та безпеки.

АХК можуть виконувати такі функції: контроль за якістю та оперативністю аеропортових послуг, виконанням технологічних графіків наземного обслуговування і розгляд усіх претензій авіакомпаній до аеропорту; перспективне та оперативне планування рейсів, контроль та супровід планів польотів; укладання договорів про наземне обслуговування з авіакомпаніями і контроль взаємозаліків між підприємствами аеропорту [61].

Функціями УПР згідно з [222] є:

- запобігання зіткненням між ПС;
- запобігання зіткненням ПС, що знаходяться на площі маневрування, з перешкодами на цій площі;
- прискорення та підтримка впорядкованого потоку повітряного руху.

Поняття *організація повітряного руху* [222] розширює дані функції, а саме додаються:

- польотно-інформаційне обслуговування;
- аварійне оповіщення;
- консультативне обслуговування повітряного руху;
- диспетчерське обслуговування повітряного руху: районне диспетчерське обслуговування, диспетчерське обслуговування підходу або аеродромне диспетчерське обслуговування. До функцій:

- районного диспетчерського обслуговування входить забезпечення диспетчерського обслуговування контрольованих польотів;

- диспетчерського обслуговування підходу – забезпечення диспетчерського обслуговування контрольованих частин польотів, які пов’язані з прибуттям і вильотом;
- аеродромного диспетчерського обслуговування – забезпечення диспетчерського обслуговування аеродромного руху [207].

3.2 Попит на авіаційні перевезення

Структура бази даних фактичного попиту на авіаперевезення

Дослідження попиту на авіаційні перевезення починається з формування бази даних (див. п. 2.2.2). Прикладом такої бази є база даних ІСАО, яка формується із наданих звітів авіакомпаній та аеропортів держав – членів даної організації. Аналіз такої структури даних показав, що фактично від ІСАО можна отримати базу даних про обсяги попиту на авіаперевезення із запізненням від одного до двох років [136, стор. 165-172]. До того ж, обробка отриманих від ІСАО даних не є автоматизованою, тому для аналізу необхідно залучати додаткові ресурси, зокрема й час для отримання звіту згідно з відповідним завданням чи дослідженням.

Але щодо аналізу обсягів попиту на авіаперевезення певної держави, то проблему актуалізації та обробки бази даних можна було б вирішити шляхом залучення відповідних ІТ. Зазвичай авіаційна влада країни формує вимоги до статистичної звітності авіапідприємств, наприклад, як це наведено у [183], і організовує збір, збереження та обробку отриманих даних, як це зроблено на сайті Бюро статистики перевезень США [316]. Тобто на сьогодні є обов’язковим збір і надання статистичної інформації авіапідприємствами відповідним органам, а отже формування необхідної для повноцінних, різних за цілями та стратегічними, тактичними, оперативними напрямками досліджень АТС не вимагатиме від елементів системи додаткових ресурсів. Питання полягає лише в автоматизації отримання даних у реальному масштабі часу і формуванні необхідної структури (рис. 3.5).

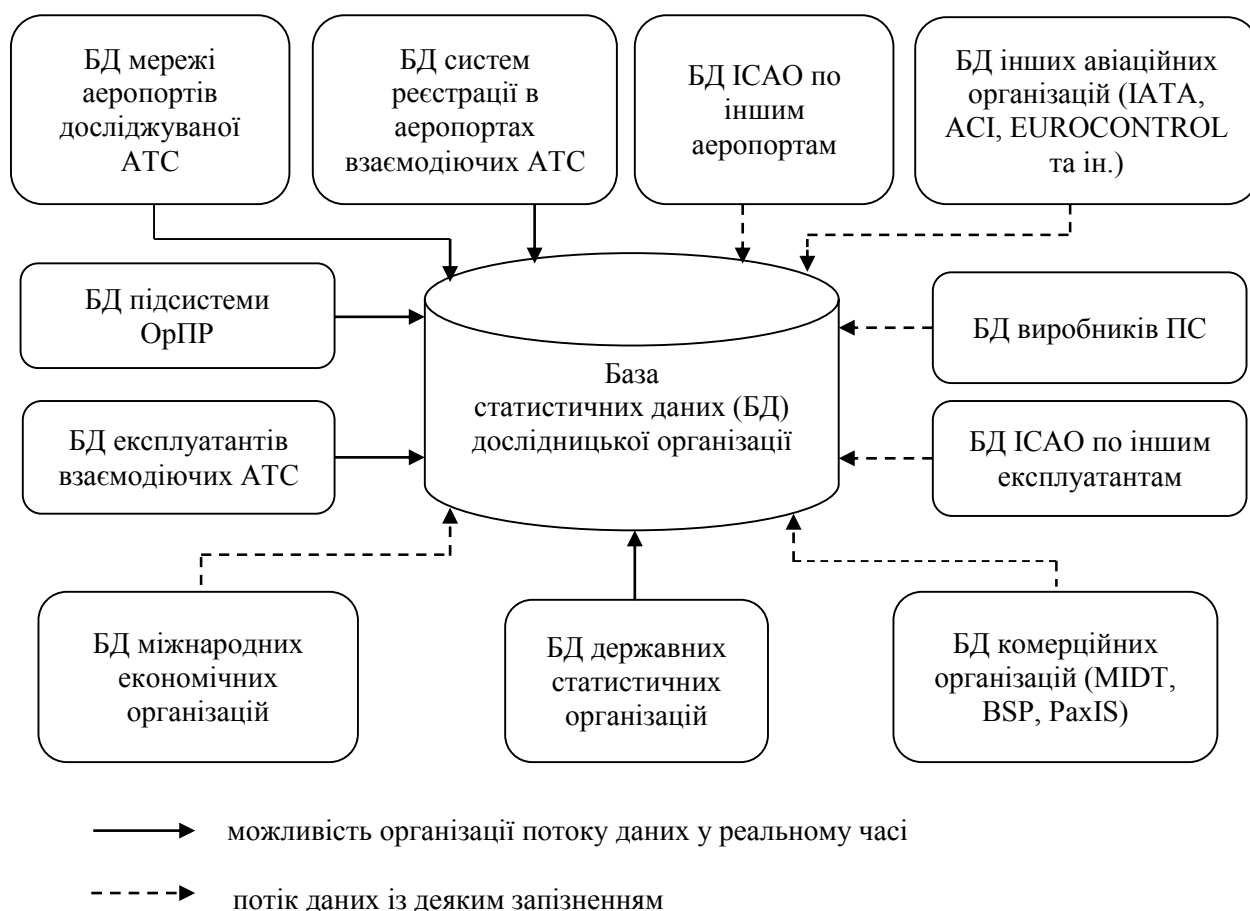


Рисунок 3.5 – Загальна схема організації дослідницької БД для аналізу обсягів попиту на авіап перевезення

Дуже важливим є організація статистичної бази за обсягами попиту на авіаційні перевезення, яка б давала змогу вивчати інформацію за реальними маршрутами руху потоків, тобто відстеження обсягів і напрямків трансферу. Джерелом даної інформації можуть бути системи бронювання та продажу і системи реєстрації потоків в аеропортах. Крім того, інформацію можна отримати із комерційного джерела Market Information Data Tapes (MIDT), де фіксуються дані щодо пасажирських замовлень, зроблених через усі основні глобальні розподільчі системи (GDS) [278, с. 15]. Однак, навіть за об'єднання даних з різних GDS неможливо забезпечити повного охоплення даних, адже в MIDT не враховуються прямі продажі і он-лайн бронювання. Іншим можливим джерелом є база даних IATA Passenger Intelligence Services (PaxIS), яка формується з даних IATA Billing and Settlement Plan (BSP).

Важливо зазначити, що бази даних TFS, MIDT і BSP є платними (так, наприклад, річна передплата за базу даних ICAO TFS у 2014 р. коштує близько 2000 дол. США [181]) і охоплюють тільки регулярні авіап перевезення. Тому є потреба у формуванні джерел та загальної бази даних, яка охоплюватиме усі види перевезень.

У додатку Г наведено можливу структуру бази даних попиту на авіап перевезення, яка необхідна для проведення кореляційно-регресійного аналізу з метою встановлення об'єктивно існуючих зв'язків між попитом на авіап перевезення та внутрішнім і зовнішнім середовищем АТС.

В аналізі попиту на авіаційні перевезення важливою є наявність даних щодо показників економічного розвитку країни (регіону) і туристичних обсягів, які можна отримати зі статистичних збірників відповідних державних установ та баз даних державних статистичних комітетів.

Для оцінювання реального впливу політики лібералізації важливим є відслідковування змін обсягів попиту на авіап перевезення, які стали результатом її впровадження. Наприклад, як змінилися обсяг та структура попиту після дозволу авіакомпаніям самостійно визначати тарифну політику, чи після того, як на заданий ринок увійшли нові авіакомпанії, в тому числі LCC, в рамках договору про «відкрите небо» й таке інше.

Огляд світових тенденцій щодо обсягів попиту на авіап перевезення

У [278] опубліковано результати дослідження факторів, які є обмеженнями і стимулом попиту на авіаційні перевезення для регіонів світу. Опитування експертів АСІ показав, що для Європи основними обмеженнями в задоволенні попиту на авіап перевезення є вимоги щодо шумів (тобто обмеженням є вибір типу ПС для експлуатації), існуючі технічні та технологічні характеристики ЗПС та терміналів аеропортів; у Північній Америці – характеристики терміналів; в інших регіонах світу найбільш впливовими факторами виявилися характеристики перонів і терміналів (рис. 3.6). Це доводить важливість постійної актуалізації в базі даних щодо аеропортів не лише інформації стосовно обсягів виконаних робіт з

обслуговування ПС, пасажирів, БВП, але й стосовно використання пропускної спроможності та основних технічних характеристик окремих зон аеропорту.

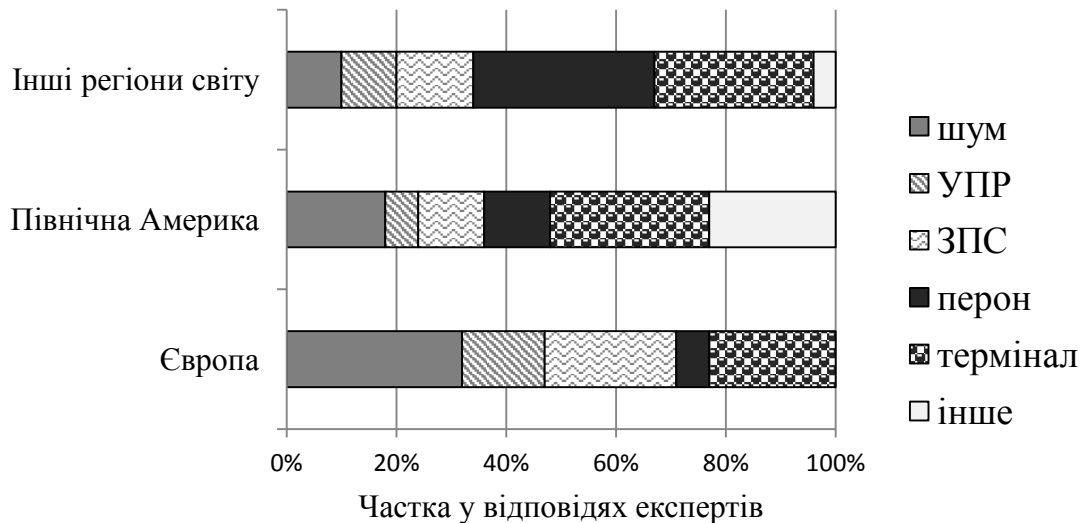


Рисунок 3.6 – Параметри, які обмежують попит на рівні підсистеми аеропорт (за даними 2007 р., джерело: [278])

Серед позитивних факторів, що впливають на попит у міжнародних організаціях, частіше визначають: позитивну динаміку економічних показників країни (регіону), товарообігу, показників розвитку туризму, процесів лібералізації, наявність хабів та мережевого перевізника. В табл. 3.1 наведено дані АСІ щодо визначення важливості семи основних факторів, які можуть сприяти збільшенню авіаперевезень. Дослідження показали, що в регіонах світу по-різному оцінюють важливість того чи іншого фактору, але практично усі (крім Африки) перше місце надають економічним показникам.

Цікаво зазначити, що в чотирьох регіонах високе місце займає наявність ЛСС (за винятком Близького Сходу і Африки). Для Близького Сходу важливим є розвиток хабової мережі та базового авіаперевізника, тому що стратегією даного регіону є розвиток мережі далекомагістральних рейсів. Незважаючи на політику «відкритого неба» там триває жорстке регулювання діяльності авіапідприємств, включаючи формування тарифів.

Таблиця 3.1 – Рейтинг факторів, які позитивно впливають на попит
(1 – найбільш вагомий, 7 – найменш вагомий, джерело: [139])

Регіон	Місце в рейтингу						
	1	2	3	4	5	6	7
Латинська Америка	Економіка	Туризм	LCC	Базовий перевізник	Торгівля	«Відкрите небо»	Хаби
Північна Америка	Економіка	Базовий перевізник	LCC	Туризм	Хаби	Торгівля	«Відкрите небо»
Близький Схід	Економіка	Хаби	«Відкрите небо»	Базовий перевізник	Торгівля	Туризм	LCC
Європа	Економіка	LCC	Туризм	Базовий перевізник	Торгівля	«Відкрите небо»	Хаби
Азія	Економіка	LCC	Туризм	«Відкрите небо»	Торгівля	Базовий перевізник	Хаби
Африка	Туризм	«Відкрите небо»	Економіка	Торгівля	Хаби	LCC	Базовий перевізник

Дослідження міжнародних організацій доводять, що головними факторами, що впливають на пасажирські авіаперевезення, є економічне становище у світі, ціни на паливо й ВВП. Крім того, важливим є збільшення кількості нових споживачів середнього класу (із щоденними витратами від 10 до 100 дол. США на одну особу). Як видно на рис. 3.7, невелике зростання ВВП на душу населення призводить до значного збільшення поїздок на душу населення у менш розвинених країнах, але тільки невелике зростання в розвинених економіках.

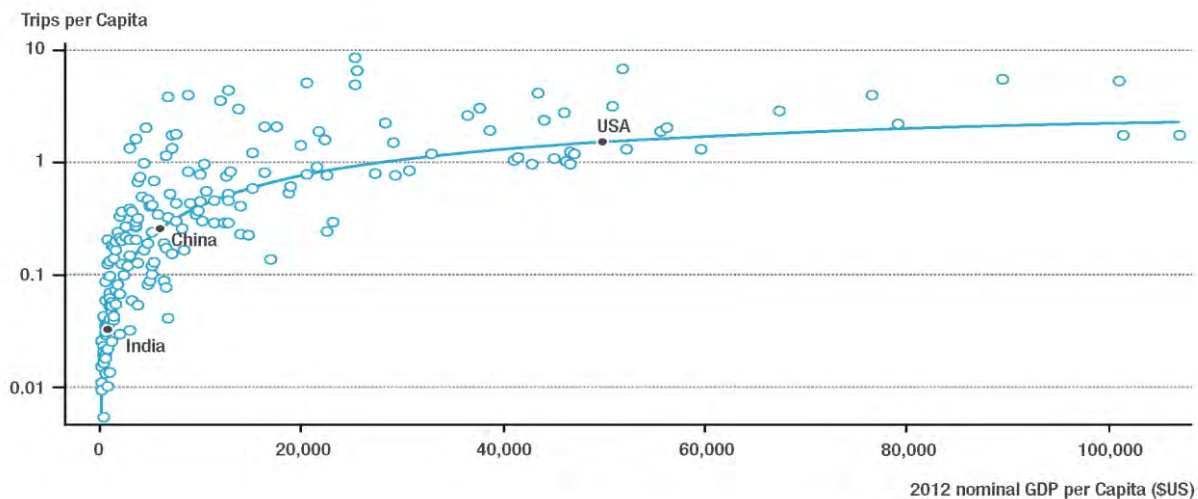


Рисунок 3.7 – Залежність кількості подорожей на особу (trips per capita) від ВВП на душу населення (GDP per capita) – Індія та Китай по висхідній кривій, 2012 р. (джерело [337])

У 2014 р. приблизно 3,6 млрд осіб скористалися послугами авіаційного транспорту для виконання ділових і туристичних поїздок. Порівняно з 2013р. кількість перевезених за цей рік пасажирів збільшилася приблизно на 5% [346].

Крім того у 2014 р. кількість вильотів ПС у всьому світі досягло 33 млн, тим самим встановивши новий рекорд, перевищивши аналогічні показники 2013 р. на 1 млн. Зростання світової економіки і поліпшення світової торгівлі сприяло приросту регулярних пасажирських перевезень на 5,9% у порівнянні з 5,5% у 2013 р.

Виходячи з статистичних даних 2014 р., Азіатсько-Тихоокеанський регіон залишається найбільшим у світі ринком авіаційного транспорту, його частка в глобальному обсязі перевезень становила 31%. Другу і третю позиції за обсягом авіаперевезень займають ринки Європи та Північної Америки, які становили 27% і 25% усього ринку відповідно. Регіони Близького Сходу, склали 9% і мали найвищі темпи зростання на 12,8%. У Латинській Америці та Карибському регіоні авіаперевезення збільшилися на 5,9%, в той час як в Африці зафіксований приріст на 1,5%.

Міжнародні регулярні пасажирських перевезення зросли на 6,3% в 2014р. у порівнянні із 5,7% у 2013 р. З відновленням економіки Євразії, Європейський ринок авіаперевезень збільшився на 5,7% і склав найбільшу частку міжнародних – 38%. Азіатсько-Тихоокеанський регіон був другим за величиною з часткою 27% і збільшенням на 5,8%. Ринок міжнародних регулярних авіаперевезень у Північній Америці також збільшилися на 3,1%, відповідно до поліпшення економічних умов в даному регіоні. На Близькому Сході були зафіксовані найвищі темпи приросту міжнародних пасажирських перевезень, що пояснюється економічним ростом та значним розширенням мережі авіамаршрутів в регіоні. Зростання склало 13,4% порівняно з 2013р. Ринок Латинської Америки та Карибського басейну, тим часом, виріс на 6,2%, незважаючи на слабкість деяких економік і перевізників. В Африці були зафіксовані найповільніші темпи зростання – 1,7%.

Регулярні внутрішні пасажирські перевезення збільшилися на 5,1% порівняно з 2013 р., причому ринки Північної Америки та Азіатсько-Тихоокеанському регіону склали 82% внутрішніх перевезень всього світу (44% виконано у Північній Америці та 38% – у Азіатсько-Тихоокеанському регіон). На Азіатсько-Тихоокеанському внутрішньому ринку спостерігався швидкий приріст (7,9% порівняно з 2013 р.) в основному за рахунок китайських авіакомпаній, на частку яких припадає близько 60% від загального обсягу внутрішніх перевезень.

Загальний коефіцієнт пасажирського завантаження був відносно стабільним і складав 79,5%. Перевізниками Північної Америки досягнуто найвищий коефіцієнт пасажирського завантаження в 2014 р. – 83,5%, далі в рейтингу європейські перевізники – 80,4%.

За обсягами вантажних перевезень найбільшою авіакомпанією у 2013 р. була американська FedEx, яка виконала 16,127 млн т-км. Ця авіакомпанія також мала найбільший парк, який налічував 643 вантажних ПС. Зазначимо, що бізнес FedEx має циклічний характер. Історично у США обсяги експрес-перевезень збільшуються наприкінці листопада і в грудні. У міжнародних експрес-перевезеннях, зокрема, за маршрутами США–Азія, піки припадають на жовтень і листопад.

Міжнародний туризм є важливим каталізатором попиту на авіаперевезення у всіх регіонах. Наприклад, у 2013р. Європа була найпопулярнішим місцем (рис. 3.8). Іспанія, Франція, Італія, Німеччина, Великобританія – найпопулярніші країни Європи – отримали 242,2 млрд дол. США доходів від міжнародного туризму. Другим за популярністю є Азіатсько-Тихоокеанський регіон.

За даними Всесвітньої ради з подорожей і туризму (WTTC), основна частка доходів у 2013 р. в'їзного і внутрішнього туризму припала на відпочиваючих та подорожуючих. Ділові поїздки становили близько 20 % доходів туристичної галузі в 2013 р. Очікується, що частка туристичного

відпочинку зростатиме у зв'язку зі зростанням середнього класу в країнах, що розвиваються.

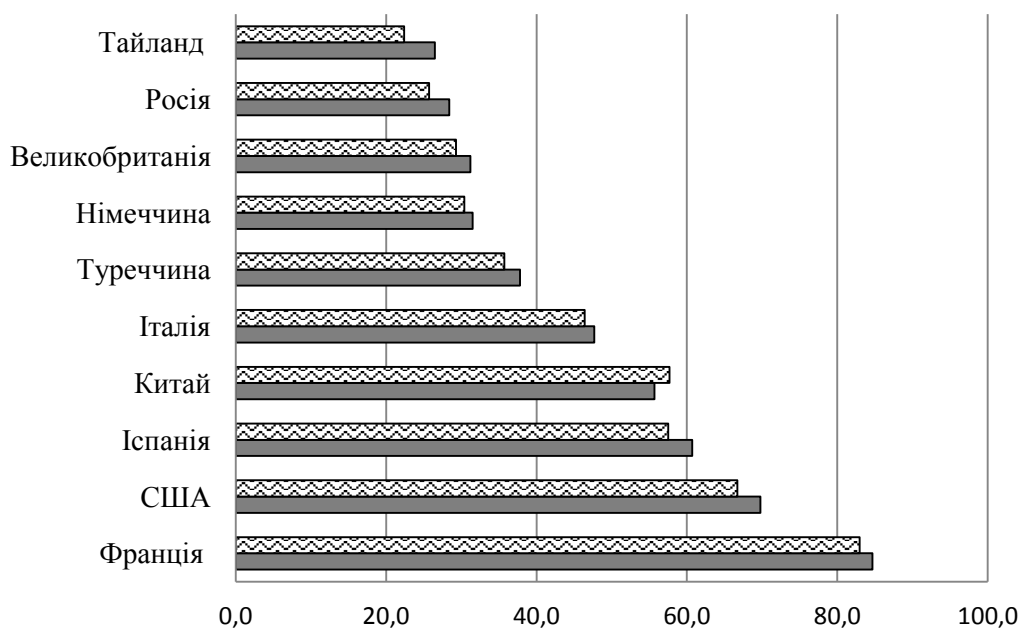


Рисунок 3.8 – Рейтинг перших десяти найпопулярніших туристичних напрямків

3.3 Мережа авіаційних маршрутів

Основні моделі мережі авіамаршрутів

У роботі [68] зазначено, що основними аспектами розвитку мережі маршрутів міжнародних авіакомпаній є розвиток хабової моделі й концентрація пасажиропотоку в межах глобальних альянсів авіакомпаній.

Авіакомпанії, які прагнуть забезпечити в кожному польоті пасажирське завантаження, достатнє для беззбиткової роботи, не можуть сполучити всі пункти відправлення та призначення прямими рейсами. Тому діюча мережа авіамаршрутів забезпечує лише деякі прямі зв'язки із множини активних комбінацій. Використовуючи прямі авіамаршрути, авіакомпанії за допомогою фідерних ліній організовують авіаційні сполучення за всіма іншими напрямками (рис. 3.9). У результаті створюється трансферний потік

пасажирів, який, за даними дослідження [356], становить 25–40% загального обсягу пасажирських перевезень.

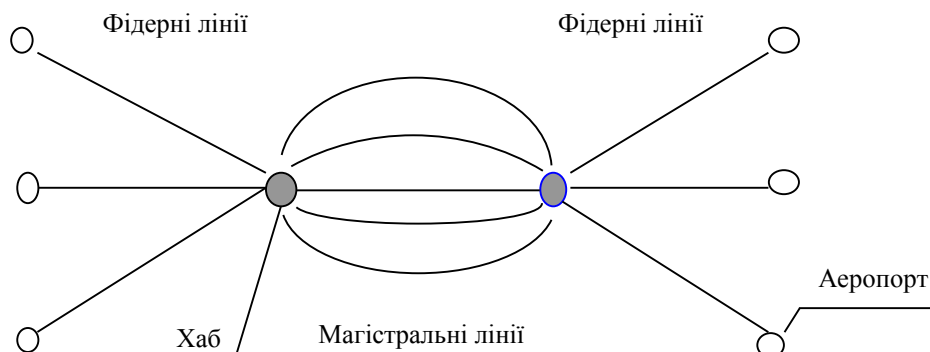


Рисунок 3.9 – Структура діючої мережі авіамаршрутів

Побудова маршрутів пасажирських авіаперевезень через аеропорти-хаби має дві головні переваги для авіакомпаній (альянсу авіакомпаній). По-перше, за рахунок направлення пасажирів до хабу збільшується пасажиропотік в цьому аеропорту, створюючи більше можливостей для стикувальних рейсів, що робить аеропорт привабливішим для додавання нових маршрутів і збільшення частоти на існуючих маршрутах. По-друге, засновуючи свою діяльність на одному аеропорті, авіакомпанії знижують свої операційні витрати.

Але зростання альянсів авіакомпаній і розширення глобальних (hub-and-spoke) мереж аж ніяк не витіснили потенціал зростання авіакомпаній, які пропонують своїм пасажирам прямі (point-to-point) маршрути. Навпаки, мережі типу «від пункту до пункту» також мають позитивну тенденцію до зростання, зокрема, завдяки LCC. Ця тенденція може бути пояснена такими аргументами: ясно, що для авіапасажирів зручнішим є прямий переліт, який зменшує імовірність затримок та незручностей трансферу; ці самі фактори є важливими і для авіакомпаній.

У хабовій моделі авіаперевезень посилюється регіональна спеціалізація окремих хабів, однак паралельно розвивається мережа другорядних

аеропортів, які можуть забезпечити велику кількість прямих маршрутів. Крім того, перенасичення пасажиропотоку, наприклад, у таких світових містах, як Лос-Анджелес, Нью-Йорк і Чикаго, призводить до того, що в поточних ринкових умовах авіаперевізникам стає вигідніше обійти їх як транзитні авіавузли в регіональних хабових схемах.

Для того, щоб задовольняти зростаючий попит на авіаційні перевезення, авіакомпанії змушені або переходити на літаки з великою кількістю пасажирських крісел, або систематично збільшувати кількість рейсів на більшій частині авіамаршрутів, що викликає перевантаження основних аеропортів (хабів). Дослідження [379] показали, що перевантаження аеропортів понад їх практичні можливості призводить до затримок, тривалість яких росте по експоненті (рис. 3.10).

Якщо навіть один-єдиний аеропорт з майже 45 тисячами щорічних авіарейсів в мережі авіамаршрутів відчуває таке перевантаження, то це тією чи іншою мірою відбивається на всій системі, утворюються черги у всіх пов'язаних аеропортах, що порушує регулярність польотів. При перевантаженні декількох аеропортів збитки від затримок рейсів перевищують вигоди від зниження собівартості перевезень, отримані при досягненні більшої щільності авіаперевезень. Загальний результат роботи такої системи – зростання витрат через збільшення витрати пального в режимі набору–зниження і більшого часу польоту від початкового до кінцевого аеропорту, зниження середньорічного нальоту ПС. Збільшення затримок призводить до зниження індексу «комфорту», і пасажирів починають вибирати іншу авіакомпанію або інший вид транспорту.

Розв'язання проблеми пропонується у вибіркового збільшенні кількості безпосадкових сполучень у мережі маршрутів (рис. 3.11). У результаті буде досягнуто деяке розвантаження аеропортів.-хабів Це так звана *концепція декомпозиції мережі маршрутів*. Використання цієї концепції залежить від

конкуруючих авіакомпаній, а також схвалення і затвердження регулюючих органів.

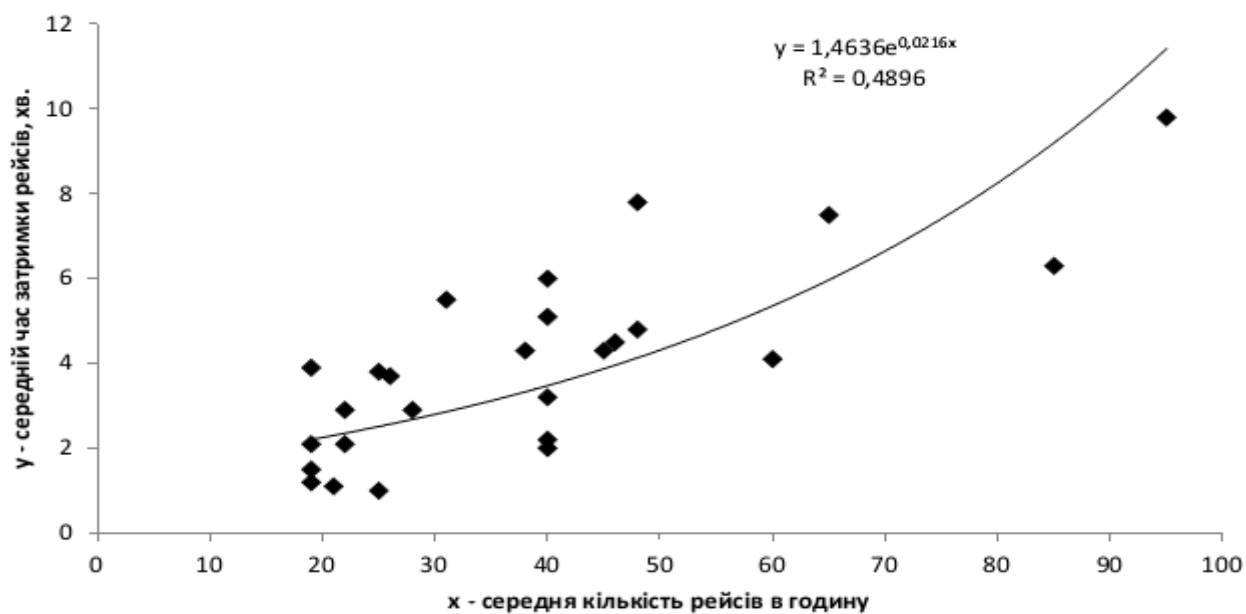


Рисунок 3.10 – Залежність затримки від інтенсивності рейсів в аеропорту
(за даними [379])

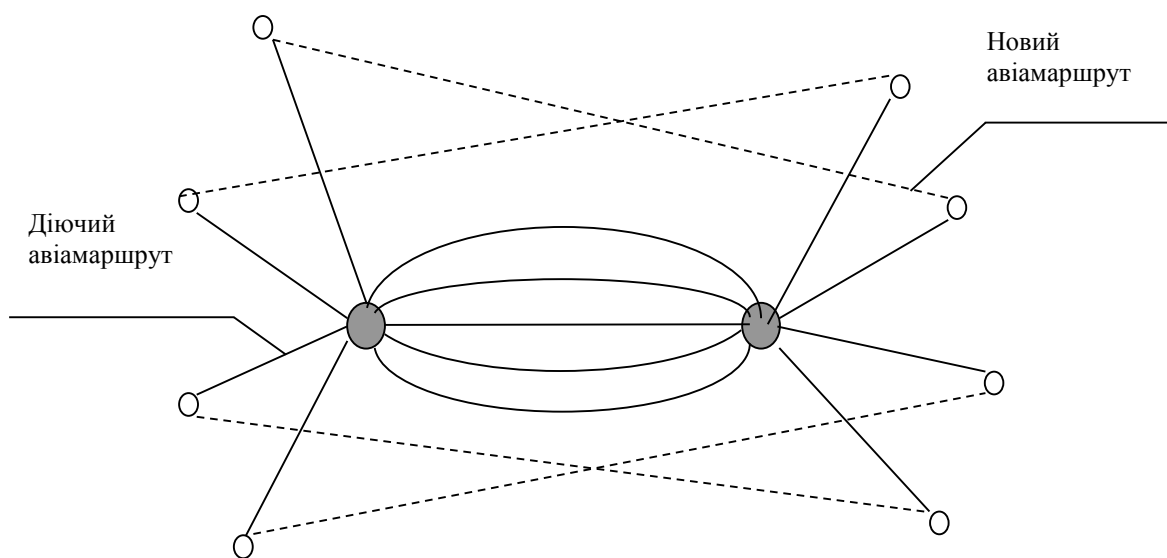


Рисунок 3.11 – Пропонована структура мережі маршрутів

Логічна здійсненність концепції потребує аналітичної перевірки з точки зору можливості кількісного оцінювання і вимірювання її впливу на пасажирів, авіакомпанії і авіабудівні фірми (рис. 3.12)

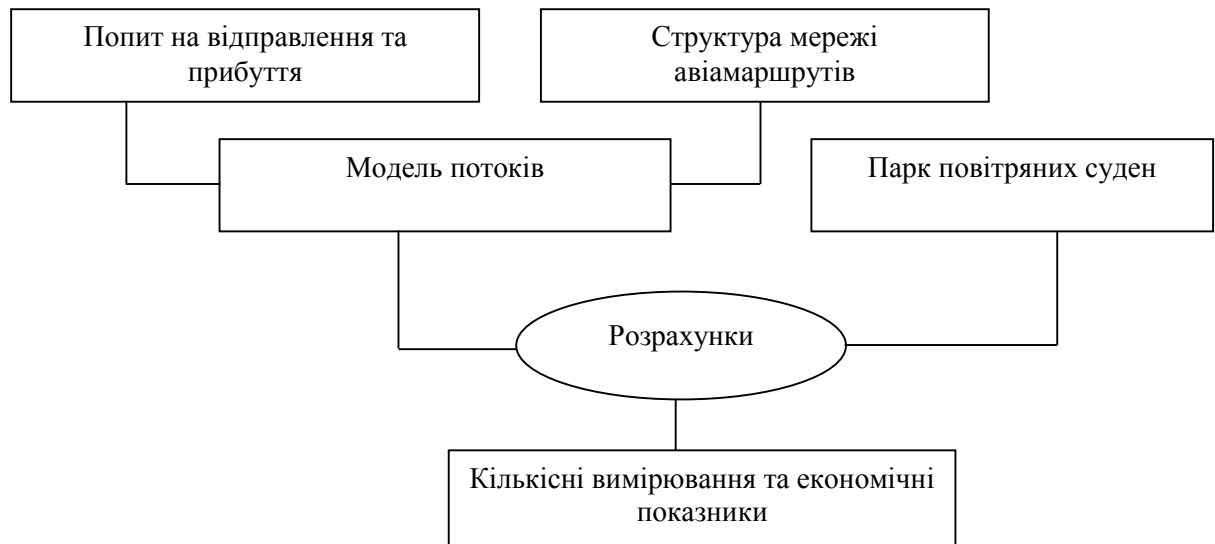


Рисунок 3.12 – Схема дослідження

Вплив концепції декомпозиції мережі маршрутів можна вимірювати в зниженні показника перевезень у пасажиро-кілометрах, в економії часу польоту, підвищенні комфорту, а також у необхідності розширити типорозмірний ряд літаків, пропонованих авіаційною промисловістю.

Основою схеми дослідження цього впливу є модель руху пасажиро- та вантажопотоків і парку літаків (з точки зору його техніко-економічних показників). У процесі реалізації моделі розробляються рекомендації про склад парку, який найбільшою мірою відповідає досліджуваним потокам.

При розробці моделі потоків необхідно підготувати дані, що характеризують відправлення та прибуття пасажирів, БВП між фіксованою кількістю населених пунктів. Звичайно, у розширеній мережі порівняно з існуючою істотно збільшиться кількість зв'язків, загальна протяжність мережі маршрутів і кількість рейсів; зменшиться пасажиропотік на маршруті і кількість потрібних крісел в літаку заданих типів.

Огляд світової структури авіамаршрутів

Аналіз даних ACI за 2013 р. показує, що 4,5% (50 перших аеропортів за пасажиропотоком із 1105 досліджених) обслуговує 43,5% світового пасажиропотоку (2,3 млрд із 5,4 млрд загальної кількості пасажирів). Частка трансферних пасажирів у третьому за пасажиропотоком аеропорту London Heathrow Airport становила у 2013 р. 37% (це 26 млн пас.) [182].

Останніми роками спостерігається глобальна тенденція авіакомпаній до консолідації: у 2012р. 59% усього світового ринку пасажирських авіап перевезень здійснювалося трьома глобальними авіаційними альянсами – oneworld, Star Alliance і SkyTeam (рис. 3.13) [319]. Альянси також утворюють між собою вантажні авіакомпанії, (WOW Alliance, SkyTeam Cargo, і ANA/UPS Alliance).

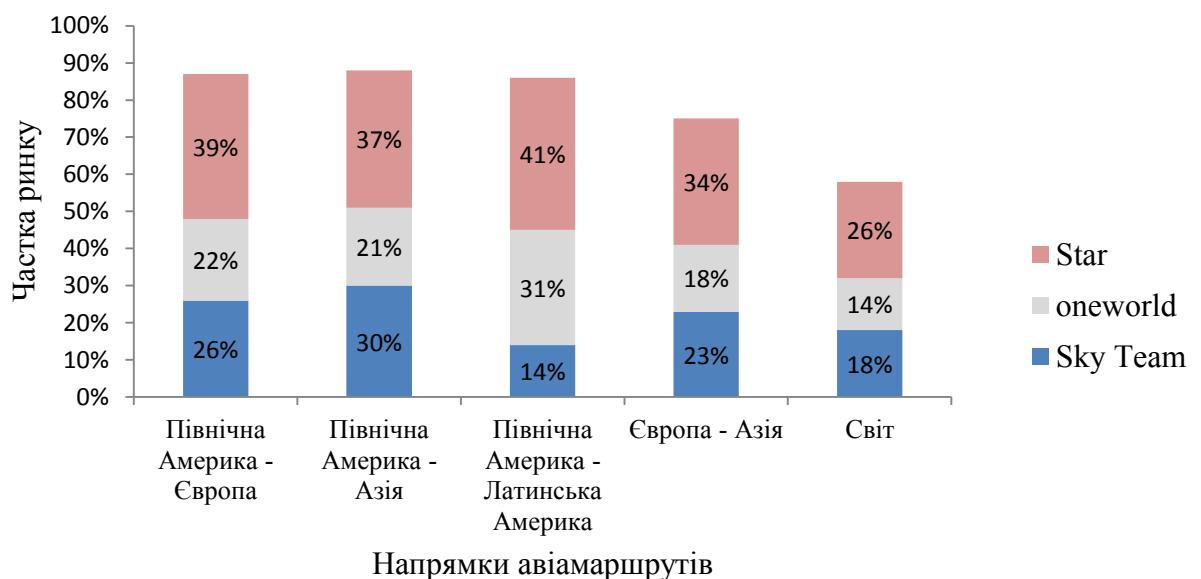


Рисунок 3.13 – Частка ринку провідних авіаційних альянсів за ємністю (кількість пасажирських крісел), червень–січень 2012 р.
(за даними [319])

Створення глобальних альянсів авіакомпаній було спричинене двома факторами: по-перше, ринковою лібералізацією, яка відбулася в Сполучених Штатах наприкінці 1970-х рр., в Європі на початку 1990-х рр. і на ринку між

США і ЄС у 2008-2009 рр.; і, по-друге, все ще існуючим державним регулюванням у багатьох регіонах світу з питань володіння авіакомпаніями та експлуатації авіамаршрутів. Ця форма комерційного співробітництва авіакомпаній створюється для розвитку глобальної мережі маршрутів і зосереджена на ряді ключових аеропортів, де є можливість обслужити велику кількість трансферних пасажирів.

На сьогодні всі основні мережеві авіаперевізники Північної Америки, Європи, Східної і Південно-Східної Азії визначилися з концепцією свого розвитку: функціонування в рамках глобального альянсу або окремо. Мова йде саме про три регіони, оскільки інші регіони в альянсів спочатку були в меншому пріоритеті, адже основний пасажиропотік авіатранспорту формується саме в Європі, Північній Америці та Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Аналіз найбільш завантажених маршрутів у світі за обсягом пасажирських перевезень показує, що сім з десяти перших у рейтингу таких маршрутів знаходяться в Азії. Чеджу–Сеул у Південній Кореї залишається найінтенсивнішим авіаційним маршрутом у світі (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 - 10 основних найнавантажениших авіаційних маршрутів у світі [275]

Регіон	Маршрут	Перевезено пасажирів у 2012 (тис.)	Приріст 2012–2011
Азія	Чеджу–Сеул	10156	2%
Азія	Саппоро–Токіо	8211	8%
Латинська Америка	Ріо-де-Жанейро–Сан-Паулу	7716	-1%
Азія	Пекін–Шанхай	7246	7%
Південно-західна частина Тихого океану	Мельбурн–Сідней	6943	-2%
Азія	Осака–Токіо	6744	-11%
Азія	Фукуока–Токіо	6640	-3%
Азія	Гонконг–Тайбей	5513	2%
Азія	Окінава–Токіо	4584	12%
Африка	Кейптаун–Йоганнесбург	4407	-1%

В Європі та Північній Америці 35% авіаційних перевезень здійснюється на маршрутах, де перевозиться менше 100 тис. пасажирів на рік. Це різко відрізняється від ситуації в інших регіонах, таких як Азія, де 85% авіаперевезень сконцентровано на маршрутах, на яких перевозиться понад 100 тис. пасажирів на рік.

Близький Схід стає все важливішим глобальним хабом. У даному регіоні в трьох основних аеропортах Дубай, Доха і Абу-Дабі щорічне зростання перевезень становить близько 10% і вони мають дуже високий рівень трансферних потоків – близько 50% від усього обсягу авіаперевезень. Ці цифри показують, що регіон відіграє все важливішу роль як хаб між Європою та Азією і південно-західною частиною Тихого океану.

Отже, основними елементами мережі маршрутів є вузли (аеропорти) і сполучення. Розвиток мережі у часі може відбуватися за трьома напрямками: за рахунок появи нових сполучень між наявними вузлами (внутрішній розвиток); у результаті додаткового включення в мережу нових вузлів (зовнішній розвиток); при одночасному здійсненні перших двох напрямів (комплексний розвиток). Напрями розвитку мережі авіамаршрутів мають безпосередній зв'язок із аналізом фактичного та прогнозуванням потенційного попиту. Прогнозування попиту впливає на формування потрібних матеріальних, трудових, фінансових та інформаційних ресурсів авіакомпаній, аеропортів та підсистеми ОрПР.

3.4 Авіакомпанії

Загальне структурування завдань, які виконуються авіакомпаніями

Mike Hirst при описі авіакомпанії висловлює думку про те, що надважливий вплив на створення і подальшу модель функціонування даного елементу АТС має власник (чи власники), бо саме він визначає, які стратегічні цілі будуть фінансуватися. Отже, якщо власником є приватна особа, то, найімовірніше, комерційні цілі домінуватимуть, якщо ж власником

є держава – можуть розв’язуватися соціально-економічні проблеми, іноді навіть шляхом свідомої збитковості авіапідприємства [342, с. 132].

Зазвичай авіакомпанія розробляє і впроваджує у своїй організації керівництва з виконання польотів, з організації технічного обслуговування і якості, які містять встановлені й прийняті до виконання авіаційним персоналом експлуатанта правила, процедури і норми з організації, виробництва та забезпечення польотів. Всі керівництва авіакомпанії мають враховувати правила та нормативи, встановлені в країні, де вона зареєстрована. Перевізник також повинен враховувати й виконувати вимоги нормативних правових актів урядів країн, в які авіакомпанія має призначення і повітряний простір яких перетинають її судна. Уряди, як правило, відстежують наявність конкуренції між авіакомпаніями та контролюють стратегічні рішення авіакомпаній щодо злиття, поглинання між перевізниками, входу і виходу на/з ринку і ціноутворення, дотримання екологічних норм, правил безпеки, технічного обслуговування. Крім того, авіакомпанії мають ретельно враховувати умови договорів з різними аеропортами, в яких вони обслуговуються. На ці угоди впливають кілька факторів, зокрема наявність інфраструктури (ЗПС, обробки багажу тощо), прогнозований трафік, збори аеропорту, конкуренція з боку інших аеропортів, вільні слоти, перевантаженість і так далі. Авіакомпанія повинна враховувати потреби та уподобання своїх потенційних клієнтів, пасажирів та вантажної клієнтури. Наприклад, авіакомпанія враховує зручність розкладу, конкурентні тарифи, види обслуговування на борту, пунктуальність та ефективність надання послуг. Невиконання потреб і переваг клієнтів може призвести до втрати їх на користь інших конкуруючих груп перевізників чи інших видів транспорту. У багатьох випадках авіакомпанія, як це було зазначено вище, бере участь в одному або кількох альянсах, щоб розширити зону покриття своєї мережі або обмінюватися ресурсами з іншими авіакомпаніями. Отже, як правило, авіакомпанія має підтримувати певний рівень чинних стандартів згідно з вимогами альянсу.

Постачальники мають вирішальне значення для функціонування авіакомпанії. Перевізники залежать від постачальників, які забезпечують їх важливим елементами, такими як: літаки, паливо, запчастини, харчування, форма співробітників тощо. Крім того, у багатьох випадках авіакомпанії замовляють чимало послуг, таких як технічне обслуговування ПС, прибирання ПС, наземне обслуговування і продаж. Таким чином, авіакомпанія має підтримувати раціональні взаємозв'язки зі своїми постачальниками.

На більшості ринків існує жорстка конкуренція між декількома авіакомпаніями. Як правило, авіакомпанії постійно стежать за рішеннями своїх конкурентів, які стосуються наявних чи перспективних ємностей, рівнів тарифів, тарифних обмежень, розкладу.

Як і багато інших підприємств, авіакомпанії стикаються з трьома рівнями взаємодіючих рішень. Ці рівні включають розробку стратегії, оперативних планів та поточних операцій. Стратегічні рішення, як правило, вимагають тривалого часу для реалізації і чималих фінансових вкладень. Прикладами стратегічних рішень є зростання та розширення парку ПС, входження в альянси, розташування об'єктів. Рішення щодо оперативних планів реалізуються протягом кількох місяців і можуть бути визначені як процес ефективного використання авіакомпанією наявних ресурсів (див. п. 2.1.4), щоб максимізувати свій дохід. Рішення щодо оперативних планів включають прогнозування попиту за кожним маршрутом (від пункту відправлення до пункту призначення), розклад рейсів, розподіл парку ПС за маршрутами, графік обороту ПС, з урахуванням наземного технічного обслуговування та кейтерінгу, планування польоту для пілотів і бортпроводників, розміщення екіпажу. Інші планувальні рішення включають визначення оптимальної кількості персоналу для виконання рейсів до різних аеропортів, зокрема і персоналу з обслуговування клієнтів, агентів, вантажників і так далі. До оперативного планування належать також рішення щодо рівнів тарифів, тарифних обмежень і управління наявністю місць в

інвентарних системах. Тут слід зазначити, що ці рішення дуже залежать одне від одного, що робить процес планування комплексним.

Рішення авіакомпаній щодо поточних операцій – це ті рішення, які мають бути на контролі або оновлюються щогодини, або, у крайньому разі, – на щоденній основі. Вони включають рішення у разі несподіваних інцидентів, таких, як несприятливі погодні умови, затримки і скасування рейсів, заміна літаків, екіпажу або персоналу. До поточних операцій належать також рішення щодо оптимізації тарифної політики і кількості місць бронювання на кожний рейс щодня.

Всі рівні рішень є взаємопов'язаними, та мають зворотній зв'язок. Стратегічні рішення в рамках авіакомпаній детально розглядаються в багатьох наукових роботах, наприклад [1, 92, 106, 147, 159], тому в даній роботі надалі будуть переважно досліджені методи підвищення ефективності саме оперативного та поточного рівня рішень.

Поточні операції авіакомпанії вимагають значного співробітництва між декількома групами персоналу. Ці групи включають: пілотів, бортпровідників, команду технічного обслуговування, агентів з обслуговування ПС на пероні, групу обробки багажу, вантажних агентів, агентів з заправки паливом, агентів служби підтримки клієнтів, диспетчерів із зустрічі та посадки, агентів кейтерингу, команду прибирання ПС і диспетчерів. Авіакомпанії необхідно мати інструменти прийняття рішень для розроблення адекватного плану роботи для кожної групи з метою оптимізації їх взаємодії, та пом'якшення можливих конфліктних ситуацій між ними.

На рис. 3.14 наведено основні процеси, які розглядаються на стадіях оперативного планування та планування поточних операцій авіакомпаній.

Для забезпечення успішного функціонування авіакомпанії на ринку авіап перевезень надзвичайно важливо відпрацювати такі методи оперативного управління парком ПС, які дають змогу швидко і максимально ефективно розташовувати літаки на авіамаршрутах залежно від дальності перевезення й пасажиропотоку.



Рисунок 3.14 – Процеси планування виробничих операцій авіакомпаній

Завдання розподілу парку ПС і підвищення ефективності його експлуатації включає розв'язання таких завдань:

- вибір оптимального *типу літака* залежно від інтенсивності вхідного потоку пасажирів, дальності польоту, аеропортів обслуговування, наявності баз технічного обслуговування та ремонту й інших параметрів;
- визначення оптимальної *кількості літаків*, необхідних для обслуговування вхідного потоку пасажирів;
- визначення для кожного напрямку мінімально достатньої *кількості пасажирів* (залежно від обраного типу літака), яка необхідна для досягнення заданого рівня рентабельності.

Авіакомпанії, які прагнуть максимізувати середню ціну проданого квитка, застосовують технології оптимізації продажу та управління доходами (Yield Management, YM, в деяких джерелах Revenue Management, RM), які базуються на обмеженні в автоматизованих системах бронювання продажу окремих класів, а по суті, – окремих груп тарифів. Загальну схему організації роботи системи YM наведено на рис. 3.15.

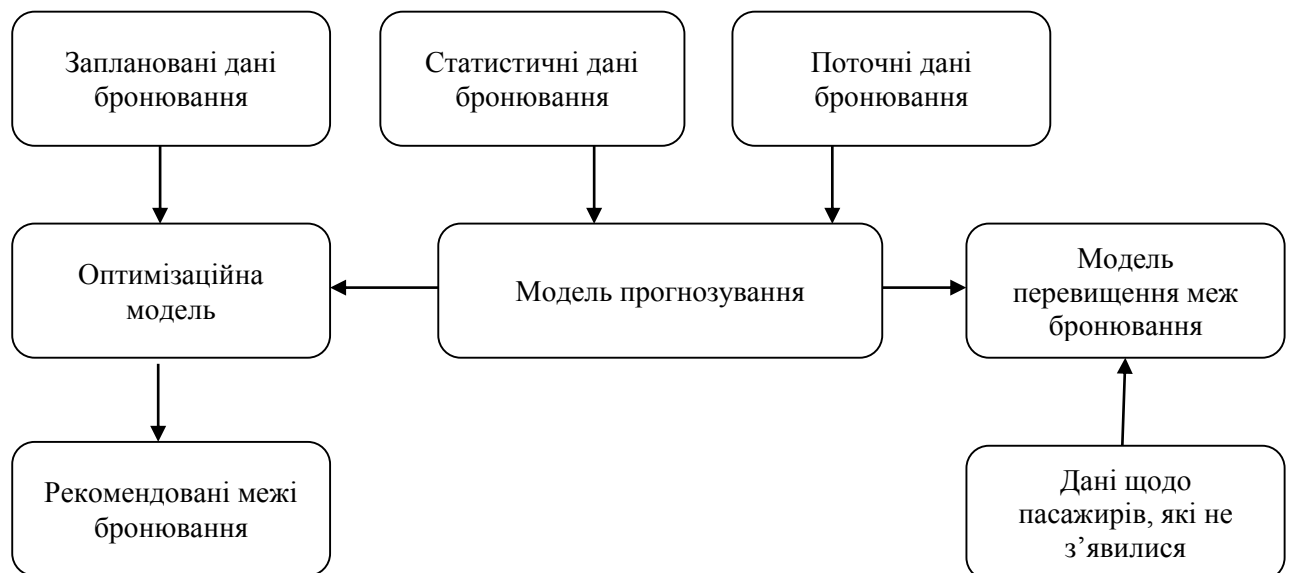


Рисунок 3.15 – Структура системи Yield Management

Для відповіді на питання, коли відкривати, а коли закривати продаж дешевих класів, необхідно прогнозувати завантаження кожного окремого рейсу в конкретний день. Якщо прогнозувати перевезення авіатранспортом по країні в цілому за рік можна, використовуючи економетричні моделі, то для поточного прогнозування завантаження конкретного рейсу в конкретний день необхідно розроблювати інший математичний апарат. На завантаження впливає досить багато факторів, серед них і сезонна складова з річним циклом.

На ринку лідерами розробки пакетів програмних продуктів для підтримки рішень оперативного планування та планування поточних операцій авіакомпаній є Amadeus, Lufthansa Systems, SITA і Sabre. Кожен із цих провайдерів пропонує повні інтегровані лінійки програмних продуктів, які широко використовують методи оптимізації та реалізують автоматизацію прийняття рішень [25]. Проте дуже висока їх вартість, постійні зміни в індустрії авіаперевезень, необхідність враховувати специфіку окремого ринку ведуть до виникнення нових завдань, які вимагають, в свою чергу, нових методів розв'язання. Отже, автоматизація процесів оптимізації та прийняття рішень є ключовим елементом функціонування авіакомпанії.

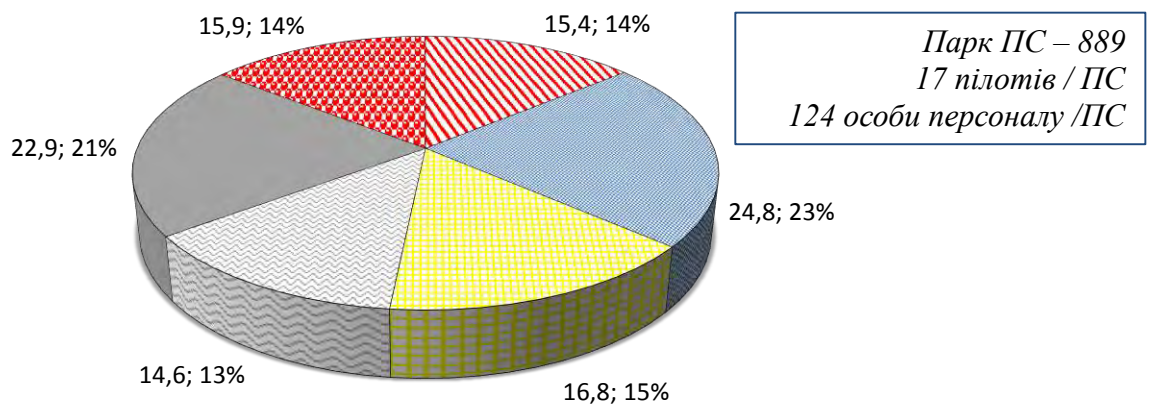
Огляд структури фізичних ресурсів авіакомпаній світу

За даними табл. 3.3, найбільші обсяги пасажирських перевезень виконуються авіакомпаніями США (4 авіакомпанії), Європи (3 авіакомпанії) та Китаю (3 авіакомпанії). З даної таблиці можна також зробити висновок про кореляцію між обсягами перевезень і розміром парку ПС авіакомпанії. Лише бюджетні авіакомпанії Ryanair та easyJet мають більш високу продуктивність ПС, якщо оцінювати її в середній кількості перевезених пасажирів на одне ПС.

На рис. 3.16 наведено структуру та кількість працюючих штатних співробітників станом на 31 грудня 2013 р. однієї з найбільших авіакомпаній світу – American Airlines (AA). Загальна кількість персоналу на одне ПС у даній авіакомпанії складає в середньому 124 особи.

Таблиця 3.3 – Перша десятка авіакомпаній світу за обсягом пасажирських перевезень у 2013, 2012 рр. (джерело: [409])

Рейтинг	Авіакомпанії	Перевезено пасажирів, млн осіб		Парк ПС, од.
		2013	2012	2013
1	American Airlines	193,7	107,8	1537
2	Delta Air Lines	164,6	164,6	1265
3	United Airlines	139,2	140,4	909
4	Southwest Airlines	133,2	134,0	676
5	Ryanair	81,4	79,3	303
6	China Eastern Airlines	79,1	73,1	451
7	Lufthansa	76,3	74,7	433
8	China Southern Airlines	64,5	61,8	415
9	Easy Jet	61,3	59,2	202
10	Air China	51,0	49,7	316



■ Пілоти

■ Бортпровідники

■ Персонал з технічного обслуговування

■ Персонал з обслуговування парку ПС

■ Персонал з обслуговування пасажирів

■ Адміністративний персонал та інші

Рисунок 3.16 – Структура та кількість персоналу АА у 2013 р., тис.осіб

Структура парку двох провідних авіакомпаній США та Китаю складається з різних типів ПС, але двох основних виробників: Airbus та Boeing

(табл. Е.1., Е.2). А от для регіональних перевізників авіакомпанії АА характерно використання ПС виробників Bombardier, Embraer, Saab AB.

У дослідженні ІКАО [345] на основі галузевих джерел розроблені сценарії про вірогідне співвідношення «пілоти / ПС» (табл. 3.4). Проте слід зауважити, що кількість пілотів, яка припадає на одне ПС, переважно залежить від політики експлуатанта. Єдиним нормативним обмеженням є обмеження льотного та службового льотного часу, які визначають максимальні періоди часу, упродовж якого пілоти можуть активно пілотувати ПС чи знаходитися при виконанні службових обов'язків.

Залежно від регіону або навчальної організації витрати на традиційну підготовку пілотів становлять від 50 до 100 тис. дол. США на одного курсанта [345].

Таблиця 3.4 – Сценарії співвідношення «пілоти / повітряне судно» (кількість пілотів на одне повітряне судно) [345]

Тип ПС	Оптимістичне співвідношення	Найімовірніше співвідношення	Песимістичне співвідношення
З двома проходами	20	14	12
З одним проходом	13	10	8
Вантажні	8	8	8
Інші	6	5	4

Якість традиційної підготовки пілотів значно відрізняється в залежності від навчального закладу, метеоумов, місця проведення навчання (контрольований чи неконтрольований повітряний простір) та окремих інструкторів. Основна увага приділяється сукупному нальоту годин (наприклад, 200 годин для отримання CPL та 1500 годин для отримання ATPL). У 2006 р. Рада ІКАО затвердила пропозиції Аеронавігаційної комісії щодо положень про нове свідоцтво пілота багаточленного екіпажу (MPL). Основна мета розробки MPL полягає у забезпеченні більш високої якості підготовки та компетенції слухачів. Для авіакомпаній, які реалізують

програми підготовки MPL, витрати на одного курсанта становлять від 140 до 326 тис. дол. США. Деякі експлуатанти вимагають від кандидатів відшкодування витрат за навчання.

За дослідженнями ICAO та Boeing, дефіцит пілотів спостерігається практично у всіх регіонах (табл. 3.5) за винятком Північної Америки.

Щодо пасажирських та вантажних ПС зазвичай використовується стандартне співвідношення 20 спеціалістів на одне ПС, а відносно інших ПС – 3 спеціалісти на одне ПС. Із галузевих джерел виходить, що на кожне пасажирське і вантажне ПС припадає 5 спеціалістів з технічного обслуговування, які мають посвідчення (сертифікати), та 15 спеціалістів без свідоцтв. На кожне ПС, що належить до категорії інших, припадає 2 спеціалісти з технічного обслуговування ПС, які мають посвідчення та 1 несертифікований спеціаліст.

Таблиця 3.5 – Кількість пілотів та відповідні потреби у підготовці: середні щорічні потреби на період 2010-2030 рр. (найімовірніший прогноз ICAO [345])

Регіон	Потреби в пілотах	Потреби в підготовці	Можливості підготовки	Дефіцит / надлишок
Азія / Тихий океан	229 676	13 983	4 935	9 048 / 0
Африка	55 932	3 814	1 010	2 804 / 0
Близький Схід	39 246	2 458	860	1 598 / 0
Європа	262 329	15 552	7 955	7 597 / 0
Латинська Америка	101 301	6 250	1 945	4 305 / 0
Північна Америка	292 314	10 449	27 655	0 / 17 206
Весь світ	980 799	52 506	44 360	8 146 / 0

Кваліфікаційна система підготовки й оцінювання персоналу з технічного обслуговування ПС визначені документом ICAO DOC 9868 [205]. На глобальному рівні прогноз [345] свідчить про те, що щорічна потреба в нових спеціалістах з технічного обслуговування становить 70331 осіб і що є значний дефіцит, який становить 18071 осіб. За винятком Північної Америки всі регіони мають дефіцит даного персоналу.

Понад 900 авіакомпаній світу, які функціонували у 2012 р., мали в експлуатації більш ніж 20 тис. реактивних літаків [315]. Склад парку ПС змінився протягом останніх 20 років, і найбільших змін зазнав флот широкофюзеляжних ПС. На рис. 3.17 помітна тенденція виробників до збільшення пасажиромісткості із збільшенням дальності проєктованого ПС. Але якщо у 1992 р. більшість широкофюзеляжних ПС були невеликої (до 300 крісел) та великої (від 500 крісел) категорій, то у 2012 р. зросла роль середньої категорії (300–500 крісел).

Сегмент ринку регіональних реактивних літаків надалі скорочується, у зв'язку з політикою авіакомпаній щодо жорсткого контролю операційних витрат. Вузькофюзеляжні ПС залишаються активно задіяними авіакомпаніями усіх бізнес-моделей (рис. 3.18).

Аналіз основних техніко-економічних показників вантажних літаків, які експлуатуються авіакомпаніями світу, показують, що на ринку представлені різні типи ПС, як за вантажопідйомністю так і за дальністю польоту. Основними виробниками вантажних ПС з відповідною інфраструктурою технічної підтримки залишаються фірми Boeing та Airbus.

Витрати авіакомпаній на паливе, частка яких становить до 30% загальних операційних витрат для вузькофюзеляжних і до 50% для широкофюзеляжних літаків, зросли майже вдвічі протягом останніх 10 років [315]. Підвищення паливної економічності авіакомпаній (див. (2.9) – (2.12)) за висновками [334, с. 11], могло б відбутися, якби парк поповнювався ПС великої пасажиромісткості (рис. 3.19). Але експлуатація ПС великої пасажиромісткості породжує питання компромісу паливної ефективності та задоволення вимог щодо експлуатаційних та шумових обмежень в аеропортах.

З метою економії авіакомпанії намагаються замінити старі, менш ефективні з технологічної точки зору ПС на нові літаки, наприклад, Boeing 737 MAX і Boeing 787, вартість яких на 10–15 млн дол. США вища, ніж Boeing 737 Next Generation.

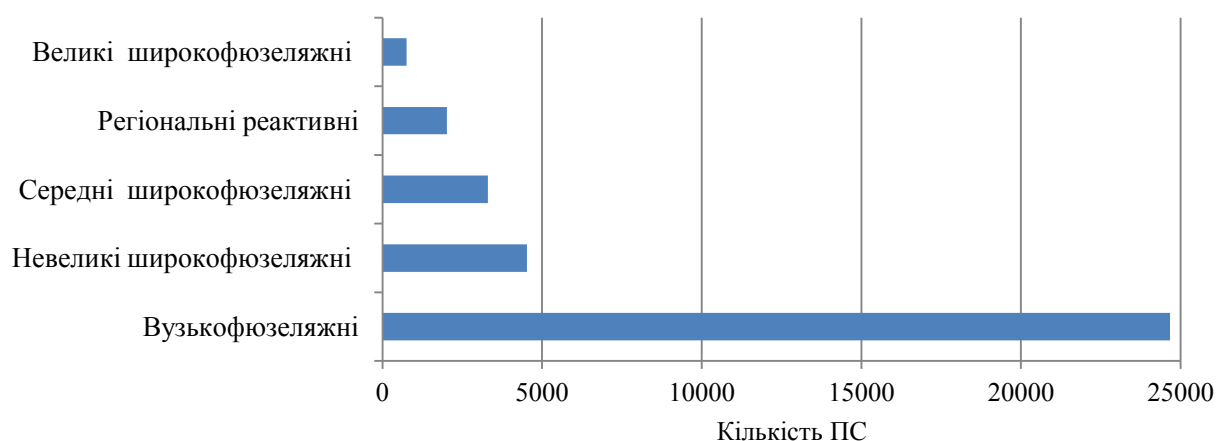


Рисунок 3.18 – Світові поставки літаків за категоріями, 2012 р.
(за даними [394])

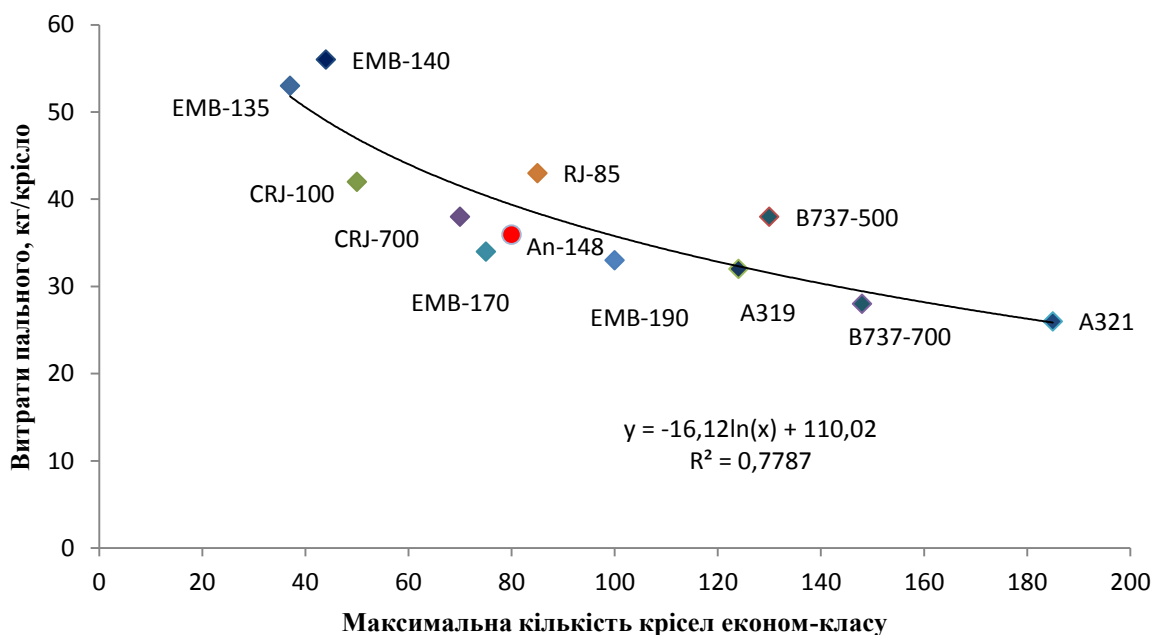


Рисунок 3.19 – Паливна ефективність середньо- та ближньоміагістральних ПС¹

Незважаючи на те, що ринкові ціни на ПС часто на 40–50 % нижчі за каталожні, кожна нова покупка має величезний вплив на регіональні й маленькі авіакомпанії. Високі ціни на нафту є важливим аргументом на користь довгострокових інвестицій у більш економічний з точки зору

¹ Показник паливної ефективності Ан-148 розраховувався за статистичними даними «МАУ» 2010 р.

споживання пального флот. Проте ціни на нафту коливаються, зокрема знижуються, що стимулюватиме попит на нові ПС та ПС, які вже експлуатувалися. За даними експерта міжнародної лізингової компанії AviaAM Leasing вартість 5–7-річного літака до 50% нижча, за вартість нового, а споживання ними пального практично однакове [47].

За прогнозами Boeing і Airbus, близько 30 тис. комерційних реактивних літаків будуть поставлені в найближчі 20 років для задоволення зростання попиту і заміни парку ПС, на що необхідно близько 4,5 трлн. дол. США. Так, якщо на початок 2012 р. світовий парк ПС з пасажиромісткістю більше ніж 100 крісел становив 15,5 тис. ПС, то прогнозується, що у 2031 р. він становитиме 32,5 тис., з них 27,3 тис. будуть нові літаки [293]. Фактично це означає, що світовий комерційний парк ПС збільшиться більш ніж удвічі протягом наступних двадцяти років.

Основними джерелами фінансування для закупівлі авіаційної техніки традиційно були готівкові кошти, ринок довгострокового позичкового капіталу, банківські позички і гарантії експортно-кредитних агентств. Іншим менш значущим джерелом фінансування були самі виробники ПС. Останніми роками чимало традиційних джерел фінансування були обмежені змінами на ринку й галузевими проблемами або зазнавали структурних змін, що вплинуло на вартість і доступність фінансування.

Фінансування за власні грошові кошти авіакомпанії було одним з основних способів придбання літаків пару десятиліть тому, коли ПС переважно були у власності авіакомпаній. Це джерело капіталу значно зменшилося протягом останніх років, особливо у зв'язку із зростанням оперативного лізингу як ключової операції із фінансування парку. Грошові кошти все більше зосереджені у лізингодавців, які, в свою чергу, спираються на капітал банку, страхової компанії або інших третіх сторін [293].

Протягом останніх десяти-двадцяти років лізингові компанії планомірно нарощували присутність на ринку не лише за рахунок фінансування поставок ПС, але й шляхом купівлі та поворотного лізингу. У результаті їх частка на

світовому ринку зросла майже до 40% від загальної кількості експлуатованих комерційних літаків. З метою придбання ПС лізингові компанії, як правило, фінансують 75% базової вартості.

На ринку налічується 150 лізингових компаній з оціночною вартістю активів близько 140 млрд дол. США (оцінювання здійснюється на основі поточної ринкової вартості ПС). На 10 найбільших лізингових компаній припадає трохи менше 70% (100 млрд дол. США) базисного активу галузі і близько 60% від загальної кількості одиниць авіаційної техніки. У цьому секторі домінують дві великі компанії: GE Capital Aviation Services та International Lease Finance Corporation (ILFC), кожна з яких станом на травень 2012 р. має флот понад 1000 літаків, що становить 34% світового парку ПС (за кількістю). На даному ринку немає чіткої тенденції до консолідації, навпаки, експерти зазначають, що тепер зростає кількість нових лізингових компаній, які швидко виходять на ринок і нарощують портфелі заказів.

Очікується, що лізингові компанії відіграватимуть ключову роль у фінансуванні поставок літаків у майбутньому. За оцінками Ascend², оперативний лізинг становитиме 50% від загального ринку після 2020 р. (рис. 3.20).

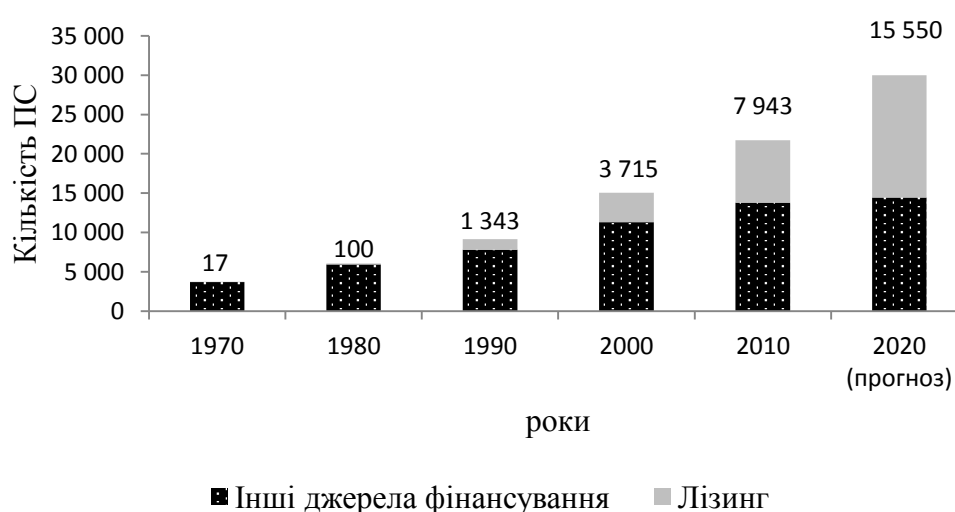


Рисунок 3.20 – Динаміка зростання оперативного лізингу ПС

² <http://www.ascendworldwide.com/>

3.5 Аеропорти

У структурі всієї АТС аеропорти можна розглядати як обмеження для зростання обсягів перевезень у майбутньому [340]. У контексті прогнозованого подвоєння обсягу авіаперевезень у світі до 2020 р. є необхідність збільшення інвестицій у розвиток і у дослідження щодо постійного поліпшення пропускної спроможності аеропортів з урахуванням вимог безпеки. Часто аеропорти не в змозі інвестувати в нову інфраструктуру через екологічні, соціальні та інші обмеження. У такому разі оптимальним рішенням щодо підвищення пропускної спроможності є оптимізація технологічних операцій в аеропортах. Даний напрям діяльності закладено в підході *Загальний менеджмент аеропорту* (Total Airport Management, ТАМ) [340], який зосереджено на розробці методів для отримання рішень з підвищення ефективності використання ресурсів за рахунок цілісного бачення технологічних процесів у повітряній і наземній зонах аеропорту (табл. 3.6).

Можна сказати, що даний підхід є розвитком уже впровадженої системи А-СДМ. Відмінність полягає в тому, що для забезпечення загальної якості обслуговування споживачів і розвитку мережі авіаперевезень підхід ТАМ концентрується на фазах поточного планування операцій з використанням найбільш точної наявної інформації.

Процеси в аеропортах мають бути повністю інтегровані з підсистемою ОрПР та іншими підсистеми АТС. Так, усі істотні процеси аеропорту від реєстрації пасажирів до технічного обслуговування ПС мають бути узгоджені для досягнення спільної мети – забезпечення регулярності польотів, відповідності принципам 4D-траєкторії, які підвищують не лише ефективність підсистеми АТМ, але й аеропорту. Зазначимо, що суть підходу 4D-траєкторії полягає в тому, що до трьох базових просторових вимірів (значення широти, довготи, абсолютної висоти) додається ще один – часовий. За дотримання ПС польоту в усіх чотирьох вимірах забезпечується

практично точне дотримання розкладу польотів. До числа переваг даного підходу слід віднести більш суворе дотримання розрахункових траєкторій польоту, контрольного часу прибуття, розробку систем здійснення польотів за встановленими траєкторіями і впровадження загальносистемного управління потоками інформації [221].

Таблиця 3.6 – Узагальнення завдань планування підсистем аеропорту за горизонтами планування

Горизонти планування	Наземний доступ	Термінали	Повітряна зона
Довгострокове	Планування пропускної спроможності інфраструктури і мережі авіамаршрутів, організація потоків повітряного руху		
Середньострокове	Розміщення та планування функціональних зон терміналів, планування ресурсів		
Оперативне	Інформаційне забезпечення пасажирів, вантажної клієнтури		Координація дій між органами УПР, авіакомпаніями та аеропортом
	Забезпечення безпеки		
	• управління розкладом транспорту загального використання; • управління парком автомобілів, таксі	• узгодження процедур аеропортових формальностей; • оптимізація процесів реєстрації та інших видів контролю	
Поточне	Планування ресурсів та координація дій виконавців операцій:		
	• персонал таксі, автобусів, • залізничного виду транспорту; • інші	• диспетчери терміналу; • персонал з авіабезпеки, реєстрації; представники державних органів; персонал послуг неавіаційної діяльності; • пасажери, вантажна клієнтура; • інші	• пілоти; • диспетчери УПР; агенти з обслуговування ПС на пероні; • персонал із зустрічі та відправлення

Всі галузі промисловості мають спільне бачення більш автоматизованого і, як наслідок, більш ефективного аеропорту. Автоматизація сучасної технології обслуговування пасажирів тісно пов'язана

з процесами інформатизації суспільства, застосуванням мобільних пристроїв і бездротового зв'язку [374]. Для того, щоб досягти значного підвищення ефективності і якості технологій обслуговування авіакомпанії, аеропорти й наземні служби мають інвестувати в наступні покоління інформаційних систем для збільшення частки інформації про пасажирів і включення всіх служб аеропорту в систему. Обмін інформацією всіх підсистем АТС є необхідною умовою синергетичного ефекту впровадження сучасних технологій. Наприклад, аеропорт від авіакомпаній отримав інформацію, що значну кількість нічних польотів буде затримано. Тоді аеропорт має можливість оперативно поінформувати ресторани й попросити їх залишатися відкритим, наземний транспорт можна краще скоординувати з прибуттям і відправкою пасажирських рейсів. Також аеропорт може попередити місцеві готелі, коли прибуде велика кількість пасажирів для того, щоб ті могли підготувати додаткові ресурси. Все це вимагає комплексного підходу, коли всі елементи (підсистеми) АТС мають потребу в обміні критичною інформацією про потоки, з тим, щоб забезпечити повніше та ефективніше обслуговування споживачів.

Враховуючи значну кількість завдань та специфіку планування в підсистемах аеропорту, в даному дослідженні з метою подальшого моделювання зупинимося детальніше на процесах організації і технології обслуговування пасажирів, БВП в наземній підсистемі аеропорту та наземного обслуговування ПС у повітряній зоні (виділено курсивом в табл. 3.7). Інші процеси та відповідні параметри розглядатимуться як вхідні дані чи обмеження.

Процеси в терміналах аеропорту

Пасажири і вантажна клієнтура сподіваються на зручне і привабливе середовище в терміналах аеропортів, де до них ставитимуться уважно й шанобливо [281]. Таким чином, термінали мають бути функціональними і привабливими архітектурно, мати логічне обґрунтування розміщення основних функціональних зон з відповідно організованою інформацією.

Проект терміналів має бути прив'язаний до системи ЗПС та РД, конфігурації перону і схеми під'їздів до аеропорту.

Наземне обслуговування – це загальний термін для опису завдань, які стосуються прильоту літака або відправлення та виконуються на ПС або поруч із ним, коли ПС знаходиться на землі.

Загальносвітовою тенденцією є лібералізація ринку наземного обслуговування в аеропортах. У країнах Європейського Союзу лібералізація ринку наземного обслуговування в аеропортах була закладена директивою 96/67/ЄС, що викликало збільшення чисельності АХК більш ніж на 80 % в період між 1996 і 2007 рр. [292]. Таке посилення конкуренції викликало потребу в підвищенні ефективності та мінімізації витрат.

Розвиток LCC останніми роками визначив нові проблеми для наземного обслуговування. На відміну від традиційних авіакомпаній, низькобюджетні перевізники, щоб мінімізувати витрати, скорочують час і кількість операцій з наземного обслуговування. Це накладає значні обмеження на операційну діяльність АХК і підвищує ризик зриву регулярності у разі затримок.

Наземні роботи в аеропорту зазвичай поділяються на роботи в польотній та термінальній зонах. Виходячи з цього, для наземного обслуговування в структурі АХК можуть бути передбачені два підрозділи: з наземного обслуговування ПС та термінального обслуговування. Технологічні операції, які виконуються в даних підрозділах, описані в табл. 3.7. Процедури їх виконання прописані в рекомендаціях за типами ПС в Aircraft Handling Manual (Керівництво з обслуговування літака). На рис. Д.1 додатку Д наведено приклад типової технології обслуговування ПС з визначенням незалежних видів діяльності. Деякі з них не можуть виконуватися одночасно (наприклад, заправка паливом не проводиться під час висадки і посадки пасажирів). Інші види діяльності, такі як заправка водою, можуть виконуватися незалежно від інших процедур.

Пасажирські термінали

У пасажирських терміналах аеропортів існує ряд процесів, які відбуваються незалежно один від одного. Для кожного процесу необхідні зони для розміщення черг і з'єднувальних проходів, а також певної кількості зон очікування, у яких можуть бути додаткові споруди або види обслуговування (табл. 3.8).

Таблиця 3.7 – Структура підрозділів з наземного обслуговування в аеропортах

Назва підрозділу	Назва послуги
1	2
1. Підрозділ з термінального обслуговування	
Група з організації обслуговування пасажирських авіаперевезень	- здійснення реєстрації пасажирів та багажу; - обслуговування транзитних та трансферних пасажирів; - зустріч та посадка пасажирів; - обслуговування спеціальних категорій пасажирів; - приймання, обробка та передача інформації щодо комерційного завантаження щодо вильоту та прильоту ПС; - диспетчеризація виробничих процесів стосовно зустрічі та відправлення авіарейсів та пасажирів згідно з добовим планом польотів та взаємодія з іншими підрозділами, задіяними у процесі надання відповідних послуг
Група з розшуку багажу	- здійснення розшуку багажу, що не надійшов до місця призначення або був неправильно оброблений; - забезпечення необхідними документами з питань розшуку багажу представників авіакомпаній, з якими укладено договори на обслуговування
Група з оформлення провізної документації	- надання послуг з бронювання та продажу авіаквитків на всі напрямки; - надання послуг з бронювання та продажу авіаквитків та оформлення проїзної документації; - оформлення та переоформлення провізної та супутньої документації, з використанням GDS
Група з центрування ПС	здійснення розрахунку центрування ПС (планування комерційного завантаження ПС згідно з вимогами авіакомпаній з використанням АС центрування ПС)
Група з організації обслуговування поштово-вантажних авіаперевезень	обслуговування пошти та вантажу згідно з діючими технологічними документами та вимогами авіакомпаній та оформлення необхідної документації

Продовження табл. 3.7

1	2
2. Підрозділ з наземного обслуговування ПС	
Група вантажників-водіїв наземної техніки	- розвантаження/завантаження в/із ПС багажу, вантажу, пошти та транспортування багажу; - встановлення / прибирання пасажирських трапів
Група водіїв спеціальної наземної техніки	- обслуговування ПС спеціальною наземною технікою; - буксирування літаків; - надання транспорту для пасажирів між ПС та аеровокзалом; - надання додаткових послуг, що визначені спеціальними угодами; - антикригова обробка ПС
Група вантажників-комплектувальників багажу	- комплектування багажу відповідно до напрямку; - видача багажу на роздавальний транспортер
Група диспетчеризації наземного обслуговування	взаємозв'язок зі службами аеропорту щодо технологічного забезпечення процесів, які виконує персонал підрозділу наземного обслуговування ПС
Група з сервісу повітряних суден	- внутрішнє прибирання ПС; - зовнішня мийка ПС; - збирання та вивезення сміття з ПС; - надання додаткових послуг, що визначені спеціальними угодами; - взаємодія зі службами аеропорту та суміжними організаціями
Група з обслуговування наземної техніки	ремонт та технічне обслуговування наземної техніки

Таблиця 3.8 – Основні функціональні зони аеровокзалу

Технологічна процедура	Процес	Зона очікування
Виліт	Реєстрація пасажирів	Зал очікування вильоту
	Реєстрація багажу	
	Сплата податків	
	Митний контроль	
	Контроль безпеки	Зал вильоту
	Імміграційний контроль	
	Контроль під час виходу на посадку	Накопичувач перед виходом
Трансфер	Доставка до ПС	До/від далеких місць стоянки
	Контроль безпеки	
	Митний контроль	
Прибуття	Імміграційний контроль	Зал трансферу/вильоту
	Контроль безпеки	
	Зона одержання багажу	
	Митний контроль	Зона очікування
		Зал прибуття

З економічних міркувань в аеропортах відбувається інтенсивна комерційна діяльність, що спричинює додаткову організацію харчування й допоміжних послуг для пасажирів. Для цієї діяльності в окремих аеровокзалах може використовуватися до 50 % площ будівлі.

Питомі площі функціональних зон щодо рівня стандартів заповнення приміщень відповідно до рекомендацій, показаних у [281], наведено у табл. Д.1 додатку Д. Для зон «очікування/циркуляція» та «реєстрації» IATA розробила нові вимоги з урахуванням наявності багажних візків (табл. Д.2, Д.3).

Для реєстрації пасажирів сьогодні в аеропортах застосовуються технології CUTE і CUSS. Як зазначено у [390], CUTE (Common User Terminal Equipment) – це обладнання аеропорту, яке розподілене між авіакомпаніями з метою скорочення використовуваних ресурсів і простору. Вперше технологія CUTE була застосована у 1984 р. для Los Angeles Summer Olympic Games.

IATA вперше створила рекомендовану практику (RP) 1797, яка визначила роботу CUTE. З 1984 р. до сьогодні близько 400 аеропортів у світі встановили CUTE. Системи CUTE дають змогу аеропорту зробити виходи на посадку і стійки реєстрації квитків загальними. Ці системи відомі як «агентські», так як вони використовуються агентами авіакомпаній чи АХК для процесу реєстрації пасажира на рейс і посадки (рис. 3.21). Коли агент авіакомпанії прописується в систему CUTE, термінал буде налаштований і підключений до хост-системи авіакомпанії. З точки зору агента, він працює в рамках мережі ІТ авіакомпанії.

CUSS – кіоски самообслуговування загального користування – вперше були введені Continental Airlines у 1995 р. в аеропортах США [390]. Відтоді CUSS стали невід’ємною частиною надання послуг для пасажирів. Більшість регулярних авіакомпаній тепер надають можливість реєструватися в CUSS-кіосках у великих аеропортах. Вартість реєстрації через кіоски в середньому 0,16 дол. проти приблизно 3,68 дол. для традиційної реєстрації з агентом.



Рисунок 3.21 – Послідовність процедури реєстрації пасажира в аеровокзалі

Під час опитування пасажирів експертам SITA вдалося виділити три основні причини стресу пасажирів під час подорожі [273]:

- 1) втрата часу (зокрема довге очікування в чергах під час проходження аеропортових формальностей [374]) є серйозною проблемою для пасажирів (44 % опитуваних);
- 2) непередбачені зміни і брак інформації;
- 3) відсутність можливості змінити подорож в періоди збоїв (нерегулярності польотів).

Опитування також показало, що пасажирів віддають перевагу самообслуговуванню на всіх етапах проходження аеропортових формальностей, зокрема й при оформленні трансферу та посадки на борт.

Вантажні термінали

Як було зазначено в п. 1.3, основним напрямом удосконалення технології обробки вантажів на даному етапі розвитку авіаіндустрії є

реалізація проекту IATA *e-Freight* (електронний вантаж) – загальногалузевої ініціативи, в яку залучені аеропорти, перевізники, експедитори, обслуговуючі компанії, вантажовідправники та митні органи [322].

У 2012 р. Світова консультативна група авіаційних вантажних перевезень (GACAG) розробила «дорожню карту» до переходу на стовідсоткове електронне оформлення вантажу, в якій чітко визначена основна роль трьох складових частин:

- складова частина I: взаємодія з регулюючими органами і урядами по всьому світу для створення «маршрутної мережі *e-Freight*» із стовідсотково електронними митними процедурами і визначенням правил підтримки безпаперової поставки;
- складова частина II: спільна праця в рамках логістичного ланцюжка руху вантажів для переведення в цифровий формат транспортних документів, починаючи з авіавантажної накладної (AWB);
- складова частина III: розробка плану для переведення у цифровий формат комерційних і спеціальних вантажних документів, які, як правило, супроводжують вантажні авіаперевезення.

Сьогодні галузь вантажних авіаперевезень все ще спирається на паперові процедури оформлення вантажів. У середньому одне вантажне авіаперевезення потребує до 30 різних паперових документів, що збільшує вартість і час авіаперевезення. Проект IATA *e-freight* замінює 20 з цих документів на електронні повідомлення. В керівництві IATA [322] визначено основні документи, які є частиною програми *e-Freight*.

Історично експедитори, авіакомпанії і АХК використовували IATA-повідомлення IMP для обміну електронними повідомленнями. IMP-повідомлення мають обмеження, тому було прийняте рішення поступово перейти на новий стандарт XML. IATA опублікувала перший стандарт XML на початку 2013 р. і планує перейти на нього у кінці 2014 р. На рис. Д.2 додатку Д визначено етапи формування електронних повідомлень щодо вантажних перевезень.

Розглянемо стандартні електронні повідомлення, пов'язані з перевезенням вантажів:

- 1) FZB – повідомлення, яке містить усі дані щодо HAWB;
- 2) основна мета FHL повідомлення – забезпечити контроль HAWB, пов'язаних з MAWB. FHL надає також деталі HAWB для того, щоб забезпечити перевізника попередньою інформацією для митних органів. При цьому інформація йде від експедитора;
- 3) FWB-повідомлення використовується для передачі повного комплексу даних з авіавантажних накладних у відповідності з правилами IATA з перевезення вантажів згідно з Резолюцією Конференції. При цьому використовується е-AWB (запис відвантаження). Повідомлення FWB матиме підтвердження оновленого статусу (FSU) згідно з повідомленнями RCS (готовий для перевезення вантаж). Відповідно, в XML зазначатиметься XFWB і XFSU. Повідомлення про помилку (FNA) використовується для того, щоб повідомити відправника повідомлення, що в повідомленні виявлена помилка. Повідомлення про підтвердження (FMA) може бути використане для підтвердження отримання повідомлення FWB;
- 4) повідомлення Airline Flight Manifest (FFM, вантажний маніфест) містить детальну інформацію про вантажі, які завантажені на певний рейс.

Крім того, використовуються такі типи повідомлень: WCODEC – повідомлення про митне декларування товарів (експорт та імпорт); WCOCAR – повідомлення про митне декларування вантажів (експорт та імпорт).

Необхідний крок до переходу на технологію *e-Freight* – впровадження електронної вантажної накладної (е-AWB). В IATA планується, що до кінця 2015 р. цими накладними будуть оформлятися 100% вантажів. Кількість країн, які впроваджують *e-Freight*, з 2010 по 2015 рр. збільшиться з 44 до 80, аеропортів – з 76 до 186, авіакомпаній – з 41 до 103 і експедиторів – з 140 до 1050.

На думку учасників проекту, перехід від традиційного документообігу до електронного за технологією *e-Freight* дає змогу істотно оптимізувати

процес оформлення вантажів, скорочуючи транспортний цикл в середньому на 24 години. Крім того, технологія підвищує надійність і точність усього логістичного ланцюжка – інформацію про вантаж досить ввести лише в пункті відправлення, а відомості про його місцезнаходження доступні в режимі реального часу на всьому маршруті проходження.

Експертами було також підраховано, що технологічний графік обслуговування ПС в аеропорту збільшується на час, необхідний для отримання дозволу митних органів на розвантаження – у середньому від 10 до 30 хв з кожного міжнародного рейсу [28]. Для спеціальних вантажів необхідно додатковий дозвіл інших державних органів. Для збільшення ефективності необхідно використовувати скорочений технологічний графік обслуговування ПС – отримання дозволу митних органів до посадки ПС дасть змогу скоротити час обслуговування на пероні в середньому до 23,4 тис. годин на рік.

Огляд виробничих даних провідних аеропортів світу

За даними статистики ACI World, за період січень-листопад 2014 р. аеропорти світу повідомили про зростання на 5,6% обсягів міжнародних пасажирських перевезень і на 5,4% обсягів внутрішніх пасажирських перевезень порівняно з 2013 р. Аеропорт Дубай (DXB) визнаний одним із завантаженіших аеропортів світу в плані міжнародних пасажирських перевезень (зростання пасажиропотоку в даному аеропорту становило 4,3% за місяць).

В Азіатсько-Тихоокеанському регіоні зростання пасажиропотоків аеропортів становило 6%. Зростання на внутрішньому китайському ринку як і раніше зробило великий внесок в показники обсягів пасажиропотоку у 2014р. Ханчжоу (HGH), Шанхай (PVG), Ченду (CTU) і Шеньчжень (SZX) мали приріст 20%, 16%, 12,6% і 11,7% відповідно. Провідні аеропорти – Пекін (PEK), Токіо (HND) і Гонконг (HKG) зафіксували приріст 9,1%, 5,4% і 5,5% відповідно. В табл. 3.9 зазначені перші десять аеропортів світу за обсягами пасажиропотоку, а в табл. Е.3 провідні аеропорти Європи.

Таблиця 3.9 – Перша десятка аеропортів світу за обсягом пасажиропотоку у 2013 р. (джерело: ACI)

Рейтинг	Аеропорт	Перевезено пасажирів, млн осіб
1	Атланта, Джорджія, США (ATL)	94,4
2	Пекін, CN (PEK)	83,7
3	Лондон, GB (LHR)	72,3
4	Токіо, JP (HND)	68,9
5	Чикаго, Іллінойс, США (ORD)	66,7
6	Лос-Анджелес, Каліфорнія, США (LAX)	66,6
7	Дубай, АЕ (DXB)	66,4
8	Париж, FR (CDG)	62,0
9	Даллас/Форт-Ворт, TX, США (DFW)	60,4
10	Джакарта, ID (CGK)	60,1

Європа, Північна Америка і Південно-Східна Азія – це три найбільших вантажних ринки. Як показує статистика IATA [324], Китай, США, країни ЄС активно впроваджують стандарти IATA *e-Freight* з метою посилення своїх позицій на ринку і спрощення бюрократичних процедур (табл. Е.4, Е.5). Hong Kong International Airport (HKG) є найбільшим аеропортом за кількістю обробленого вантажу (4,1 млн т у 2013 р.).

За даними Cathay Pacific, яка впровадила систему *e-Freight* в аеропорту HKG, ефективність переходу до стовідсоткової електронної обробки вантажу залежить від:

- 1) визнання електронних документів митними та іншими державними службами;
- 2) переходу на електронний документообіг як пункту відправлення, так і пункту призначення (Монреальський протокол №4³, або МР4 та

³ Монреальський протокол № 4 про зміну Конвенції для уніфікації деяких правил, що стосуються міжнародних повітряних перевезень, підписаної у Варшаві 12 жовтня 1929 року (Монреаль, 25 вересня 1975 р.)

Монреальська конвенція 1999 р.⁴, або МК 99). Країни, які ратифікували МР4 і МК 99 підтримують електронні дані, безпаперовий обмін інформацією. У країнах, що ратифікували тільки Варшавську конвенцію 1929 року, вимагають спеціальної процедури для підготовки документа (авіанакладної), який має бути на борту вантажного рейсу в країні походження. На вищому рівні успіх проекту залежить від ефективності координації дій між апаратом управління і зацікавленими сторонами.

Ще одним ключовим аспектом проекту є управління змінами, в тому числі навчання і роз'яснення процедур. Рішення за проектом *e-Freight*, розподіл повідомлень, модель дій повинні бути чітко визначені, а також забезпечений необхідний рівень безпеки електронних повідомлень.

3.6 Організація повітряного руху

Підсистема ОрПР займає особливе місце в структурі АТС. Її стратегічний розвиток і тактичне функціонування багато в чому регулюються національними та міждержавними регіональними авіаційними організаціями, оскільки її функції не обмежуються лише завданнями ЦА, а охоплюють військову авіацію, обслуговування авіації загального призначення, і в найближчому майбутньому безпілотних літальних апаратів. Вихідні параметри підсистеми ОрПР враховуються при розрахунку пропускної спроможності аеропорту за літако-вильотами і пасажиро- і вантажопотоками, а також при визначенні здатності аеропортів приймати ПС певного типу. Максимальна частота рейсів ПС на маршруті не завжди визначається виходячи з комерційної доцільності, а обмежується пропускною спроможністю на маршруті з міркувань безпеки польотів, невідповідністю між ємністю і попитом, яка може бути спричинена напрямком вітру,

⁴ Конвенція про уніфікацію деяких правил міжнародних повітряних перевезень (Монреаль, 28 травня 1999 р.)

суворими погодними умовами, кадровими питаннями або збоями обладнання.

Як видно з рис. 3.22, вищесказане не означає, що підсистема ОрПР існує і розвивається сама по собі, не враховуючи у своїй роботі дані зворотного зв'язку від аеропортів та авіакомпаній, які вона обслуговує. Разом з тим взаємозв'язок підсистеми ОрПР з підсистемами АЕРОПОРТИ та АВІАКОМПАНІЇ носить, з одного боку, характер жорстких регламентуючих обмежень для аеропортів і авіакомпаній, а з іншого боку – характер поетапної адаптації оновлюваного інструментарію, правил і процедур ОрПР до прогресуючих аеропортових технологій і аеронавігаційного устаткування ПС нового покоління. Ця особливість ОрПР дає нам методологічну основу для виключення з наступних досліджень АТС даної підсистеми.

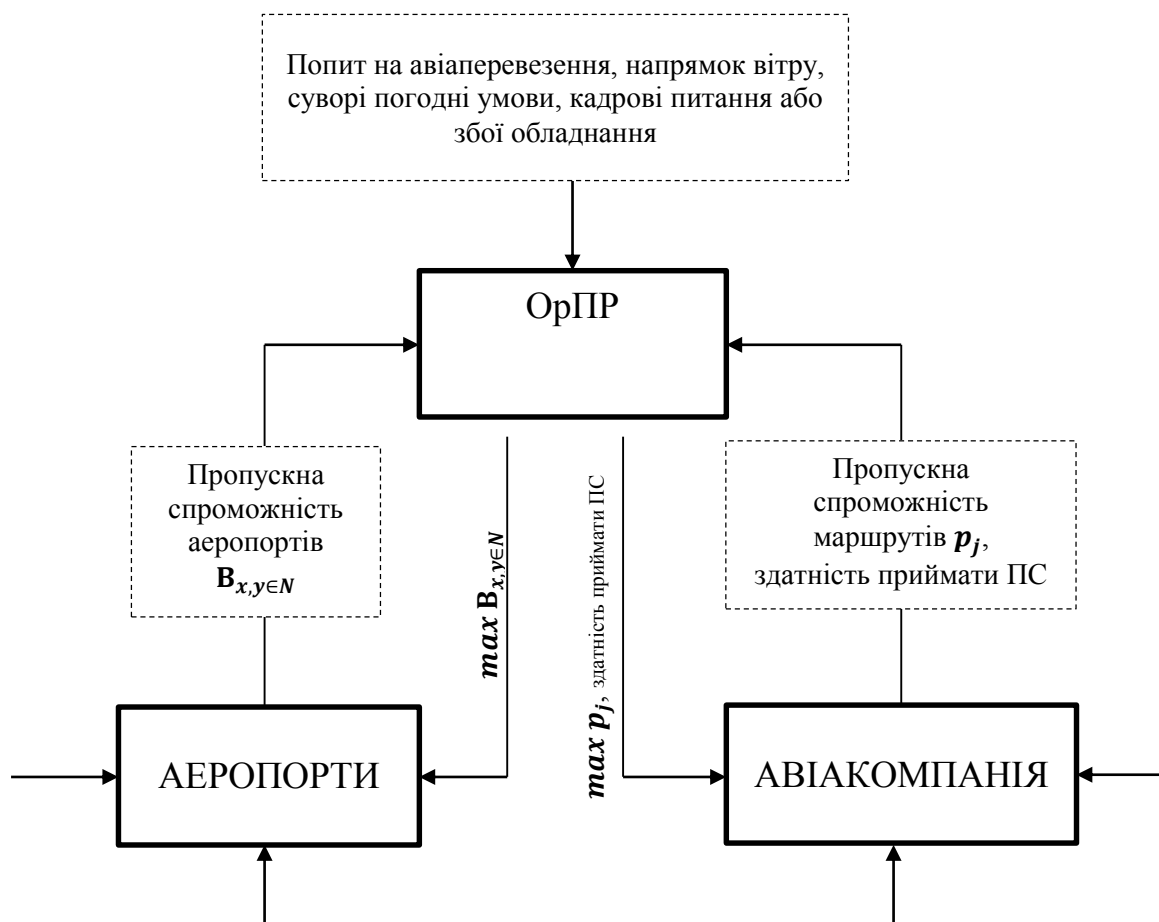


Рисунок 3.22 – Взаємозв'язок основних параметрів ОрПР з аеропортами та авіакомпаніями

Огляд технології ОрПР Європи і США

Підсистема ОрПР складається з (УПР), управління потоками повітряного руху (ATFM) та організації використання повітряного простору (ASM). Якщо в завдання УПР входить забезпечення безпечного ешелонування, то роль ATFM полягає у забезпеченні безпеки повітряного руху шляхом запобігання перевантажень, регулювання попиту згідно з доступною пропускнуою спроможністю. ATFM охоплює тривалий період часу (декілька днів до здійснення рейсу).

Європа і США мають ряд схожих умов виконання аеронавігаційного обслуговування, зокрема, з точки зору площі, середньої тривалості польоту і інших показників. Однак, як видно зі зведеної таблиці Е.6, США обслуговує приблизно на 59% більше польотів, що виконуються відповідно до правил польотів за приладами (FIR), з кількістю авіадиспетчерів на 23% менше, і на 39% менше працівників у цілому.

Системи ОрПР США і Європи використовують подібні технології і оперативні концепції, але вони мають принципові відмінності [311]. Система США управляється одним постачальником послуг, використовуються єдині інструменти і обладнання, комунікаційні процеси і набір правил і процедур.

Європейська система є більш фрагментарною, і постачальники аеронавігаційних послуг, як і раніше, значною мірою визначаються державними кордонами. Всього налічується 37 постачальників послуг за маршрутом в різних географічних областях, кожен з яких використовує різні системи обробки польотних даних (FDP) (рис. Е.1) з дещо різними наборами правил і процедур. Це робить європейську систему ОрПР складнішою для реалізації ефективних, не залежних від національних кордонів центрів з управління потоками або прибуттям (наприклад, узгодження повітряного руху у великих аеропортах інших держав), а також впливає на рівень координації ATFM і пропускнуої спроможності системи УПР.

Досить багато суміжних постачальників аеронавігаційних послуг, які працюють з різними системами FDP, сприяє додатковому навантаженню на

диспетчерів УПР, пов'язаному із взаємодією між різними системами. Це також має негативний вплив на рівень ефективності і витрат.

Контрольований повітряний простір складається з комплексної мережі маршрутів, шляхових точок, секторів і центрів УПР. У США за управління використанням повітряного простору та планування маршрутів відповідає FAA, тимчасом як у об'єднаній європейській системі ОрПР розв'язання даних завдань залишається прерогативою окремих держав.

Недоліки в дизайні та використанні повітряної маршрутної мережі вважаються однією з основних причин неефективності польотів в Європі. Тому ряд ініціатив, координованих Євроконтролем, спрямовані на вдосконалення підходів до використання європейської маршрутної мережі.

Однією з ініціатив є реалізація програми «вільний маршрут у повітряному просторі» (FRA), яка спрямована на підвищення часової, паливної та екологічної ефективності польоту для користувачів повітряного простору. Ініціативи FRA були реалізовані в Ірландії, Португалії, Швеції і Данії, а також частково в маршрутних центрах Маастрихт (Нідерланди) та Карлсруе (Німеччина).

У рамках іншої ініціативи, спрямованої на зниження рівня фрагментації в Європі, державам було запропоновано вжити необхідних заходів для забезпечення реалізації функціональних блоків повітряного простору (Functional Airspace Blocks) з урахуванням законодавства щодо Єдиного європейського неба.

Іншою відмінністю між США та Європою, яка потенційно має наслідки для ефективності ОрПР, зокрема використання прямих маршрутів, є військово-цивільне співробітництво. У США головний офіс FAA є єдиним органом для всього постійного й тимчасового повітряного простору особливого призначення, а операції проводяться у відповідності із загальними правилами. В Європі військово-цивільне співробітництво може відрізнятися у кожній державі.

Як у США, так і в Європі встановлено централізовані засоби УПР для забезпечення та гарантування безпечного обслуговування транспортних потоків та оптимізації використання наявних потужностей. У табл. 3.10 наведено огляд ключових учасників, які входять до найпоширеніших технологій ATFM. ATCSCC має повноваження остаточного прийняття рішення для всіх ініціатив щодо національного управління рухом у США, а також відповідає за розв'язання завдань координації між ARTCC.

Центр з управління мережею (NOC) в Брюсселі відстежує ситуацію щодо повітряного руху і пропонує відповідні заходи, але остаточне рішення залишається за місцевою владою. Зазвичай місцеві пости організації потоків повітряного руху (FMP), які входять у структуру районного диспетчерського центру для координування потоків повітряного руху в зоні їх відповідальності, роблять запити у NOC для реалізації відповідних заходів.

За останні декілька років роль функції NOC в Європі була посилена законодавством щодо Єдиного європейського неба (SES) II. Ця еволюція передбачає активнішу роль в організації потоків повітряного руху, збільшення пропускної спроможності УПР, розробку маршрутів і підтримку технологічних удосконалень згідно з програмою European Network Manager (Європейський диспетчер мережі). Так, наприклад, після річного пілотного етапу в березні 2013 р. почав працювати на певну потужність веб-сервіс Управління мережею (NM) для подачі плану польоту. Цей веб-сервіс дає змогу користувачам надавати файл плану польоту в Центр Євроконтролю з управління мережею через Інтернет. Інтерфейс заснований на форматі XML, що значно прискорює обробку даних і покращує час підготовки до вильоту для пілотів і обслуговуючого персоналу з управління польотами. Короткостроковою метою введення даного сервісу є спрощений доступ до інформації, що зберігається в Євроконтролі, зниження вартості розробки інтерфейсу і поліпшення якості даних, якими обмінюються учасники процесу. Довгостроковою метою є підтримка сумісності, необхідної для загальносистемного управління інформацією (SWIM) в SESAR.

Таблиця 3.10 – Організація ATFM (згідно з джерелом [311])

Етапи польотів	Фази польоту	Місцевий орган диспетчерського обслуговування	США	Європа	Заходи ATFM	Мережа (ATFM)	
						США	Європа
Стратегічний	Аеропорт вильоту				Розклад аеропорту (слот для вильоту)	Командний центр УПР (ATCSCC), розташований у м. Уоррентон, Вірджинія	Центр Євроконтроль з управління мережею (NOC), розташований в Брюсселі, Бельгія (раніше – CFMU)
Тактичний	Вирулювання	Наземне управління	Аеропорти із службами УПР: 514	Аеропорти із службами УПР: 433	Обмеження вильоту (ground holding)		
	Відрив від землі	Аеродромний диспетчерський пункт					
	Політ за маршрутом	Зона управління на маршруті польоту	Районний диспетчерський центр (ARTCC): 20	Районний диспетчерський центр (ACC): 63	Політ за заданим маршрутом, визначення послідовності, управління швидкістю, політ у зоні очікування		
	Підхід по маршруту	Диспетчерська зона аеродрому	Радіолокаційна станція керування заходом на посадку (TRACONs): 162	Диспетчерський пункт керування заходом на посадку (APPs): 260	Очікування в повітрі, радіолокаційне наведення		
	Виконання посадки	Аеродромний диспетчерський пункт					
	Зарулювання	Наземне управління					
Стратегічний	Аеропорт призначення				Розклад аеропорту (слот для прибуття)		

Беручи до уваги, що рішення про здійснення заходів регулювання потоків зазвичай приймаються підсистемами ОрПР, спостерігається зміна технологій в США і в Європі щодо залучення авіакомпаній і аеропортів до прийняття рішень. Розвиток спільного прийняття рішень (CDM) дає змогу всім учасникам процесу ОрПР брати участь у прийнятті рішень, які стосуються їх інтересів.

Дії системи ATFM зазвичай застосовуються, коли є невідповідність між попитом і пропускнуою спроможністю на маршруті або в аеропорту. Заходи ATFM включають широкий спектр методів, спрямованих на усунення невідповідності між ємністю і попитом. Загалом, ємність може бути збалансована із попитом за рахунок обмеження рівня попиту вже на стратегічному етапі (до початку експлуатації маршруту) і заходів, які застосовуються на тактичному етапі в день виконання рейсу. Дамо короткий огляд основних заходів ATFM, що застосовуються в США і Європі.

Якщо очікується недостатня пропускна спроможність на маршруті або в аеропорту призначення, літак затримують в аеропорту вильоту (Ground Holding). У США затримка вильоту зазвичай реалізується за допомогою відповідної програми з наземних затримок (GDP), яка вводиться в дію в тих випадках, коли попит перевищує пропускну спроможність протягом тривалого періоду часу, найчастіше в контексті аеропортів через погодні умови, наприклад, грозу або вітер. Командний центр УПР застосовує розрахунковий час дозволу на виліт (EDCT) затриманого рейсу, який, відповідно до GDP, може бути в межах +/- 5 хвилин від EDCT. Крім того, літак може бути затриманий, якщо є проблеми пропускнуої спроможності на маршруті. У даному разі діє програма, яка називається *потік повітряного простору* (AFP) і є більш практичною, ніж запуск декількох GDP, в умовах затримок, які охопили велику географічну область.

В Європі також застосовується технологія Ground Holding, яка виконується згідно з *правилами ATFM*. Згідно з цими правилами авіакомпанії мають *слоти ATFM*, які виділяються NOC. Межі затримки рейсу в Європі є ширшими і можуть становити від мінус 5 до плюс 10 хв. від слоту ATFM.

Частка рейсів, які мали очікувати на відправлення з аеропортів (Ground Holding), значно відрізняються у США та Європі (табл. 3.11). Незважаючи на зниження з 5 % у 2008 р. до 1,9 % затримок у 2012 р., рейси в Європі ще майже в 20 разів частіше затримуються у гейтів через обмеження на маршруті ніж у США, де частка таких рейсів становить 0,1% [311]. Значне поліпшення показника затримок вильоту рейсів у Європі у 2012 р. пов'язують як із скороченням попиту, так із введенням більш продуктивної схеми Єдиного європейського неба.

Таблиця 3.11 – Затримки, пов'язані із ОрПР в 34 провідних аеропортах Європи та США

Затримки більше 15 хв.		Європа			США		
		2008	2010	2012	2008	2010	2012
Кількість польотів IFR (млн)		5,5	5,0	4,9	9,2	8,6	8,4
Затримки, пов'язані із проблемами пропускної спроможності на маршруті	% затриманих рейсів	5,0%	5,8%	1,9%	0,1%	0,1%	0,1%
	затримка на рейс (хв.)	1,4	1,9	0,5	0,1	0,1	0,1
	затримка на затриманий рейс (хв.)	28	32	28	63	48	62
Затримки, пов'язані із проблемами пропускної спроможності аеропорту	% затриманих рейсів	2,8%	3,1%	2,0%	2,4%	1,5%	1,4%
	затримка на рейс (хв.)	0,9	1,1	0,6	1,9	1,1	1,0
	затримка на затриманий рейс (хв.)	32	36	32	76	71	69

Відсоток затриманих рейсів через проблеми пропускної спроможності аеропортів в Європі більше порівняно із США, проте тривалість затримки затриманого рейсу в США є більшою практично удвічі. Причина цього полягає в тому, що в США статус затримки рейсу на землі вводиться тільки після того, як виконані процедури Time Based Metering або Miles In Trail, що призводить до зниження частки затриманих рейсів, але спричинює більшу затримку за часом, ніж у Європі.

В Європі затримку на виліт використовують набагато частіше, збалансовуючи попит і пропускну спроможність аеропорту, що, відповідно,

призводить до збільшення частки затриманих рейсів, але зменшує середню тривалість затримки затриманого рейсу.

Програми визначення послідовності управління потоком на маршруті призначені для досягнення певних інтервалів між ПС за допомогою відстані (милі) або часу (хв.). Найвідомішою є програма Miles In Trail (MIT). Вона визначає кількість необхідних миль між літаками, що вилітають з аеропорту чи знаходяться на певній висоті, проходять через сектор, або прямують за певним маршрутом. MIT використовується для розподілу руху в керованому потоці, а також щоб забезпечити простір для додаткового руху (збільшення або зменшення відстані), щоб увійти в потік. Коли літак знаходиться в середовищі без радара (тобто виконуються трансатлантичні рейси), визначити відстань важко, тому застосовується програма Minutes in Trail, яка визначає кількість необхідного часу (в хв.) між літаками. В США процедури MIT застосовуються активно, натомість у Європі їх дії обмежені кордонами держав.

Як у США, так і в європейській системі прагнуть використати зону терміналу так, щоб це відповідало максимальній пропускній спроможності ЗПС, що є найважливішим у максимізації пропускної спроможності аеропорту в цілому. Використання з цією метою процедур Time Based Metering та MIT пов'язане з завданням використання найбільш ефективних з точки зору витрати палива висот. Але очікування літаком на низьких висотах є більш керованим, де літак може очікувати, виконуючи менші радіуси, згідно зі схемою польоту в зоні очікування.

Висота по-різному впливає на витрату пального в залежності від конструкції літального апарату та двигуна. Назагал, чим більше висота польоту над рівнем моря, тим нижчі витрати пального. В табл. 3.12 показано витрати пального для різних типів ПС фірми Airbus в зоні очікування у порівнянні з мінімально можливою витратою пального для ешелонів польоту (різниця, виражена у відсотках, наприклад, витрати пального в зоні очікування для A319 на ешелоні FL100 на 11% вище, ніж на FL350).

Таблиця 3.12 – Вплив висоти польоту на вигорання пального в аеродинамічно чистій конфігурації (+% від оптимальної висоти)

Ешелон, FL (м)	50 (1500)	100 (3050)	150 (4550)	200 (6100)	250 (7600)	300 (9150)	350 (10650)	400 (12200)
A300B4-605R	4	2	1	0	3	3	16	-
A310-324	11	5	2	0	0	5	9	23
A318-111	13	8	4	2	1	0	0	5
A319-112	19	11	3	1	0	1	0	4
A320-214	13	5	3	1	1	1	0	2
A320-232	7	5	5	5	2	0	4	11
A321-211	14	11	3	3	0	1	5	-
A330-203	2	1	0	0	2	4	3	18
A330-223	9	9	5	2	0	1	6	14
A340-343	10	5	1	0	0	2	7	16

Попит на аеронавігаційні послуги Євроконтролю

У порівнянні з 2012 р., обсяг європейського повітряного руху знизився на 0,8 % у 2013 р. Євроконтроль прогнозує, що середньорічний темп зростання кількості рейсів у період між 2014 і 2019 рр., найімовірніше, буде +2,6% і не досягне докризового рівня (2008 р.) до 2016 р.

У довгостроковій перспективі тенденція позитивного розвитку повітряного руху різко обірвалася в 2008 р. з початком економічної кризи. Авіакомпанії відреагували на економічну кризу зниженням кількості послуг, але з використанням у середньому більших ПС. Найбільш завантаженими щодо надання аеронавігаційних послуг залишаються Великобританія, Франція та Німеччина (рис. Е.2). Понад 50% рейсів, що були обслужені у 2013 р, належать до регулярних, які здійснюються авіакомпаніями з класичною бізнес-моделлю, тимчасом як на LCC припадало 25,7% від загальної кількості рейсів (рис. Е.3).

У 2013 р. план польоту за маршрутом був у середньому на 4,86% більше за відстань за ортодромією між пунктом відправлення та пункт призначення, і на 3,14% довше за фактичну траєкторію. Ці параметри, безперечно, є кращими у порівнянні зі всіма видами транспорту. Відхилення між плановою і фактичною траєкторією істотно відрізняється в залежності від держави, яка відповідає за можливості подальшого удосконалення.

У цілому пов'язані з технологіями аеронавігаційних провайдерів витрати пального оцінюються у 6% від загальної витрати пального авіакомпаніями, що еквівалентно 0,2% від загальних європейських антропогенних викидів CO₂ в атмосферу. Тому є важливим підвищення продуктивності аеронавігаційних послуг за рахунок мінімізації затримок і оптимізації планів польотів за маршрутами.

Затримки у зв'язку із ОрПР

У 2013 р. пропускна спроможність системи ОрПР в Європі збільшилася на 1,8% у порівнянні з 2012 р. Затримки у зв'язку з пропускною спроможністю на маршруті становили в середньому 0,53 хв. за політ, що на 17% менше, аніж у 2012 р.

Затримки у зв'язку з пропускною спроможністю аеропорту (зліт–посадка) знизилися у 2013 р. на 20,1% у порівнянні з попереднім роком. Погода була, як і раніше, головною причиною затримки в аеропортах.

За даними авіакомпаній затримки вильоту рейсу становили в середньому 9,3хв. в 2013 р., тимчасом як у 2012 р. – 10,2хв. Загальна частка затримок, пов'язана із пропускною спроможністю на маршруті і в аеропортах, становила 24 % (рис. 3.23) [274].

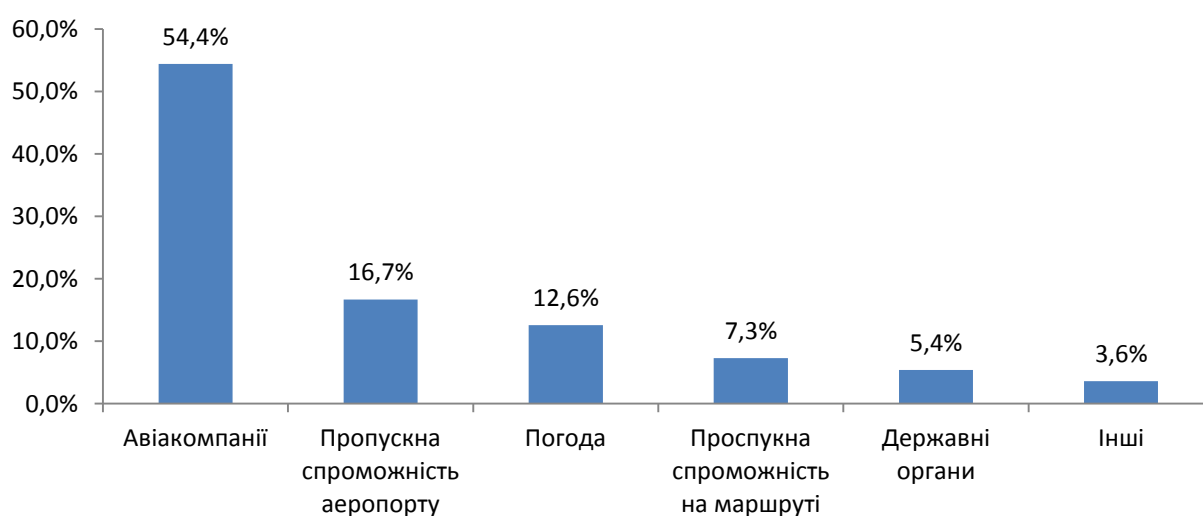


Рисунок 3.23 – Причини первинних затримок рейсів (% від загальної кількості), 2013 р.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Запропоновано інформаційну структуру АТС, в яку включено додаткові зв'язки між елементами, які формують попит на пасажирські і вантажні перевезення, що дозволяє, по-перше, визначити взаємозв'язок між споживачем, який здобуває досвід використання системи, і процесом формування потенційного попиту, а, по-друге, мотивувати розробника АТС до уточнень структури АТС і синергічних зв'язків між елементами і підсистемами.

2. Розроблено та скомпоновано з різних офіціальних джерел схему дослідницької бази даних, яка дозволить провести дослідження з використанням сучасних теорій та підвищити якість відповідних прогнозів для визначення вхідних параметрів в оптимізаційних моделях функціонування АТС на всіх рівнях планування.

3. Визначено, що тенденції до концентрації ресурсів авіакомпаній в альянсах та розвитку аеропортів-хабів можуть бути обмежені наявною пропускною спроможністю. А отже, не дивлячись на привабливу, з точки зору економії витрат авіакомпаній і аеропортів, хабову модель розвитку мережі, актуальною для завантажених і зручною для масового споживача авіаційних послуг є модель «від пункту до пункту», розвиток якої пропонується реалізовувати за схемою досліджень в рамках *концепції декомпозиції мережі маршрутів*. Гіпотетично вплив концепції декомпозиції мережі маршрутів можна вимірювати в зниженні показника перевезень в пасажиро-кілометрах на завантажених маршрутах, а також в економії часу та підвищенні комфорту. Виграш аеропортів-хабів полягає в їх розвантаженні і, завдяки зменшенню затримок, не виключається можливість повернути частину пасажиропотоків на фідерні маршрути. Авіакомпанії можуть збільшити прибуток за рахунок зменшення затримок та можливого збільшення попиту за рахунок маршрутів «від пункту до пункту». Авіабудівні фірми внаслідок запропонованого підходу до структури мережі маршрутів мають працювати над великою кількістю

типорозмірів літаків, які відповідають потребам, що виникають на маршрутах з різною щільністю перевезень.

4. Визначено сучасні загальносвітові напрямки розвитку технологій обслуговування споживачів авіаційних перевезень, які сприяють конкурентоспроможності АТС, а саме:

- надання споживачам максимальних можливостей та інформації при бронюванні та покупці авіаційних послуг та робіт через всі канали продажів (технологія IATA NDC);
- оптимізація технологічних операцій в аеропортах з метою інтеграції зі всіма підсистемами АТС і з концентрацією на фазах поточного планування операцій з використанням найбільш точної наявної інформації, що є необхідним для забезпечення регулярності польотів і відповідності підходу 4D-траєкторії (концепція TAM);
- спрощення процедур перевезення міжнародних авіаційних вантажів (технологія IATA e-Freight);
- уніфікація технологій підсистеми ОрПП з метою підвищення ефективності функціонування даної системи (концепції CDM, SES, SWIM в SESAR).

Основні наукові результати опубліковано у наукових працях [121, 122, 127-129, 136, 236, 240, 241, 266].

РОЗДІЛ 4

АНАЛІЗ АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

4.1 Огляд транспортної та логістичної інфраструктури

У дослідженні [173] визначено, що інфраструктура є однією з ключових конкурентних переваг українських регіонів. Саме так визначили більше ніж третина респондентів опитування керівників підприємств. Як найпроблемніша складова інфраструктури визначена транспортна інфраструктура.

Аналіз транспортної та логістичної інфраструктури в Україні, яка є необхідною для оптимальної взаємодії видів транспорту, показав, що найефективніший у світі вид транспортування вантажів, яким є мультимодальне перевезення, в Україні перебуває на початковому рівні розвитку.

Вантажні перевезення зростали в Україні з 2001 р. Акцент вантажних перевезень поступово зміщується від транспортування сипучої сировини до генеральних вантажів, наприклад, напівфабрикатів і готової продукції, які мають вищу вартість за тону. Це має важливі наслідки для потрібного режиму вантажних перевезень, із зростаючою перевагою для дорожнього транспорту і пов'язано з використанням контейнерів та мультимодальних послуг.

2009 р. був першим з 2000 р., протягом якого обсяги як вантажних, так і пасажирських перевезень в Україні знизилися на всіх видах транспорту. Скорочення почалося поступово влітку 2008 р., але найсуттєвіший вплив спостерігався у 2009 р. (рис. 4.1).

Зі збільшенням попиту на вантажні перевезення в світі існує величезна потреба в модернізації та організації кращої взаємодії всіх видів транспорту в Україні задля активної участі на ринку транзитних перевезень. Модернізація інфраструктури і організаційних процесів дасть можливість Україні конкурувати з альтернативними маршрутами «схід–захід» через країни Балтії, Білорусь і Польщу, Чорне море і Балкани, а також через Босфор [397].

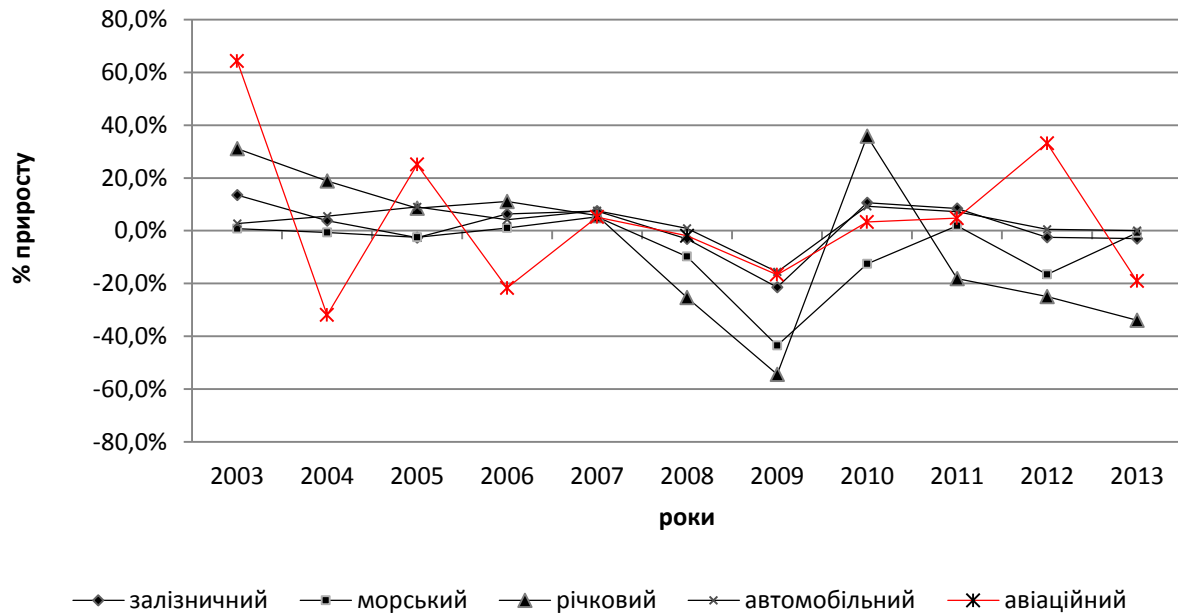


Рисунок 4.1 – Динаміка темпів приросту вантажних перевезень
(складено за даними [45])

Як показує аналіз, лівова частка вантажних перевезень в Україні за обсягами припадає на залізничний і автомобільний транспорт. Але за обсягом сумарного прибутку ці галузі стоять практично на одному рівні з авіаперевезеннями, на які за тоннажем припадають лише кілька відсотків (рис. 4.2).

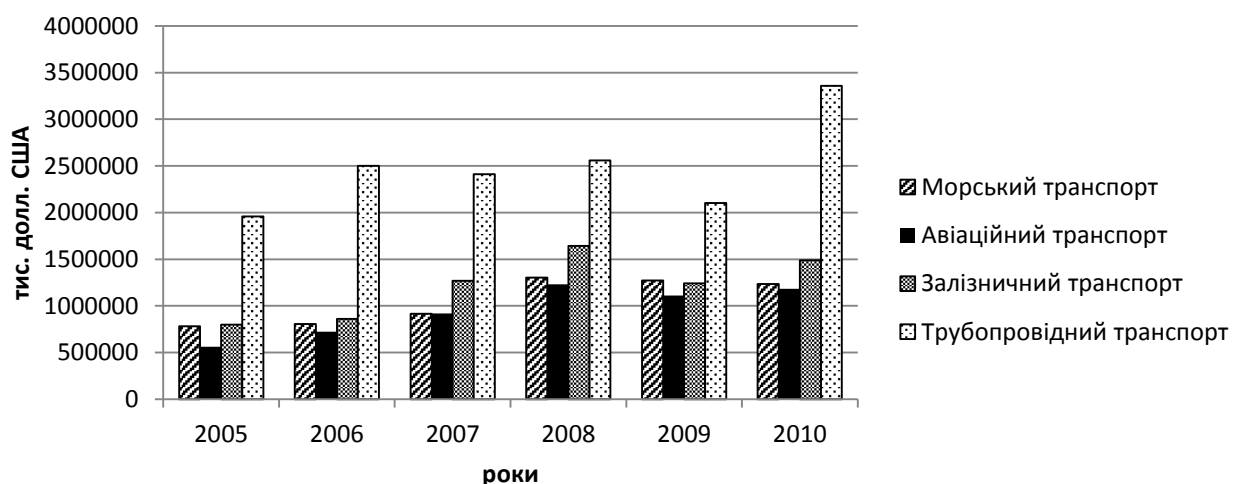


Рисунок 4.2 – Структура експорту транспортних послуг України
(складено за даними [245])

Цікаво зазначити, що незважаючи на малий відсоток вантажних перевезень авіаційним транспортом, його частка в експорті вантажних транспортних послуг у грошових одиницях, якщо не розглядати трубопровідний транспорт, є значно більшою ніж морського транспорту у 2010 р., і лише на 1,62% менша, ніж обсяг експорту транспортних послуг залізничним транспортом (рис. 4.3). Це пояснюється тим, що український торговельний флот є невеликим і багато в чому застарілим, з малою провізною спроможністю в галузі міжнародного судноплавства. Дохід українських фірм за межами України генерується здебільшого за рахунок міжнародних автомобільних перевезень та складних авіаційних вантажних операцій.

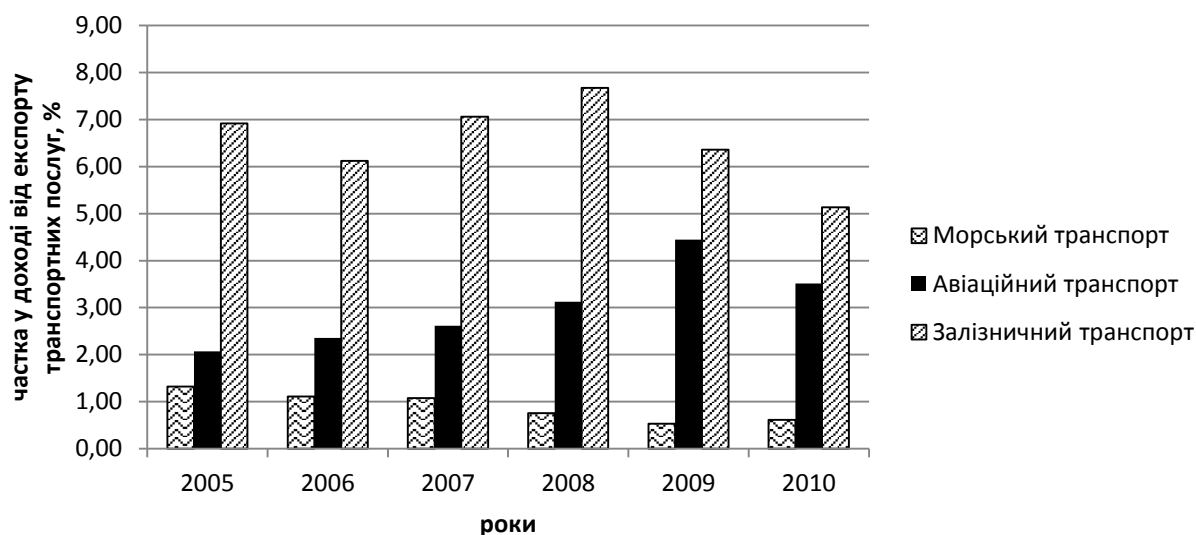


Рисунок 4.3 – Частка видів транспорту у доході від експорту вантажних транспортних послуг (складено за даними [245])

Частка України у світовому обсязі авіаперевезень вантажів, за даними Світового банку, становила у 2013 р. приблизно 0,0083 %, або 14,51 млн т-км (табл. 4.1). Звичайно, даний показник не відповідає потенціалу країни, зумовленому географічним положенням, наявними ресурсами інфраструктури та наявністю власного виробництва ПС.

Таблиця 4.1 – Рейтинг країн світу за обсягами вантажних авіап перевезень (вибірка)¹

Рейтинг	Країна	Частка у світовому обсязі вантажних авіап перевезень, %
1	Сполучені Штати Америки	21,134
2	Китай	9,1432
3	Об'єднані Арабські Емірати	7,9653
4	Республіка Корея	6,7122
5	Сянган, Китай	5,3764
6	Японія	4,2464
7	Німеччина	4,1770
8	Сінгапур	3,7091
9	Сполучене Королівство	3,4352
10	Нідерланди	3,2754
13	Франція	2,4966
14	Російська Федерація	1,8824
58	Польща	0,0539
67	Папуа-Нова Гвінея	0,0186
82	Україна	0,0083

Завдання регіональних складських операцій полягає в оптимізації перевізного процесу та зменшенні загальної вартості доставки товару від виробника до споживача. Для того, щоб було можливо розвивати логістичні центри в Україні, необхідно, щоб усі процедури митного очищення були чіткими та прозорими по обидві сторони кордону.

В Україні існують чотири типи прикордонних переходів: аеропорти, морські порти, дорожні та залізничні пункти. В принципі, всі прикордонні операції та оформлення процесів на всіх чотирьох типах кордону схожі.

Як правило, операції на кордоні в Україні фокусуються на авторитарному контролі і отриманні доходу, а не на спрощенні процедур торгівлі згідно з міжнародними конвенціями і правилами. Час перетинання кордону може бути значно скорочений, бо він є неприйнятно тривалим, згідно з регіональними стандартами. Процедури на кордоні можуть бути раціоналізовані й спрощені.

Спостереження показують, що частота помилок у декларації і додаткових документах вважається відносно високою. В результаті збільшується час

¹ Складено за даними Світового банку: [http:// worldbank.org](http://worldbank.org)

оформлення для внесення змін у документацію і стягуються штрафи, багато з яких за порівняно дрібні правопорушення, наприклад, такі, як помилки.

Опитування експертів з організації вантажних перевезень з та в Україну показало, що основні затримки в доставці вантажів виникають у зв'язку з втратою чи запізненням товаросупровідних документів.

Недосконала інфраструктура наземних та водних видів транспорту України, організаційна складність митних процедур входять до множини факторів, які впливають на нестабільний розвиток авіаційних перевезень та незначні їх обсяги, унеможлиблюють інтеграцію авіаційного транспорту в схему міжнародних мультимодальних перевезень. Посприяти розв'язанню даного завдання може впровадження програми *e-Freight* (див. розділ 3, п. 3.5) [116].

4.2 Аналіз показників функціонування елементів авіатранспортної системи України

4.2.1 Попит на авіаційні перевезення

Економічні передумови формування попиту

Україна належить до країн з доходом населення нижче середнього [397]. Торговий профіль України (Додаток Ж, табл. Ж.1) свідчить про від'ємне сальдо торгівлі, тобто грошовий обіг на імпорту товарів вищий у порівнянні з експортом. Основними торговими партнерами України залишаються Росія, ЄС, Китай (імпорту), Білорусь (імпорту). Протягом січня–травня 2014 р. спостерігаються динаміка скорочення експорту до Росії.

Політична й, як наслідок, економічна нестабільність в Україні привели до зменшення інвестиційної привабливості й відсутності залучення фінансових ресурсів у економіку регіонів ззовні. Зокрема, капітальні інвестиції в 2014 р. становили 88,9 % у порівнянні з аналогічним періодом 2013 р. Враховуючи негативний прогноз міжнародних рейтингових агентств Fitch, Moody's і

Standard&Poor's на 2014 р., інвестиції в економіку України з боку міжнародних інвесторів малоімовірні. Прямі інвестиції із України здійснені в 47 країн світу, зокрема частка Кіпру становить 88 %.

Відповідно до звіту Index of Economic Freedom–2014 міжнародної організації The Heritage Foundation [348], індекс інвестиційної привабливості України має дуже низький показник (20 із 100), а це 164 позиція зі 186 держав світу.

У 2013 р. номінальний ВВП досяг рівня 2008 р. після скорочення у 2009р. (рис. Ж.1). У 2013 р. показник *ВВП на душу населення* (за паритетом купівельної спроможності) в Україні становив 7373,99 дол. США, що, в свою чергу, відповідає 103-й позиції серед 186 країн світу, за якими було проведено дослідження [348]. Сусідні позиції за рейтингом займають Суринам – 102 місце та Федеративні Штати Мікронезії (група островів у західній частині Тихого океану) – 104 місце. Європейським банком реконструкції та розвитку прогнозувалося скорочення ВВП України у 2014 р. на 7 %.

В Україні впродовж останніх 20 років спостерігаються тенденції до старіння нації, природою яких, на відміну від розвинених країн світу, є не зростання тривалості життя, а скорочення чисельності населення в результаті глибокої демографічної кризи (рис. Ж.2). За даними Світового банку – до 2025р., Україна матиме найбільше відносне зменшення населення серед усіх пострадянських країн.

У 2010 р. Україна займала 69-ту позицію серед країн світу у рейтингу за індексом людського розвитку, у 2011 – 76-ту, а в 2012 – 78-му. За критеріями досліджуваного індексу в Україні найкращий стан справ є з освітою та письменністю – 29-те місце у світі, помітно гірші – зі здоров'ям та довголіттям, а найгірший стан з рівнем життя (економічним розвитком).

Аналіз розподілу населення за рівнем середньодушових еквівалентних загальних доходів на місяць показав, що у 2011 р. зменшився відсоток населення, яке має доходи вищі ніж 1920 грн. на 1,6% і становив лише 20,3% від загальної кількості населення (рис.Ж.3).

У січні–серпні 2013 р. розмір *середньомісячної номінальної заробітної плати* штатних працівників підприємств, установ, організацій (з кількістю працюючих 10 і більш) у порівнянні з відповідним періодом 2012 р. збільшився на 8,7 % і становив 3222 грн.

У всіх регіонах середній розмір заробітної плати був вище мінімальної заробітної плати, разом з тим лише в п'яти з них заробітна плата перевищила середню по країні: у Києві – 4946 грн, Донецькій обл. – 3683 грн, Київській обл. – 3362 грн, Дніпропетровській обл. – 3310 грн і Луганській обл. – 3296 грн. Низький рівень заробітної плати спостерігався в Тернопільській, Херсонській, Чернівецькій й Чернігівській областях і не перевищував 77% від середнього по економіці (рис. Ж.4).

Для подальших досліджень коротко зупинимося на двох показниках, що характеризують соціально-економічне становище в Україні: наявний дохід і кількість населення за регіонами (рис. Ж.5).

Що стосується розподілу кількості населення України за регіонами, то розкид значень не є значним. Виділяються лише дві області – Донецька і Дніпропетровська, – кількість населення яких перевищує 3 млн осіб. Інші міста й області можна розділити на три класи: 1) з кількістю населення до 1 млн осіб; 2) від 1 млн до 2 млн осіб (основна частина областей) і 3) від 2 млн до 4 млн осіб (6 областей і м. Київ).

Розкид значень за показником *наявний дохід на одну особу*, який відображає економічний стан розвитку регіонів, більш істотний (від 17,8 тис. грн у Закарпатській обл. до 52,9 тис. грн у м. Києві) і явно виділяє один економічно активний регіон – м. Київ.

За підсумками 2013 р. Україну відвідали більш як 26 млн туристів. Якщо зрівняти статистику Державного агентства з питань туризму й курортів, то це на 1,5 млн більше, ніж у 2012 р. Найчастіше до нас їхали відпочити з Росії, Польщі, Білорусі, Німеччини, США. Однак у 2014 р. туристи з Росії перестали бронювати путівки в Київ, Львів і Одесу. Місце нашої країни, за даними туристичних агентств Росії, займає Білорусь.

Туристичний потік українців за кордон з початку 2014 р. й за станом на середину березня скоротився на 70–80 % у порівнянні з аналогічним періодом 2013 р.

З кожним місяцем 2014р. знижується динаміка вантажо- й пасажирообороту. Експертами очікується, що до кінця 2014 р. обсяг вантажних і пасажирських перевезень найімовірніше знизиться.

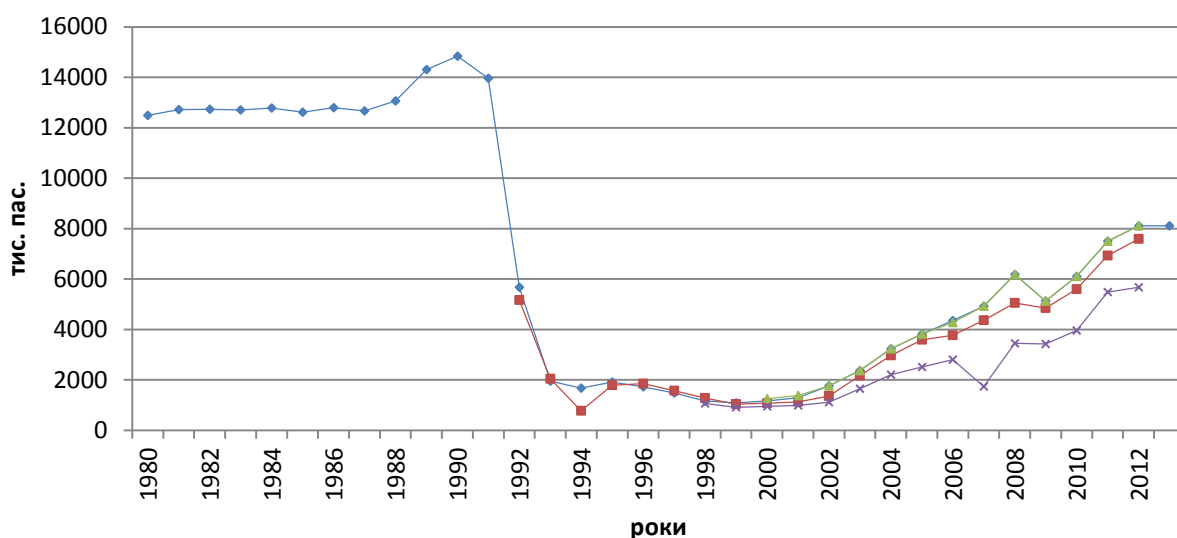
Отже, можна зробити висновок, що в цілому соціально-економічні умови України не були сприятливими для активного розвитку авіаційних перевезень та формування значного обсягу платоспроможного попиту серед населення України.

Ретроспективний аналіз попиту на авіаційні перевезення

Інформація про обсяги авіаперевезень в Україні доступна на сайтах Державного комітету статистики (ДКС) і Державної авіаційної служби (ДАС) України [197, 45]. Наведені на офіційних сайтах дані стосуються обсягів перевезень (кількість пасажирів і вантажів, пасажиро- і тонно-кілометри) виконаних підприємствами, які зареєстровані в Україні. Хоча джерелом даних для ДКС є Міністерство інфраструктури України, якому підпорядковується ДАС, обсяги авіаперевезень наведені на сайтах згаданих вище організацій за деякими роками незначно відрізняються.

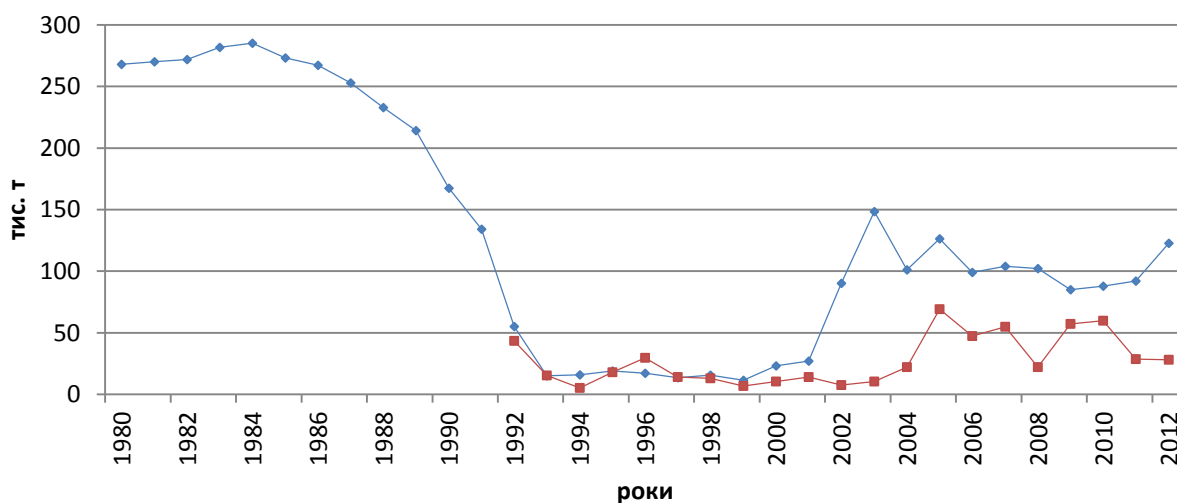
Відкритим джерелом є також база даних Світового банку [283], який публікує сумарні обсяги перевезень авіакомпаній, за країною реєстрації. Причому, у [283] зазначено, що дані стосуються як міжнародних, так і внутрішніх перевезень, а джерелом даних є ІКАО. Аналіз бази даних ІКАО, яка надається на платній основі, показав, проте, що є невідповідності між статистичними даними цих двох міжнародних організацій.

Але, дані зі всіх джерел свідчать, що максимальний обсяг пасажирських перевезень авіаційним транспортом України, який був зафіксований у 1990 р. і становив 14,8 млн пасажирів, ще не досягнутий (рис. 4.4).



— за даними ДКС — за даними ICAO — за даними ДАС — за даними Світового банку

а



— дані ДКС — дані ICAO

б

Рисунок 4.4 – Аналіз відповідності даних за обсягами пасажирських (а) і вантажних (б) авіаперевезень, авіакомпаній, зареєстрованих в Україні

В останні роки (2000–2012) ринок авіаційних пасажирських перевезень мав тенденцію позитивного зростання (за винятком 2009 р.), і поступово обсяги пасажирських перевезень українських авіакомпаній зросли майже в 6 разів порівняно з 2000 р. Тривалий час співвідношення міжнародних та внутрішніх перевезень українських авіаперевізників становить приблизно 80–85% та

20-15% відповідно. У 2013р. кількість перевезених українськими авіакомпаніями пасажирів залишилась на рівні 2012 р. й становила 8,1 млн осіб.

У 2013 р. на ринку України працювали 56 іноземних авіаперевізників з 32 країн світу. Розподіл попиту на регулярних авіамаршрутах між українськими та іноземними авіакомпаніями є практично рівним (рис. 4.5), що може бути наслідком практики двостороннього регулювання ринку через угоди про повітряне сполучення між країнами. З урахуванням обсягів перевезених пасажирів іноземними авіакомпаніями загальний обсяг попиту на регулярних авіамаршрутах у 2013 р. становив 10,25 млн пас. Обсяги чартерних перевезень українських авіакомпаній у 2013 р. становили 2,5 млн пас.



Рисунок 4.5 – Розподіл ринку регулярних авіаперевезень між українськими та іноземними перевізниками (за даними ДАС)

Процеси лібералізації авіаційного ринку і можливе підписання угоди про «відкрите небо» [49, 234] ставлять питання про коректність використання статистичних даних, які враховують показники лише щодо регулярних перевезень іноземних перевізників, що не дає змогу оцінити повний обсяг попиту на авіаперевезення на заданому ринку.

У табл. 4.2 вказано обсяги авіаперевезень за місцем реєстрації компанії, яка їх виконала (прийmemo умовний поділ України на центральний, західний,

східний та південний регіони згідно з політичною картою, наведеною на рис. Ж.6). Аналіз даної таблиці показує, що авіаційні пасажирські перевезення здійснюються переважно компаніями, зареєстрованими у Києві та Київській області – центральному регіоні України. Компаніями, зареєстрованими у Львівській області західного регіону, у 2005 р. було виконано авіаперевезення обсягом 140 тис. пас., у 2007 р. – 107 тис. пас., у 2011 р. – 0. Це свідчить про поступові процеси концентрації діяльності авіапідприємств у регіонах, які мають, з точки зору власників компаній, більш сприятливі умови економічного розвитку.

Таблиця 4.2 – Обсяги перевезення пасажирів авіаційним транспортом за місцем реєстрації перевізника, 2011 р. (складено за даними [245, с. 121–122])

Регіон	Всього, тис. пас.	У тому числі міжн. перев., тис. пас
<i>Центральний регіон</i>	6474	5893,8
Київська область	2825	2613,9
Київ	3576	3208,0
Кіровоградська область	73	71,9
<i>Південний регіон</i>	46,5	20,6
Одеська область	9	3,8
Автономна Республіка Крим	16,5	16,5
<i>Східний регіон</i>	985	414,1
Луганська область	224	223,5
Дніпропетровська область	649	84,3
Донецька область	112	106,3
Запорізька область	21	0,3
<i>Західний регіон</i>	0	0

Більшу частину вантажних авіаперевезень українські авіакомпанії виконують чартерними рейсами в інших державах у рамках гуманітарних та миротворчих програм ООН, а також згідно з контрактами та угодами з іншими

замовниками. Обсяги перевезень вантажів та пошти в Україні у 2013 р. зменшились на 19,1 % та становили 99,2 тис. т [197].

Вивчення залежності розвитку авіаційних пасажирських перевезень від соціально-економічних

факторів (рис. 4.6), показало тісну кореляцію (коефіцієнт детермінації лінійного тренду становить 0,95) між обсягами перевезень та ВВП на душу населення.

Вантажні перевезення українських авіакомпаній не мають залежності від ВВП чи інших соціально-економічних факторів, що можна пояснити використанням ресурсу українських вантажних авіакомпаній за межами України.

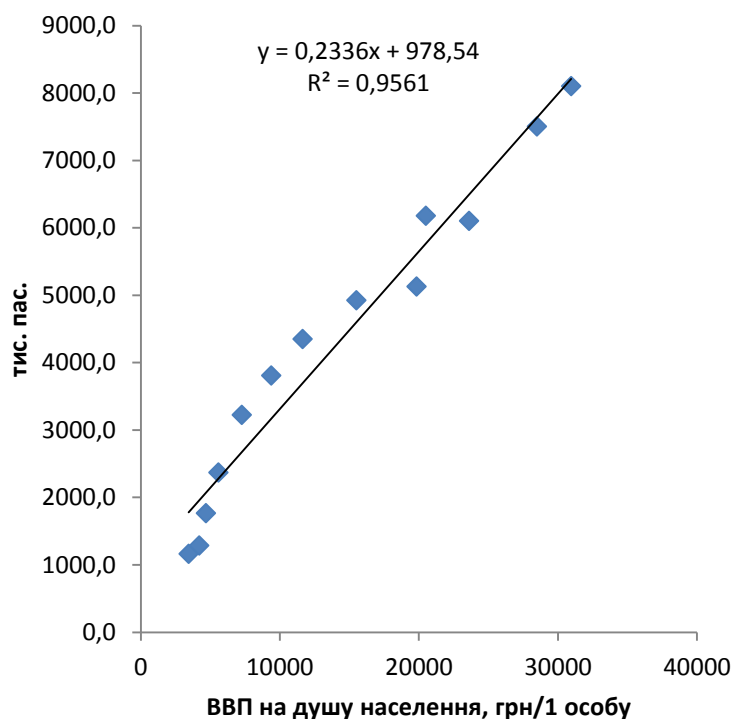


Рисунок 4.6 - Залежність обсягів пасажирських авіаційних перевезень від ВВП на душу населення (дані за 2000–2012 рр.)

4.2.2 Аналіз показників функціонування авіакомпаній

Першим національним авіаперевізником України була державна авіакомпанія «Авіалінії України», яка функціонувала з 1992 по 2002 р. Парк авіакомпанії складався з радянських літаків, серед яких було досить багато сучасних для свого часу (початок 1990-х рр.) ПС, зокрема здатних здійснювати трансатлантичні перельоти.

У 1994 р. експлуатуючи основний авіамаршрут Київ–Москва, авіакомпанія «Авіалінії України» досягала коефіцієнту завантаження 96,0% (додаток И, табл.

И.1). Із входженням на ринок у 1997 р. приватної авіакомпанії «Аеросвіт», яка почала експлуатувати ПС типу Boeing 737, авіакомпанія «Авіалінії України» зазнала значного скорочення коефіцієнту завантаження. У грудні 2002 р. авіакомпанія «Авіалінії України» була визнана банкрутом, а у 2004 р. дане авіапідприємство остаточно позбавлене ліцензії.

На ринку пасажирських перевезень останніми роками працює близько 30 авіакомпаній, зареєстрованих в Україні, але більше 80% ринку належало лише декільком, серед яких провідними були два перевізника: «Міжнародні авіалінії України» (МАУ) та «Аеросвіт» (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Найбільші українські авіаперевізники за обсягами пасажирських перевезень (складено за даними офіційного сайту ДАС України)

Рік	Коди IATA авіаперевізників ²	% ринку
2007	VV, PS, 7D, Z6, UF	90%
2008	VV, PS, 7D, Z6	80%
2009	VV, PS, 7D, Z6, WU	н/д
2010	VV, PS, WU, QU, 7W, 7D, Z6	91%
2011	VV, PS, Z6	більш ніж 90%
2012	VV, PS, WU, QU, 7W	93%
2013	PS, WU, QU, 7W	н/д
I пів. 2014	PS, WU, QU, 7W, KT, Z6	96%

З процесом банкрутства авіакомпанії «Аеросвіт» більша частка ринку була передана МАУ. З 2009 р. на ринок вийшла бюджетна авіакомпанія «Авіалінії “Візз Ейр Україна”», хоча її обсяги становили трохи менше ніж 10% від сумарного обсягу авіакомпаній «Аеросвіт», МАУ, «Донбасаеро» та «Дніпроавіа». З 14 березня 2013 р. ДАС позбавила авіакомпанію «Донбасаеро» сертифіката експлуатанта.

Використовуючи формулу (2.15), було проаналізовано частку ринку пасажирських перевезень авіакомпанії МАУ від частки обсягу пропозиції даної

² Розшифрування кодів авіакомпаній наведено у списку скорочень

авіакомпанії. На рис. 4.7 видно, що ця залежність є практично лінійною. Це пояснюється поведінкою пасажирів, які, в основному, не мали вибору серед авіаперевізників на середньомагістральних авіамаршрутах.

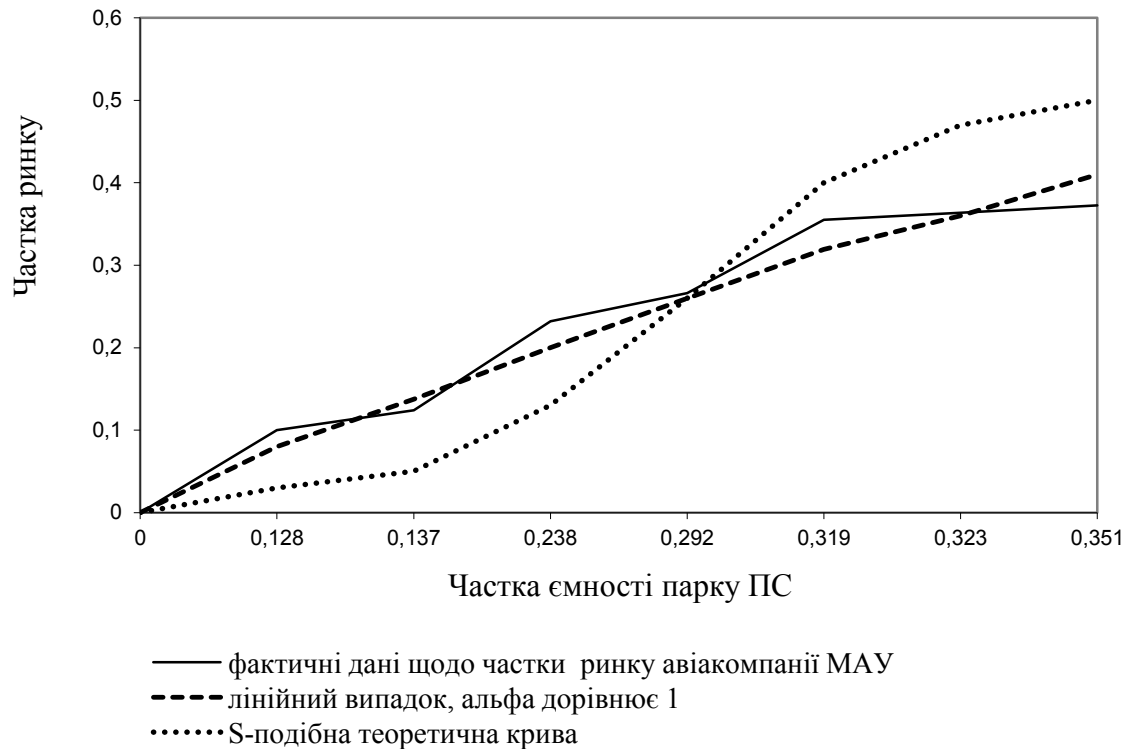


Рисунок 4.7 – Залежність частки ринку пасажирських перевезень від частки ємності парку ПС (на прикладі даних авіакомпанії МАУ)

Наприклад, регулярний прямий маршрут Київ–Париж, за даними ICAO 2008–2011 рр., експлуатували тільки дві авіакомпанії: МАУ та Air France (додаток И, табл. И.2). За цей період частка ринку МАУ практично дорівнювала частці обсягу пропозиції (наявній пасажиромісткості) на даному авіамаршруті. Але на маршруті Київ–Тель-Авів у 2010 р. із появою прямих авіакомпаній-конкурентів «Аеросвіт», «Донбасаеро» та «El Al» частка ринку МАУ стала нижчою (0,096) у порівнянні з часткою наявних ємностей, що надавалася даною авіакомпанією (0,127). Тобто, можна припустити, що пасажирів вже могли віддавати перевагу іншим авіакомпаніям. Даний приклад аналітично підтверджує, що конкуренція дає можливість пасажирові зробити вибір авіакомпанії, яка надає більш зручний час відправлення та/чи тарифи.

На сьогодні, незважаючи на довгий список авіакомпаній, що мають сертифікат експлуатанта та ліцензії (див. [191]), прямих конкурентів серед українських авіакомпаній немає.

Основними авіаційними вантажоперевізниками є АНТК “Антонов” (ADB) і МАУ (рис. 4.8).

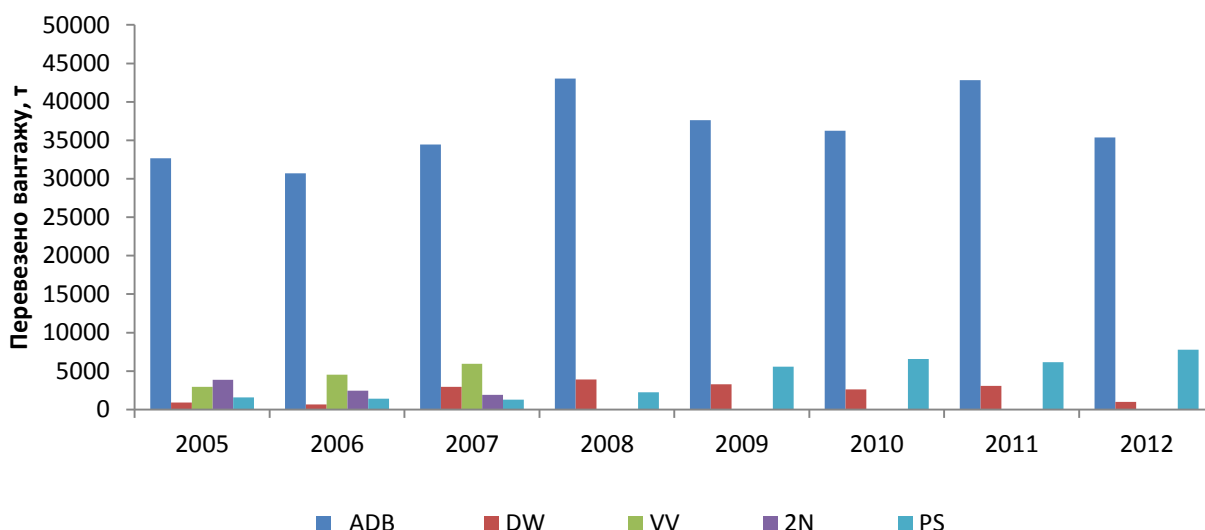


Рисунок 4.8 – Обсяги вантажних перевезень основних авіакомпаній України (складено за даними ICAO)

Парк ПС та ефективність його використання

У Державному реєстрі цивільних ПС України станом на 1.01.2013 р. налічувалось 646 ПС комерційної авіації, з них мали сертифікат льотної придатності – 439 ПС. Авіакомпанії, зареєстровані в Україні, оснащують свій повітряний флот переважно літаками іноземного виробництва (табл. 4.4), при цьому лізинг ПС у межах України розвинений слабо, тому використовується в основному схема міжнародного оперативного лізингу. Парк ПС складається в основному з ПС типу B737 різних модифікацій, дальність польоту яких становить від 4400 км до 5765 км. Крім того, експлуатується A320 і A321, дальність польоту яких не перевищує 6000 км. Пасажиромісткість як B737, так і A320, 321 залежить від компонування, але зазвичай не більше ніж 220 крісел.

Таблиця 4.4 – Структура парку ПС авіакомпаній України у 2011 р.
(складено за даними ICAO)

тип	На кінець року	Кількість пасажирських крісел	Комерційне завантаження, т	Середній наліт год/день
A320	20	171	17	11,0
A321	3	203	21	13,5
Ан-148	1	68	9	0,9
ATR42	5	66	9	4,7
B737-300	11	135	16	9,5
B737-400	19	156	19	5,6
B737-500	22	111	16	7,0
B737-800	4	186	18	11,5
B767-200	16	230	38	15,4
F27	1	50	7	4,6
ERJ-145	32	48	5	1,6
ERJ-195	2	118	13	0,7
DC-9-82	2	157	12	4,8
DC-9-83	2	165	13	0,8
Ан-24	9	48	1	1,4
Cessna 170	1	3	-	0,9
Загалом	150	-	-	-

У парку авіакомпаній є також B767 – широкофюзеляжний авіалайнер, який може перевести до 295 на маршрутах середньої і великої дальності (9400–9700 км).

У 2011 р. авіакомпанія «Аеросвіт» почала експлуатувати Embraer ERJ-145 (до 50 крісел) з сімейства регіональних реактивних літаків. Максимальна дальність даного типу ПС становить 3019 км. В парку даної авіакомпанії в 2011р. з'явився Embraer ERJ-195 – новітній і найбільший представник сімейства літаків Embraer E-Jet. У різних варіантах компонування салону ERJ-195 здатний перевозити від 106 до 122 пасажирів, що дає змогу успішно експлуатувати літак на магістральних авіамаршрутах малої і середньої дальності (до 3350 км).

У 2011 р. в експлуатацію надійшов Ан-148 – близькомагістральний вузькофюзеляжний пасажирський літак, розроблений АНТК ім. Антонова. Дальність польоту даного типу ПС становить до 4400 км, пасажиромісткість – до 80 крісел.

Отже, можемо зробити висновок, що наявний парк ПС авіакомпаній України розрахований на експлуатацію ближньо- і середньомагістральних авіамаршрутів, причому є тенденція до переходу на регіональні ПС з пасажиромісткістю менше 100 крісел. Дана політика авіакомпаній пов'язана, найімовірніше, зі структурою існуючого попиту на українському ринку авіаперевезень.

Використовуючи дані табл. 4.5, можна оцінити приблизну ємність експлуатованого парку ПС. Так, якщо припустити, що кожне ПС виконує як мінімум один рейс на день, то надана ємність на мережі становить 6,8 млн крісел, що відповідає даним статистичної звітності ІСАО (провідними авіакомпаніями України, парк ПС яких аналізувався, у 2011 р. перевезено 6,9 млн пас.).

Авіакомпанії МАУ та «Аеросвіт» мали найбільший наліт годин парку ПС у період з 2005 по 2011 р., що пояснюється більшими розмірами парку у порівнянні з іншими авіакомпаніями (додаток І, табл. І.3, рис. І.1). Найбільший показник коефіцієнту завантаження мала авіакомпанія «Роза вітрів» (Wind Rose), яка у 2011 р., згідно з даними ІСАО, значно поповнила свій парк, та бюджетна авіакомпанія «Авіалінії “Візз Ейр Україна”», яка експлуатувала два А320 в середньому по 11 год. на добу.

Порівняння коефіцієнту завантаження, який відповідає точці беззбитковості авіакомпаній України та світу (рис. 4.9) показує, що такі українські авіакомпанії, як «Донбасаеро», «Дніпроавіа», МАУ в період 1998–2005 рр. мали можливість отримати прибуток при комерційному завантаженні рейсів починаючи вже з приблизно 40 %. Такі ринкові умови мала тільки у 2003 р. американська бюджетна авіакомпанія Jetblue Airways. Інші європейські та азіатські авіакомпанії мали досягнути комерційного завантаження більше ніж 50–70%.

Дані показники можуть свідчити як про високі тарифи українських авіакомпаній, так і про можливість економити на деяких статтях операційних видатків.

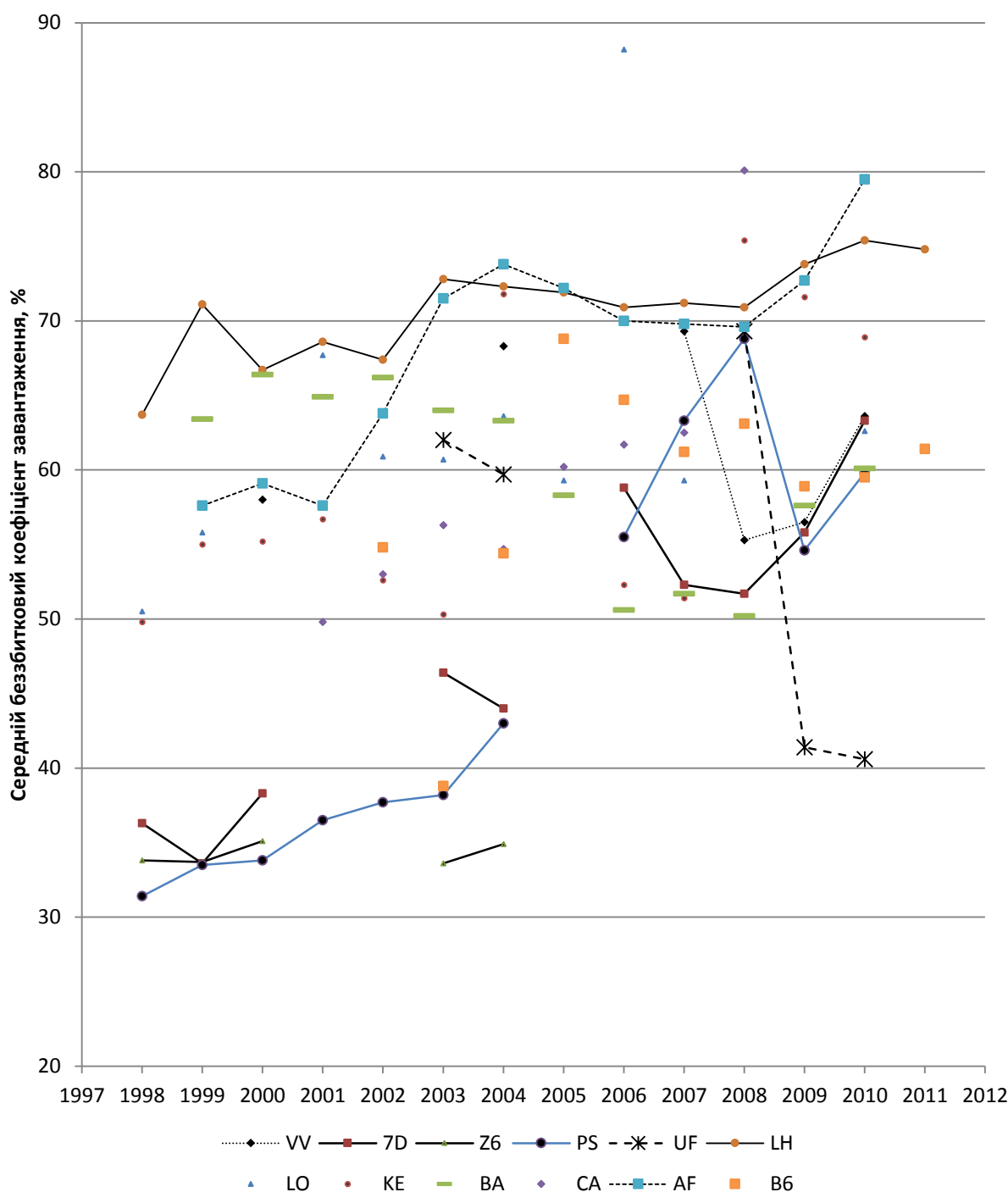


Рисунок 4.9 – Порівняння беззбиткового коефіцієнту завантаження провідних авіакомпаній України та світу (складено за даними ICAO)

Починаючи з 2005 р. українські авіакомпанії і авіакомпанії світу мають середній беззбитковий коефіцієнт завантаження в діапазоні 50–80%. Виняток становили польська авіакомпанія LOT, у якої в 2006 р. беззбитковий коефіцієнт завантаження дорівнював 88,2 %, і українська авіакомпанія UM Air для якої у

2009, 2010 рр. даний показник був значно нижчий і становив 41,4% та 40,6 %. Зазначимо також, що для українських авіакомпаній («Донбасаеро», «Дніпроавіа», МАУ, «Аеросвіт») точка беззбитковості комерційного завантаження рейсів знаходиться в діапазоні 50–70%, що є нижчим показником, ніж у таких крупних авіакомпаній, як Air France та Lufthansa. Тобто опосередковано можна говорити про ефективність економіки авіакомпаній, зареєстрованих в Україні, з точки зору формування тарифної політики і структури витрат.

Вищезазначене припущення підтверджується й порівнянням середньої прибутковості 1 ткм українських авіакомпаній і деяких авіакомпаній світу. На рис. 4.10 можна побачити, що для більшості авіакомпаній діапазон прибутковості знаходиться в межах 20–40 центів за 1 ткм, авіакомпанії British Airways та LOT досягали прибутковості в межах від 40 до 60 центів за 1 ткм. Українські авіакомпанії, за винятком авіакомпанії «Аеросвіт», мали найвищий прибуток в межах від 60 до 120 центів за 1 ткм. Динаміка вказує на зменшення прибутковості у 2010 р. щодо всіх авіакомпаній України, однак даний показник не є меншим, ніж 30 центів за 1 ткм.

Припущення про політику завищення тарифів українськими авіакомпаніями підтверджується також, наприклад, висновками Антимонопольного комітету України, за даними якого у період льотної навігації IATA «Зима 2010–2011» авіакомпанія «Дніпроавіа» була єдиним авіаперевізником за маршрутами Київ–Дніпропетровськ, Київ–Івано-Франківськ, Київ–Луганськ, Київ–Львів, Київ–Одеса, Київ–Севастополь, Київ–Ужгород, Київ–Харків та Київ–Чернівці. Як установив Комітет, ціни на авіаквитки зазначених маршрутів були у 1,3–1,7 рази вищі, ніж тарифи на авіаперевезення пасажирів за маршрутом Київ–Сімферополь, на якому у вказаний період працювало чотири авіакомпанії, тобто на якому існувала конкуренція.

Дані щодо сумарної прибутковості та собівартості авіап перевезень авіакомпаній України (див. додаток І, рис. І.2–І.6, табл. І.4) , також свідчать про прибутковість одиниці авіап перевезення (т-км), однак фактичний коефіцієнт завантаження менший за коефіцієнт завантаження, який відповідає рівню точки беззбитковості, тобто перевезення були здебільшого збитковими. Аналіз фактичних коефіцієнтів завантаження провідних українських авіакомпаній також свідчить про експлуатацію мережі авіамаршрутів із показниками меншими за точку беззбитковості, тобто авіакомпанії працюють збитково.

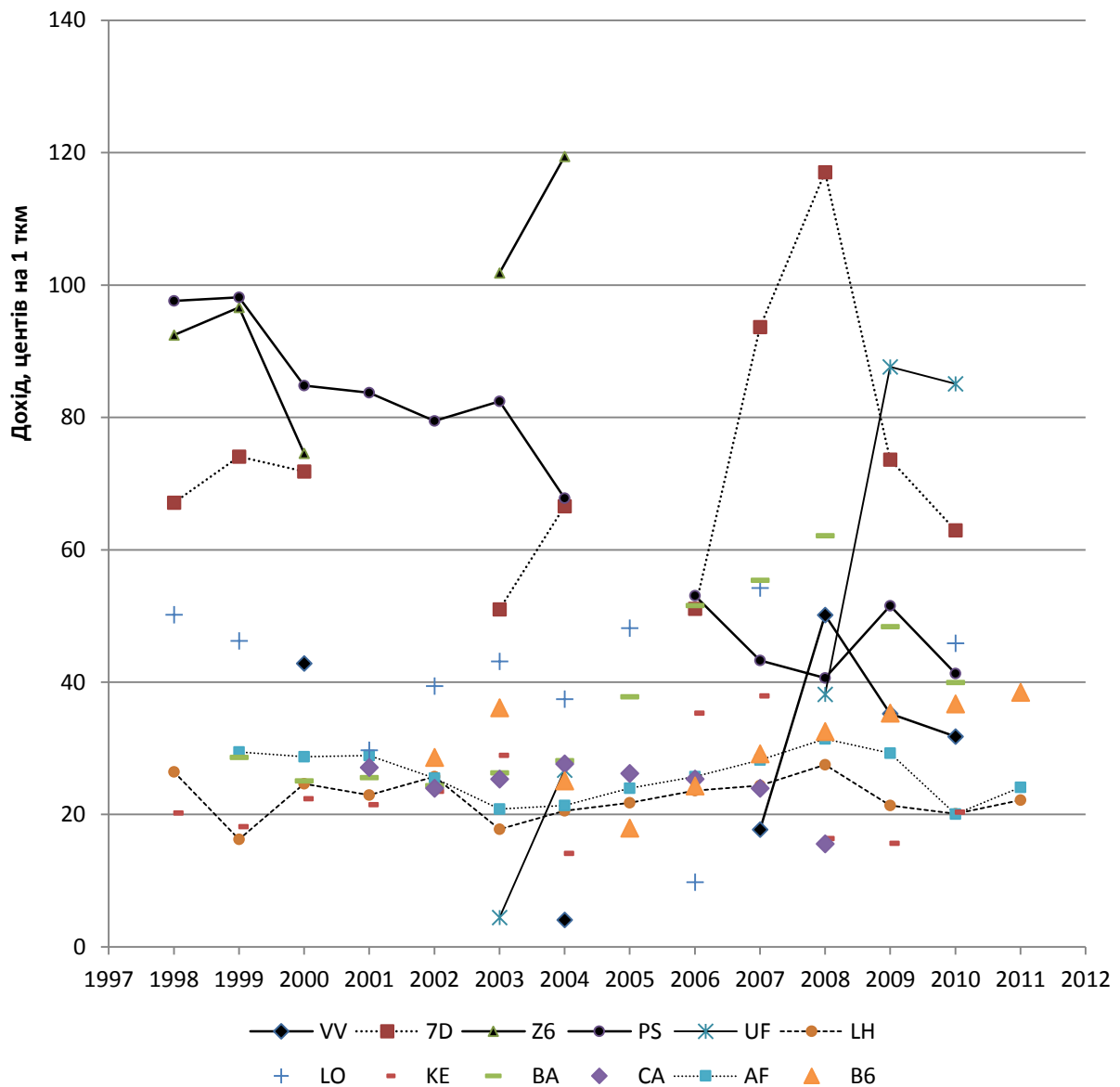


Рисунок 4.10 – Порівняння прибутковості 1 т-км авіакомпаній України та світу (складено за даними ICAO)

Постає логічне питання про необхідність пошуку резервів підвищення ефективності функціонування даних авіапідприємств, та, можливо, удосконалення етапу прогнозування попиту.

Персонал

Згідно з даними [245], кількість штатних працівників авіапідприємств України у 2011 р. скоротилася на 18,9 % порівняно з 2000 р. У 2010 р. загальна кількість працівників авіаційного транспорту становила 11,1 тис. чол. Це мінімальний показник за аналізований період. Співвідношення обсягу авіаперевезень українських авіакомпаній і кількості персоналу (рис. 4.11) показало, що мінімальні значення за обсягами авіаперевезень (1,2 млн пас. і 23 тис. т відповідно) за аналізований період відповідають максимальній кількості персоналу в галузі (14,3 тис. чол.).

Зростання обсягів перевезень не викликало необхідності збільшення штату. Швидше за все, така тенденція пояснюється активним впровадженням інформаційних технологій для організації і технології обслуговування пасажирів та обробки вантажів в аеропортах і авіакомпаніях.

Важливим є аналіз структури авіаційного персоналу. За даними ІКАО (рис. 4.12), у 2011 р. кількість пілотів і бортпровідників в авіакомпаніях України

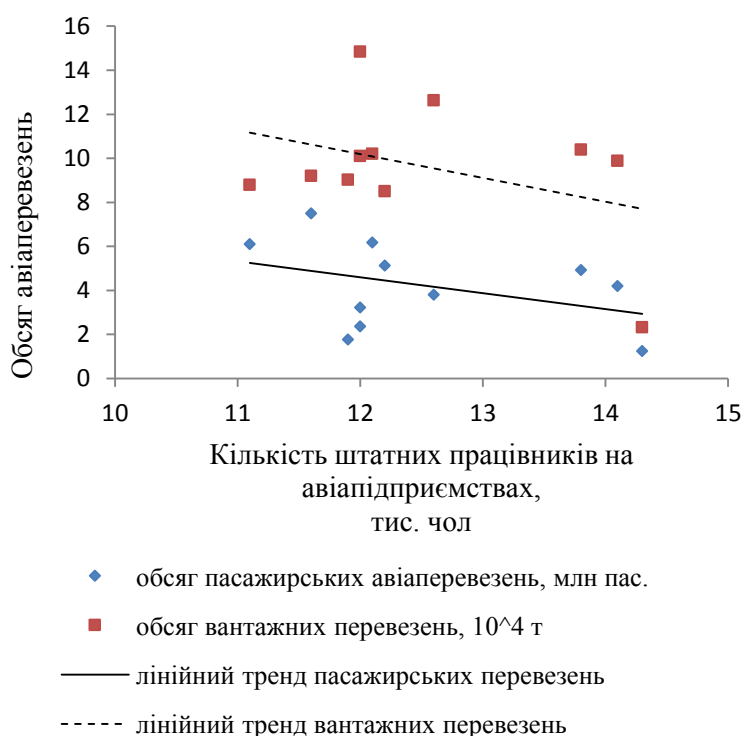


Рисунок 4.11 – Залежність обсягу авіаперевезень від кількості штатних працівників підприємств авіаційного транспорту України (складено за даними ДКС України)

зросла більш ніж на 200 % порівняно з 2009 р., тимчасом як потреба в інших фахівцях залишилася практично на тому самому рівні.

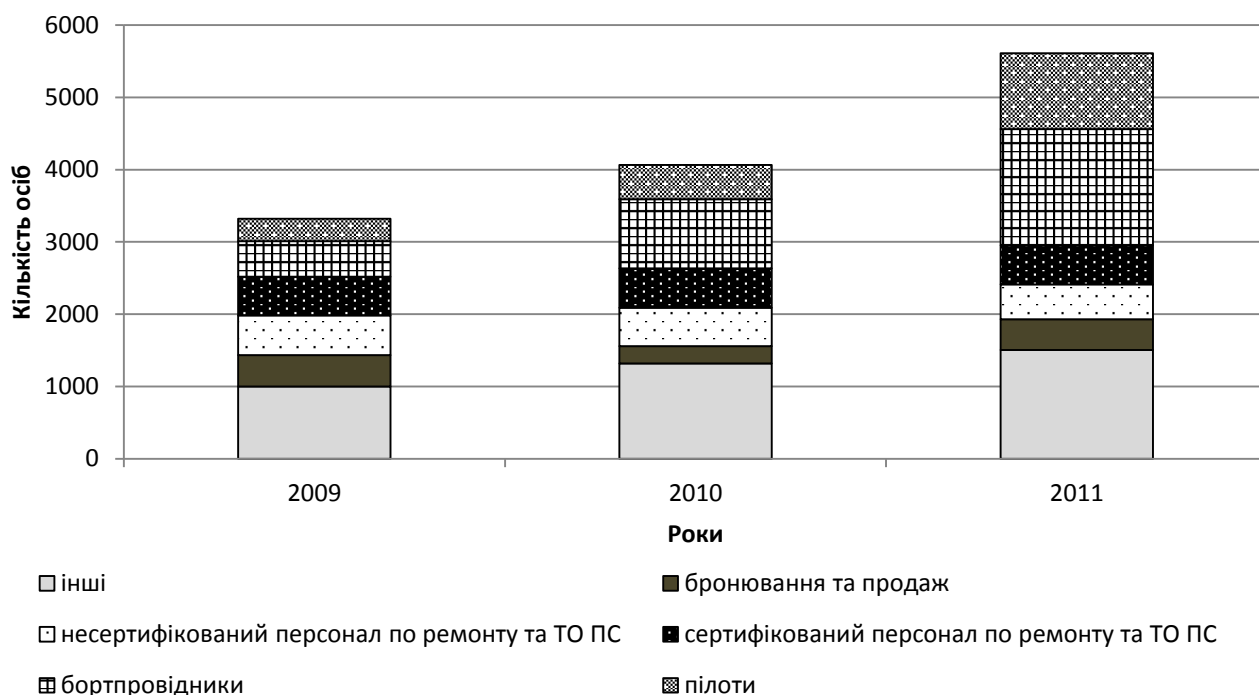


Рисунок 4.12 – Кількість авіаційного персоналу в авіакомпаніях України
(складено за даними ICAO)

У 2002 р. в штаті МАУ працювало 44 пілоти і 95 бортпроводників, у 2012 р. чисельність даних працівників становила 202 і 425 осіб відповідно. В авіакомпанії «Аеросвіт» кількість пілотів значно збільшилася в 2011 р. (193 пілоти на початок року і 525 на кінець року). Також, протягом 2011 р., штат авіакомпанії поповнили 234 бортпроводники (на кінець року їх кількість становила 648 осіб).

Підготовка, перепідготовка і підвищення кваліфікації авіаційного персоналу України з видаванням відповідних свідоцтв може здійснюватися в авіаційних навчальних закладах, центрах перепідготовки і підвищення кваліфікації авіаційних спеціалістів та в інших організаціях, зокрема й іноземних, що мають відповідний сертифікат, який визнається в Україні.

В умовах збільшення в складі парку України частки ПС західного виробництва може виникнути серйозний дефіцит льотного складу, який пройшов відповідну підготовку, адже у навчальних центрах є тренажери лише радянських типів ПС (Ту-134, Ту-154, Ан-24, Ан-26, Іл-62 та ін). Якщо ж орієнтуватися на персонал, підготовлений за кордоном, то треба врахувати останні дослідження ІКАО [345], в яких зазначається, що у світі в цілому, і в Європі зокрема також існує проблема підготовки та можливого дефіциту нового покоління кваліфікованого авіаційного персоналу.

Якість обслуговування

За даними фахівців ДАС, протягом 2011 р. до відділу організації та контролю авіаційних перевезень управління авіаційних перевезень та ліцензування департаменту авіаційних перевезень та аеропортів надійшло на розгляд 107 звернень громадян та організацій, що було на 42,7 більше, ніж у 2010 р. Найбільше звернень (77) надійшло від громадян України, 8 звернень від осіб, які не є громадянами України, 9 запитів народних депутатів України, та 13 звернень з інших організацій.

Найбільше правопорушень було виявлено у сфері недотримання прав споживачів авіакомпаніями «Аеросвіт», «Дніпроавіа» і «Донбасаеро». Причому 86% звернень стосувалися безпосередньо низької якості обслуговування і незабезпечення належного рівня польотів. При проведенні перевірок за скаргами споживачів підтвердилися факти затримки рейсів авіакомпанією «Аеросвіт», яка здійснювала перевезення пасажирів повітряним транспортом. Експертами ДАС зазначається, що авіакомпанії ставилися до розгляду претензій формально, не проводячи розслідування всіх наведених фактів, зокрема це стосувалося авіакомпаній «Аеросвіт» та «Донбасаеро». Державна інспекція з захисту прав споживачів у 2011 р. оштрафувала авіакомпанії «Дніпроавіа», «Аеросвіт» і «Донбасаеро» на 120 млн грн. [46].

Найпоширенішими є звернення громадян щодо порушень під час перевезення пасажирів. У своїх листах заявники скаржились на затримку рейсів, відмову у прийомі на рейс, який вказано у квитку, порушення при

перевезення багажу (найбільша кількість звернень за даною проблемою отримано по авіакомпанії «Аеросвіт» – 7 шт.). Окрім зазначеного, пасажирів скаржилися на незабезпечення перевезення дитини без супроводу (KLM) і затримку в перевезенні багажу («Турецькі авіалінії»).

4.2.3 Аналіз показників функціонування мережі аеропортів

Загальна характеристика мережі аеропортів

В Україні налічується понад 40 аеропортів і аеродромів. У кожній області є як мінімум один аеропорт (див. рис. Ж.6, додаток И, табл. И.5). У 2013 р. в Україні функціонували 26 аеропортів, які обслужили 212,7 тис. ПС (проти 217,0 тис. за 2012 р.) [197]. Практично 100% потоків (98% авіапасажирів та 93% пошто-, вантажопотоків) обслуговується у 8 аеропортах України, причому аеропортом «Бориспіль» за 2013 р. обслужено 52% загального пасажиропотоку (7,9 млн пас.), аеропортом «Київ» – 12,1 % (1,8 млн пас.).

Загальний обсяг пасажиропотоків у 2013 р. через аеропорти України зріс на 7,3 % та становив 15,1 млн пас. Поштові та вантажні потоки скоротились на 7,3% та становили 41,7 тис. т. Мало місце зростання пасажиропотоків також в основних регіональних аеропортах: «Львів» (на 21,7%), «Харків» (на 20,6%), «Одеса» (на 17,8%), «Донецьк» (на 11%), «Сімферополь» (на 8,1%) та «Дніпропетровськ» (на 2,4%). Для порівняння зауважимо, що в Польщі п'ятьма аеропортами в 2011 р. було обслуговано майже 17 млн пас., а одинадцятьма аеропортами Німеччині в 2010 р. – 172 млн (табл. 4.5).

Упродовж 2010–2012 рр. відповідно до завдань та заходів Державної цільової програми підготовки та проведення в Україні фінальної частини чемпіонату Європи 2012 р. з футболу в Україні було організовано роботи з реконструкції аеропортів у Борисполі, Києві, Донецьку, Львові, Харкові.

Задекларована пропускна спроможність модернізованих аеропортів на 2013р. становила:

- «Бориспіль» – 6800 пас./год.;

- «Харків» – 2550 пас./год.;
- «Донецьк» – 3100 пас./год.;
- «Львів» – 2150 пас./год.;
- «Київ» – 540 пас./год.

Таблиця 4.5 – Пасажиропотоки аеропортів Польщі та Німеччини (за даними ІКАО)

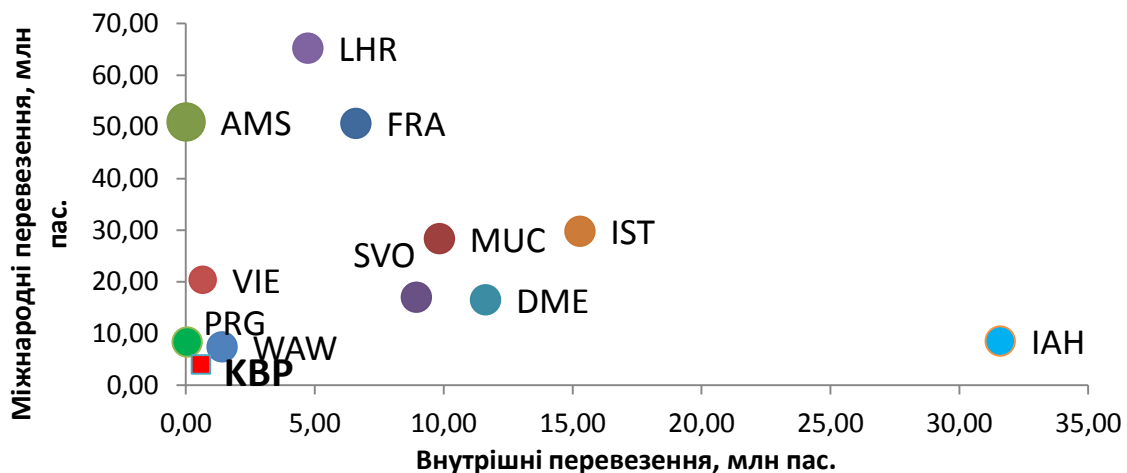
Країна/ аеропорт	Кількість рейсів	Пасажиропотік, млн пас.
Польща, 2011 р.		
Copernicus (Вроцлав)	18332	1,633
Frederic Chopin (Варшава)	127339	9,322
John Paul II (Краків)	28991	2,994
Katowice (Катовіце)	25724	2,505
Lodz Lublinek (Лодзь)	3044	0,390
Загалом	203430	16,845
Німеччина, 2010 р.		
Cologne/Bonn (Кельн)	120648	9,787
Dusseldorf (Дюссельдорф)	211392	18,909
Frankfurt Intl (Франкфурт-на-Майні)	456293	52,646
Franz Josef Strauss (Мюнхен)	368277	34,518
Fuhlsbuettel (Гамбург)	13851	12,884
Інші	469571	43,032
Загалом	1640032	171,776

Відповідно до основних пріоритетних напрямів розвитку транспортної мережі протягом 2013–2014 рр. передбачалося проведення реконструкції аеропортів «Одеса» та «Дніпропетровськ». Виконання заходів з реконструкції мало забезпечити будівництво сучасної інфраструктури аеропортів та збільшення пропускної спроможності терміналів аеропорту «Дніпропетровськ» з 500 пас./год. до 1000 пас./год., а аеропорту «Одеса» з 600 пас./год. до 1000 пас./год. На сьогодні реалізації заходів реконструкції триває.

Обсяг існуючого попиту на послуги аеропортів України є значно нижчим за їх пропускну спроможність. Зазначимо, що пропускні спроможності аеропортів «Донецьк» та «Львів» використовуються приблизно на 14 %, «Харків» – на 20%, «Бориспіль» – на 32 %.

Статистичні дані за 2012 р. свідчать про те, що пасажирські авіап перевезення і надалі є зосередженими, в основному, в Києві, незважаючи на значні інвестиції в інфраструктуру регіональних аеропортів при підготовці до Євро-2012 [73]. У південному регіоні пасажиропотік приблизно в 1 млн пасажирів мали два аеропорти: «Сімферополь» і «Одеса». У східному регіоні такий самий обсяг був зафіксований в аеропорту «Донецьк». У західному регіоні авіаційні перевезення здійснювалися в основному через аеропорт «Львів», обсяги якого відносно невеликі і становили приблизно 0,7 млн пасажирів. У кожному регіоні України є аеропорти, які не функціонують.

Оцінка можливості позиціонування аеропорту «Бориспіль» як хабу у світовій мережі аеропортів була проведена шляхом зіставлення обсягів внутрішніх та міжнародних перевезень пасажирів даного аеропорту і провідних аеропортів Європи та Америки (рис. 4.13). Таке порівняння підтверджує, на жаль, нереалізований транзитний потенціал основного аеропорту України.



LHR – Хітроу (Лондон, Великобританія); AMS - Amsterdam-Schiphol, Нідерланди, Амстердам; FRA - Frankfurt International Airport (rhein-main), Німеччина, Франкфурт-на-Майні; MUC - Franz Josef Strauss, Німеччина, Мюнхен; IST - Ataturk, Туреччина, Стамбул; VIE - Schwechat International, Австрія, Відень; SVO - Шереметьєво, Росія, Москва; DME - Домодедово, Росія, Москва; PRG - Ruzyně, Чехія, Прага; WAW - Frederic Chopin, Польща, Варшава; IAH - George Bush Intercontinental, США, Х'юстон

Рисунок 4.13 – Визначення можливості позиціонування аеропорту «Бориспіль» як «міжнародного хабу» шляхом зіставлення обсягів внутрішніх та міжнародних перевезень пасажирів у порівнянні з аеропортами Європи та Америки (складено за даними ICAO, 2011 р.)

Вантажні авіап перевезення також здійснюються, здебільшого, через аеропорти центрального регіону, а саме: «Бориспіль» і «Гостомель» (аеродром Київ/Антонов) (додаток И, рис. И.7). Обсяги вантажних перевезень через аеропорти України є незначними у порівнянні із світовими лідерами.

Рівень розвитку пасажирських авіап перевезень і місце мережі аеропортів України в Європі можна визначити шляхом візуалізації статистичних даних щодо обсягів пасажиропотоків на географічній карті (рис. 4.14). Отже, за даними 2010 р. українська мережа аеропортів займає позицію «регіональної».

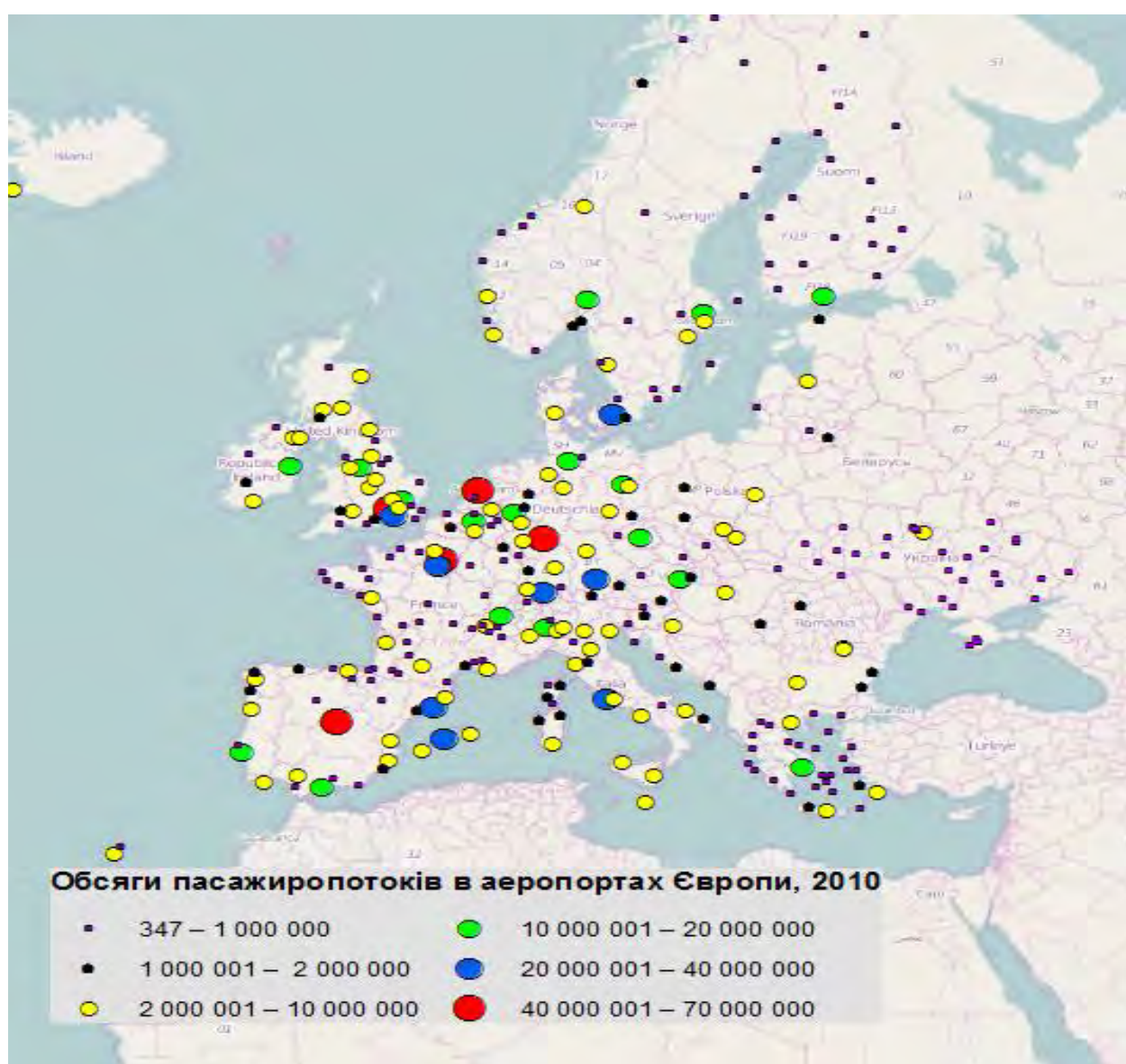


Рисунок 4.14 – Візуалізації статистичних даних про обсяги пасажиропотоків

В табл. 4.6 наведено результати оцінювання доступності основних функціонуючих аеропортів України за відстанню між аеропортами та адміністративними центрами областей. Отримані результати відображають досить розвинену мережу аеропортів, що функціонують – практично всі області України мають доступ до аеропорту в межах 100–300 км. Однак показник t_a , вказує на відсутність якісних швидкісних автомагістралей між населеними пунктами і аеропортами (на сьогодні в Україні автотранспорт – це єдиний вид транспорту, який забезпечує доступ до аеропортів), що робить їх менш доступними і перешкоджає розвитку регіональних аеропортів.

На базі аеропортів працює декілька АХК, наприклад, ТОВ «Українська хендлінгова компанія» (штат налічує 64 працівники, має представництва в дев'яти аеропортах [185]), ТОВ «Інтеравіа» (співвласниками компанії є МАУ, компанія «Ерлайн Бізнес Хендлінг», «Свіспорт Інтернешнл», штат – 1100 працівників, обслуговує 3 аеропорти [184]), ТОВ «Мастер-Авіа» та інші.

Усі міжнародні аеропорти України мають стандартні технології обслуговування пасажирів, обробки БВП та технічного обслуговування ПС, які базуються на вимогах та рекомендаціях ІКАО, ІАТА і українських чинних нормативних положень. Однак є різниця в технологічному оснащенні (програмні продукти, матеріально-технічна база) аеропортів центрального та інших регіонів України.

У 2013 р. було схвалено довгострокову стратегію розвитку мережі аеропортів України – Концепція Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 р. (Концепція) [211, 87]. Завдання, поставлене Урядом, – створити розвинуту мережу аеропортів із сучасною інфраструктурою, приведеною у відповідність до міжнародних вимог, та з різними ефективними формами управління. Планувалося також відновити роботу аеропортів, які не функціонували або експлуатувалися не повною мірою. Крім того, було визначено, що необхідно вести роботу щодо зменшення часу на обслуговування пасажирів та ПС в аеропортах.

Таблиця 4.6 – Характеристика регіонів України за можливістю доступу до основних аеропортів

Регіон	Кількість населення, млн чол.	Площа, тис. кв. м.	L_a , км ³	t_a , ч ⁴
Регіон / код IATA аеропорту				
Центральний / KBP, IEV				
Київ (а/п «Бориспіль», «Київ»)	2,771214		35	0,5
Житомирська область	1,274435	29,9	173	2,5
Київська область	1,713052	28,0	60	1,0
Чернігівська область	1,080841	31,9	145	2,0
Сумська область	1,150885	23,8	323	4,5
Полтавська область	1,470066	28,8	315	3,7
Вінницька область	1,627933	26,5	276	4,0
Черкаська область	1,274442	20,9	162	2,3
Кіровоградська область	0,996738	24,6	291	4,0
Південний/ ODS, SIP				
Одеська область (а/п «Одеса»)	2,376908	33,3		до 4,0 ⁵
Миколаївська область	1,17798	24,0	134	2,0
Херсонська область	1,082301	28,5	203	3,1
Автономна Республіка Крим (а/п «Сімферополь»)	1,954039	26,1	до 218	до 3
Севастополь	3,79144		92	1,5
Східний / DOK				
Донецька область (а/п «Донецьк»)	4,392883	26,5		до 2
Харківська область	2,727485	31,4	293	4,4
Луганська область	2,269485	26,7	152	2,5
Запорізька область	1,791552	27,2	231	3,5
Дніпропетровська область	3,318057	31,9	250	3,6
Західний / LWO				
Львівська область (а/п «Львів»)	2,52336	21,8	100	до 1,5
Рівненська область	1,153028	20,1	213	2,8
Волинська область	1,03582	20,1	151	2,1
Закарпатська область	1,247684	12,7	268	3,8
Тернопільська область	1,077549	13,8	127	1,8
Івано-Франківська область	1,377401	13,9	133	2,2
Чернівецька область	0,90216	8,1	297	4,1
Хмельницька область	1,317622	20,6	238	3,5

На переконання Уряду, реалізація Концепції повинна сприяти розвитку адміністративно-територіальних одиниць, у межах яких розташовані аеропорти,

³ L_a – відстань з обласного центру до основного аеропорту регіону.

⁴ t_a – час, необхідний для того, щоб дістатися з населеного пункту в основний аеропорт регіону.

⁵ Наприклад, Ізмаїл–Одеса: відстань – 248 км, час у дорозі 3 год 46 хв [173]

розвитку міжнародного туризму в Україні, створенню додаткових робочих місць.

При розробці Концепції уряд спирався на прогнози ІСАО, згідно з якими у період з 2012 по 2023 р. загальний попит на авіаційні перевезення в середньому щороку зростатиме на 4-5%, при цьому збільшуватиметься і світовий парк ПС.

Очевидно, що є необхідність методологічного обґрунтування концепції розвитку аеропортової мережі України і доцільності фінансування з державного бюджету всієї мережі або окремих аеропортів.

На першому етапі розв'язання даної проблеми пропонується визначити роль кожного аеропорту в загальній мережі АТС України шляхом їх класифікації.

Класифікація аеропортів та пріоритетність їх реконструкції

Для України важливо мати мережу аеропортів, яка б сприяла поточній та довгостроковій реалізації потреб населення і галузей економіки у авіаційних перевезеннях. Кожен аеропорт відіграє певну роль у розвитку АТС, і тому інфраструктура аеропортів не може бути стандартною, однаковою. Інформаційною основою реалізації стратегії розвитку аеропортів може бути їх класифікація та виділення аеропортів, функціонування яких найкращим чином відповідатиме тенденціям демографічного та економічного зростання.

На сьогодні відомі різні класифікації аеропортів в залежності від функцій, розмірів, форм власності, технічних характеристик. У більшості класифікацій аеропорти розділені на цивільні і військові [199]. Класифікація, яку застосовують зараз у більшості країн СНД, в основному відображає експлуатаційні ознаки аеропортів [29]. Основними ознаками класифікації є: річний обсяг пасажирських перевезень, під яким мають на увазі сумарну кількість усіх пасажирів, зокрема пасажирів транзитних рейсів; призначення аеропортів, яке відображає їх адміністративно-територіальне розташування і характер перевезень.

Класифікація аеропортів також здійснюється за такими ознаками: категорії; статуси; здатність приймати певні типи ПС. Так, за категоріями

аеропорти поділяють на: державного значення, регіональні та місцевого значення, розташовані в обласних центрах, великих промислових містах і курортних зонах. За здатністю приймати певні типи ПС аеропорти поділяють на ті, які можуть приймати будь-які існуючі цивільні ПС без обмежень, і ті, які здатні приймати літаки I класу і нижче, II класу і нижче, не вище III класу. Класи ПС визначаються в залежності від максимальної злітної маси [167]. За статусом аеропорти поділяють на міжнародні і внутрішні. І.П. Садловська розглядає державну авіатранспортну інфраструктуру, яка включає аеропорти: міжнародні (А); відомчі (Б); регіональні (В); міжрайонні (Г) [229, с. 306].

На законодавчому рівні класифікація аеропортів України визначена в нормативних документах [199, 209]. Згідно з [209], міжнародний аеропорт – аеропорт, призначений для прийому і відправлення ПС, які виконують міжнародні польоти, та в якому здійснюється митний, прикордонний, санітарно-карантинний контроль, контроль на авіаційну безпеку та інші види обов’язкового контролю. Внутрішній аеропорт – аеропорт, визначений державою для обслуговування ПС, які виконують рейси на території тільки цієї держави.

У [199] аеропорти поділяють на некоординовані (пропускна спроможність аеропорту задовольняє попит авіакомпаній) та координовані (попит авіакомпаній на виконання польотів до / з аеропорту перевищує його пропускну спроможність). Слот-регулювання в некоординованому аеропорті здійснюється експлуатантом аеропорту, а в координованому – координатором аеропорту, призначеним уповноваженим органом з питань ЦА.

У статті [227] автор як параметр класифікації аеропортів розглядає віддаленість від центру міста. Відповідно аеропорти поділяються на три класи: аеропорти в межах міста; аеропорти, віддалені не більше ніж на 30 км від центру міста; аеропорти, значно віддалені від центру міста (більше ніж 30 км). Дана класифікація використовувалася автором [227] для порівняльного аналізу транспортної доступності українських і зарубіжних аеропортів.

Автори статті [363] для класифікації аеропортів та визначення їх ролі в Європейській мережі пропонують кластерний аналіз. Як вхідні параметри для проведення кластеризації вони розглядають такі характеристики аеропортів: кількість доступних місць на регулярних рейсах на день, кількість рейсів на день, кількість напрямків, що обслуговуються, протяжність маршрутів, що обслуговуються, відсоток місць, пропонованих LCC. Після обробки даних цими авторами були виділені 8 кластерів:

- кластер №1 – світові хаби, що обслуговують світові альянси;
- кластер №2 – хаби, які в основному обслуговують національних перевізників;
- кластер №3 – «другі ворота», основною характеристикою яких є концентрація на невеликій кількості напрямків, причому міжнародні напрямки становлять не більше ніж 30% від загальної кількості пропонованих маршрутів;
- кластер №4 – аеропорти з обсягом перевезень 3–5 млн пасажирів на рік, характерним для яких є концентрація LCC (в середньому надають до 75% місць із загальної кількості), маршрути виконуються, в основному, всередині Європи;
- кластер №5 – аеропорти без лоукост-перевізників, маршрути виконуються, в основному, всередині Європи;
- кластер №6 – невеликі регіональні аеропорти;
- кластер №7 – невеликі аеропорти, що обслуговують лоукост-перевізників, які виконують рейси в межах Європи;
- кластер №8 – місцеві аеропорти. Кількість обслуговуваних внутрішніх напрямків у даних аеропортах зазвичай не перевищує 4-5; рейси виконуються в основному лоукост-перевізниками.

У міжнародній практиці широко використовується класифікація аеропортів FAA [279], яка класифікує аеропорти за видами діяльності наступним чином:

1. *Комерційні* – це аеропорти, які знаходяться у державній власності, обслуговують регулярні рейси, кількість пасажирів, що вилітають – не менше 2500 пас. на рік.

2. *Аеропорти авіації загального призначення* – це всі інші аеропорти, крім військових та комерційних, які працюють на регулярній основі.

У свою чергу комерційні аеропорти поділяються на наступні класи:

- основні (Primary): обслуговують за рік понад 10 тис. пасажирів, які відлітають. В рамках даного класу розрізняють хаби за часткою від загальної кількості обслужених в США пасажирів, які відлітають: великі (L) – від 1% і більше; середні (M) – від 0,25% до 1%; невеликі (S) – від 0,05% до 0,25%; невузлові (Nonhub) – менше ніж 0,05%;

- другорядні (No primary): обслуговують за рік від 2,5 тис. до 10 тис. пасажирів, які відлітають.

Аеропорти авіації загального призначення, в свою чергу, поділяються на класи в залежності від кількості ПС, які в них базуються:

- національні – 200 ПС, включаючи 30 реактивних ПС;
- регіональні – близько 90 ПС, включаючи 3 реактивних ПС;
- місцеві – близько 33 гвинтових ПС;
- базові – близько 10 гвинтових ПС.

Дана класифікація використовується для визначення права аеропорту на фінансування в рамках Федеральної програми модернізації аеропортів (Airport Improvement Program).

Іншим підходом до класифікації, що застосовуються в FAA і ICAO, є використання як критерію класифікації аеропортів техніко-експлуатаційних характеристик, які дають змогу аеропорту обслуговувати певні типи ПС (див. табл. 4.7).

Для досягнення балансу в розподілі ресурсів між аеропортами України і встановлення ознак класифікації, яка допомогла б визначити роль кожного аеропорту в АТС країни, необхідно провести аналіз авіаційних та неавіаційних факторів. Дані фактори можуть бути виражені через такі категорії

продуктивності: вид діяльності, інфраструктура, доступність аеропорту і економіка регіону (рис. 4.15).

Таблиця 4.7 – Міжнародна класифікація аеропортів за характеристиками злітно-посадкових смуг і ПС, що можуть прийматися [406]

Класифікація ІКАО				
Кодовий елемент 1		Кодовий елемент 2		
Кодовий номер	Довжина злітної смуги	Кодова буква	Розмах крила ПС	Відстань між зовнішніми колесами основного шасі ПС
1	менше 800 м	<i>A</i>	менше 15 м	менше 4,5 м
2	800–1200 м	<i>B</i>	15–24 м	4,5–6 м
3	1200–1800 м	<i>C</i>	24–36 м	6–9 м
4	1800 м і більше	<i>D</i>	36–52 м	9–14 м
		<i>E</i>	52–60 м	9–14 м
Класифікація FAA				
Дизайн група ПС		Розмах крила ПС (м)		Приклад типів ПС
I		<15		Cessna 150, Cessna 172
II		<15<24		Falcon 50
III		<24<36		B-727, B-737
IV		<36<52		A-300, B-767, DC-10
V		<52<60		B-747, B-777
VI		<60<80		Lockheed C-5A, A-380

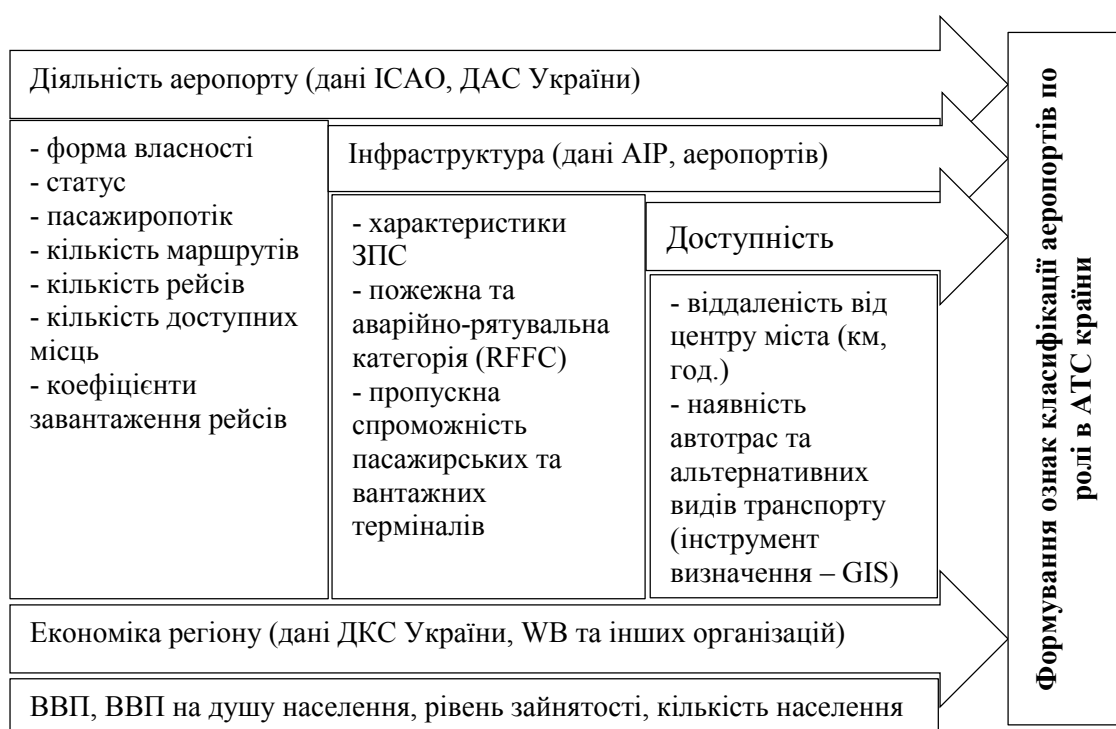


Рисунок 4.15 – Процес формування ознак класифікації

За даними ДАС України [215], у державній власності перебувають вісім аеропортів і аеродромів: «Бориспіль», «Львів», аеродроми «Заводське», Київ/Антонов-1, Київ/Антонов-2, «Харків» (Сокольники), «Кіровоград», «Кременчук» (два останні знаходяться на балансі Національного авіаційного університету). У комунальній власності – 17 аеропортів і аеродромів. Більшість цих аеропортів знаходяться в обласних центрах: Кривий Ріг, Луганськ, Біла Церква, Вінниця, Донецьк, Запоріжжя, Миколаїв, Одеса, Полтава, Рівне, Суми, Тернопіль, Ужгород, Херсон, Черкаси, Чернівці. Міжнародний аеропорт «Київ» також є комунальною власністю. Інші аеропорти належать відкритим (публічним) акціонерним товариствам і товариствам з обмеженою відповідальністю. Дані аеропорти знаходяться в Дніпропетровську, Івано-Франківську, Маріуполі, Севастополі, Сімферополі, Харкові.

У державній власності залишилися два аеропорти («Бориспіль» та «Львів»), які, з урахуванням обсягів пасажирських перевезень (рис. 4.16), функціонують і мають перспективу розвитку мережі авіамаршрутів.

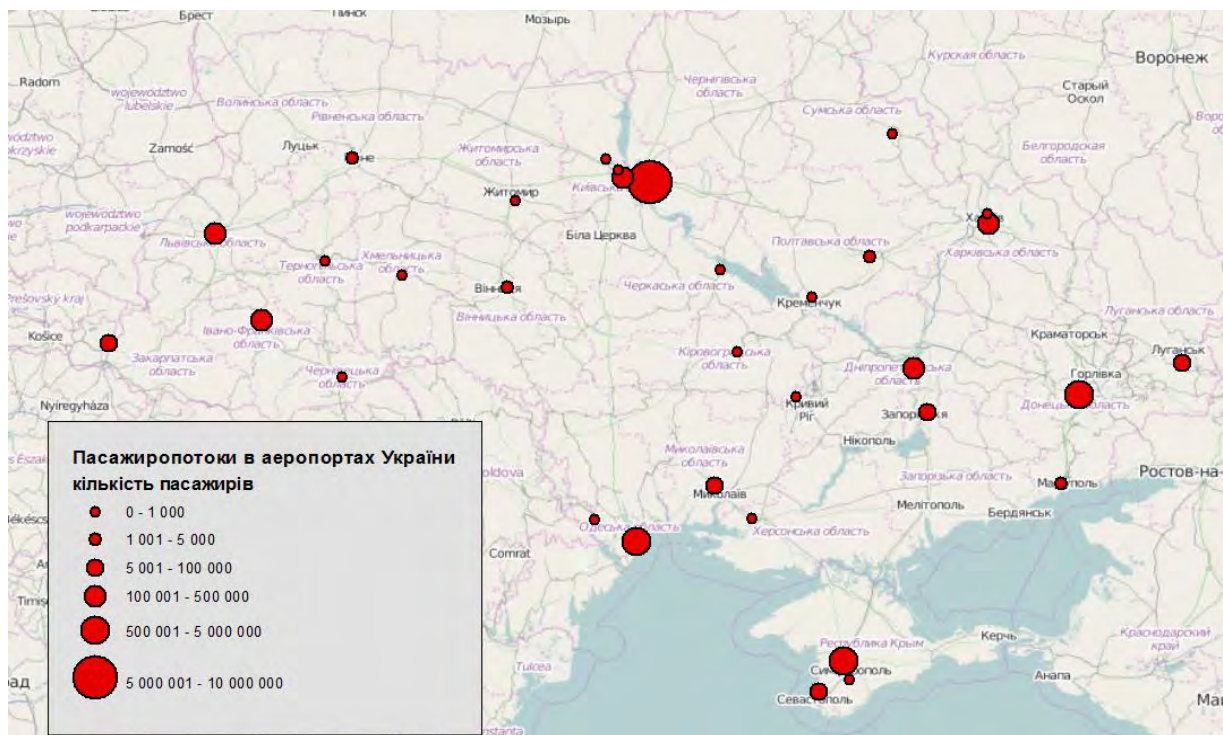


Рисунок 4.16 – Пасажиропотоки аеропортів України
(розроблено за даними ДАС України, 2011, 2012 рр.)

Аеропорти з пасажиропотоком вище 500 тис. осіб у Донецьку, Одесі та Сімферополі не є державними, хоча, за проведеним вище соціально-економічним аналізом, мають достатній потенціал, щоб у стратегічному плані мати істотний вплив на розвиток АТС України.

Практично всі аеропорти України мають статус міжнародних і лише аеродроми «Заводське» (Сімферополь), «Кременчук», «Кіровоград», Київ/Антонов-1 і аеропорти в Сумах, Полтаві мають статус внутрішніх. Отже, класифікація за статусом аеропорту у даному разі не може бути визначальною в пріоритетності того чи іншого аеропорту.

Важливими показниками діяльності аеропортів є кількість регулярних маршрутів (k_x) і рейсів (s_x), що обслуговуються даними аеропортами (тобто ступінь і сила вузла, див. розділ 2, п. 2.2.1). За цими показниками, розрахованими за допомогою даних ICAO за 2011 рік [347], було складено рейтинг аеропортів, які функціонують в Україні (табл. 4.8). Характеристики ЗПС та RFFC (категорія ICAO з рятування та боротьби з пожежею) визначають техніко-експлуатаційні обмеження в розвитку того чи іншого аеропорту і, відповідно, необхідність додаткових інвестицій.

Таблиця 4.8 – Рейтинг функціонуючих аеропортів України за кількістю регулярних маршрутів та рейсів (за даними 2011 р.)

Рейтинг	Аеропорт (вузол)	k_x	s_x	Код аеродрому за ICAO	RFFC
1	Київ (Бориспіль)	86	24787	4E	8
2	Одеса	21	2888	4C	7
3	Донецьк	15	1663	4D	8
4	Львів	13	1570	4D	8
5	Дніпропетровськ	8	1261	4C	6
6	Сімферополь	8	551	4D	7
7	Івано-Франківськ	5	81	4C	7
8	Харків	4	583	4C/4D	7
9	Чернівці	1	542	н/д	6
10	Миколаїв	1	279	н/д	7
11	Луганськ	1	242	4C	6
12	Запоріжжя	1	237	4C	8
13	Севастополь	1	59	4C	6
14	Кривий Ріг	1	12	4C	6

Так, з табл. 4.8, можна зробити припущення про можливість розвитку маршрутної мережі та більш інтенсивної експлуатації аеропорту в Одесі за умови підвищення класу ЗПС та пожежної аварійно-рятувальної категорії. За виконання даної модернізації з'явиться можливість приймати такі ПС, як B757-300, B767-300, DC-8, DC-10, A300, A330-200 та інші, що відповідають класам ЗПС *D*, *E* і 8–10 категоріям RFFC. «Бориспіль» має перспективу підвищення категорії RFFC до 9, 10, що зробить можливим приймати відповідні ПС. Однак необхідність бюджетного фінансування відповідних реконструкцій повинна обґрунтовуватися з використанням відповідних методів оцінки ефективності вкладень у функціонування мережі аеропортів, розробленню яких присвячений розділ 6.

Аналіз соціально-економічного розвитку є невід'ємною частиною техніко-економічного обґрунтування модернізації або будівництва нового аеропорту. Такий аналіз також дає змогу визначити, чи є дефіцит або надлишок пропускнуєї спроможності авіаузла, або умови, за яких вони можуть виникнути.

Очевидно, що аеропорт не може вплинути на значний економічний розвиток та рухливість населення в регіоні. Функціонування аеропорту і його модернізація мають бути відповіддю на платоспроможний попит споживачів (у даному разі авіакомпаній, які будуть гарантами повернення вкладених інвестицій).

Вважаємо, що класифікація аеропортів має враховувати реальний соціально-економічний стан регіону, у якому знаходиться аеропорт, а модернізація – відповідати парку ПС, які експлуатуватимуть авіакомпанії, що обслуговують або планують обслуговувати даний регіон.

Як було зазначено вище, в Україні пасажирські перевезення в основному виконує одна авіакомпанія – МАУ, бізнес-модель якої досить важко визначити, хоча вона позиціонувалася на момент дослідження як класична мережева авіакомпанія. МАУ оснащує свій парк ПС переважно літаками іноземного виробництва, користуючись послугами зарубіжних лізингових компаній. Враховуючи обмежені ресурси парку ПС МАУ і неможливість поєднання

декількох бізнес-моделей одночасно, регіональні аеропорти не можуть розраховувати на активну участь даної авіакомпанії в їх розвитку.

Лібералізація ринку авіаційних перевезень (згідно з Меморандумом щодо Угоди про спільний авіаційний простір між ЄС та Україною від 28.11.2013 р.) і вдосконалення нормативної бази щодо лізингу ПС можуть істотно вплинути на розвиток діяльності аеропортів за рахунок збільшення кількості авіакомпаній, зокрема і низькобюджетних, на ринку України.

Враховуючи результати наведеного вище аналізу, пропонується така їх класифікація з метою подальшого визначення у пріоритетності фінансування:

1) за видом діяльності:

А. Комерційні основні: аеропорти, які мають частку регулярних рейсів більше 50%; знаходяться в регіонах з високими і середніми соціально-економічними показниками (визначається за рейтингом регіонів країни); мають код аеродрому за ICAO не нижче 4D, клас RFFC не нижче 7; кількість пасажирів, що вилітають, – не менше 1 млн на рік.

В. Комерційні: аеропорти, які знаходяться в регіонах з високими і середніми соціально-економічними показниками; обслуговують регулярні та нерегулярні рейси, мають код аеродрому за ICAO не нижче 4C, клас RFFC не нижче 5.

С. Комерційні вантажні основні: аеропорти, які знаходяться в регіонах з високими і середніми соціально-економічними показниками; обслуговують регулярні та нерегулярні вантажні рейси.

Д. Комерційні вантажні: аеропорти, які знаходяться в регіонах з низькими соціально-економічними показниками; обслуговують регулярні та нерегулярні вантажні рейси.

Е. Авіація загального призначення: аеропорти, які обслуговують лише нерегулярні рейси та авіакомпанії, які виконують бізнес-рейси, тренувальні польоти та надають послуги із застосування авіації в національній економіці;

2) за обслуговуванням регулярної маршрутної мережі:

I. Основний авіавузол: не менше 20% регулярних маршрутів від загальної кількості регулярних маршрутів країни.

II. Допоміжний авіавузол: не менше 5% і не більше 20% регулярних маршрутів від загальної кількості регулярних маршрутів країни.

III. Другорядний авіавузол: менше 5% регулярних маршрутів від загальної кількості регулярних маршрутів країни.

Приклад результату класифікації аеропортів України за даними ознаками наведено на рис. 4.17. Класифікація проводилась на основі обробки даних ICAO, AIP, ДАС та ДКС.

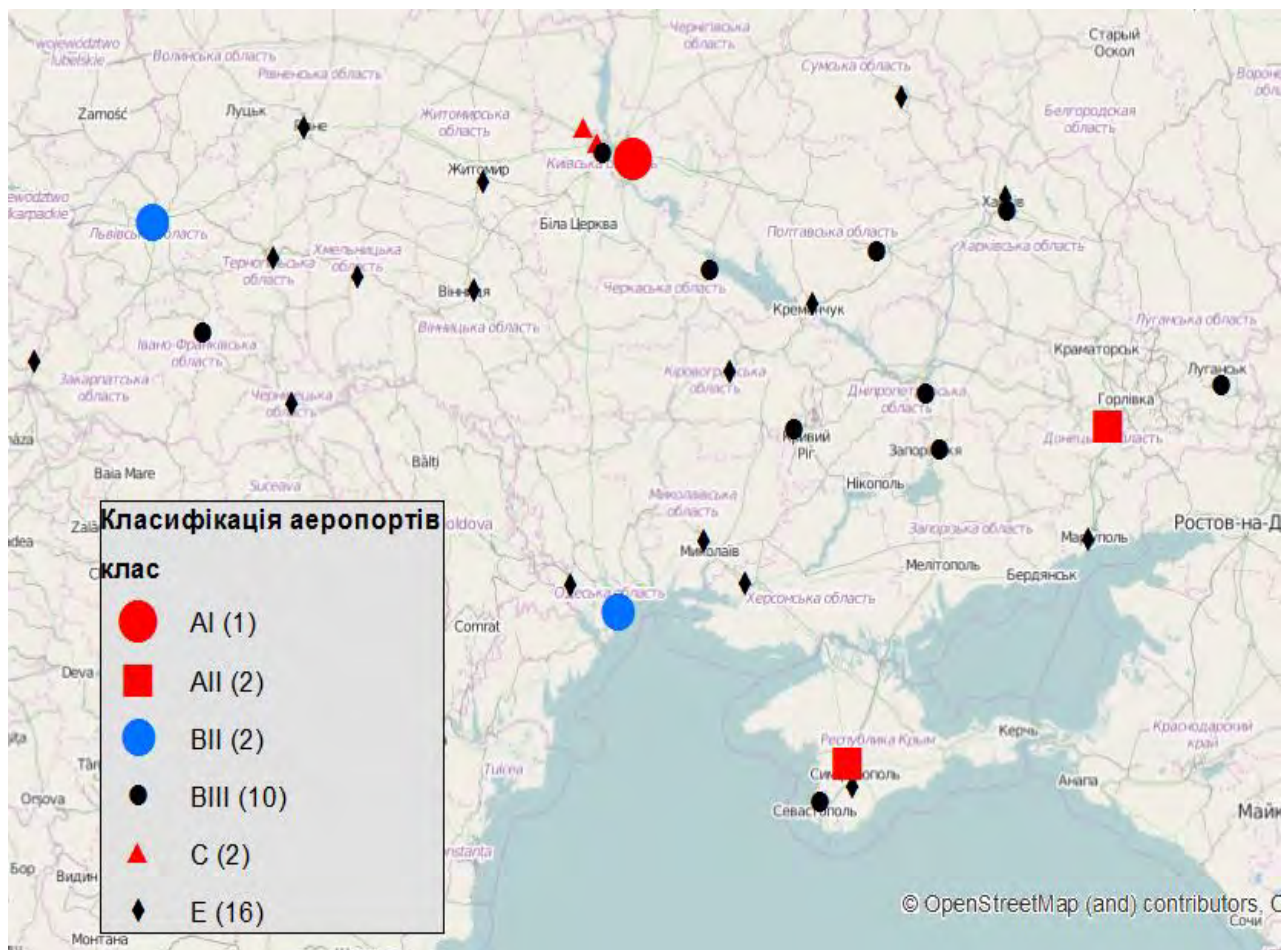


Рисунок 4.17 – Приклад класифікації аеропортів України для визначення їх ролі в АТС (приклад розроблений за даними 2011 р.)

Пріоритетність фінансування певних класів аеропортів визначається заданими критеріями ефективності конкретної державної програми розвитку аеропортів.

Наприклад, в умовах обмеженого бюджетного фінансування, песимістичного сценарію розвитку економіки регіонів та лібералізації авіаційного ринку можлива така пріоритетність інвестування аеропортів (розташовано за зниженням пріоритетності):

- 1) аеропорти класу *AI, AII*;
- 2) аеропорти класу *BI, BII*;
- 3) аеропорти класу *BIII*;
- 4) аеропорти класу *C, D*;
- 5) аеропорти класу *E*.

Така пріоритетність обґрунтовується припущенням, що аеропорти класу *A* не потребують значних капітальних вкладень у модернізацію їх інфраструктури. Результати модернізації деяких процесів шляхом впровадження сучасних технологій, наприклад, технологій «швидкої подорожі», *e-Freight* [104, 122] матимуть більшу ефективність, враховуючи обсяги пасажиро- і вантажопотоків, у порівнянні з аеропортами інших класів.

4.2.4 Визначення структури мережі авіамаршрутів

Авіакомпанія МАУ, яка має основний відсоток ринку регулярних авіаперевезень в Україні, виконує понад 700 міжнародних і внутрішніх рейсів на тиждень, що сполучають Україну (Київ, Львів, Донецьк, Дніпропетровськ, Одеса, Харків, Сімферополь, Івано-Франківськ) та понад 40 столиць і ключових міст Європи, Азії, Африки й СНД, а також забезпечує стикування з маршрутами своїх міжнародних партнерів до більш як 3000 міст світу. У 2013р. МАУ запроваджувала нові маршрути з України до таких міст: Варшава (Польща), Вільнюс (Литва), Баку (Азербайджан), Єреван (Вірменія), Прага (Чеська Республіка), Ларнака (Кіпр), Мюнхен (Німеччина), Афіни (Греція),

Санкт-Петербург, Москва – аеропорт «Шереметьєво» (на додаток до рейсів у «Домодедово»), Єкатеринбург, Калінінград, Нижньовартовськ, Новосибірськ, Ростов-на-Дону, Сочі (Росія), Батумі (Грузія), Бішкек (Киргизстан).

Аналіз експлуатації мережі авіамаршрутів з та в Україну за даними ІСАО 2010, 2011 рр. показав, що Київ – це пункт, у якому формується пасажиропотік в основному в аеропорти Москви, Франкфурта-на-Майні, Лондона, Тель-Авіва, Відня та Праги (рис. 4.18).

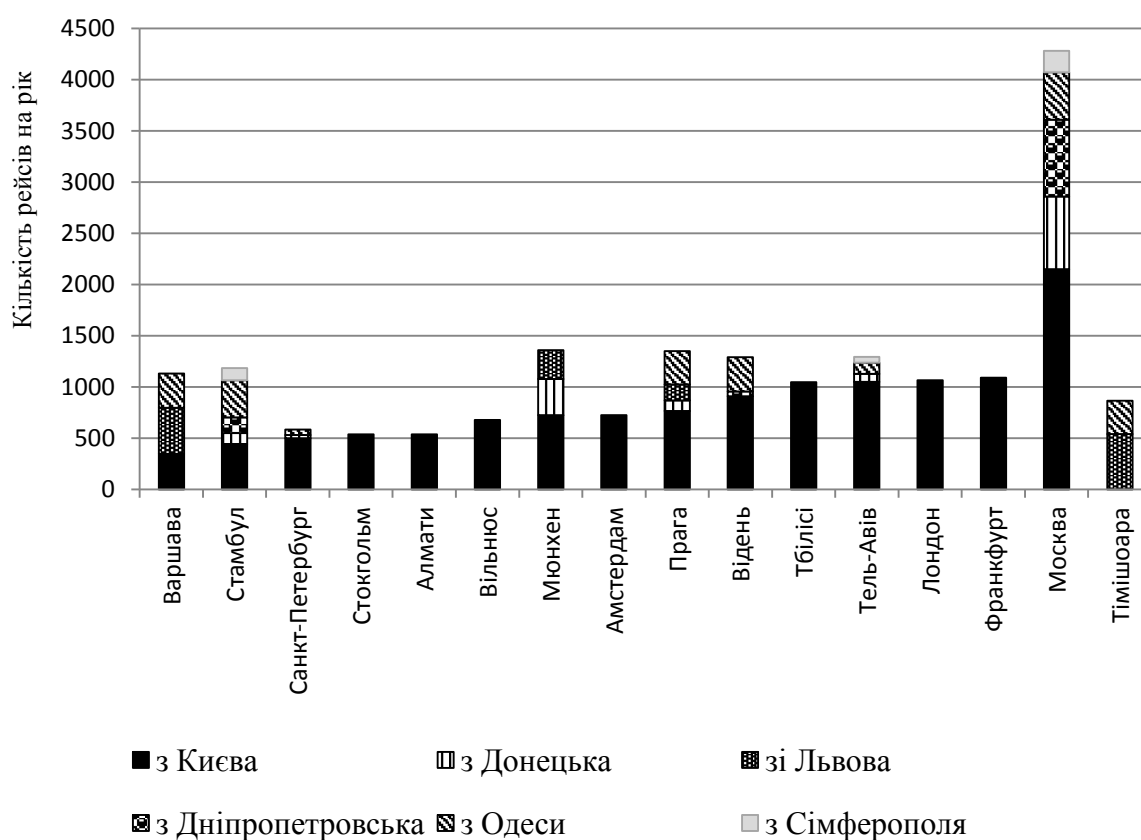


Рисунок 4.18 – Кількість рейсів на рік на основних авіамаршрутах з України (складено за даними ІСАО, 2011)

Дані за кількістю виконаних рейсів з таких пунктів, як Одеса, Дніпропетровськ, Донецьк, Львів, Сімферополь, також свідчать про тяжіння в даний період основних пасажиропотоків в аеропорти Москви. Основні пункти в європейських містах це: для Донецька – Мюнхен; Львова – Варшава; Дніпропетровська – Берлін, Стамбул; Одеси – Стамбул, Варшава, Відень,

Прага. Такі самі результати дає аналіз обсягу перевезених пасажирів за напрямками. Москва – це основний трансферний пункт для пасажирів, які прямують з та в Україну. Враховуючи низькі показники за обсягами трансферних перевезень, можна припустити, що Київ не відіграє роль хабу ні в мережі українських аеропортів, ні в мережі європейських. Про це також свідчать незначна кількість та частота рейсів далекомагістральних напрямків (додаток И, табл. И.6), хоча коефіцієнт завантаження практично на всіх рейсах є високим (близько 80%).

Результати дослідження пасажиропотоків на авіамаршрутах основних аеропортів України показали, що кількість перевезених пасажирів знаходиться, в основному, в діапазоні від 1 тис.пас. до 50тис. пас. на рік (рис. 4.19).

Протяжність основної частини авіамаршрутів становить від 800 км до 2000км. Помітна також тенденція до зменшення загального обсягу пасажиропотоку на мережі зі збільшенням протяжності авіамаршруту, що можна пояснити незначним обсягом пропозиції далекомагістральних рейсів з боку авіакомпаній і перевагою, яку віддають пасажирів України трансферним рейсам через Москву і європейські хаби. Частота рейсів на авіамаршрутах з аеропортів України також має тенденцію до зниження зі збільшенням протяжності (рис. 4.20, а, б), хоча більшою мірою визначається економічними зв'язками та іншими факторами.

Отже, стратегіями щодо формування мережі маршрутів авіакомпаній, які працюють в АТС України, можуть бути:

- 1) виходячи з бізнес-моделі фідерного перевізника для європейських авіакомпаній, оптимізувати розклад рейсів за основним напрямками (Москва (за умови стабілізації політичної ситуації), Франкфурт, Лондон, Тель-Авів, Відень, Прага, Варшава) за критерієм «мінімальний стикувальний час» для трансферу на далекомагістральні рейси. Дана стратегія потребує глибокого дослідження трансферного пасажиропотоку, пунктом відправлення чи призначення якого є Київ, Донецьк, Одеса, Дніпропетровськ, Сімферополь, Львів, Харків;

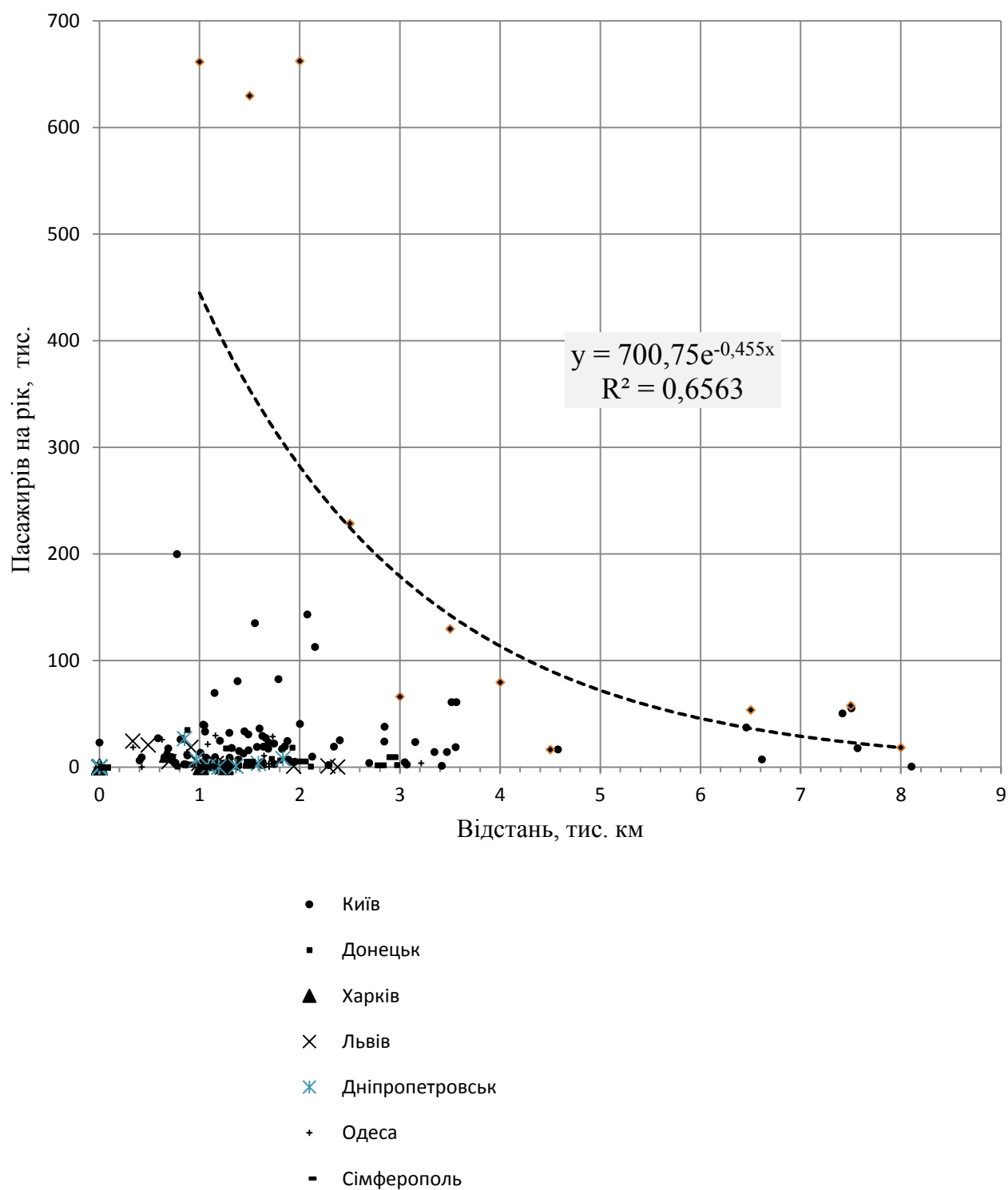
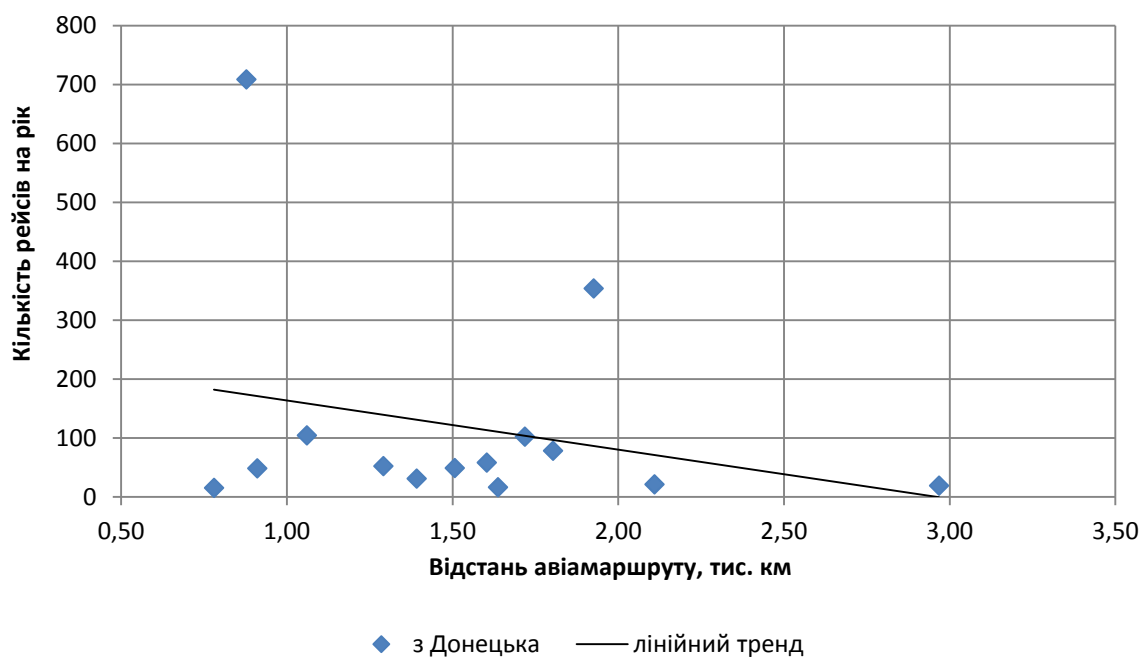


Рисунок 4.19 – Розподіл пасажиропотоку за протяжністю авіамаршрутів
(складено за даними ICAO, 2011 р.)



а)



б)

Рисунок 4.20 – Частота рейсів на рік в залежності від протяжності авіамаршрутів (складено за даними ІКАО за 2011 р.):

а) кількість рейсів із Києва; б) кількість рейсів із Донецька

2) розвивати власну мережу далекомагістральних рейсів, але орієнтуючись на основну частину пасажиропотоку, який формується не в Україні, а за кордоном. Тобто розвивати основні аеропорти України як якісні трансферні вузли. Згідно з проведеним вище аналізом економічного становища в Україні, внутрішній попит на авіап перевезення є ще досить слабким і значне збільшення його не передбачається. Дана стратегія передбачає значні вкладання в розвиток парку далекомагістральних ПС авіакомпаній, адже аналіз показав, що українські авіакомпанії мають переважно близько- та середньомагістральні ПС. При цьому також треба оптимізувати розклад за критерієм «мінімальний стикувальний час», розробити відповідні конкурентоздатні тарифи.

4.3 Результати аналізу ефективності функціонування авіатранспортної системи України

Аналіз ефективності функціонування АТС України було проведено за методом запропонованим у п. 2.2.1, який базується на теорії складних мереж. Вхідні дані наводяться у файлах з відповідними розрахунками у Microsoft Excel на компакт-диску.

Ступені вузлів (див. формулу (2.19)).

Аналіз авіатранспортної мережі України G проводився за даними 2011 р. Мережа включала $N = 96$ вершин ($X = \{1, 2 \dots 7\}$ українських та $Y = \{1, 2 \dots 89\}$ зарубіжних аеропортів) та $E = 1070$ ребер, які означають наявність прямих рейсів між аеропортами мережі. Середня ступінь мережі становила $\langle k_N^G \rangle = \frac{2E}{N} = 22,06$, тимчасом як максимальний ступінь аеропорту «Бориспіль» дорівнював 86 (табл. 4. 9).

Для порівняння зазначимо, що під час вивчення світової авіатранспортної мережі за статистичними даними ІАТА за 2002 р. [296] максимальне значення ступеня вузла становило 318. Понад 300 прямих авіамаршрутів (якщо розглядати світову АТС) мають деякі аеропорти Європи, що входять у множину

Y, наприклад: Хітроу (LHR); Франкфурт-на-Майні (FRA); Schwechat International (VIE).

Таблиця 4.9 – Результати розрахунків показників, які характеризують ефективність функціонування АТС України (використано дані ICAO, 2011 р.)

Вузол	k_x	k_{nn}^x	$k_{nn,w}^x$	s_x	$B(x)$	c_x	c_x^w
Київ	86	76,55	131,9	24787	0,724	0,249	0,24
Донецьк	15	96,07	191,35	1663	0,002	0,514	0,41
Харків	4	72,25	200,75	583	0,000	0,667	0,59
Львів	13	110,54	89,52	1570	0,003	0,513	0,16
Дніпропетровськ	8	86,38	202,43	1261	0,000	0,571	0,39
Одеса	21	58,71	130,20	2888	0,016	0,448	0,23
Сімферополь	8	111,88	175,66	551	0,002	0,500	0,27
C_x^G						0,49	0,32
r_{xy}						-0,68	

Ступені вузлів підмножини X мають рівномірний розподіл. З урахуванням вузлів підмножини Y ступені вузлів наближаються до степеневому закону розподілу ймовірностей (рис. 4.21), що є відмітною рисою багатьох складних систем і відповідає моделі безмасштабної мережі, головна відмінна риса якої – це існування вузлів-концентраторів (хабів), ступінь яких дуже велика е порівнянні зі ступенями інших вузлів. Нагадаємо, що природа степеневих законів розподілу пов'язана з сильною взаємозалежністю подій, що відбуваються.

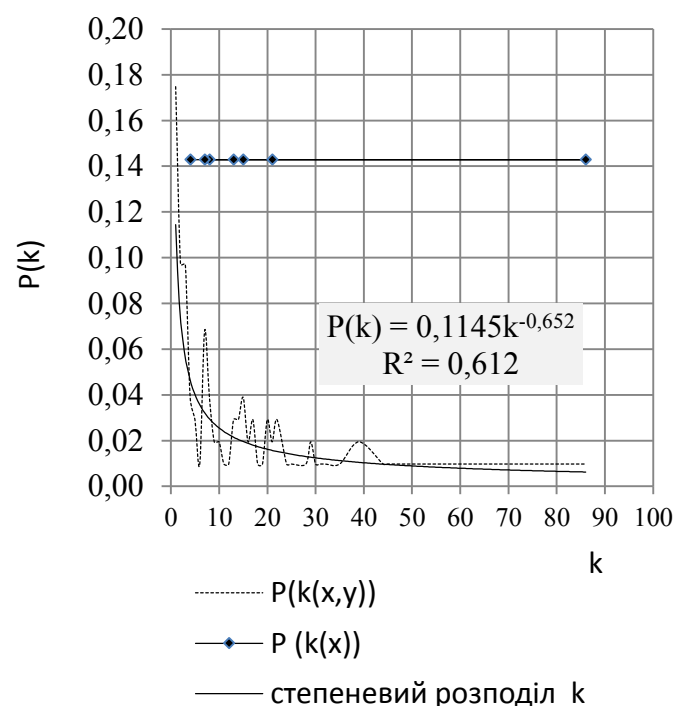


Рисунок 4.21 - Розподіл ступеня вузлів в мережі G

Сила вузлів (див. формулу (2.22))

Кількість рейсів із Києва значно більша, ніж з регіональних аеропортів. Значними за силою вузла є також аеропорти «Одеса», «Донецьк», «Львів» і «Дніпропетровськ».

Співвідношення ступеня і сили вузлів підмножини X добре описується поліноміальним трендом другої степені (рис. 4.22):

$$s(x) = 2,324k^2(x) + 88,885k(x) - 44,862 \quad (4.1)$$

$$R^2 = 0,999$$

Залежність (4.1) дає змогу зробити прогноз можливої зміни кількості рейсів з аеропортів України в залежності від зміни кількості авіамаршрутів у мережі.

Показник навантаження вузла (див. формулу (2.25))

За показником B_x , значущим за зв'язками (навантаження) є, крім аеропорту «Бориспіль», ще й аеропорт «Одеса». Однак значення даного показника для цих аеропортів є непорівнянні. Місто Київ залишається єдиним навантаженим (важливим) пунктом у розвитку авіатранспортної мережі України.

Коефіцієнт кластеризації (див. формулу (2.20))

Характеристику вторинних зв'язків українських аеропортів було отримано при розрахунках середнього коефіцієнту кластеризації авіатранспортної мережі України C_x^G , який дорівнює 0,49. Ця характеристика визначає середню частку пар аеропортів-сусідів вершини x , які є сусідами один одного, тобто

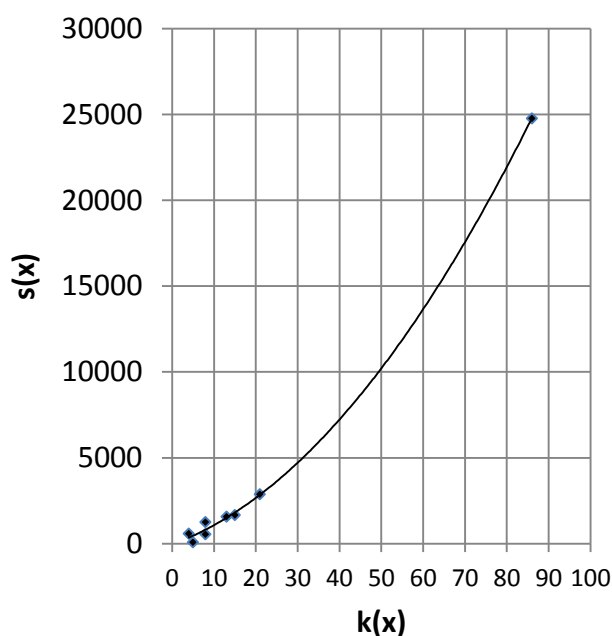


Рисунок 4.22 –
Співвідношення ступеня і
сили вузлів підмножини X

характеризує частку зв'язків між аеропортами підмножини Y . «Бориспіль» має найнижчий коефіцієнт кластеризації, що дорівнює 0,249, а це свідчить про велику кількість зв'язків (авіамаршрутів) з аеропортами, які не мають зв'язків між собою.

Показники аеропортів (вузлів) за ступенем, силою і завантаженістю дають змогу кількісно оцінити їх роль у мережі країни, а низькі показники регіональних вузлів підтверджують необхідність розробки стратегій реалізації (або ліквідації) наявного потенціалу.

Середній ступінь найближчих сусідів вершини x (див. формулу (2.26))

За результатами розрахунків (див. табл. 4.9) середній ступінь найближчих сусідів вершини k_{nn}^x зменшується зі збільшенням k_x (рис. 4.23), тобто вузли з високим ступенем (Київ, Одеса) зв'язуються з вузлами з низьким ступенем (наприклад, Батумі, Астана, Бішкек, Кельн та інші). І в цьому разі мережа демонструє дисасортативне змішування. Розрахований за формулою (2.28) коефіцієнт Пірсона $r_{xy} = -0,68$ дає змогу кількісно оцінити тенденцію до дисасортативного змішування в авіатранспортній мережі України і стверджувати, що дана тенденція є переважаючою.

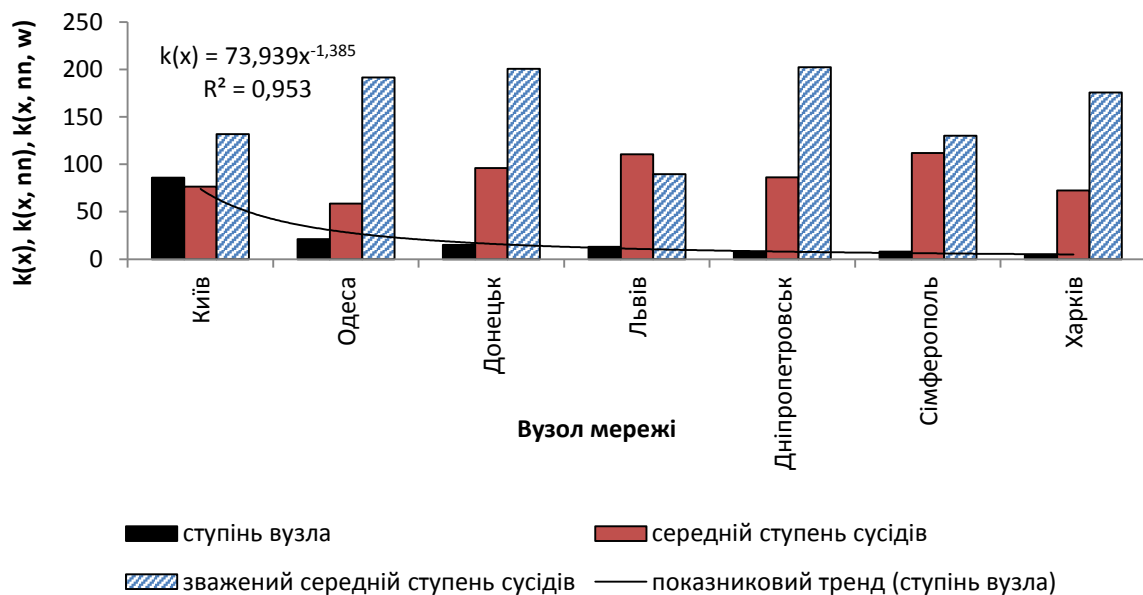


Рисунок 4.23 – Тенденція співвідношення показників k_x , k_{nn}^x , $k_{nn,w}^x$

Визначені показники розвитку авіатранспортної мережі України дають підстави кількісно підтвердити невідповідність функціонування та розвитку аеропорту «Бориспіль» хабовій стратегії на європейському ринку. І однією з причин невідповідності може бути існуюча мережа АТС, сформована українськими та іноземними авіакомпаніями.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Встановлено, що стан транспортної та логістичної інфраструктури, соціально-економічні показники розвитку України на протязі останніх двадцяти років не сприяли активному розвитку авіаційних перевезень. Обсяг існуючого попиту на послуги аеропортів України є значно нижчим за їх пропускну спроможність, що має враховуватися при подальшому моделюванні функціонування та стратегії розвитку мережі аеропортів даної АТС.

2. Виявлено, що залежність частки ринку від частки пропонованої ємності парку ПС авіакомпанії МАУ була практично лінійною, що формально доводить відсутність прямої конкуренції між авіакомпаніями в Україні на момент дослідження.

3. На основі обробки статистичної інформації встановлено, що наявний парк ПС авіакомпаній України розрахований на експлуатацію ближньо- і середньомагістральних авіамаршрутів, причому є тенденція до переходу на регіональні ПС з пасажиромісткістю менше 100 крісел, що може свідчити про орієнтацію авіакомпаній на розвиток структури мережі, яка відповідає бізнес-моделям фідерних або лоу-кост перевізників.

4. Використання методу порівняння дозволило виявити, що коефіцієнт завантаження, який відповідає точці беззбитковості, для авіакомпаній «Донбасаеро», «Дніпроавіа», МАУ протягом 1998–2005 рр. складав 40 %. Такі ринкові умови мала тільки американська бюджетна авіакомпанія Jetblue Airways в 2003 р. Інші європейські та азіатські авіакомпанії мали досягнути комерційного завантаження більше ніж 50–70%. Однак порівняння загальних

показників фактичного коефіцієнту завантаження і коефіцієнта завантаження, який відповідає рівню точки беззбитковості, показав збиткову експлуатацію мережі авіамаршрутів українськими авіакомпаніями, що свідчить про невідповідність або недостовірність та хибність існуючої системи збору даних.

5. За показниками функціонування авіакомпаній встановлено, що в умовах збільшення в складі парку України частки ПС західного виробництва и активної міграції кваліфікованого льотного персоналу за кордон з'явився серйозний дефіцит екіпажів. Останні дослідження ІКАО тільки підтверджують ситуацію, що склалася у світі в цілому, і в Європі зокрема. Через це дорогий людський ресурс повинен враховуватися при побудові математичної моделі функціонування авіакомпанії.

6. Запропонована класифікація аеропортів для попереднього етапу розв'язання проблеми визначення їх пріоритетності у державному фінансуванні. Розроблені ознаки класифікації та приклад класифікації будуть враховані під час моделювання у завданні оцінки ефективності стратегічного розвитку та функціонування мережі аеропортів України.

7. Оцінка ефективності АТС України, яка базувалася на теорії складних мереж, дозволила кількісно підтвердити невідповідність функціонування і розвитку аеропорту «Бориспіль» хабовій стратегії на європейському ринку. Так, середня ступінь мережі українських аеропортів складає 22,06, максимальна – 86 (аеропорт «Бориспіль»), тоді як аеропорти-хаби Європи мають ступінь із значенням більше 300.

За показником «навантаження вузла» із значенням 0,724 вузол Київ залишається єдиним навантаженим (важливим) пунктом у розвитку авіатранспортної мережі України. Другий за даним показником вузол – Одеса – має значення лише 0,016. Але при цьому «Бориспіль» має найнижчий коефіцієнт кластеризації, що дорівнює 0,249. Коефіцієнт Пірсона, який дорівнює -0,68, дав змогу кількісно оцінити тенденцію до дисасортативного змішування в авіатранспортній мережі України і стверджувати, що дана тенденція є переважаючою. Дані показники свідчать про слабкий розвиток

мережі авіамаршрутів з аеропортів України, яка відповідає моделі «від пункту до пункту», в той час як реструктуризація мережі авіамаршрутів, згідно запропонованій моделі аналізу та моделювання АТС, має відповідати визначеним ціннісним орієнтаціям та цілям її функціонування.

Основні наукові результати опубліковано у наукових працях [112-114, 119, 124, 128, 136, 364].

РОЗДІЛ 5

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАКОМПАНІЇ НА МЕРЕЖІ АВІАМАРШРУТІВ

Вступ

Розглянуте в даному параграфі завдання є спільним завданням функціонування і розвитку авіакомпанії з урахуванням її початкового стану і можливих ресурсних і технологічних обмежень. Результати вирішення цього завдання можна розглядати в якості вихідної заявки на купівлю/продаж чи лізинг ПС, плани списання фізично та морально застарілої техніки, а також в якості інтерфейсних входів в програму поточного планування діяльності підсистем АТС.

Нехай задано планований період T . У кожному з підперіодів відомий обсяг перевезень на кожному з розглянутих маршрутів. На початку планованого періоду t_1 є певний парк ПС $P(t_1)$, який в кожному з підперіодів $t \in [1, T]$ може поповнюватися доступними на ринку ПС певних типів. Відомо також початковий стан аеропортів $X(t_1)$, тобто клас кожного аеропорту. Необхідно визначити таку динаміку зміни: структури мережі авіамаршрутів $A(t)$, стану аеропортів $X(t)$ та складу парку ПС $P(t)$, щоб задовольнити попит населення і галузей економіки на авіаційні перевезення з максимальною ефективністю

$$F(P(t), X(t), A(t)), \quad (5.1)$$

де $P(t)$, $X(t)$ та $A(t)$ – вектор-функції розвитку трійки відповідних підсистем АТС.

Досвід розв’язання подібного роду завдань [1, 35, 51, 90, 351, 410] показує, що в такій постановці вище сформульоване завдання (5.1) практично не вирішується. Тому на підставі принципів декомпозиції операційних моделей у

часі і функціональному просторі це складне завдання розбивається на ряд взаємопов'язаних завдань більш простої структури і меншої розмірності.

Іншими словами, є мета – авіаційні перевезення, які необхідно виконати, і відомі засоби досягнення цієї мети – підсистеми і процеси АТС, які мають бути такими, щоб мета була досягнута найбільш ефективним чином з урахуванням ряду релевантних факторів.

Насамперед, слід виділити *фактор часу*. З плином часу змінюються попит на авіаперевезення, вартісні та експлуатаційні параметри ПС. Крім того, часовий лаг необхідно враховувати при підрахунку зведених витрат. Проблематичним залишається питання про вибір відрізка часу (підперіоди), який враховується в показниках моделі. Мабуть, тут слід керуватися наступними міркуваннями:

- тривалість планового періоду T ;
- точність використовуваної інформації;
- звітність і періодичність прийняття планових рішень в підсистемах АТС;
- можливості існуючих програмних і апаратних обчислювальних засобів;
- характер залежності авіаційних перевезень та інших показників від часу (річна циклічність, квартальна сезонність тощо).

Звичайно, попит на авіаперевезення змінюється щомісяця або, точніше, з дня на день. І в ідеалі за масштаб часу слід було б прийняти добу. Проте, перераховані вище міркування і, зокрема, обмежені можливості аналізу, заснованого на застосуванні відповідних математичних методів, не дозволяють цього зробити. У подібних випадках в теорії багаторівневих ієрархічних систем і дослідженні операцій рекомендується вибирати змінний масштаб часу в залежності від часової декомпозиції вихідної моделі. Якщо, наприклад, $T \geq 5$ то відповідна математична модель, як це показано в багатьох роботах [97, 147, 193], містить лише середньорічні показники, хоча це зовсім не виключає вибір і іншого масштабу часу. Якщо $T \leq 1$ то, зазвичай, масштаб часу дорівнює кварталу, місяцю, декаді і т. п.

Наступний релевантний фактор – *структура мережі авіамаршрутів*. Від неї залежить щільність пасажиропотоку, а отже, економічність перевезень, так як із збільшенням щільності потоку зменшуються питомі витрати на маршруті. Ясно, що змінюючи конфігурацію мережі маршрутів $Z(t)$, а, отже, протяжність окремих ділянок маршруту, можна впливати на функціонування авіакомпанії через парк ПС $P(t)$.

Фактор *стан аеропорту* визначається за значеннями параметрів ЗПС (див. табл. 4.7) і пропускної спроможності аеропорту. Сукупність останніх визначає клас аеропорту і характеризує його «можливості прийняття», тобто множину типів ПС, які можуть обслуговуватись в даному аеропорту. Прийнято розрізняти два види пропускної спроможності аеропорту: по інтенсивності пасажиропотоку та інтенсивності зльотів-посадок ПС. Величиною пасажиропотоку в аеропорту частково можна управляти, варіюючи структуру мережі $Z(t)$. Але якщо остання фіксована, а щільність пасажиропотоку перевищує пропускну спроможність аеропорту, то потрібна його реконструкція.

Пропускна спроможність аеропортів може вплинути на розмірність (за комерційним навантаженням) ПС, які залучаються авіакомпаніями до складу свого парку. Зі збільшенням числа перевантажених аеропортів очевидне зростання потреби у складі парку авіакомпаній ПС великої пасажиромісткості.

Якщо взяти до уваги ту обставину, що з року в рік оновлюється лише незначна частина парку ПС, стане очевидною необхідність урахування *початкового парку* в моделях ефективного функціонування авіакомпанії.

Загальновідома залежність пасажирського попиту від *частоти рейсів*, досліджена багатьма авторами [332, 342, 351], вказує на важливість дотримання вимог щодо мінімальної частоти рейсів, так як інакше порушується коректність постановки завдання в цілому. Дійсно, не витримавши цих вимог, не можна гарантувати фіксованих у моделі обсягів перевезень. Крім того, вимоги по мінімальній частоті рейсів на маршрутах з малим пасажиропотоком тісно

пов'язані з пасажиромісткістю ПС: щоб забезпечити прийнятну частоту рейсів доводиться залучати ПС малої пасажиромісткості.

І нарешті, останній фактор – це *авіамаршрут*, який можна описати за допомогою наступних параметрів:

- географічне розташування;
- протяжність;
- обсяг перевезень;
- число і тип посадки (технічна, комерційна);
- мінімальна (рекомендована) частота рейсів;
- параметри аеропортів, через які пролягає маршрут (географічне розташування, прийнятність ПС, пропускна спроможність щодо ПС і пасажирів тощо).

Проаналізуємо параметри маршруту з точки зору їх впливу на характеристики ПС, а, в кінцевому рахунку, на АТС в цілому.

Від географічного розташування маршруту залежить поясний час, який необхідно враховувати в розрахунках річного нальоту ПС.

Із збільшенням протяжності маршруту в загальному випадку рейсова швидкість, а значить і річна продуктивність ПС начебто повинні збільшуватися. Однак при розгляді конкретного маршруту можливий зворотний ефект через зменшення річного нальоту ПС. Протяжність маршруту або окремих його ділянок істотно впливає на типаж ПС, які можуть експлуатуватися на цьому маршруті.

Географічне розташування аеропорту (висота над рівнем моря, «роза вітрів», температура повітря) впливає на комерційне завантаження ПС і рейсові витрати пального. Останні залежать також від завантаженості аеропорту, яка визначає регулярність польотів і час затримок в районі аеропорту. Можливості прийняття аеропорту, скажімо, за характеристиками ЗПС формує типаж ПС, які можна експлуатувати на даному маршруті. Фактор базування впливає на собівартість технічного обслуговування ПС.

Таким чином, виявивши релевантні чинники і на підставі принципу декомпозиції операційних моделей великої розмірності вихідне завдання можна поділити на ряд взаємопов'язаних завдань більш простої структури і відповідно меншої розмірності:

- прогнозування попиту на авіаційні перевезення;
- моделювання функціонування авіакомпаній;
- формування мережі авіамаршрутів;
- оптимізації доходів авіакомпанії;
- взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі.

5.1 Прогнозування попиту на авіаційні перевезення в Україні

Довгострокове прогнозування є важливим науково-практичним етапом у визначенні стратегії розвитку АТС. Щоб формулювати множину цілей, розробляти і планувати ефективне функціонування АТС, необхідно враховувати можливі сценарії як розвитку і самоорганізації даної системи, так і впливу зовнішнього середовища, зовнішніх і внутрішніх випадкових факторів. Проблема довгострокового прогнозування авіаперевезень в Україні полягає у високому ступені невизначеності розвитку підсистем АТС і соціально-економічного середовища, яке багато в чому, як було визначено в п. 4.2.1, формує обсяги попиту.

Один із довгострокових прогнозів авіаперевезень в Україні до 2020 р. був виконаний у рамках Концепції розвитку аеропортів [88]. На основі даних за 2007 р. (річний приріст пасажиропотоку в аеропортах України тоді становив 23,4 % і досяг 9,2 млн осіб), було зроблено припущення про те, що у 2015 р. обсяг авіаперевезень в Україні становитиме 38,3 млн, а у 2020 р. – 70,6 млн пасажирів. Тобто до 2015 р. закладався рівень приросту 19% на рік, а на період з 2015 по 2020 р. – 13%. Даний прогноз потребував корегування, адже проста екстраполяція середнього рівня зростання не враховувала основних факторів, що формують попит. Зокрема, на сьогодні необхідно врахувати падіння

пасажиропотоку аеропортів України у 2009 р., яке становило 16,2% внаслідок соціально-економічної кризи, та скорочення обсягів перевезень на початок 2014р. у зв'язку з військово-політичною ситуацією в державі, анексією Криму і погіршенням загального стану економіки.

Для визначення довгострокової перспективи розвитку авіаперевезень в Україні були використані дані ДКС щодо обсягів пасажирських авіаперевезень і дані ДАС щодо пасажиропотоків аеропортів (п. 4.2.1). Крім того, після попереднього аналізу були сформульовані гіпотези про фактори, що впливають на обсяги пасажирських авіаперевезень, та визначено їх показники (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Статистичні дані для розробки прогнозних моделей

Рік	Перевезено пасажирів, тис. осіб [45]	Пасажиропотоки аеропортів України, тис. осіб [197]	ВВП на душу населення, грн/особу [45]	Кількість іноземних громадян, що відвідали Україну, тис. осіб [45]	Питомий дохід авіакомпаній України, центів/ткм (за даними ІКАО)
1996	1724	н/д	1595	н/д	67,05
1997	1484,5	н/д	1842	н/д	77,23
1998	1163,9	н/д	2040	н/д	79,75
1999	1087	н/д	2614	н/д	141,82
2000	1164	н/д	3436	6430,94	105,19
2001	1289,9	н/д	4195	9174,166	131,78
2002	1767,5	3342,1	4685	10516,67	127,65
2003	2374,7	4254,8	5591	12513,88	101,26
2004	3228,5	5494,8	7273	15629,21	56,73
2005	3813,1	6439,8	9372	17630,76	н/д
2006	4350,9	7441,8	11630	18935,78	122,53
2007	4928,6	9186,2	15496	23122,16	85,93
2008	6181	10686,9	20495	25449,08	126,85
2009	5131,2	8954,9	19832	20798,34	94,92
2010	6106,5	10242,5	23600	21203,33	88,91
2011	7504,8	12464,8	28488	21415,30	108,75
2012	8106,3	14107,0	31051	23012,82	114,33
2013	8107,2	15133,0	33095	24671,22	н/д

Вантажні перевезення в дослідженні не розглядалися через те, що наявна статистична база не показала їх достатньої кореляції з жодним із розглянутих економічних показників (експорт, імпорт, питомий дохід авіакомпаній та інші). Крім того, сильні коливання обсягів вантажних авіаперевезень не дають можливості застосувати навіть метод екстраполяції часових рядів. Враховуючи незначні обсяги в ретроспективному періоді, вважатимемо, що зростання вантажних перевезень не перевищить наявних потужностей авіакомпаній і модернізованих вантажних терміналів аеропортів.

Розробка економетричних моделей

Для розробки довгострокового прогнозу були протестовані однофакторні і багатфакторні регресійні моделі в різних функціональних формах. Модель визначення обсягу авіаперевезень в Україні можна записати таким чином:

$$Pax \vee PaxFlow = \alpha + \beta_1 e_1 + \beta_2 e_2 + \beta_3 e_3, \quad (5.2)$$

де $Pax \vee PaxFlow$ – кількість перевезених пасажирів авіакомпаніями України або пасажиропотік аеропортів України, тис. осіб;

α – статистичний параметр;

β – вектор коефіцієнтів регресії;

e_1 – показник, що характеризує економічний розвиток країни (були розглянуті: ВВП на душу населення, грн/особу; середньомісячна заробітна плата в розрахунку на одного штатного працівника, грн/особу; прямі іноземні інвестиції, грош. од.);

e_2 – кількість іноземних громадян, які відвідали Україну;

e_3 – питомий дохід від авіаперевезень (центів США на зведений т-км).

Розрахунки за (5.2), засновані на ретроспективному періоді з 1996 по 2013р., показали, що обсяг пасажирських перевезень високо корелює з усіма розглянутими вище економічними показниками (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,92 \div 0,98$). Також отримана тісна залежність між обсягом пасажирських авіаперевезень і кількістю іноземних туристів ($R^2 = 0,82$), тимчасом гіпотеза

про залежність від питомої прибутковості авіакомпаній не підтвердилася, оскільки R^2 становив лише 0,04.

Серед розглянутих моделей були відібрані такі:

$$Pax = 0,226 GDP_{pc} + 1052,04, \quad (5.3)$$

$$R^2 = 0,9604; \quad t(0,05; 12) = 1,7823 < t_{GDP_{pc}} = 17,07; \quad DW = 0,583 < d_l = 1,05;$$

$$Pax = 0,167 GDP_{pc} + 0,119 Tourism - 165,536, \quad (5.4)$$

$$R^2 = 0,983; \quad t(0,05; 11) = 1,7959 < t_{GDP_{pc}} = 10,76, t_{Tourism} = 4,45; \quad DW = 1,32 > d_l = 0,91;$$

$$PaxFlow = 0,367 GDP_{pc} + 2528,41, \quad (5.5)$$

$$R^2 = 0,958; \quad t(0,05; 11) = 1,7959 < t_{GDP_{pc}} = 17,10; \quad DW = 0,774 < d_l = 0,97;$$

$$PaxFlow = 0,300 GDP_{pc} + 0,182 Tourism + 151,241, \quad (5.6)$$

$$R^2 = 0,981; \quad t(0,05; 9) = 1,8331 < t_{GDP_{pc}} = 9,75, t_{Tourism} = 2,8; \quad DW = 0,67 < d_l = 0,81,$$

де GDP_{pc} – ВВП на душу населення, грн/особу;

$Tourism$ – кількість іноземних громадян, які відвідали Україну, тис. осіб;

t – тестова статистика (t -критерій Стюдента);

DW – статистика Дурбіна-Уотсона.

Моделі (5.3), (5.5), (5.6) мають високі коефіцієнти детермінації, що говорить про адекватний опис залежності обсягів перевезень від розглянутих пояснювальних змінних. t -статистика також свідчить про наявність статистичної значущості обраних факторів. Однак статистика Дурбіна-Уотсона вказаних вище моделей свідчить про автокореляцію, що суперечить

припущенню про незалежність помилок регресійної моделі. Відомі випадки, коли для складання національних прогнозів застосовувалися економетричні моделі, які не задовольняли критерій статистики Дурбіна-Уотсона, наприклад, для прогнозу авіаперевезень в Індії [347, с. III-12]. Результати прогнозу, отримані за допомогою таких моделей, потім порівнювалися з прогнозами, отриманими альтернативними методами.

Модель (5.4) відповідає всім статистичним критеріям, що є підтвердженням високої якості моделі і можливості її застосування для розробки довгострокового прогнозу.

Для довгострокового прогнозування на 25–50 років ІКАО рекомендує використовувати логістичну криву, яка враховує періоди розвитку ринку: зародження, активний розвиток, насичення. Модель логістичної кривої записується в такий спосіб [347, с. I-37]:

$$PaxVPaxFlow(t) = \frac{K}{1 + \alpha \exp(-bt)}, \quad (5.7)$$

де t – час;

K – оцінний параметр (асимптота),

b – фактор росту;

α – константа.

Як зазначено в [347], оцінювання невідомих параметрів моделі (5.7) може бути проведене на основі їх економічного змісту, а саме:

K – потенційна місткість ринку;

b – середній темп приросту в перші роки (у відносних показниках);

α – відносний потенціал приросту в момент $t = 1$, який можна визначити за формулою:

$$\alpha = \frac{K - PaxVPaxFlow_1}{PaxVPaxFlow_1}. \quad (5.8)$$

Для визначення K пропонується використовувати показники ринку авіаційних перевезень у розвинених країнах, схожих за культурними особливостями та географічним характеристикам, наприклад, Франції, Німеччини, Туреччини. У разі прогнозування пасажиропотоку в аеропортах України асимптота може бути визначена сумарною максимальною пропускною спроможністю вузлів, адже основні з них були істотно модернізовані під час підготовки до Євро-2012.

Розрахунки, проведені на підставі припущень, викладених у табл. 5.2, показали, що у 2020 р. обсяг пасажирських перевезень авіаційним транспортом України може досягти близько 11,2 млн. пас. при оптимістичному сценарії (табл. 5.3), або – 8,6 млн пас. при найбільш ймовірному (рис. 5.1). Середньорічний приріст обсягів, отриманий при використанні моделі (5.4), становить $1,15 \div 4,77\%$ в залежності від сценарію розвитку соціально-економічного середовища.

Таблиця 5.2 – Припущення, зроблені при розрахунках з використанням моделей (5.3)–(5.7)

Припущення	Прогноз							Середньорічний приріст,%
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
1. ВВП на душу населення (GDP_{pc}), % приросту								
Найбільш імовірний [12]	-6,5	-1,9	3,1	1,5	2,0	2,0	2,0	0,31
Оптимістичний [187]	-2,0	2,2	5,0	3,4	3,4	3,4	3,4	2,69
2. Кількість іноземних громадян, які відвідали Україну ($Tourism$), % приросту								
Найбільш імовірний [249]	-20	-15	10	10	10	10	10	2,14
Оптимістичний	-12	-10	15	15	15	15	15	7,57
3. Потенційна ємність авіаційного ринку України ($K_i, i = \overline{1,4}$)								
На прикладі Франції, 2012 р., перевезено тис. осіб [283]								60158,458
На прикладі Німеччини, 2012 р., перевезено тис. осіб [283]								110575,821
На прикладі Туреччини, 2012 р., перевезено тис. осіб [283]								63350,312
Приблизна максимальна пропускна спроможність аеропортів України (розрахована, виходячи із заявлених на офіційних сайтах пропускних спроможностей пасажирських терміналів ¹), тис. пас.								40000,000

¹ Виключаючи аеропорти Донецька та АРК.

Орієнтація на ємність ринків розвинених країн і використання моделі (5.7) дає змогу зробити надзвичайно оптимістичний прогноз, при якому обсяги у 2020 р. можуть зрости від 20,79 млн пас. (з урахуванням обмежень по пропускній спроможності аеропортів України) до 30,68 млн. пас. (з орієнтацією на дані щодо ємності авіаринку в Німеччині).

Що стосується пасажиропотоку аеропортів України, то найімовірнішим можна вважати результат, отриманий за допомогою моделі (5.6), –15,1 млн пас. у 2020 р. Даний показник відповідає середньому приросту 0,31% на рік, що є відображенням складного політичного та соціально-економічного середовища в Україні.

Таблиця 5.3 – Довгостроковий прогноз обсягів пасажирських авіаперевезень в Україні

Модель сценарій /	Прогноз							Середньорічний приріст, %
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
(5.3)	Обсяг перевезень, млн пас.							
Найбільш імовірний	8,045	7,912	8,125	8,231	8,375	8,521	8,671	0,98
Оптимістичний	8,382	8,543	8,918	9,185	9,462	9,748	10,043	3,11
(5.4)	Обсяг перевезень, млн пас.							
Найбільш імовірний	7,351	6,900	7,257	7,555	7,903	8,277	8,679	1,15
Оптимістичний	7,834	7,695	8,321	8,919	9,585	10,327	11,155	4,77
(5.5)	Пасажиропотік аеропортів, млн пас.							
Найбільш імовірний	13,88	13,67	14,01	14,19	14,42	14,66	14,90	-0,13
Оптимістичний	14,43	14,69	15,30	15,74	16,18	16,65	17,13	3,69
(5.6)	Пасажиропотік аеропортів, млн пас.							
Найбільш імовірний	13,03	12,31	12,90	13,38	13,94	14,54	15,18	0,31
Оптимістичний	13,83	13,65	14,68	15,65	16,72	17,91	19,24	3,69
(5.7)	Обсяг перевезень, млн пас.							
$K_1 = 60,1$ млн пас.	12,25	14,00	15,91	17,99	20,22	22,57	25,02	12,65
$K_2 = 110,5$ млн пас.	13,39	15,54	17,96	20,68	23,71	27,04	30,68	14,82
$K_3 = 63,3$ млн пас.	12,36	14,15	16,12	18,25	20,55	22,99	25,54	12,86
$K_4 = 40,0$ млн пас.	11,19	12,61	14,13	15,73	17,39	19,08	20,79	10,88
	Пасажиропотік аеропортів, млн пас.							
$K_4 = 40,0$ млн пас.	21,66	23,34	24,97	26,54	28,02	29,40	30,68	5,98

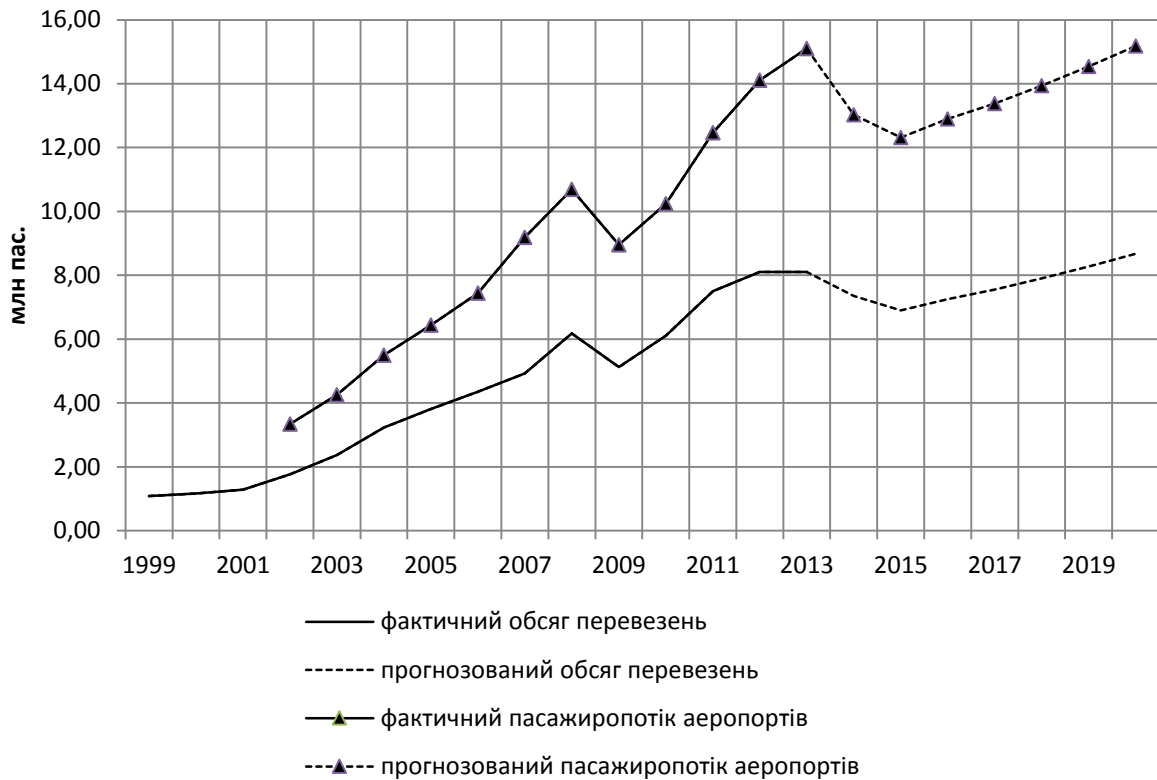


Рисунок 5.1 – Довгостроковий прогноз (найбільш імовірний сценарій) обсягів перевезень авіаційним транспортом і пасажиропотоку аеропортів України

При збереженні позитивної динаміки пасажирообороту в аеропортах України, згідно з моделлю (5.6) також можна очікувати, що цей показник досягне до 2020 р. значення 19,2 млн пас., що відповідає середньорічному приросту 3,69%. Даний сценарій розвитку авіаперевезень відповідає оптимістичним очікуванням.

Модель (5.7) як експеримент була використана для розроблення прогнозу до 2030 р. Розрахунки за даною моделлю показали, що, за умови збереження умов розвитку ринку авіаційних перевезень в Україні, пасажиропотоки на рівні 35–40 млн можна очікувати у 2030 р. (рис. 5.2).

Якщо як прототип брати рівень авіаперевезень розвинених країн, то, за сприятливих умов розвитку, ємність ринку України у 2030 р. може досягти від 34,2 до 75,1 млн пас. (рис. 5.3).

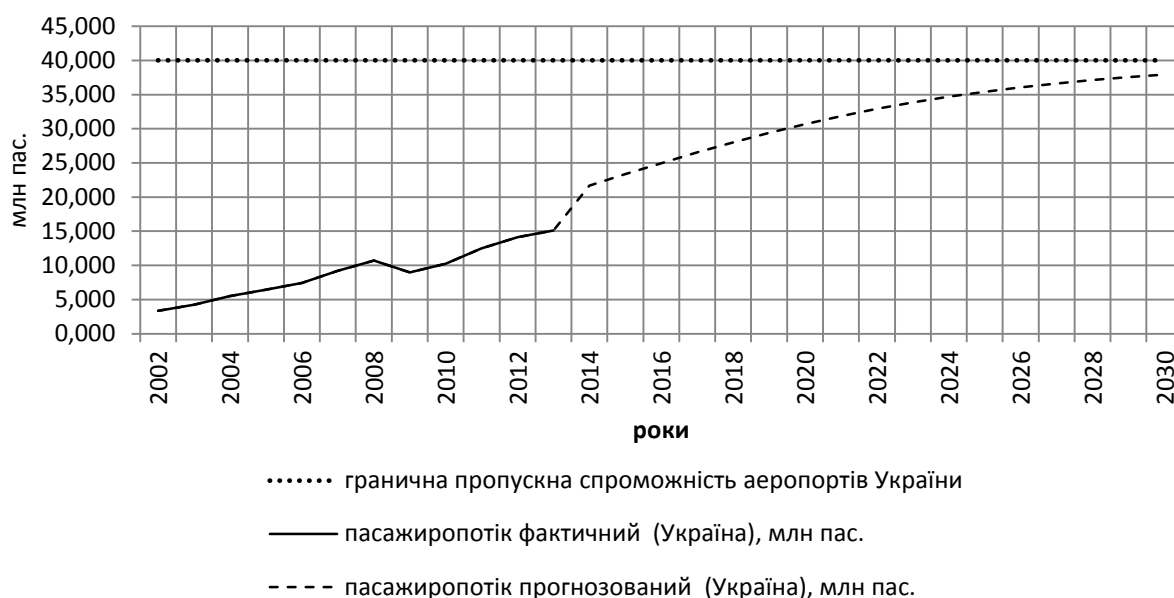


Рисунок 5.2 – Довгостроковий прогноз пасажиропотоку аеропортів України, отриманий при використанні моделі (5.7)

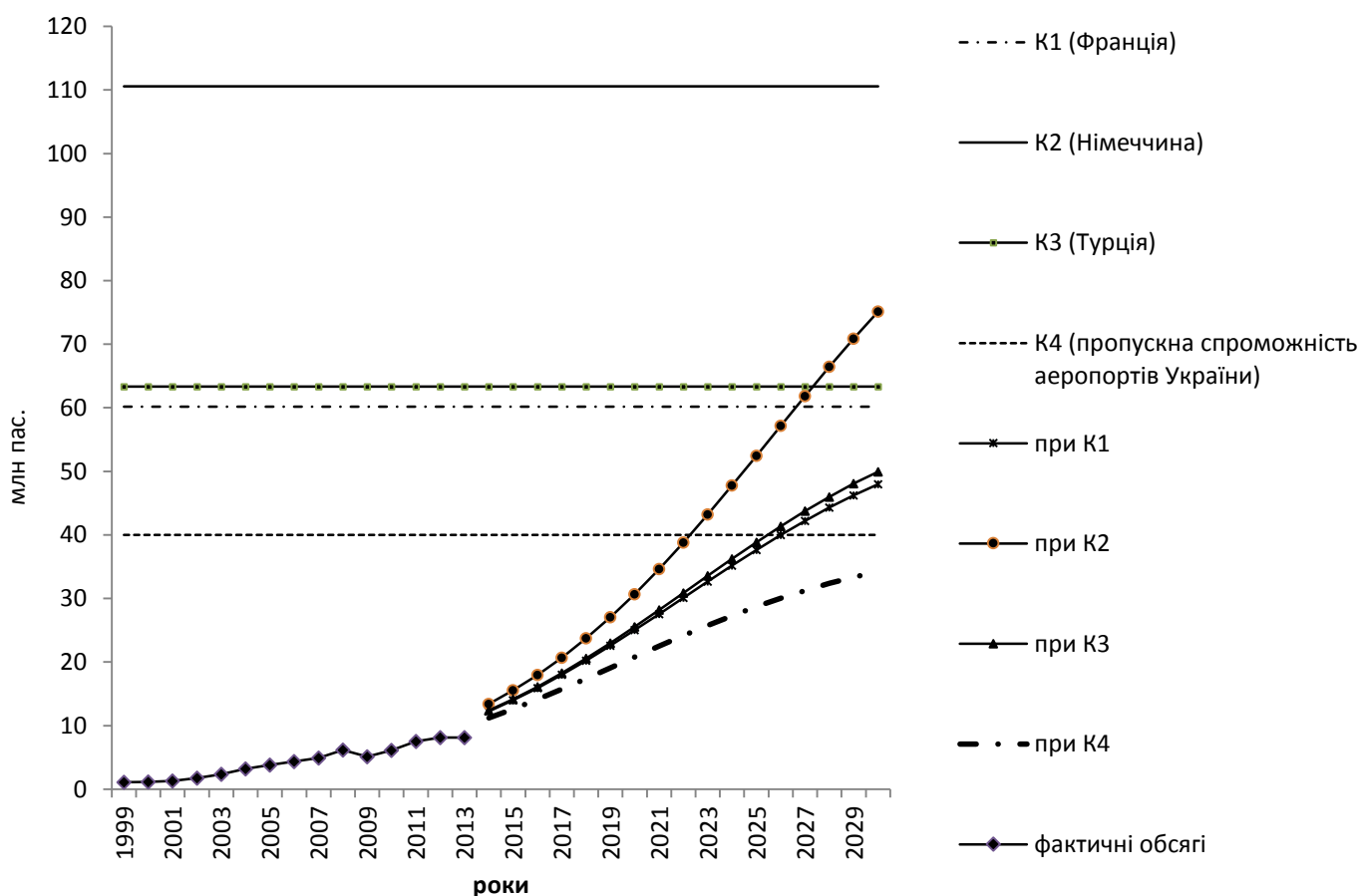


Рисунок 5.3 – Довгостроковий прогноз обсягів пасажирських перевезень авіакомпаній, отриманий при використанні моделі (5.7)

5.2 Моделювання функціонування авіакомпанії

5.2.1 Детермінована модель функціонування авіакомпанії для випадку стратегічного планування

У дисертації розглядаються дві динамічні моделі функціонування авіакомпанії: перша (у даному параграфі) – для випадку стратегічного планування, друга (в п. 5.2.2) для випадку поточного планування.

Одне з основних завдань, яке стоїть перед авіакомпанією, полягає в тому, щоб протягом планового періоду часу отримати максимальний прибуток при заданій величині капітальних вкладень в парк ПС. Цим і визначаються економічні цілі авіакомпаній. Однак успіх виконання їх залежить від великого числа складних і взаємозалежних факторів, що стосуються питань економіки авіаційного транспорту, розвитку авіатехніки, прогнозування попиту на авіаційні перевезення і т. д. Врахування цих факторів та прийняття правильного рішення є надзвичайно складним динамічним завданням, що вимагає глибокого і всебічного вивчення. Для того, щоб продемонструвати принципи побудови динамічних моделей від початку до кінця в даній роботі найбільш повно розглядається дещо спрощений опис цього завдання при досить загальних припущеннях.

Нехай задано планований період T . В кожному році $t \in [1, T]$ відомий очікуваний обсяг перевезень на кожному з розглянутих на мережі маршрутів $Z(t)$. На початку планованого періоду t_1 є певний парк ПС $P(t_1)$ із заданими техніко-економічними характеристиками і відомий клас кожного аеропорту $X(t_1)$. Відомі середньорічні експлуатаційні витрати, пов'язані з авіаперевезеннями і капітальні вкладення, пов'язані з придбанням ПС. Необхідно вибудувати стратегію розвитку авіакомпанії таким чином, щоб при заданих обмеженнях на фінансові, матеріальні, людські та технічні ресурси виконати перспективний план з авіаперевезень при екстремальному значенні деякого заздалегідь обраного критерію ефективності (вибрано концепцію (2.7))

із (2.6)–(2.8)). Тут під технічними ресурсами розуміються обмежені поставки авіаційної техніки, частота польотів, пропускна спроможність і клас аеропортів.

Позначимо:

d_j – обсяг пасажирських перевезень на маршруті j ,

S_i – кількість пасажирських крісел ПС i -го типу,

η_{ij} – коефіцієнт зайнятості крісел у ПС i -го типу на маршруті j .

В залежності від відношення d_j/S_i і можливості змішування типів ПС на маршруті j залежить величина η_{ij} , а, в кінцевому рахунку, продуктивність ПС i -го типу, яка прямо пропорційна η_{ij} .

Відомо [339], що d_j є увігнутою функцією аргументу v_j – частоти рейсів на маршруті j . Якщо очікувана величина перевезень дорівнює d_j , то тим самим передбачається виконання умови $v_j \geq v_j^*$, де v_j^* – рекомендована частота рейсів. Отже, щоб завжди виконувалося ця умова при достатньому η_{ij} , необхідно управляти величиною пасажиромісткості ПС. Так v_j^* впливає на S_i , що особливо важливо для маршрутів з малим пасажиропотоком. Додаткові коментарі до пропонованої моделі будуть зроблені після формалізованого опису окремих параметрів і змінних і відносин, що їх зв'язують.

Математичну модель функціонування авіакомпанії при стратегічному плануванні можна сформулювати таким чином. Нехай необхідно мінімізувати сумарні витрати, пов'язані з експлуатацією парку ПС авіакомпанії протягом $T \geq 5$ років:

$$TC_{AK} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{a_t} \sum_{i=1}^m \frac{1}{(1-e)^t} \{c_{ijt} q_{ijt} + C_{it} q_{it}^p - O_{it}^T\} \quad (5.9)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^m p_{ijt} q_{ijt} \geq d_{jt}, \quad j = \overline{1, a_t}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.10)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ijt} q_{ijt} \geq v_{jt}^*, \quad j = \overline{1, a_b}, \quad a_b \leq a_t; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.11)$$

$$\sum_{j=1}^{a_t} \varphi_j(q_{ijt}) \leq a_{it} + \sum_{\tau=1}^t \theta_{i\tau t} q_{it}^p, \quad i = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.12)$$

$$\sum_{j=1}^{a_t} r_{ij} q_{ijt} \leq R_{it}, \quad i = \overline{1, m}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{a_{tn}} p_{ijt} q_{ijt} \leq B_n, \quad n = \overline{1, N}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.14)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{a_{tn}} q_{ijt} \leq S_n, \quad n = \overline{1, N}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.15)$$

$$\sum_{i=1}^m c_{it} q_{it}^p \leq K_t, \quad t = \overline{1, T} \quad (5.16)$$

$$q_{ijt} \geq 0, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, a_t}; \quad t = \overline{1, T}, \quad (5.17)$$

$$Y_{it} \geq q_{it}^p \geq 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad t = \overline{1, T} \quad (5.18)$$

де TC_{AK} – сумарні приведені витрати, грош. од.;

$O_{it}^T = f(c_{it}, q_{it}^p, t_i^{ex}, c_i^{liq}, \theta_{i\tau t})$ – залишкова вартість ПС у T -му році, грош.

од.;

$$\theta_{i\tau t} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t - \tau \leq t_i^{ex} - 1 \\ 0, & \text{якщо } t - \tau > t_i^{ex} - 1 \end{cases};$$

$\varphi_j(q_{ijt})$ – функція потрібного числа ПС залежно від кількості рейсів на j -му маршруті в t -му році;

i, j, t, n – індекс: типу ПС, авіамаршруту, підперіода (рік), аеропорту в обслуговуванні мережі, відповідно;

m – число типів ПС у складі парку;

a_t – число маршрутів у мережі в t -му році;

a_b – кількість малозавантажених маршрутів;

q_{ijt} – кількість ПС (невідомо величина);

q_{it}^p – кількість ПС, що придбаються;

- c_{ijt} – операційні витрати одного ПС, грош. од. за рік ;
 C_{it} – вартість ПС, грош. од.;
 e – ставка дисконту;
 p_{ijt} – середньомісячна рейсова продуктивність ПС, пас./рейс;
 v_{ijt} – частота рейсів ПС i -го типу, рейсів за рік ;
 r_{ij} – середньомісячна необхідність в екіпажах на рейси по j -му маршруту на i -му типі ПС;
 d_{jt} – середньорічний попит пасажирів;
 v_{jt}^* – частота рейсів на малозавантажених маршрутах;
 a_{it} – залишок від числа ПС в початковому парку в році $t > t_1$;
 Y_{it} – максимально можливі поставки ПС авіапромисловістю;
 R_{it} – число екіпажів в авіакомпанії;
 B_n – пропускна спроможність аеропорту, пас/рік;
 S_n – кількість слотів в аеропорту.
 K_t – максимально можливий обсяг капітальних вкладень, грош. од.;
 c_i^{liq} – ліквідна вартість ПС, грош. од.;
 t_i^{ex} – експлуатаційний термін служби (технічний ресурс) ПС;
 α_{ijt} – собівартість льотної години, грош. од./год.;
 V_{ij} – рейсова швидкість ПС, км/год.

Коефіцієнти моделі (5.9)-(5.18) обчислюються за допомогою відомих формул через параметри ПС, маршрутів та аеропортів. Зокрема:

$$c_{ijt} = \alpha_{ijt} H_{ij}; \quad (5.19)$$

$$p_{ijt} = 10^{-3} \eta_{ijt} S_i V_{ij} H_{ij}, \quad (5.20)$$

$$r_{ij} = \frac{H_{ij}}{\sigma_i h_i^{ек}}, \quad (5.21)$$

де H_{ij} – середньорічний наліт ПС, год./рік;

σ_i – коефіцієнт використання санітарної норми нальоту екіпажем,

$h_i^{\text{ек}}$ – річна санітарна норма нальоту на один екіпаж, год.

Для будь-якої авіакомпанії економічний сенс капіталовкладень полягає в тому, щоб отримати прибуток через певний проміжок часу експлуатації придбаного ПС. Основну частину фінансових коштів авіакомпанії витрачають на придбання (купівлю або лізинг) ПС. І відновлюють капітал з певним прибутком після тривалого періоду їх експлуатації. Очевидно, основне завдання, яке ставлять перед собою авіакомпанії, полягає в тому, щоб отримати максимальний прибуток при обмежених капітальних вкладеннях. Цим і визначається фінансова політика авіакомпаній.

Однак у запропонованій моделі в якості критерію ефективності розглядаються сумарні витрати, хоча можна було б використовувати прибуток, або загальноприйняті показники проектного аналізу: NPV, IRR та ін. З математичної точки зору така заміна не призведе до суттєвих труднощів, хіба що знадобиться додаткова інформація в частині тарифів та ін.

Змінна q_{it}^p – кількість *придбаних* ПС – в загальному випадку може означати як придбання, так і лізинг, оренду ПС. Однак, в дану модель не увійшли варіанти лізингу і оренди, так як вони досить детально розглядалися у кандидатській дисертації і наукових публікаціях автора [70] з даної тематики.

Далі не має сенсу докладно зупинятися на змістовному описі цільової функції (5.9) та обмежень (5.10)-(5.18). Як технічна, так і економічна сторона моделі (5.9)-(5.18) очевидні і не вимагають докладного роз'яснення.

Один з підходів часової декомпозиції завдання (5.9)-(5.18), який часто використовується в стратегічному плануванні, полягає в тому, що динамічна за своєю суттю модель замінюється послідовністю більш простих статичних моделей, відповідних заздалегідь обраний послідовності річних розрізів планованого періоду.

Однак часова декомпозиція динамічної моделі знижує точність рішення. Коли зв'язок між змінними суміжних періодів істотний, необхідно шукати інші підходи та методи. У цьому зв'язку слід згадати моделі динамічного

програмування [23], послідовного аналізу варіантів [262] та ін., що одержали широке поширення у стратегічному плануванні.

Очевидно, що завдання (5.9)-(5.18) відноситься до класу розподільних задач лінійного програмування. Методи розв'язання задач даного типу можна розділити на два класу: ітеративні та кінцеві. Ітеративні методи генерують, взагалі кажучи, нескінченну послідовність наближень, що сходиться до розв'язку. Обриваючи таку послідовність на деякому кроці, ми одержуємо наближений розв'язок завдання. Кінцеві методи в принципі (при відсутності помилок округлення) дозволяють отримати точний розв'язок завдання за кінцеве число кроків. Для чисельної реалізації завдання (5.9)-(5.18) можна скористатися Excel або ППП LINDO.

Математична модель функціонування парку ПС авіакомпанії (5.9)-(5.18) враховує цілі, а також технологічні та економічні вимоги стратегічного планування діяльності авіакомпанії. Структура моделі дозволяє визначати не тільки оптимальне закріплення ПС за маршрутами, але також знаходити дефіцит і надлишок ПС у складі парку по кожному типу. Також авіакомпанія може використовувати запропоновану модель для формування техніко-економічних вимог до новостворюваних авіапромисловістю ПС (п. 5.4).

5.2.2 Поточне планування функціонування авіакомпанії на мережі маршрутів з низьким рівнем попиту

Для розв'язання проблеми перевантаження ключових аеропортів в п. 3.3 було запропоновано концепцію декомпозиції мережі аеропортів. У даному підрозділі розглянемо формальну постановку завдання обґрунтування цієї концепції на прикладі завдання розподілу ПС по авіамаршрутам, яка максимізує очікуваний прибуток від експлуатації авіамережі в умовах очікуваного попиту на перевезення.

Специфіка цього завдання полягає в тому, що обмежені ресурси авіакомпанії, наприклад, парк ПС, мають бути розподілені між авіамаршрутами

в умовах очікуваного попиту, а, отже, і прибутку. Передбачається, що попит можна спрогнозувати або оцінити у вигляді розподілу значень з певною ймовірністю.

Також пропонується враховувати параметри, які б дозволяли оцінити якість розвитку мережі АТС, а саме: витрати, пов'язані із затримками ПС в аеропортах за заданими маршрутами, та витрати пасажирів, пов'язані із часом на трансфер.

Існує декілька методів оцінки витрат, пов'язаних із затримкою в АТС. Будь-який рейс має, як мінімум дві складові цих витрат: витрати авіакомпанії та пасажирів.

Витрати авіакомпанії можна оцінити шляхом множення ймовірності затримки за часом (прогнозовані дані формуються із статистичних оглядів щодо затримок) та прямих оперативних витрат авіакомпанії на одиницю часу. Зазвичай, витрати по затримці, пов'язані із очікуванням зльоту, не включають витрати на паливо, так як дане очікування виконується без роботи двигунів ПС. Тоді як витрати, пов'язані з очікуванням у повітрі включають вартість необхідного додаткового палива (рис. 5.4) [351].

Приклад використання середніх витрат авіакомпанії у зв'язку із затримкою рейсу (табл. 5.4) можна знайти в дослідженні [286].

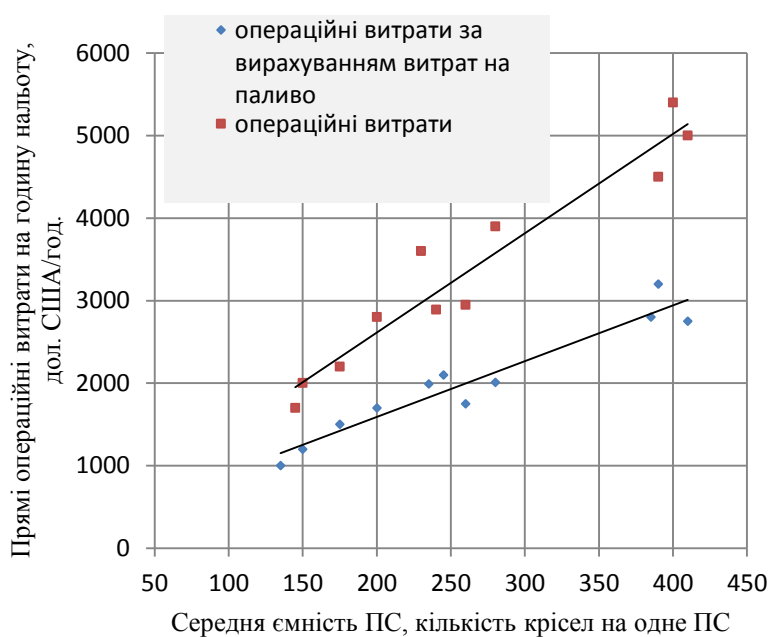


Рисунок 5.4 – Прямі операційні витрати на виконання рейсу в залежності від пасажиромісткості ПС (емпіричні дані по ПС типів: B757-200; B767-200/300; B747-100/200; A300) [351, стор. 192]

Таблиця 5.4 – Витрати, пов'язані із затримкою за типами ПС, дол. США [286]

Тип ПС	Час затримки, хв.						
	15	30	60	90	120	150	180
Embraer RJ 145 Amazon	5	54	154	254	354	454	554
Fokker F 100	18	116	312	507	703	898	1094
Airbus A319	28	157	416	674	933	1192	1450
Airbus 320	34	185	488	791	1093	1396	1699
Airbus 321	38	204	535	867	1198	1529	1861
Широкофюзеляжні	63	315	819	1322	1826	2329	2832

Витрати авіапасажира включають в себе не тільки тарифи, але і витрати, пов'язані із часом затримок та трансферу в аеропортах за маршрутом (або часові витрати), що є важливим фактором, який визначає позитивний, або навпаки, досвід авіаподорожі та, відповідно, кількість потенційних авіапасажирів у майбутньому (див. рис. 3.1).

Будемо виходити з того, що загальний час, який пасажир проводить в АТС, залежить не тільки від часу польоту, але й від структури авіамаршруту. Так, якщо пасажир використовує прямий маршрут між аеропортами x та y , то проведений час у системі може бути розрахований за формулою:

$$T_{xy} = T_{xy}^s + D_{xy}^d + T_{xy}^f + D_{xy}^a, \text{ для } x \neq y, xy \in G, \quad (5.22)$$

де T_{xy}^s – час, визначений як різниця між бажаним часом відправки та фактичним часом відправки рейсу за розкладом (відкладений час);

D_{xy}^d – час затримки рейсу в аеропорті вильоту, визначений як різниця між фактичним часом відправки та часом відправки за розкладом;

T_{xy}^f – середній час польоту за маршрутом xy ;

D_{xy}^a – час затримки рейсу в аеропорті призначення, визначений як різниця між фактичним часом прибуття та часом прибуття за розкладом.

Якщо пасажиру пропонується авіамаршрут із стиковками (трансфером) через аеропорти h_n ($n = 1, \dots, n^{transfer}$), то загальний час, проведений пасажиром у АТС може бути визначений як:

$$\begin{aligned} T_{xhy} &= T_{xh} + T_{yh} = \\ &= T_{xh}^s + D_{xh}^d + T_{xh}^f + D_{xh}^a + T_{xhy}^{transfer} + D_{hy}^d + T_{hy}^f + D_{hy}^a, \quad (5.23) \\ &\text{для } x \neq y, xy \in G, \end{aligned}$$

де $T_{xhy}^{transfer}$ – час, який пасажир проводить в аеропорту трансферу. Мінімальне значення даного параметру буде дорівнювати мінімальному стикувальному часу у відповідному аеропорті h_n .

Отже, виходячи з (5.22) та (5.23) загальний час затримки пасажирів в АТС в залежності від структури авіамаршруту буде дорівнювати:

$$D_{xy} = T_{xy} - T_{xy}^f, \quad (5.24)$$

або

$$D_{xhy} = T_{xy/h} - T_{xh}^f - T_{hy}^f. \quad (5.25)$$

Витрати пасажирів у зв'язку із затримкою (в англійській літературі використовується термін *value of passenger time*) оцінити досить важко, так як цей показник залежить від багатьох факторів, наприклад, середнього доходу особи, мети подорожі, та таке інше. Але, використовуючи статистичні огляди по окремих рейсах, нормативні вимоги щодо компенсацій пасажирів по затримкам можна приблизно оцінити середні витрати авіапасажирів, пов'язані із вимушеним додатковим часом у АТС. Так, наприклад, в [286, стор. 100] знаходимо посилання на відповідні дослідження, де вказано, що середні

витрати пасажирів у зв'язку із затримкою складають приблизно 24 дол. США на годину.

Математично модель руху пасажиропотоків на існуючій і у варіантах розширеної мережі, парку існуючих і у варіантах оновленого парку літаків (з меншим значенням кількості потрібних крісел S_i у літаку типу i) можна записати в такому вигляді:

максимізувати лінійну форму

$$\begin{aligned} Profit_r = & \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{a_r} (\tau_{jt} p_{ijt} - c_{ijt}) q_{ijt} - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{a_r} c_{D_{ij}} D_{jt}^a \xi_{jt}^a q_{ijt} - \\ & - \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{a_r} c_{D_{paxj}} D_{jt}^{pax} \vartheta_{jt}^{pax} p_{ijt} q_{ijt}, \quad r = 0, 1, \dots, R \end{aligned} \quad (5.26)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^{m_r} p_{ijt} q_{ijt} \geq d_{jt}, \quad j = 1, \dots, a_r, \quad t = 1, \dots, T \quad (5.27)$$

$$\sum_{j=1}^{a_r} q_{ijt} \leq a_{it}, \quad i = 1, \dots, m_r, \quad t = 1, \dots, T \quad (5.28)$$

$$\sum_{i=1}^{m_r} q_{ijt} \leq S_{jt}, \quad j = 1, \dots, a_r, \quad t = 1, \dots, T \quad (5.29)$$

$$q_{ijt} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m_r, \quad j = 1, \dots, a_r, \quad t = 1, \dots, T, \quad (5.30)$$

де індекси:

i – тип ПС;

j – номер маршруту;

t – підперіод (місяць);

r – варіант декомпозиції мережі та складу парку ПС;

$Profit_{r=0}$ – очікуваний сумарний річний прибуток авіакомпанії на існуючій мережі при існуючому складі парку ПС;

$Profit_{r=1,...,R}$ – очікуваний сумарний річний прибуток авіакомпанії при r -му варіанті декомпозиції мережі маршрутів і відповідних варіантах оновлення парку ПС;

τ_{jt} – ціна квитка в одному напрямку, грош. од.;

d_{jt} – очікуваний середньомісячний пасажирський попит, пас.;

c_{ijt} – середньомісячні експлуатаційні витрати i -го ПС на маршруті j , грош. од.;

p_{ijt} – середньомісячна продуктивність одного рейсу ПС, пас.;

a_{it} – кількість ПС i -го типу у парку авіакомпанії;

q_{ijt} – кількість ПС (невідома змінна);

a_r – кількість маршрутів в декомпозиції r ;

m_r – кількість типів ПС в декомпозиції r ;

c_{Dij} – витрати у зв'язку із затримкою ПС i -го типу, грош. од. на год.;

D_{fjt} – середній час затримки на маршруті j , год.;

ξ_{jt}^a – ймовірність затримки рейсу на маршруті j ;

$c_{D_{paxj}}$ – витрати пасажирів у зв'язку із затримкою в аеропорту на маршруті j , грош. од. на год.;

D_{djt} – час затримки пасажирів в аеропорту на маршруті j (в розрахунках приймається не менше, ніж мінімальний час стиковки), год.;

ϑ_{jt}^{pax} – середньостатистична частка трансферних пасажирів на маршруті j ;

S_{jt} – кількість слотів в аеропортах для маршруту j у підперіод t .

У моделях (5.26)–(5.30) як мережа маршрутів, так і парк ПС у всіх варіантах $r \in \{1, \dots, R\}$ декомпозиції розглядаються лише як доповнені версії моделі варіанту $r = 0$, хоча в практичних завданнях умова рекурсії не обов'язкова.

Якщо $\{1, \dots, R\}$ – множина варіантів декомпозиції розширеної мережі, то найкращий варіант r^{opt} визначається тривіально за умови, що отриманий ефект:

$$Effect = \max_{r \in \{1, \dots, R\}} \max_{q_{ijt}} Profit_r(q_{ijt}) - \max_{q_{ijt}} Profit_0(q_{ijt}) > 0. \quad (5.31)$$

Очевидно, що найбільш трудомістка частина розрахунків буде пов'язана з коригуванням вихідних даних c_{ij}^r , p_{ij}^r , d_j^r , a_i^r для кожного варіанта декомпозиції $r \in \{1, \dots, R\}$ існуючої мережі. Ефект (5.31) від проведення такої реорганізації буде отриманий тільки в тому разі, якщо вона буде проведена на всій мережі маршрутів, а не по окремих маршрутах і аеропортах.

Оскільки в моделі (5.26)–(5.30) використовується стохастичне значення попиту d_j^r , його розподіл на маршрутах змінюється в широких межах і має різні характеристики. Однак у такому разі будемо припускати, що попит фіксований і дорівнює своєму математичному очікуванню. Можливі збитки за щоденного коливання попиту, викликаного різними причинами, можна врахувати кілька завищеними значеннями попиту або пасажиромісткості ПС.

У моделі (5.26)–(5.30) враховується фактор часу, зокрема вплив сезонності на попит, склад парку ПС, тарифи і ряд економічних показників процесу перевезень. Однак, в даному випадку нас не цікавить транспортна операція в цілому, а лише в частині маршрутизації пасажирських потоків. Тому в даному пункті має сенс опустити індекс t в наведеній моделі і перейти від динамічної моделі (5.26)–(5.30) до її статичної модифікації для фіксованого підперіоду $t \in \{1, 2, \dots, T\}$. Тоді модель (5.26)–(5.30) можна переписати в такому вигляді:

$$\begin{aligned} Profit_r = & \\ = \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{a_r} (\tau_j p_{ij} - c_{ij}) q_{ij} - \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{a_r} c_{D_{ij}} D_j^a \xi_j^a q_{ij} - \sum_{i=1}^{m_r} \sum_{j=1}^{a_r} c_{D_{pax_j}} D_j^{pax} \vartheta_j^{pax} p_{ijt} q_{ij}, \\ r = 0, 1, \dots, R \end{aligned} \quad (5.32)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^{m_r} p_{ij} q_{ij} \geq d_j, \quad j = 1, \dots, a_r, \quad (5.33)$$

$$\sum_{j=1}^{a_r} q_{ij} \leq a_i, \quad i = 1, \dots, m_r, \quad (5.34)$$

$$\sum_{i=1}^{m_r} q_{ij} \leq S_j, \quad j = 1, \dots, a_r, \quad (5.35)$$

$$q_{ij} \geq 0, \quad i = 1, \dots, m_r, \quad j = 1, \dots, a_r. \quad (5.36)$$

Для ілюстрації запропонованого методу декомпозиції мережі маршрутів наведемо деякий числовий приклад. Припустимо, що парк ПС авіакомпанії складається з ПС, характеристики яких наведені в табл. 5.5. Вихідне завантаження на етапах кореспонденцій (маршрутах)², зазначених на рис. 5.5, наведено у табл. 5.6.

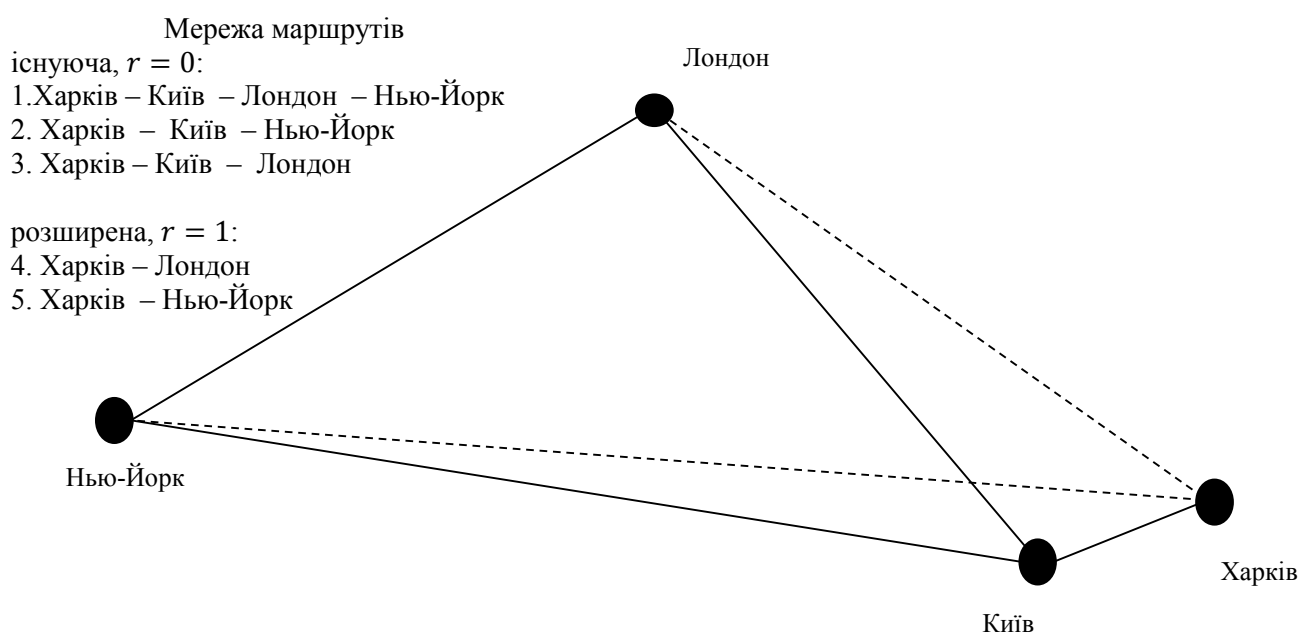


Рисунок 5.5 – Приклад мережі маршрутів з проміжними посадками
в одному або двох хабах

² Етап кореспонденції – авіамаршрут, виконаний без проміжної посадки

Таблиця 5.5 – Склад парку повітряних суден

i	Тип ПС	Характеристики ПС			Кількість ПС a_i
		Кількість крісел	Дальність польоту, км	Швидкість км/год	
1	Boeing-767-300	261	11 070	850	3
2	Boeing-737-300	135	5 000	880	5
3	Boeing-737-800	186	6 000	940	8
4	Embraer-190	104	3300	890	5

Таблиця 5.6 – Завантаження маршрутів

j	Етапи авіамаршрутів	Протяжність маршруту, l_j км	Очікуване число пасажирів на місяць	Середній тариф в одному напрямку, дол.США
$(r = 0)$				
1	Харків – Київ	406	1000	80
2	Київ – Нью-Йорк	7530	5800	420
4	Київ – Лондон	5572	11800	210
5	Лондон – Нью-Йорк	7530	15900	350
$(r = 1)$				
1	Харків – Київ	406	1000	80
2	Харків – Лондон	2549	1800	210
3	Харків – Нью-Йорк	7853	900	500
4	Київ – Нью-Йорк	7530	4900	420
5	Київ – Лондон	5572	10000	210
6	Лондон – Нью-Йорк	7530	15000	350

Передбачається, що не всі ПС можуть бути повністю завантажені по всіх маршрутах, коефіцієнт зайнятості крісел змінюється від маршруту до маршруту, як це показано в табл. К.1.1 додатку К.

Передбачувані поточні витрати на паливо, екіпаж, обслуговування ПС на кожні 100 пас.-км наведені в табл. К.1.2.

На підставі даних табл. 5.5 про швидкості, дальності, кількість крісел і рейсовий час (в обидва кінці) можна отримати значення

$$p_{ij} = \eta_{ij} \frac{s_i}{100} \left[\frac{h_{ij} v_{ij}}{2l_j} \right], \quad (5.37)$$

де S_i – кількість місць у ПС типу i ,

l_j – протяжність маршруту j , км;

V_{ij} – рейсова швидкість ПС типу i на маршруті j , км/год.;

h_{ij} – середньомісячний наліт годин ПС типу i на маршруті j , год. (дані наведено в табл. К.1.3).

Отримані за формулою (5.37) значення p_{ij} сотень пасажирів наведено в табл. К.1.11. Там же зазначені щомісячні витрати на кожне ПС:

$$c_{ij} = p_{ij} \zeta_{ij} l_j, \quad (5.38)$$

де ζ_{ij} – експлуатаційні витрати на кожні 100 пас-км, грош. од.

Всі інші необхідні вхідні дані, записи моделей та отримані розв'язки у ППП LINDO наведено у додатку К. У таблиці К.1.12 та на рис. 5.6 зведено підсумки розрахунків за моделлю (5.32)-(5.36).

Отримані рішення дозволяють зробити висновок, що:

1) без врахування витрат у зв'язку із затримками в аеропортах хабова модель мережі, при заданих вхідних даних, більше відповідає економічним інтересам авіакомпанії. Експлуатуючи вихідну мережу $r=0$ авіакомпанія може отримати на 3,8 % більше прибутку у порівнянні з експлуатацією розширеної мережі $r=1$, в яку включені прямі рейси. Крім того, даний ефект досягається з використанням меншої кількості ресурсів: 18 з наявних 21 ПС;

2) системний підхід до оцінки ефективності експлуатації мережі авіамаршрутів, тобто врахування параметрів по можливим затримкам ПС та пасажирів в завантажених аеропортах, підтверджує тезу про ефективність декомпозиції мережі та введення додаткових прямих рейсів. Впровадження прямих рейсів потребувало додаткових ресурсів від авіакомпанії (16 ПС при $r = 1$, у порівнянні з 11 ПС при $r = 0$), але дозволило скоротити умовний збиток від експлуатації мережі на 38,13%;

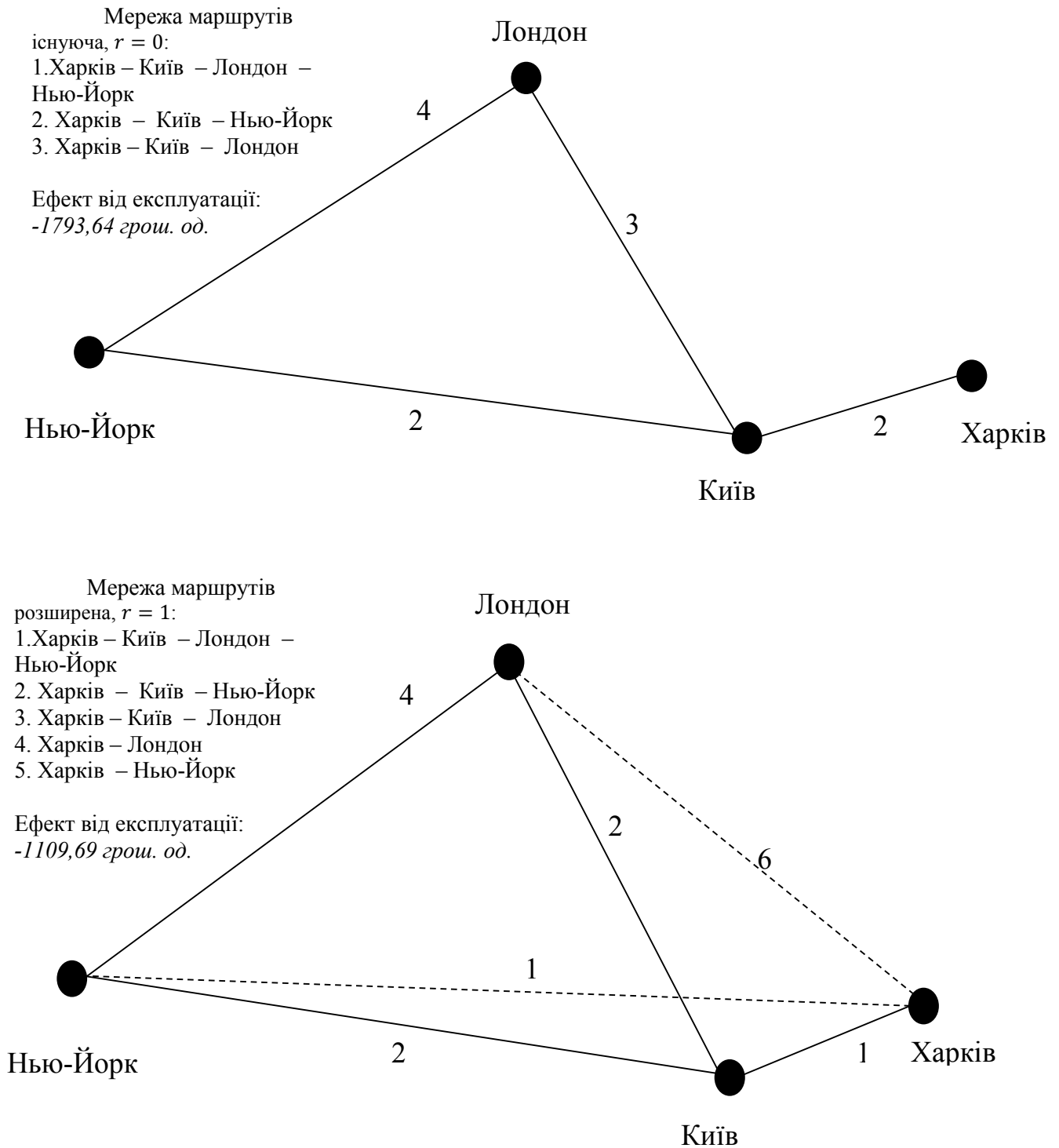


Рисунок 5.6 – Оптимальний розподіл ПС на існуючій та розширеній мережі авіамаршрутів (розраховано за (5.32)-(5.36))

3) враховуючі незначні обсяги авіап перевезень, вимоги щодо мінімальної частоти для підтримання попиту та необхідність високого коефіцієнту завантаження для економічної ефективності експлуатації далекомагістральних

рейсів, перспективними, на наш погляд, будуть пропозиції виробників щодо нових вузькофюзеляжних далекомагістральних ПС. Наявність таких типів ПС дозволило б підвищити ефективність декомпозиції мережі за рахунок збільшення кількості далекомагістральних рейсів із регіональних аеропортів.

5.2.3 Методи планування частоти рейсів на мережі маршрутів авіакомпанії

Розглянемо два типи моделей визначення оптимальної частоти рейсів:

- 1) модель, що розглядає діяльність окремої авіакомпанії на її мережі;
- 2) модель, що враховує конкуренцію між авіакомпаніями на одній мережі авіамаршрутів.

В обох випадках моделі базуються на таких припущеннях: мережа авіамаршрутів складається з кінцевої кількості вузлів (аеропортів); ємність, яка виражається через розмір, структуру та очікуваний коефіцієнт завантаження парку ПС авіакомпанії, є обмеженою; пропускна спроможність авіамаршрутів та аеропортів також є обмеженою.

Критеріями ефективності оптимізації частоти рейсів, які виражаються через цільову функцію, є мінімізація загальних витрат чи максимізація загального прибутку [351].

Базову структуру класичної моделі завдання планування частоти рейсів наведено в роботі [335]. Цільовою функцією є максимізація прибутку невеличкої авіакомпанії, що працює на заданому ринку. Завдання сформульовано як задача лінійного програмування таким чином:

максимізувати

$$Profit_t = d_t \tau_t - c_{it} v_t, \quad t = \overline{1, T} \quad (5.39)$$

за обмежень

$$v_t \geq \frac{d_t}{s_i}, \quad (5.40)$$

$$v_t \leq \frac{d_t}{S_i \eta_{min}}, \quad (5.41)$$

$$v_t \geq 0, \quad (5.42)$$

де d_t – кількість пасажирів на заданому маршруті у заданий період часу t ;

τ_t – середній тариф за одного пасажера в момент часу t ;

c_{it} – операційні витрати на рейс, що виконується ПС з кількістю крісел S_i ;

v_t – частота рейсу на заданому маршруті у заданий період часу t (невідома змінна);

η_{min} – коефіцієнт завантаження, який відповідає *точці беззбитковості*.

Цільова функція (5.39) представляє функцію прибутку авіакомпанії, максимум якої необхідно знайти. Відношення (5.40) забезпечує врахування обмеження щодо відповідності кількості наявних крісел очікуваному попиту (умова задоволення попиту). Нерівність (5.41) не допускає виконання рейсів, на яких коефіцієнт завантаження нижче ніж точка беззбитковості. Обмеження (5.42) визначає, що змінна не може мати від'ємні значення. Крім того додатково можна ввести обмеження щодо цілочислового значення змінної.

Класична модель (5.39)–(5.42) потребує модифікації для розв'язання завдання визначення оптимальної частоти не на окремому рейсі, а на заданій мережі маршрутів авіакомпанії. Сформулюємо завдання таким чином:
максимізувати

$$Profit_t = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^a [(\tau_{jt} \eta_{ijt} S_i - c_{ijt}) v_{ijt}], \quad t = \overline{1, T} \quad (5.43)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^m \eta_{ijt} S_i v_{ijt} \geq d_{jt}, \quad j = \overline{1, a}, \quad (5.44)$$

$$\sum_{j=1}^a h_{ij} v_{ijt} \leq H_{it}, \quad i = \overline{1, m}, \quad (5.45)$$

$$\sum_{i=1}^m v_{ijt} \geq v_{ijt}^{min}, \quad j = \overline{1, a}, \quad (5.46)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^a v_{ijt} \leq S_{jt}^{max}, j = \overline{1, a}, \quad (5.47)$$

$$v_{ijt} \in Z^+, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, a}, \quad (5.48)$$

де τ_{jt} – середній тариф за одного пасажера на маршруті j у заданий період часу t ;

d_{jt} – кількість пасажирів на маршруті j у заданий період часу t ;

c_{ijt} – операційні витрати на рейс на маршруті j , що виконується i -м типом ПС;

S_i – пасажиромісткість i -го типу ПС;

η_{ijt} – середній коефіцієнт завантаження рейсу, який виконується i -м типом ПС на маршруті j у заданий період часу t ;

h_{ij} – середній час нальоту i -го типу ПС на маршруті j ;

H_{it} – максимальний наліт i -го типу ПС у заданий період часу t ;

v_{ijt}^{min} – мінімальна кількість регулярних рейсів на маршруті j у заданий період часу t ;

S_{jt}^{max} – максимальна кількість слотів в аеропортах маршруту j , які може використати авіакомпанія у заданий період часу t ;

Z^+ – множина додатних цілих чисел.

Обмеження (5.44) забезпечує умову задоволення попиту на заданій мережі авіамаршрутів з урахуванням середньостатистичного коефіцієнту завантаження. Але, якщо метою авіакомпанії є не максимальне задоволення існуючого попиту, а максимальне використання виробничих потужностей парку ПС, то в обмеженні (5.44) має бути замінений знак нерівності « $\geq$ » на « $\leq$ ». Обмеження (5.45) задовольняє умову врахування наявного виробничого потенціалу парку ПС авіакомпанії. Нерівність (5.46) вказує на те, що загальна кількість рейсів на заданому маршруті має бути не меншою за мінімальну кількість регулярних рейсів, які мають бути виконані упродовж періоду часу,

що розглядається. Обмеження (5.47) необхідне для врахування пропускну́ї спроможності аеропортів заданої мережі авіамаршрутів.

Адекватність моделі (5.43)–(5.48) було доведено в ході експериментальних розрахунків для визначення оптимальної частоти рейсів на тиждень за заданих умов, які максимально наближені до умов функціонування авіакомпанії МАУ. Мережа, що розглядалася, включала п'ять аеропортів вильоту та п'ятдесят два аеропорти призначення. В парку ПС авіакомпанії налічувалося 8 типів ПС, загальна кількість яких становила 40 літаків. Із можливих 260 варіантів прямих рейсів із зазначених аеропортів вильоту фактично експлуатувалося 63 авіамаршрути. Вивчення статистики показало, що обмеження (5.47) не було критичним для аеропортів мережі авіамаршрутів, що розглядалася, а отже воно не враховувалося. В табл. 5.7 наведено фрагмент вхідних даних, які було підготовлено для проведення експериментальних розрахунків.

Таблиця 5.7 – Фрагмент бази вхідних даних моделі (5.43)–(5.48)

Типи ПС		B737-900 ER	B737-800	B737-300	B737-400	B737-500	Ан-148-100	EMB-190	B767
Кількість ПС		4	8	4	4	10	3	5	2
Сумарний наліт, год. на тиждень		296	593	249	235	518	134	332	182
Маршрут		Очікуваний прибуток від рейсу (коефіцієнти при змінних), ум. од.							
<i>i</i>	<i>j</i>								
КВР	PAR	4432	4432	2340	2913	1917	1170	2041	2490
КВР	MOW	3060	3060	1620	1995	1320	810	1410	1710
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<i>n</i>	<i>m</i>	...	...	...	...	...	...	...	...
Маршрут		Очікуваний пасажиропотік, пас./тиждень				Мінімальна частота на тиждень, рейсів			
<i>i</i>	<i>j</i>								
КВР	PAR	2000				2			
	MOW	4000				2			
...	...	...				...			
<i>n</i>	<i>m</i>	...				...			

У ППП LINDO було отримано оптимальне рішення моделі (5.43)–(5.48) (табл. 5.8), яке може допомогти менеджеру з планування частоти рейсів на маршруті обґрунтувати кількість рейсів не лише за маршрутом, але й за типами ПС. За отриманим рішенням, при заданому обсязі пасажиропотоків на деяких

маршрутах, наприклад із Києва (KBP) до Москви (MOW), Астани (TSE), Стамбула (IST) слід скорити частоту рейсів, тимчасом як за іншими маршрутами можна додати рейси, наприклад, за маршрутом Київ–Прага, з Одеси (ODS) до Стамбула. Оптимізація тижневих частот та розподілу парку ПС за заданими маршрутами у порівнянні із початковим планом посприяла підвищенню прибутку авіакомпанії на 3,95 %.

Таблиця 5.8 – Фрагмент рішення моделі (5.43)–(5.48) щодо оптимальної частоти рейсів на заданій мережі авіамаршрутів

i	j	Існуюча частота	Оптимальна частота	Розподіл між ПС							
				B737-900 ER	B737-800	B737-300	B737-400	B737-500	An-148-100	EMB-190	B767
KBP	PAR	10	12	0	12	0	0	0	0	0	0
	MOW ³	14	45 (11)	0	0	0	0	45 (11)	0	0	0
	TSE	7	4	4	0	0	0	0	0	0	0
	IST	7	5	5	0	0	0	0	0	0	0
	PRG	7	14	0	0	0	14	0	0	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
ODS	IST	7	8	0	0	8	0	0	0	0	0
	TLV	4	6	0	0	0	0	0	6	0	0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Крім того, можна внести зміни в прогноз обсягів авіаперевезень і оцінити, як зміниться частота на маршруті, розподіл ПС за авіамаршрутами та сумарний прибуток авіакомпанії.

На рис. 5.7 подано результат експериментального розрахунку оцінки чутливості цільової функції на скорочення тижневого попиту на найбільш завантаженому маршруті авіакомпанії Київ–Москва. Отже, якщо потенційний обсяг авіаперевезень на даному маршруті знизиться з 1000 до 600 пасажирів на

³ Значення при попиті 4000 пас./тиждень та 1000 пас./тиждень

тиждень, то слід очікувати падіння загального прибутку від експлуатації мережі авіамаршрутів на 0,22%, а оптимальна частота рейсів на тиждень становитиме 6 замість 11.

Всі вхідні дані, запис моделі (5.43)–(5.48) в ППП LINDO та відповідні розв'язання завдання наведено у додатку К.2.

Для планування частоти рейсів з урахуванням умов конкуренції між авіакомпаніями, що експлуатують один і той самий авіамаршрут, який входить до досліджуваної мережі, спочатку можна скористатися моделлю (5.49)–(5.52), що оптимізує частку авіакомпанії на заданому ринку (див. (2.14), (2.15)) з подальшим переходом до моделі (5.43)–(5.48):

максимізувати

$$Profit_t^k = \sum_{j=1}^a (\tau_{jt} d_{jt} - c_j) MS_{jt}^k, \quad t = \overline{1, T} \quad (5.49)$$

за обмежень

$$d_{jt} MS_{jt}^k \leq d_{jt}, \quad j = \overline{1, a}, \quad (5.50)$$

$$\sum_{j=1}^a d_{jt} MS_{jt}^k \leq \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^m S_{ij_t}^k, \quad (5.51)$$

$$0 \leq MS_{jt}^k \leq 1 \quad j = \overline{1, a}, \quad (5.52)$$

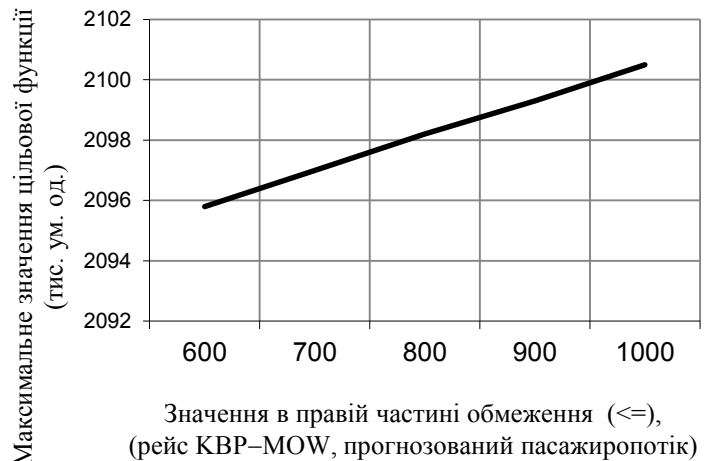


Рисунок 5.7 – Визначення зміни прибутку авіакомпанії у разі зниження попиту на авіамаршруті Київ–Москва (експериментальні розрахунки за моделлю (5.43)–(5.48))

де $Profit_t^k$ – прибуток авіакомпанії k від експлуатації мережі авіамаршрутів у заданий період часу t ;

MS_{jt}^k – частка ринку авіакомпанії k на маршруті j у заданий період часу t ;

d_{jt} – загальна очікувана кількість пасажирів на маршруті j у заданий період часу t ;

$\sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^m S_{ij_t}^k$ – загальна кількість наявної ємності парку ПС, що планує експлуатувати авіакомпанія k на заданій мережі авіамаршрутів у заданий період часу t .

5.2.4 Моделі оптимізації доходів авіакомпанії

У розв'язанні завдань *оптимальної стратегії продажів авіаквитків* та *визначення обсягу понадлімітного бронювання* важливим є поточне прогнозування.

Будь-яке транспортне підприємство має ієрархію планів (див. рис. 3.14). В умовах відносно стабільного зовнішнього середовища може використовуватися стандартна система прогнозів і планів авіапідприємства. На рис. 5.8 показано взаємозв'язок довгострокового стратегічного та поточного прогнозування в системі планування авіакомпанії.

Поточне прогнозування обсягів авіап перевезень припускає ретельне дослідження експлуатованих авіамаршрутів. Даний аналіз ставить за мету всебічне вивчення ринків, на яких присутня конкретна авіакомпанія. Аналізуються всі можливі показники: кількість пасажирів, рівні тарифів, додаткові послуги й можливості, які перевізники можуть запропонувати пасажирові, фінансові результати виконання рейсів.

Щоденний збір інформації по всіх рейсах авіакомпанії, її обробка та внесення в базу даних дають змогу накопичувати повну і досить достовірну інформацію про справжні маршрути пасажирів [84].

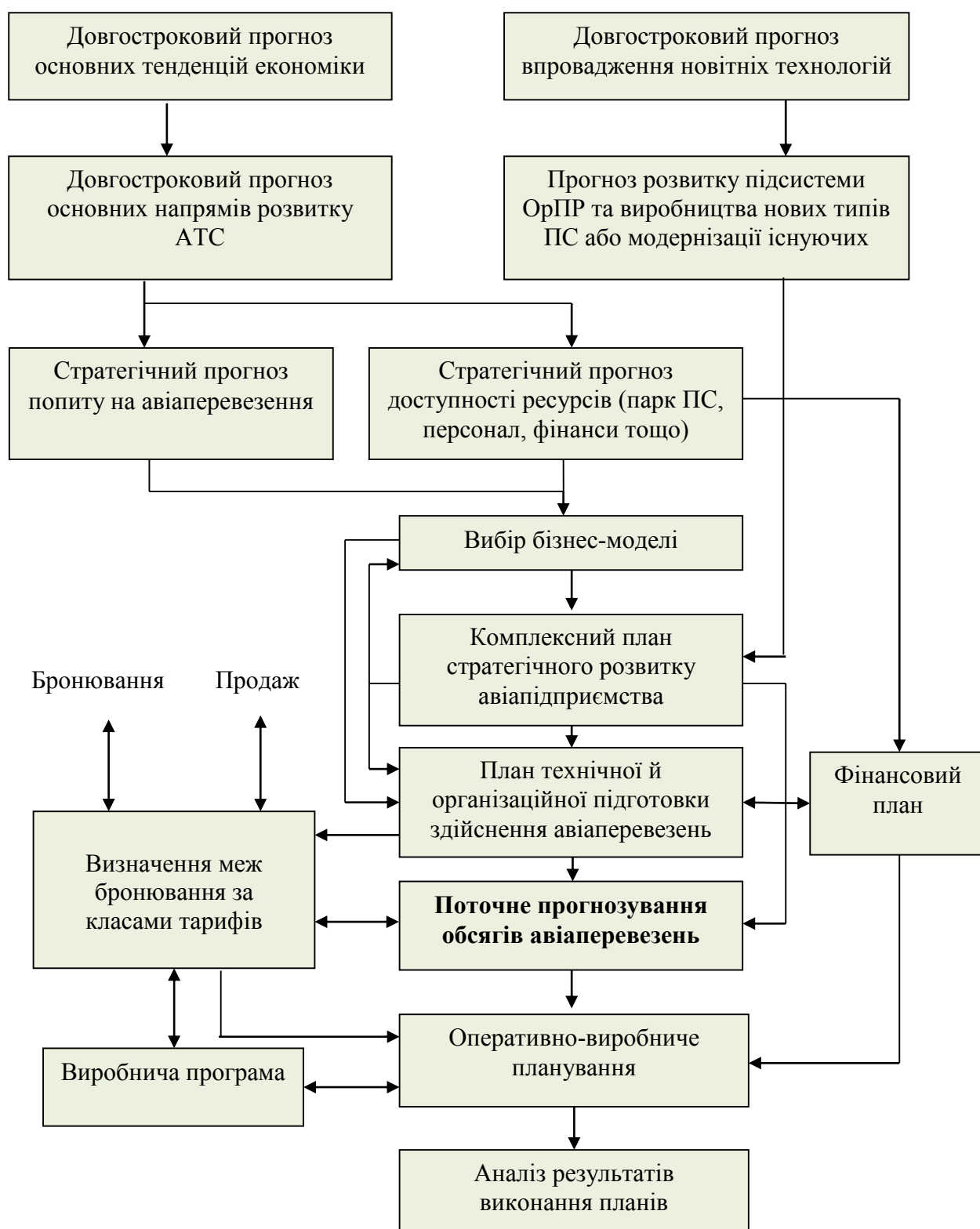


Рисунок 5.8 – Місце поточного прогнозування в системі планування авіакомпанії

З бази даних GDS за будь-який звітний період може бути отримана інформація про трансферні маршрути та обсяги перевезених за цим маршрутом пасажирів. Крім того, можна здійснити розрахунок частки трансферних пасажирів на кожному конкретному рейсі. Джерелом інформації для поточного прогнозування попиту є блок з історичними даними (рис. 5.9). Він містить інформацію щодо аналогічних рейсів, що уже були виконані. У цьому блоці можна знайти повні дані про те, скільки саме пасажирів вилетіло конкретним рейсом у заданому ціновому класі.



Рисунок 5.9 – Роль поточного прогнозування обсягів перевезень в оперативному управлінні завантаженням авіарейсу

Поточний прогноз зазвичай має імовірнісний характер, хоча при використанні деяких математичних моделей попит може бути детермінований.

Серед методів поточного прогнозування, які рекомендовано застосовувати при розв'язанні завдань оперативного й поточного планування (див. рис. 3.14),

можна виділити методи ковзного середнього, зваженого середнього ковзного, експоненційного згладжування, аналіз трендів та зріз даних бронювання (*Booking Profile*) [358, 404].

Для аналізу точності поточного прогнозу можна використовувати показники середньоквадратичної помилки (*MSE*) і середнього абсолютного відхилення (*MAD*).

Стандартне відхилення спостережуваних значень змінної Y від її регресійної кривої називається середньоквадратичною помилкою оцінки [160].

Основна формула для середнього квадрата помилки може бути записана як:

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-k}}, \quad (5.53)$$

де n – кількість точок даних,

$\hat{Y}_i$ – прогнозоване значення спостережуваної змінної,

k – кількість параметрів регресійної кривої (для лінійного наближення $k=2$).

Основним недоліком такого підходу є перебільшення помилок при прогнозуванні окремих значень. Іншими словами, будь-яка велика різниця між величинами Y_i і $\hat{Y}_i$ при обчисленні суми квадратів помилок зводиться в квадрат, тобто збільшується. З цієї причини більш адекватним вважається застосування для оцінки адекватності моделі поточного прогнозування середнього абсолютного відхилення [160]:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n}. \quad (5.54)$$

Якщо модель ідеально апроксимує значення часового ряду у попередні моменти часу, середнє абсолютне відхилення дорівнює нулю. З іншого боку, якщо модель погано апроксимує такі значення часового ряду, середнє

абсолютне відхилення велике. Таким чином, аналізуючи адекватність декількох моделей, можна вибрати модель, що має мінімальне середнє відхилення.

Для прогнозування попиту на рейс можна спиратися на різні набори статистичних даних, що відображають залежності обсягу замовлень від наявних на ринку конкурентів, видів тарифів, погодних умов і т. ін. Але на практиці авіакомпанія має історичні дані з інвенторної системи, які не містять додаткової інформації, крім кількості замовлень і доступних до продажу місць у кожному класі бронювання за декількома аналогічними рейсами (щодо того самого напрямку і з тим самим часом вильоту), виконаним у минулому. Збір даних для кожного рейсу проводиться кілька разів, тобто робиться кілька зрізів, від моменту відкриття продажу на рейс до вильоту. Ці зрізи визначаються внаслідок того, що немає необхідності проводити коригування продажу на рейс щодня, однак є необхідність періодично контролювати ситуацію. Тому весь горизонт продажу розбивається на кілька контрольних точок, при появі яких знімаються поточні показання про продаж на рейс і проводиться розрахунок прогнозів і меж продажів.

Побудова *оптимальної стратегії продажів авіаквитків* з урахуванням стохастичної природи попиту на авіаквитки передбачає визначення меж бронювання для кожного типу тарифів з метою максимізації прибутку при врахуванні ємності ПС, призначених на рейси згідно розкладу польотів [253]. Тобто оптимальна стратегія продажу включає завдання оптимізації доходів (Revenue / Yield Management).

Теоретично, завдання зводиться до максимізації доходу від продажу доступних провізних ємностей [84]:

$$\sum_{b=1}^B \tau_b \times \text{рах}_b \rightarrow \max, \quad (5.55)$$

$$\sum_{b=1}^B \text{рах}_b \leq S_{ij}, \quad (5.56)$$

де τ_b – рівень тарифу b -го класу бронювання;

$рах_b$ – кількість пасажирів, які купили квиток за тарифом b -го класу бронювання;

S_{ij} – пасажиромісткість ПС на рейсі (кількість доступних для продажу крісел).

У будь-яких варіантах методу розрахунку оптимальних меж продажів за класами бронювання, які визначаються рівнем тарифу, вихідною інформацією для розрахунку є імовірнісний прогноз попиту і ціна квитка для всіх цінових класів. Під імовірнісним прогнозом розуміється припущення про те, що попит на клас бронювання є випадковою величиною, розподіленою найчастіше за нормальним законом розподілу із заданими оцінками параметрів (для нормального закону – середнім і середньоквадратичним відхиленням, або СКВО). Тобто для оптимальної стратегії продажів авіаквитків вхідними даними є розрахунок для b -го класу бронювання двох параметрів: середнє μ_b і СКВО σ_b попиту.

Завдання оптимізації продажу щодо розподілу наявного на рейсі ресурсу, тобто пасажиромісткості призначеного ПС, серед цінових класів так, щоб максимізувати загальний очікуваний дохід від продажу, можна розв'язувати методом $EMSR_r$, який базується саме на поточному прогнозуванні попиту на найнижчий клас тарифу [404].

Згідно з методом $EMSR_r$, очікуваний дохід $EMSR$ від резервування одного місця для пасажирів класу k дорівнює:

$$EMSR = \tau_b(1 - F(\mu_b, \sigma_b, 1)), \quad (5.57)$$

де $F(\mu_b, \sigma_b, 1)$ – функція розподілу нормального закону в точці x . Нагадаємо, що значення функції розподілу являє собою ймовірність того, що дана випадкова величина набуде значення, меншого x . Таким чином, $EMSR$ – це добуток вартості квитка на ймовірність того, що даний квиток матиме попит.

Очікуваний дохід від резервування двох місць у b -му ціновому класі дорівнює $\tau_b(1 - F(\mu_b, \sigma_b, 1)) + \tau_b(1 - F(\mu_b, \sigma_b, 2))$ і так далі.

У результаті видається можливим сформулювати таке оптимізаційне завдання: потрібно визначити кількість квитків x_b , які бронюються в кожному ціновому класі $b = \overline{1, B}$, таким чином, щоб забезпечити максимальне значення для загального очікуваного доходу і не перевищити зазначеної ємності ПС, призначеного на рейс:

$$\sum_{b=1}^B \tau_b \sum_{x=1}^{x_b} (1 - F(\mu_b, \sigma_b, x)) \rightarrow \max \quad (5.58)$$

$$\sum_{b=1}^B x_b \leq S_{ij}, \quad (5.59)$$

де x_b – цілі невід'ємні числа.

Адекватність моделі (5.57)–(5.59) була протестована на умовних статистичних даних, наближених до оперативних статистичних даних МАУ, наведених у додатку К, табл. К.3.1.

Очікуваний дохід від продажу одного місця для пасажирів класу k було підраховано за формулою (5.57). На рис. 5.10 показано загальний графік розподілу ймовірностей придбання квитків за тарифом цінового класу 1500 грош. од.. З графіка можна зробити висновок про продаж 13 місць з даного цінового класу з ймовірністю близькою до 1.

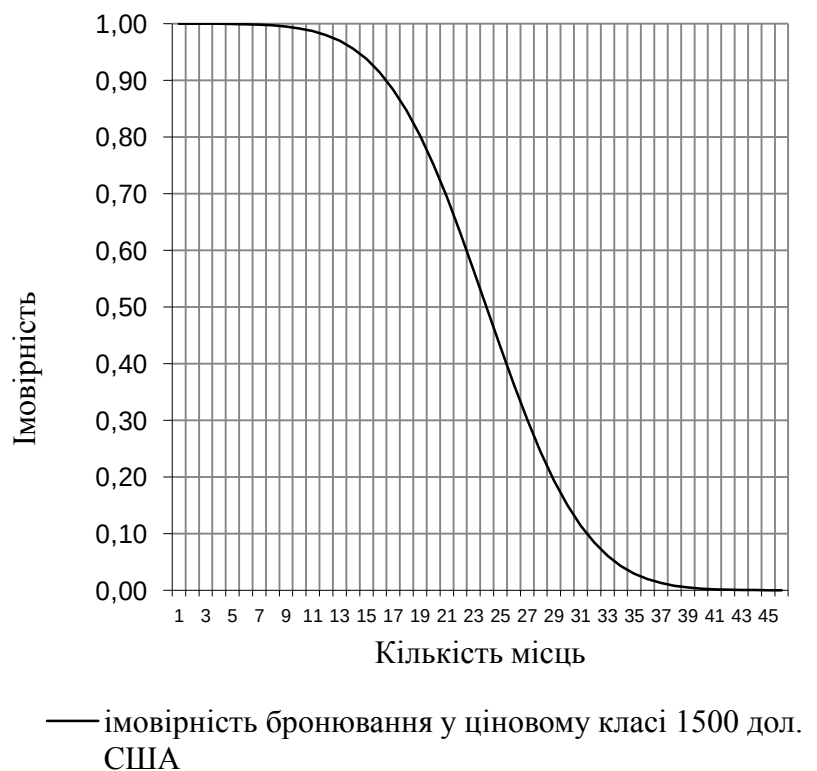


Рисунок 5.10 – Розподіл ймовірності придбання квитка за тарифом цінового класу 1500 грош. од

Далі будується підсумковий графік за всіма ціновими класами (рис. 5.11).

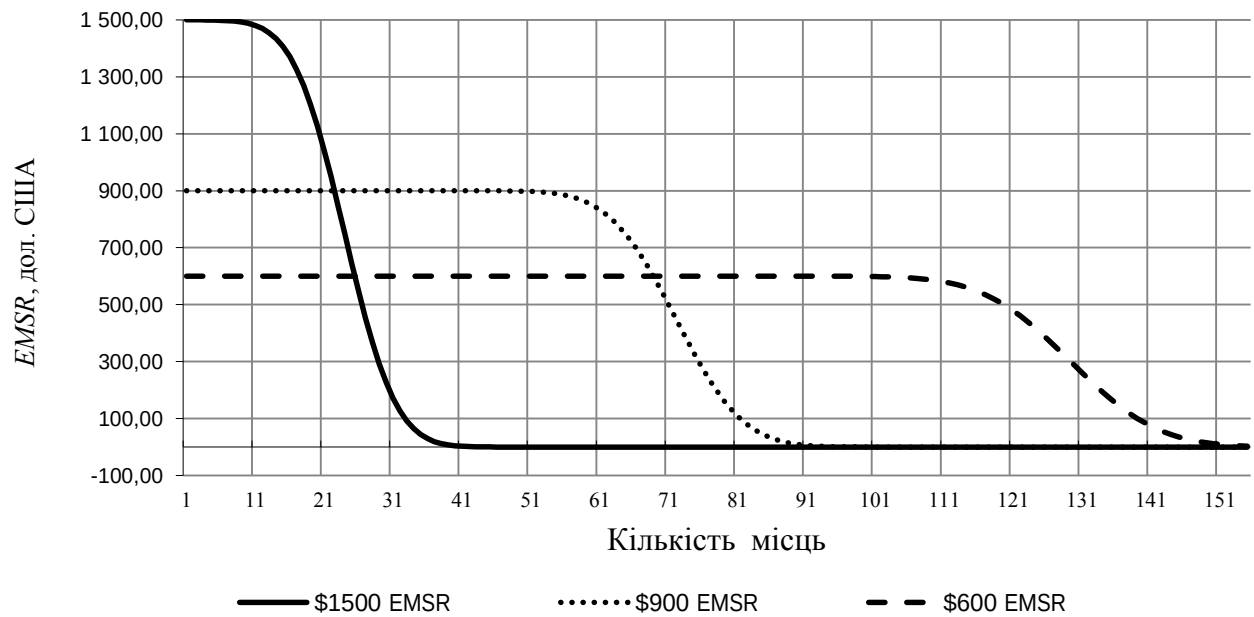


Рисунок 5.11 – Графік розподілу EMSR за ціновими класами тарифу

Підсумкові розрахунки меж бронювання (рис. 5.12) показали, що оптимальною кількістю місць для бронювання у ціновому класі тарифу 1500 грош. од. є 22 місця, у класі 900 грош. од. – 64 місця, в класі 600 грош. од. – 125–155 місць.

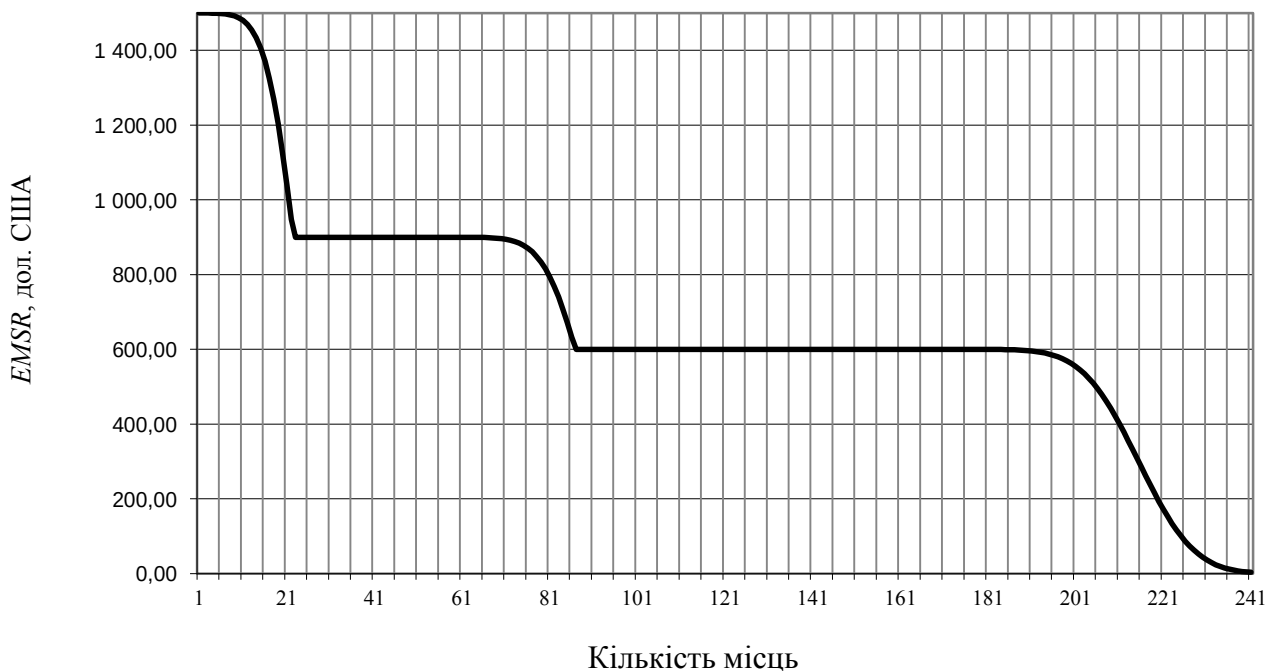


Рисунок 5.12 – Підсумковий графік розподілу EMSR для визначення меж бронювання за ціновими класами тарифу

Під *понадлімітним бронюванням* (overbooking) слід розуміти продаж авіаквитків, кількість яких перевищує місткість літака, призначеного на даний рейс, з метою компенсувати, таким чином, кількість пасажирів, які не прийшли до реєстрації [26].

Понадлімітне бронювання дещо відмінне від основних завдань оперативного управління завантаженням рейсу, оскільки допомагає максимально використовувати місткість літака за наявності значної кількості відмов від бронювання і неявок до реєстрації. Водночас понадлімітні продажі несуть у собі ризик появи «зайвих» пасажирів, тобто тих, кому було продано квиток, але немає місця в літаку. А це, в свою чергу, викликає додаткові витрати авіакомпанії з компенсації для цих пасажирів і втрату репутації.

Таким чином, завданням понадлімітного бронювання є визначення оптимальної, з точки зору прибутку, кількості проданих на заданий рейс квитків.

Перший варіант урахування витрат на компенсації наведено через компенсаційну функцію, параметрами якої є: заздалегідь невідома кількість пасажирів, які прибули понад наявну ємність, фізична пасажиромісткість ПС, а також ймовірність того, що пасажир, який придбав квиток на цей рейс, прибуде на реєстрацію [358]. У цьому разі задається деякий постійний параметр (DBC). Його значення залежить від ціни квитка і являє собою суму, що повертається пасажиру перевізником у разі неявки пасажира на рейс. Випадкова величина, яка характеризує кількість пасажирів, які прийшли на реєстрацію, розподілена за біноміальним законом із параметрами $(S_j^{\text{комп}}, p)$, де $S_j^{\text{комп}}$ – віртуальна кількість крісел на рейсі (ємність), для якої розраховуються очікувані витрати на компенсацію, p – ймовірність того, що людина, яка купила квиток на цей рейс, прибуде на реєстрацію ($ShowRate$). У цьому разі компенсаційна функція матиме вигляд (за висновками [358]):

$$F(S_j^{\text{комп}}, p) = DBC \times \sum_{i=S_{ij}}^{S_j^{\text{комп}}} (i - S_{ij}) \times p^i \times (1 - p)^{S_j^{\text{комп}} - i} \times \frac{S_j^{\text{комп}}!}{i!(S_j^{\text{комп}} - i)!} \quad (5.60)$$

У виразі (5.60) послідовно складаються очікувані витрати на компенсацію при появі однієї людини понад ємність ПС, двох, трьох, і т.д. до значення віртуальної місткості.

Отже, тестування моделі Yield Management у частині поточного прогнозування попиту на пасажирські перевезення на прикладі, наближеному до умов функціонування авіакомпанії МАУ показав, що застосування функції розподілу нормального закону в моделі граничного очікуваного доходу дає адекватні результати по визначенню меж бронювання на заданому рейсі та може застосовуватися в цілях підвищення ефективності функціонування авіакомпанії у фазі поточних операцій.

5.3 Моделювання взаємозв'язку авіатранспортної системи та авіабудівної галузі

Прискорення темпів оновлення ПС і збільшення їх складності стало характерним для виробів авіаційної промисловості останніх десятиліть. Ця обставина кидає новий виклик розробникам нових зразків авіаційної техніки не лише у зв'язку з витратами на розробку, виготовлення і експлуатацію ПС, які неухильно зростають, але й у зв'язку з нестаціонарним характером функціонування АТС, що включає проектоване ПС як складовий елемент авіакомпанії. На функціонування АТС впливають зростання попиту на авіаційні перевезення й роботи, перевантаженість деяких аеропортів, насиченість мережі маршрутів існуючими типами ПС, високий рівень авіатранспортних технологій, складність організаційних форм кооперації різних галузей, що представляють замовника і розробника авіаційної техніки, тощо.

Все це вказує на доцільність програмно-цільового підходу [203, 226] до проектування ПС, тобто підходу з точки зору отримання кінцевого продукту, який, наприклад, для пасажирських ПС, перебуває у сфері інтересів авіакомпаній. Тому з точки зору багатоваріантних ієрархічних систем (див. п. 2.1.6) вид створюваного ПС має формуватися в системі замовника, тобто

авіакомпаній, адже розробник є лише виконавцем заявлених у технічному завданні вимог. Але разом з тим замовник, на відміну від розробника, не має того інструментарію, за допомогою якого можна перевірити реалізацію того або іншого проектного варіанту. Таким чином, завдання проектування ПС не можна розглядати у відриві від завдань планування розвитку відповідних галузей – споживачів продукції авіапромисловості.

В даному підрозділі викладемо методологічне обґрунтування єдиного дворівневого підходу (ЄДП) до оптимізації основних параметрів ПС на етапі попереднього проектування.

Постановка завдання

Повітряні судна – найбільш вагомий ресурс АТС. Вони є іконою суспільства і, крім усього іншого, коренем вирішення будь-яких промислових проблем, пов'язаних з навколишнім середовищем. Має бути розуміння цінності ПС, як з боку комерції, так і з боку їх виробництва та обслуговування.

У цьому параграфі буде зроблена спроба поєднати комерційну і технічну точки зору на проектування і виробництво ПС в контексті їх тісного взаємозв'язку.

Практичні питання, пов'язані з розробкою, створенням та експлуатацією ПС, потребують розв'язання двох завдань. Перше завдання пов'язане з формалізацією процесу функціонування віртуального повітряного флоту, що представляє собою умовний сумарний парк ПС авіакомпаній, які потенційно можуть замовити проектоване ПС, з побудовою математичної моделі, визначенням оптимальних режимів функціонування з метою досягнення максимальної ефективності всього процесу при фіксованих витратах. Це завдання називатимемо завданням *зовнішнього проектування* ПС, оскільки воно визначає коло питань, обумовлених впливом зовнішніх факторів і пов'язаних з обробкою інформації, яка надходить ззовні.

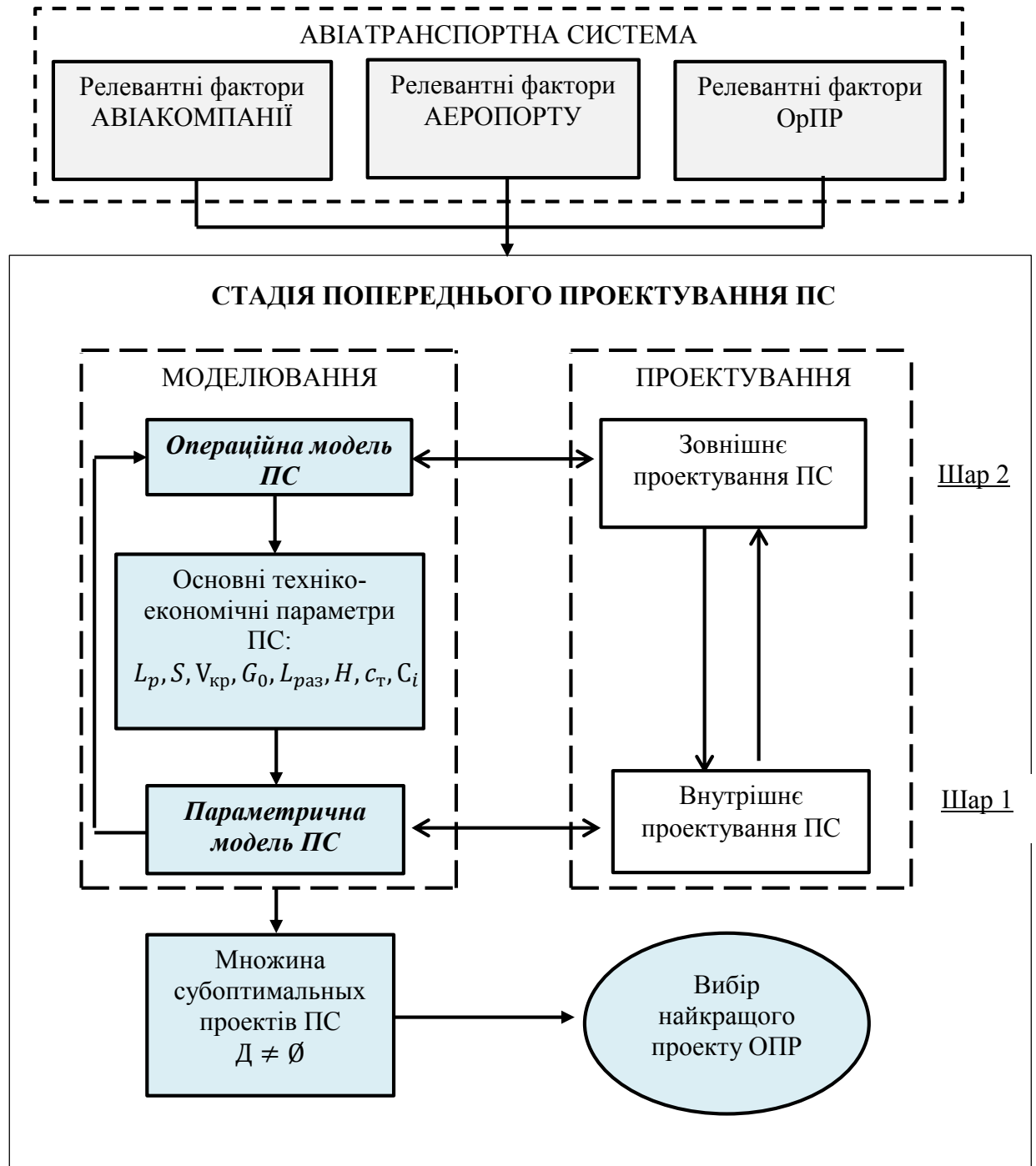
Розв'язання другого завдання стосується технічної реалізації оптимального ПС на основі методів оптимального проектування та пов'язане з реалізацією оптимальних характеристик і параметрів ПС як у цілому, так і його агрегатів,

вузлів і деталей. Це завдання називатимемо завданням *внутрішнього проектування* ПС, оскільки дане завдання охоплює коло питань, обумовлених внутрішніми взаємозв'язками підсистем ПС та вимог до агрегатів, вузлів і деталей, отриманих із розв'язанням першого завдання.

Як елемент віртуального повітряного флоту, проєктоване ПС через свої техніко-економічні характеристики впливає на економічну ефективність цього флоту. Техніко-економічні характеристики ПС, в свою чергу, є функціями параметрів ПС, які визначаються в процесі внутрішнього проектування. Таким чином, виникає проблема встановлення зв'язку між вибором проектних параметрів на етапі внутрішнього проектування та техніко-економічних характеристик на етапі зовнішнього проектування і оцінювання їх з точки зору ефективного функціонування віртуального флоту. Це і є приклад багатопланової ієрархії прийняття рішень (рис. 5.13), методологічні основи, якої раніше розглядалися в розділі 2.

Вибір проектних параметрів ПС на основі дослідження їх безпосереднього впливу на економічну ефективність віртуального флоту практично не здійснений через громіздкість математичної моделі та недостатню чутливість критерію ефективності до варіацій параметрів, що оптимізуються. Тому для аналізу та оцінювання економічної ефективності застосування новостворюваного ПС в ЦА необхідно описати його, як і інші використовувані в авіакомпаніях ПС, за допомогою середніх агрегованих показників, що формуються у сфері експлуатації парку ПС на основі техніко-економічних характеристик, які визначаються проектними і конструкторсько-технологічними рішеннями в процесі внутрішнього проектування.

Зазвичай виділяють п'ять рівнів розв'язання завдання з розробки нового ПС [269]. У табл. 5.9 вказано, що рівень II відповідає розробці технічного завдання і техніко-економічного обґрунтування застосування ПС у ЦА і водночас служить входом в його внутрішнє проектування.



L_p – розрахункова дальність польоту, км; S – кількість крісел; $V_{кр}$ – крейсерська швидкість, км/год.; G_0 – максимальна злітна вага, кг; $L_{раз}$ – довжина розбігу, м; H – середньорічний наліт, год.; c_T – питома витрата пального, г/пас•км; C_i – ціна ПС, млн грн.

Рисунок 5.13 – Двошарова ієрархія визначення основних параметрів ПС
на стадії попереднього проектування

Таблиця 5.9 – Стадії і рівні проектування ПС

Стадії проектування	Ієрархічний рівень	Зміст завдання	Відповідальні організації
Зовнішнє проектування	I	Прогнозування пасажиропотоків на авіамаршрутах віртуального флоту.	Замовники віртуального флоту.
	II (2)	Визначення складу парку і програми виробництва нового ПС; визначення техніко-економічних характеристик нового ПС; розробка ТЗ; ТЕО доцільності застосування нового ПС цивільною авіацією.	Замовники віртуального флоту, розробник ПС.
Внутрішнє проектування	III (1)	Визначення основних проектних параметрів ПС, що задовольняють ТЗ.	Розробник ПС, замовники віртуального флоту.
	IV	Проектно-конструкторські роботи з уточнення основних проектних параметрів ПС, його конструктивно-силової і загальної компоновальної схеми. Визначення структури та параметрів підсистем.	Розробник ПС.
	V	Конструювання вузлів і деталей та складання технічної документації для виробництва і експлуатації ПС.	Розробник ПС.

При побудові математичної моделі процесу зовнішнього проектування ПС дотримуватимемося такої концепції: вибір техніко-економічних характеристик проектованого ПС має здійснюватися в комплексі з завданнями стратегічного планування розвитку віртуального флоту.

Загальна модель проектування

Особливо велику роль в оптимальному проектуванні ПС відіграють математичні методи моделювання та оптимізації, які успішно застосовуються для вибору найкращих у прийнятому сенсі параметрів і характеристик ПС або його підсистем на різних стадіях проектування.

Припустимо, що проектоване ПС залежить від η варійованих параметрів, які вважатимемо точкою $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$ у η -мірному просторі параметрів.

Рівняння і нерівності:

$$F_m(\chi) \leq 0, \quad m = 1, \dots, M \quad (5.61)$$

$$\chi \geq 0, \quad (5.62)$$

які описують функціонування ПС, а також критерій оцінювання:

$$F_0(\chi) \quad (5.63)$$

теж залежать від χ . Обмеження (5.61) і (5.62) виділяють в η -мірному просторі параметрів деяку підмножину допустимих рішень U .

Завдання оптимального проектування ПС полягає у відшуванні точки $\chi = \chi^*$ такої, що:

$$F_0(\chi^*) = \min_{\chi \in U} F_0(\chi), \quad (5.64)$$

або визначенні, що такого χ не існує для $F_0(\chi)$ на U .

Науково-методична концепція системного підходу до зовнішнього проектування ПС полягає в тому, що завдання (5.64) розбивається на дві взаємопов'язані моделі: операційну та параметричну. При параметричному моделюванні ПС використовується модель, яка відображає взаємодію деяких домінуючих властивостей ПС, які кількісно представлені у вигляді набору параметрів $\chi = (\chi_1, \dots, \chi_\eta)$. При операційному моделюванні як об'єкт виступає безпосередньо ПС. Оскільки проектоване ПС розглядається в сукупності з іншими ПС, які беруть участь у транспортній операції, природно назвати моделі цього типу операційними [270]. На параметричному рівні генерується деяка кінцева множина проектних варіантів ПС, з котрої за допомогою операційної моделі формується множина субоптимальних варіантів D . Найкращий проект $\chi^* \in D$ вибирає ОПР, враховуючи при цьому ряд додаткових, як правило, параметрів, які не формалізуються, і відносин на етапі попереднього проектування.

Для побудови множини D можна використовувати також статистичні методи, морфологічний метод, неформальні методи, що засновані на «знанні спеціаліста» [336], методи нечітких множин [349, 362, 388].

Принципи операційного моделювання

Операційна модель ПС ототожнюється з цілісною множиною ПС, пов'язаних між собою взаємними відносинами. Відносини, що розглядаються, такі, за допомогою яких модель об'єднується в одне ціле. З математичної точки зору це відносини типу нерівностей, з фізичної – обмеження на ресурси, функціонування та технологію виконання транспортної операції.

Якщо крім системи обмежень обраний критерій оцінювання оптимального варіанту проектного ПС, то операційну модель ПС можна записати у вигляді задачі математичного програмування:

$$\min F_0(\chi_1, \dots, \chi_n) \quad (5.65)$$

за обмежень

$$F_m(\chi_1, \dots, \chi_n) \leq 0, m = 1, \dots, M \quad (5.66)$$

$$\chi = (\chi_1, \dots, \chi_n) \in D, \quad (5.67)$$

де D – деяка область η -мірного евклідового простору, яка часто ототожнюється з невід'ємним октантом простору E^η .

Тоді модель зовнішнього проектування ПС (5.65)-(5.67) в розгорнутому виді можна записати як модель аналогічну (5.9)-(5.18):

максимізувати лінійну форму

$$TC_{AK} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^a \sum_{i=1}^{m+p_t} \frac{1}{(1-e)^t} \{c_{ijt} q_{ijt} + c_{it} q_{it}^p - O_{it}^T\} \quad (5.68)$$

за обмежень

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} p_{ijt} q_{ijt} \geq d_{jt}, j = \overline{1, a}; t = \overline{1, T} \quad (5.69)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} v_{ijt} q_{ijt} \geq v_{jt}^*, j = \overline{1, a_b}, a_b \leq a_t; t = \overline{1, T} \quad (5.70)$$

$$\sum_{j=1}^a \varphi_j(q_{ijt}) \leq a_{it} + \sum_{\tau=1}^t \theta_{i\tau t} q_{it}^p, \quad i = \overline{1, m+p_t}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.71)$$

$$\sum_{j=1}^a r_{ij} q_{ijt} \leq R_{it}, \quad i = \overline{1, m+p_t}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.72)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} \sum_{j=1}^{a_k} p_{ijt} q_{ijt} \leq B_n, \quad n = \overline{1, N}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.73)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} \sum_{j=1}^{a_n} q_{ijt} \leq S_n, \quad n = \overline{1, N}; \quad t = \overline{1, T} \quad (5.74)$$

$$\sum_{i=1}^{m+p_t} c_{it} q_{it}^p \leq K_t, \quad t = \overline{1, T} \quad (5.75)$$

$$q_{ijt} \geq 0, \quad i = \overline{1, m+p_t}; \quad j = \overline{1, a_t}; \quad t = \overline{1, T}, \quad (5.76)$$

$$y_{it} \geq q_{it}^p \geq 0, \quad i = \overline{1, m+p_t}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (5.77)$$

де p_t — кількість нових типів ПС (у виді проектів), що пропонуються віртуальним авіакомпаніям авіапромисловістю в t -му році.

Інші позначення операційної моделі (5.68)-(5.77) збігаються з раніше прийнятими в моделі (5.9)-(5.18).

Складність сучасних ПС не дозволяє побудувати алгоритм, за допомогою якого можна було б знайти за прийнятний для практики час всі параметри і характеристики нових типів ПС, що цікавлять нас, не спираючись на прототипи. Тому, враховуючи послідовний характер наближення до оптимальної конструкції, доцільно процес проектування ПС починати з деякого «доброго» наближення (аналог бенчмаркінгу). Таке завдання стоїть перед проектувальником, коли необхідно створити модифікацію існуючої конструкції, тобто коли можна поліпшити вибраний прототип шляхом часткових змін.

У заключній частині цього параграфа розглядається ідея параметричного моделювання ПС, за допомогою якого можна генерувати множину проектних варіантів ПС, обмежившись лише тими параметрами, які суттєво впливають на ефективність функціонування авіакомпанії.

Потенційне ринкове замовлення нових типів ПС сформується у виді $\sum_{t=1}^T q_{it}^{p*} = q_i^{p*}$, $i = m + 1, \dots, p_t$. В залежності від замовлення q_i^p кожний розробник ПС приймає рішення про доцільність виробництва пропонованого типу ПС з урахуванням відпускної ціни C_{it} і собівартості виробництва одного ПС. З іншого боку, авіакомпанії теж приймають рішення про покупку того або іншого типу ПС в необхідній їй кількості в залежності від вартості ПС і призначених маршрутів. Цей ітераційний процес узгодження цін і призначених маршрутів, представлений на рис. 5.14, триває до тих пір, поки авіакомпанії і авіапромисловість не прийдуть до компромісу.

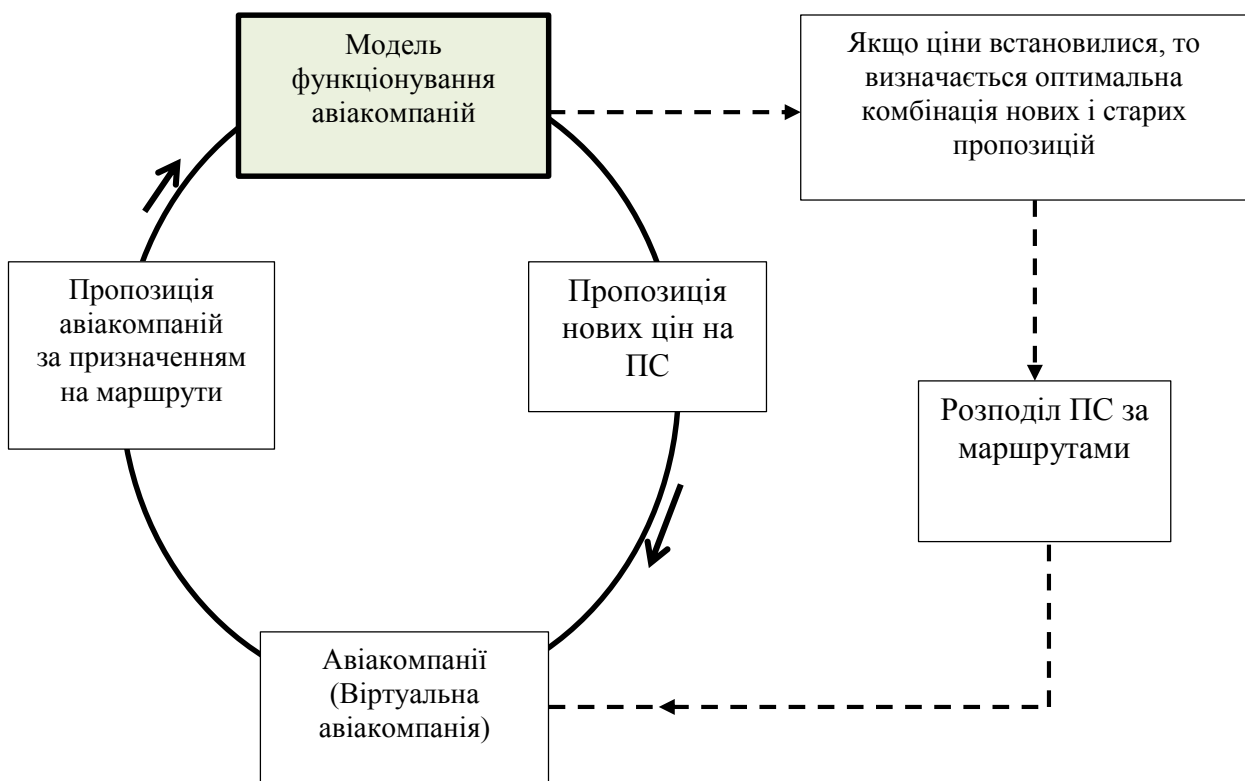


Рисунок 5.14 – Взаємодія авіакомпаній з авіабудівною галуззю

Принципи параметричного моделювання

Параметричне моделювання розглядатимемо як такий метод дослідження математичних моделей ПС, у рамках якого основні властивості цих ПС вивчаються за допомогою найбільш істотних, ключових параметрів L_p , S , $V_{кр}$, G_0 , $L_{раз}$, H , c_T , C_i та інших, а також відносин, що пов'язують ці параметри.

Основні принципи параметричного моделювання можна будувати методом дедукції, на основі загальної теорії систем. Виходитимемо з абстрактного найменш обмеженого опису ПС. Потім вводимо шляхом фіксації деяких параметрів додаткові структури і розглядаємо наслідки, що випливають з цього припущення. При заданій структурі ПС параметричне моделювання полягає в тому, щоб визначити за значеннями деяких фіксованих параметрів ПС значення його інших невідомих параметрів [189]. При цьому слід дотримуватися відомих апріорі або отриманих у процесі досліджень і експериментів закономірностей та обмежень, що пов'язують параметри ПС. На різних стадіях проектування при різних технічних завданнях як відомі (фіксовані) можуть прийматися різні групи параметрів. Тому і загальна модель проектного ПС повинна відображати цей факт, тобто вона має будуватися без попереднього поділу параметрів на відомі і шукані, що характерно для моделей у формі задач математичного програмування.

З іншого боку, ця модель після конкретизації завдання, тобто після зазначення критерію оптимальності, параметрів, що фіксуються, і тих параметрів, значення яких потрібно визначити, повинна давати змогу легко отримувати окремі моделі у формі задач математичного програмування або завдання оптимального управління, які відповідають заданому окремому завданню. Ця вимога необхідної гнучкості у постановці завдання є однією з головних особливостей параметричного моделювання.

При побудові параметричної моделі насамперед проводиться процедура параметризації, тобто виділення основних, найістотніших, проектних параметрів, набір конкретних значень яких дає достатню інформацію для

прийняття рішення при подальшій реалізації проекту. Процес параметризації є дуже відповідальним. Він найважче піддається формалізації, адже повнота, достатність опису ПС багато в чому суб'єктивні, визначення «суттєвості» тих чи інших параметрів залежить як від стадії проектування, так і від досвіду проектувальників і замовників, наявних у них апіорних відомостей, що склалися в даній галузі системи наукових і технічних понять, тощо. Таким чином, набір параметрів становить основу мови, якою описується математична модель ПС.

Якщо параметризація ПС визначена, тобто параметри $\chi_1, \dots, \chi_n$ обрані, то переходимо до наступного етапу – виписування системи основних відносин $\mathcal{R}_1, \dots, \mathcal{R}_n$, які пов'язують ці параметри.

При виборі відносин і параметрів ПС виходитимемо з наступних вимог до параметричної моделі:

1) має бути інформаційно сумісна з операційною, тобто вихід параметричної моделі має забезпечити вхід операційної моделі за тими елементами матриць витрат, продуктивності, частоти польотів тощо, які залежать від параметрів проектного ПС;

2) має включати всі найсуттєвіші вимоги, що накладаються умовами проектування, виготовлення та експлуатації ПС, а також ті відносини і параметри, без яких неможливо одержати модель у замкненій формі [151];

3) з урахуванням вищеназваних вимог має містити мінімальну кількість параметрів і відносин, які їх пов'язують.

Таким чином, науково-методична концепція пропонованого підходу полягає в тому, що завдання (5.65) розбивається на дві взаємопов'язані задачі: операційну та параметричну. На параметричному рівні генерується деяка кінцева множина проектних варіантів ПС за окремим критерієм, сумісного з критерієм операційної задачі. Потім з цієї множини за допомогою операційної моделі вибирається оптимальний варіант.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Шляхом обробки статистичних даних доведено, що істотний вплив на попит мають тільки два параметри: валовий внутрішній продукт на душу населення та обсяг туристичних потоків. Використовуючи даний результат, розроблено кількісні моделі прогнозування обсягів авіап перевезень в Україні на період 2014-2020 рр. Адекватність розроблених моделей підтверджена відповідними статистичними критеріями. Отримані результати довгострокового прогнозу показують, що за умови позитивного розвитку економіки України темп приросту авіаційних пасажирських перевезень складе 0,98-4,77% на рік, тобто до 2020 року авіаційним транспортом України буде перевезено близько 11,2 млн. пас. та обслуговано в аеропортах не менше 19,2 млн. пас.

Формальні залежності обсягів вантажних авіаційних перевезень від соціально-економічного та техніко-технологічного розвитку в Україні встановити не вдалося, що можна пояснити млявим розвитком даного сегменту авіаринку. Крім того, основна частка ємностей вантажних авіакомпаній України використовується за межами АТС України.

2. Удосконалено математичну модель функціонування авіакомпанії шляхом введення додаткових елементів у цільову функцію і систему обмежень, що враховують основні цілі, а також технологічні та економічні вимоги стратегічного планування діяльності авіакомпанії. Також авіакомпанія може використовувати запропоновану модель для формування техніко-економічних вимог до новостворюваних авіапромисловістю ПС.

3. Реалізація розробленої моделі поточного планування функціонування авіакомпанії дозволяє для мережі з перевантаженими хабами визначити граничні умови доцільності синтезу безпосадкових маршрутів з низьким рівнем попиту і придбання авіакомпаніями ПС малої пасажиромісткості.

Експериментальні розрахунки показали, що хабова модель мережі більше відповідає економічним інтересам авіакомпанії у випадку ігнорування непрямих витрат, пов'язаних із затримками в аеропортах. Системний підхід до оцінки ефективності експлуатації мережі авіамаршрутів, тобто врахування

параметрів по можливим затримкам ПС та пасажирів в завантажених аеропортах, підтверджує тезу про ефективність декомпозиції мережі та введення додаткових прямих рейсів. Враховуючі незначні обсяги авіаперевезень, вимоги щодо мінімальної частоти для підтримки попиту та необхідність високого коефіцієнту завантаження для економічної ефективності експлуатації далекомагістральних рейсів, перспективними, на наш погляд, будуть пропозиції виробників щодо нових вузькофюзеляжних далекомагістральних ПС.

4. Експериментальні розрахунки для авіакомпанії МАУ дозволили встановити, що розроблені методи визначення оптимальної частоти рейсів та меж бронювання за класами тарифів дозволяють підвищити тижневий прибуток компанії за рахунок перерозподілу ресурсів та визначення оптимальної кількості місць для бронювання у різних цінових класах тарифів до 3,95%.

5. Запропонований метод єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі вносить певну ясність в організаційну структуру процесу проектування і моделювання ПС; допомагає розробнику ПС систематизувати велику частину відомих на сьогодні методів і алгоритмів аналізу й синтезу складних технічних систем; сприяє підвищенню якості проекту та скорочення часу його розробки; досить ефективно розв'язується низка нових завдань, що виникають на стику оптимального проектування ПС і перспективного планування господарської діяльності авіакомпаній – потенційних замовників проектного ПС.

Основні наукові результати опубліковано у наукових працях [113, 115, 117, 120, 130, 131, 136, 141, 146].

РОЗДІЛ 6

МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТІВ ТА ЇХ ПІДСИСТЕМ

6.1 Стратегії розвитку регіональної мережі аеропортів

На першому етапі вирішення проблеми визначення оптимального розподілу обмежених ресурсів між аеропортами мережі, описаної у розділі 1.3, розглянемо завдання оцінки ефективності альтернативних стратегій розвитку на прикладі регіональної мережі аеропортів України.

Прийнято [281, 282], що при розробці стратегії розвитку мережі аеропортів необхідно враховувати рівень економічного розвитку регіонів та розвиток транспортної інфраструктури в цілому. Якщо пропускна спроможність та відповідні технології аеропорту не тільки відповідають міжнародним стандартам, а ще й передбачають майбутні очікування споживача (див. п. 2.2.3), це, як правило, стимулює розвиток економіки. Однак, якщо випередження розвитку інфраструктури значне, то частина потужностей може бути не задіяна, внаслідок чого зростають терміни окупності інвестицій. Значне відставання технологій та пропускної спроможності транспортної інфраструктури уповільнює розвиток економіки, зумовлює зниження ефективності виробництва, а потім і його значний спад.

Стратегія 1. Розвиток основних регіональних аеропортів в умовах адміністративного управління авіаційним ринком.

Враховуючи територіальне положення України (протяжність України: із заходу на схід – 1316 км, з півночі на південь – 893 км) і необхідність розв’язання соціально-економічних питань розвитку країни доцільно розглянути варіант зосередження фінансових, технічних і технологічних ресурсів на розвитку домінуючих аеропортів регіонів. У центральному регіоні пропонується розвивати аеропорти «Бориспіль» (KBP) та «Київ» (Жуляни) (IEV), у південному регіоні – аеропорт «Одеса» (ODS), Автономній Республіці

Крим – аеропорт «Сімферополь»¹ (SIP), у східному регіоні – аеропорт «Донецьк» (DOK)² (як альтернатива можуть розглядатися аеропорти «Маріуполь» або «Дніпропетровськ», але вони виведені із державної власності), у західному – аеропорт «Львів» (LWO) (усього 6 аеропортів) (див. додаток І, табл. І.5). Дані аеропорти визначені виходячи з аналізу сформованих пасажиропотоків і наявних потужностей авіапідприємств.

Сумарна пропускна спроможність обраних регіональних аеропортів становить приблизно 31,8 млн пасажирів на рік: KBP – 21 млн, IEV – 2 млн, LWO – 6 млн, SIP – 2 млн, ODS – 0,8 млн (триває реконструкція). Аеропорт DOK потребує реконструкції після бойових дій 2014 р. на сході України.

Стратегія 2. Розвиток аеропорту «Бориспіль» як міжнародного і восьми регіональних аеропортів для обслуговування внутрішніх перевезень. При цьому до вищезгаданих регіональних аеропортів можна додати аеропорти «Харків», «Дніпропетровськ», «Ужгород» (за умови узгодження співпраці держави та власників аеропортів).

Аеропорт «Харків» (HRK) і «Дніпропетровськ» (DNK) вже реконструйовані, пропускна спроможність кожного становить від 1,5 до 2 млн пас. на рік. Аеропорт «Ужгород» (UDJ) потребує реконструкції. На даний момент аеропорт має один термінал пропускною спроможністю 100 пас./год. (0,2 млн пас. на рік) і одну асфальтову ЗПС завдовжки 2038 м і завширшки 40м.

Дана стратегія потребує комплексного підходу за участю авіакомпаній, яким може знадобитися розробка прийнятних тарифів для польотів з пересадкою. Крім того, ця стратегія тягне за собою значні вкладення у розвиток інфраструктури наземних видів транспорту, для забезпечення високої швидкості пересування від аеропортів до населених пунктів.

¹ Навесні 2014 р. Україна закрила повітряний простір Криму, і код аеропорту UKFF (УКФФ) перестав використовуватися. Після того, як повітряний простір Криму перейшов під фактичну юрисдикцію Росії, аеропорту був присвоєний код УРФФ, згідно з документами Росавіації.

² Під час бойових дій 2014 р. на сході України будівля аеропорту зазнала значних пошкоджень. Наприкінці травня робота аеропорту була припинена. З 3 червня 2014 р. ДАС України відкликала сертифікат експлуатанта аеропорту.

Стратегія 3. Розвиток усіх існуючих аеропортів і аеродромів в умовах повної лібералізації авіаційного ринку (функціонування близько 30 аеропортів та аеродромів).

Лібералізація авіаційного ринку передбачає вільний доступ будь-якої сертифікованої авіакомпанії світу в будь-який аеропорт України, приватизацію аеропортів, які не мають стратегічної важливості, вільне встановлення аеропортових зборів, що дасть змогу аеропортам конкурувати один з одним.

Така модель підвищує ймовірність входження на ринок України бюджетних авіакомпаній, які обіцяють запропонувати тарифи на рівні вартості залізничних перевезень. Це, мабуть, реальний крок для підвищення рівня внутрішніх перевезень в Україні, враховуючи значний попит на залізничні перевезення. Звичайно, в даному разі є ймовірність виходу з ринку деяких авіаперевізників, зареєстрованих в Україні.

Математична модель задачі прийняття рішення про вибір стратегії розвитку аеропортів в умовах невизначеності може бути задана у вигляді такої трійки об'єктів

$$\langle U, D, f \rangle, \quad (6.1)$$

де U – множина допустимих альтернатив (стратегій),

D – множина можливих станів середовища,

$f: U \times D \rightarrow W$ — цільова функція.

Як єдиний параметр, що характеризує стан середовища, в нашому випадку узято середньорічний попит. Тому множину станів середовища можна позначити $D = \{1, 2, 3, \dots, 40\}$ млн пасажирів. Цільова функція $f(u_\phi, d_a, z_\phi)$ – це прибуток, який отримає мережа аеропортів за рік в ситуації, коли обрана певна стратегія u_ϕ , де $\phi = \overline{1, \Phi}$ – кількість стратегій, які передбачають експлуатацію X аеропортів. Середньорічний попит дорівнює d_a , де $a = \overline{1, A}$ – кількість станів середовища, а z_ϕ – оцінка скорочення потенційного попиту в залежності від обраної стратегії. Необхідно вибрати одну з трьох стратегій розвитку аеропортів, описаних вище. При цьому припустимо, що реконструкція і будівництво ЗПС, модернізація систем УПР, будівництво під'їзних шляхів

будуть фінансуватися з бюджетних коштів. Ці витрати можна розділити на:

1) витрати, які не залежать від вибору стратегії і є необхідними для модернізації інфраструктури наземних видів транспорту в районі тяжіння основних регіональних аеропортів. Виходячи з аналізу експертних оцінок щодо необхідних інвестицій в розвиток інфраструктури наземних видів транспорту [188], прийнемо їх рівними 50 млн дол. США на рік.

2) витрати, пов'язані з обраною стратегією. Це витрати, що залежать від кількості функціонуючих аеропортів – $1u_{\phi}$ млн дол. США; витрати, пов'язані з обслуговуванням пасажирів в аеропорту – $13,85d_a$ дол. США.

Дані розраховано приблизно, виходячи з аналізу існуючої структури доходів і витрат аеропортів України та основного аеропорту Польщі у Варшаві Frederic Chopin (WAW) (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Розрахунок вхідних даних для вибору стратегії в умовах невизначеності

Фінансові результати діяльності аеропортів (за даними ICAO)								
статті	IEV	KBP	HRK	ODS	DOK	LWO	WAW	Середній показник
Дохід, тис. дол. США	2431	125349	15973	13100	9760	6916	193269	
Витрати, тис. дол. США	2425	73083	15617	9491	10811	5218	124547	
Кількість пас., тис.	211,5	5793,9	1273,1	670,7	488,1	452,2	9750,6	
Дохід/пас.	11,49	21,63	12,54	19,53	19,99	15,29	19,82	
Витрати/пас.	11,46	12,61	12,26	14,14	22,15	11,53	12,77	13,85

У витратах, пов'язаних з обраною стратегією, необхідно також врахувати упущену вигоду – скорочення прибутку від імовірності відмови потенційного пасажирів від авіаційного виду транспорту залежно від обраної стратегії. Упущена вигода може бути визначена як добуток питомого прибутку на прогнозовану кількість пасажирів, які можуть відмовитися від перевезення. Відсоток таких пасажирів позначимо через z_{ϕ} . Прийнемо, що при реалізації

першої стратегії $z_1 = 1\%$ від загальної кількості потенційних пасажирів, при реалізації другої стратегії $z_2 = 5\%$, реалізація третьої стратегії передбачає максимальне задоволення потенційного попиту, тобто $z_3 = 0\%$.

Припустимо, що дохід аеропортової мережі становить 17,19 млн дол. США на 1 млн пасажирів, тоді цільова функція для даного завдання ухвалення рішення буде мати вигляд:

$$f(u_\phi, d_a, z_\phi) = (17,19 - 13,85)(d_a - d_a z_\phi) - u_\phi - 50 ,$$

або

$$f(u_\phi, d_a, z_\phi) = 3,34d_a(1 - z_\phi) - u_\phi - 50. \quad (6.2)$$

Далі, прийmemo $f(\phi, a) = w_\phi^a$ і будемо інтерпретувати число w_ϕ^a як виграш приймаючого рішення за умови (ϕ, a) . Тоді цільова функція задається у вигляді матриці виграшів.

При побудові матриці виграшів для вибору стратегії розвитку мережі регіональних аеропортів України (табл. 6.2) враховувалися такі стани середовища на 2020 р.: сумарний пасажиропотік в аеропортах України дорівнює 13 млн пасажирів (песимістичний прогноз), 15,1 млн пасажирів (найімовірніший прогноз), 19,2 млн пасажирів (оптимістичний прогноз) і 21 млн пасажирів (надзвичайно оптимістичний прогноз). Як критерії вибору альтернативи використовувалися критерій Лапласа $L(\phi)$ і критерій Вальда $W(\phi^*)$ [219]:

$$L(\phi) = \frac{1}{A} \sum_{a=1}^A w_\phi^a , \quad (6.3)$$

$$W(\phi^*) = \max_{\phi} W(\phi) = \max_{\phi} \min_a w_\phi^a. \quad (6.4)$$

Також можемо зробити припущення про ймовірності настання кожного можливого стану середовища (p_a). Тоді очікуваний результат від прийняття ϕ -ої стратегії ER_ϕ обчислюється за формулою:

$$ER_{\phi} = \sum_{a=1}^A w_{\phi}^a p_a. \quad (6.5)$$

Особа, яка приймає рішення, може вибрати таку стратегію, яка б максимізувала очікуваний результат:

$$ER_{\phi^*} = \max_{\phi} ER_{\phi}. \quad (6.6)$$

Таблиця 6.2 – Матриця виграшів від реалізації стратегій розвитку мережі аеропортів (розраховано за (6.2)-(6.6))

ϕ	a		1	2	3	4	$L(\phi)$	ER_{ϕ}
		P_j	0,3	0,45	0,2	0,05		
	Попит Кількість аеропортів	z_{ϕ}	13,0	15,1	19,2	21,0		
1	6	0,01	-13,01	-6,07	7,49	13,44	0,46	-4,47
2	9	0,05	-17,75	-11,09	1,92	7,63	-4,82	-9,55
3	30	0	-36,58	-29,57	-15,87	-9,86	-22,97	-27,95

Результати проведених розрахунків показали явну перевагу *стратегії 1* ($L(1)=0,46$, $W(1)=-13,01$, $ER_1=-4,47$), якщо критерієм ефективності обраний економічний показник. У будь-якому випадку необхідність значних коштів на модернізацію шляхів сполучень населених пунктів з аеропортами, фіксовані витрати на підтримку аеропортів призводять до негативного економічного ефекту функціонування мережі регіональних аеропортів. Позитивний ефект досягається лише у випадку *стратегій 1, 2* при попиті не менше ніж 19 млн пасажирів. Однак при прийнятті *стратегії 2* доходи регіональних аеропортів формуватимуться лише за рахунок обслуговування внутрішніх рейсів, а це підвищує ризик зменшення прогнозованих обсягів, адже пасажирів можуть вибрати альтернативні види транспорту.

Якщо ж критерієм розвитку мережі регіональних аеропортів є

забезпечення соціальних потреб, підвищення ступеня доступності авіаперевезень для населення України і при цьому існує можливість надання державних інвестицій, дотацій (субсидій) для реконструкції більшості аеропортів, то можливий варіант розвитку *стратегії 3*, яка може дати позитивний ефект, коли рівень попиту досягне близько 24 млн пасажирів (за інших заданих умов).

6.2 Метод визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів

Другий етап вирішення проблеми визначення оптимального розподілу обмежених ресурсів між аеропортами мережі може складатися з постановки та вирішення завдання визначення необхідної (або перспективної) пропускної спроможності аеропортів. Дане завдання сформулюємо як спеціальне завдання цілочислового програмування, для вирішення якого запропоновано відповідний алгоритм. Вхідні дані завдання по визначенню пасажиропотоку між аеропортами пропонується знаходити за допомогою методу оцінювання елементів матриці маршрутів кореспонденцій. Результати вирішення цього завдання використовуються як вхідна інформація завдання управління розвитком мережі аеропортів (п. 6.3).

АТС як комунікаційна система повинна функціонувати з урахуванням всіх факторів, що стимулюють ріст і ефективність авіаперевезень. Зростання обсягу авіаперевезень і, відповідно, оперативного виконання усіх видів обслуговування в структурах АТС викликають необхідність ряду організаційних і технічних перетворень в основних підсистемах АТС, зокрема, при збереженні колишньої структури мережі авіамаршрутів та організації обслуговування пасажирів в аеропортах можуть виникнути значні труднощі. Основна мета цих перетворень полягає в поліпшенні обслуговування в аеропортах, розширенні географії польоту ПС і збільшенні частоти рейсів. У процесі планування цих перетворень виникає завдання, вирішення якого дозволило б визначити оптимальну пропускну спроможність аеропортів і

відповідну структуру мережі маршрутів, а, в кінцевому рахунку, – планування переліку різних робіт по обслуговуванню пасажирів і ПС. При цьому загальні витрати на виконання робіт, пов'язаних з організаційними і технічними перетвореннями, визначаються в результаті їх підсумовування.

При всьому розмаїтті тлумачення понять «пропускна спроможність аеропорту» й «пропускна спроможність авіамаршруту» у роботах [62, 254, 302, 342] у даній роботі під цими поняттями будемо розуміти, відповідно, *пасажиропотік аеропорту та кількість пасажирів, подорожуючих між двома аеропортами, які необхідно обслужити за деякий час*. Таке представлення пропускної спроможності аеропорту є необхідним також при визначенні розмірів різних технічних зон аеропорту згідно керівництва IATA [281].

В роботі [351] наводяться різні моделі визначення пропускної спроможності аеропортів, за допомогою яких можна було б визначити розміри наземної і повітряної зон, відповідних даному періоду часу і поточним технічним параметрам аеропортів. У цій же роботі зазначається, що застосування цих моделей на практиці пов'язане з великими труднощами, оскільки потрібні специфічні дані для їх реалізації.

При визначенні оптимальних пропускних спроможностей аеропортів треба також враховувати всі потенційно можливі авіарейси. В окремому випадку, можна розглянути завдання визначення пропускної спроможності аеропортів у зв'язку із відповідною структурою мережі авіамаршрутів з урахуванням прогнозованого пасажиропотоку між аеропортами. Нагадаємо, що під мережею авіамаршрутів розуміється мережа, що складається з множини аеропортів в якості її вузлів, і безпосадкових маршрутів в якості її ребер.

Отже, нижче сформульована неформальна постановка і модель загального завдання в термінах поточних і прогнозованих пасажиропотоків, число обмежень якої виражається як експонента від числа аеропортів мережі авіамаршрутів. Однак при допущенні деякої ієрархії на множині аеропортів сформульована модель може бути представлена як спеціальна задача цілочислового програмування з числом обмежень на одиницю менше числа

вузлів мережі авіамаршрутів. Далі викладені способи накопичення інформації, що дозволяють ідентифікувати завдання, вивчені властивості спеціального завдання, і на прикладі ілюструється робота алгоритму її розв'язання.

Постановка завдання та її математична модель

Нехай N – задана множина аеропортів, E – множина існуючих і потенційних прямих маршрутів між аеропортами N . Надалі, абстрагуючись від «авіаційного» змісту множин N та E , будемо оперувати множиною вузлів і ребер мережі $G = (N, E)$. Можна вважати, що мережа G представлена повним графом, так як неіснуючі прямі маршрути між різними парами аеропортів можна розглядати як потенційні маршрути. На підмножинах A множини N визначимо позитивну функцію, значення якої є прогнозованими величинами пасажиропотоків між аеропортами A і $N \setminus A$. З визначення цієї функції випливає, що $PaxFlow(A) = PaxFlow(N \setminus A)$, тобто вона симетрична. Симетричність функції означає, що сумарна кількість пасажиропотоків, що прибувають і відбувають в і з множин аеропортів A збігається з аналогічною сумою пасажиропотоку для множин аеропортів $N \setminus A$.

У мережі $G = (N, E)$ множина ребер, що з'єднують вузли із A з вузлами $N \setminus A$, називається *розрізом*, визначеним непустою підмножиною A множини N ($\emptyset \neq A \subset N$), і позначається як $\delta(A)$. Якщо підмножини $A = \{v\}$, то для простоти замість $\delta(\{v\})$ будемо писати $\delta(v)$. В подальшому довільне ребро $e \in E$ також позначається як (v, w) , тобто $e = (v, w)$, де v, w – його кінцеві вузли.

Нехай для деяких вузлів (аеропортів) $v, w \in N$ задані $d_{vw} \geq 0$ як поточна (або мінімальна) кількість пасажирів між аеропортами v і w . Якщо немає необхідності в зазначенні мінімальної кількості пасажирів, то можна припустити, що $d_{vw} = 0$. Таким чином, не порушуючи загальності, можемо припустити, що для довільної пари аеропортів, v і w , задані величини $d_{vw} \geq 0$.

Якщо x_v – невідома необхідна пропускна спроможність (кількість пасажирів, що може бути обслужена аеропортом за заданий період часу) аеропорту v , то $c_v x_v$ – загальні витрати на його реконструкцію, де c_v – сума питомих витрат на всіх етапах реконструкції. В мережі $G = (N, E)$ є множина

можливих прямих авіамаршрутів (ребер), які можуть бути виконані через аеропорт v , утворюючи розріз $\delta(v) \subset E$. Якщо x_e – невідома необхідна пропускна спроможність ребра $(v, w) = e \in \delta(v)$ (невідома кількість пасажирів, яка може використати даний авіамаршрут), то

$$x_v = \sum_{e \in \delta(v)} x_e \quad (6.7)$$

для кожного аеропорту $v \in N$.

Таким чином, необхідна пропускна спроможність аеропорту v визначається як сума пропускних спроможностей ребер, що належать $\delta(v)$. Це визначення можна записати коротко як $x_v = x(\delta(v))$. Тоді для аеропортів N отримаємо

$$\sum_{v \in N} c_v x_v = \sum_{v \in N} \sum_{e \in \delta(v)} c_v x(\delta(v)) = \sum_{e \in E} c_e x_e, \quad (6.8)$$

де $c_e = c_v + c_w$ для всіх ребер $(v, w) = e \in E$.

Математичну модель загального завдання визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів на графі $G = (N, E)$ можна сформулювати наступним чином:

знайти

$$\min \sum_{e \in E} c_e x_e \quad (6.9)$$

за обмежень

$$\sum_{e \in \delta(v)} x_e \geq PaxFlow(\Lambda) \text{ для } \forall \emptyset \neq \Lambda \subset N, \quad (6.10)$$

$$x_e \geq d_{vw} \geq 0 \text{ для } \forall e = (v, w) \in E, \quad (6.11)$$

$$x_e - \text{ціле число для } \forall e \in E. \quad (6.12)$$

Далі розглянемо прості, але важливі властивості завдання (6.9)–(6.12). Зокрема покажемо, що з урахуванням залежності $x_v = x(\delta(v))$ і при допущенні

ієрархії серед аеропортів загального завдання визначення необхідних пропускних спроможностей аеропортів, завдання (6.9)–(6.12) можна звести до спеціальної задачі цілочисельного програмування, в результаті вирішення якої визначаються цілочисельні оптимальні значення змінних x_e і x_v для всіх ребер $e = (v, w) \in E$ і всіх аеропортів $v \in N$, відповідно. Якщо ребро $e = (v, w)$ відповідає існуючому прямому авіамаршруту між аеропортами $v, w \in N$, то потрібно збільшити пропускну спроможність в аеропортах v і w до величини $\sum_{e \in \delta(v)} x_e$ і $\sum_{e \in \delta(w)} x_e$ відповідно. Якщо ребро $e = (v, w)$ відповідає потенційному безпосадковому маршруту між аеропортами $v, w \in N$, то між ними створюється новий маршрут, який дозволяє обслужити $x_v = x_e$ і $x_w = x_e$ пасажирів за заданий період часу.

Таким чином, у результаті вирішення цієї задачі визначаються необхідні значення пропускної спроможності аеропортів (за обсягом пасажиропотоку), які можуть включати деякі нові маршрути між аеропортами з множини N .

Визначення значень параметрів завдання (6.9)–(6.12)

1. Оцінювання компонентів вектору d .

Для визначення пасажиропотоку між довільними парами аеропортів можна застосувати один з відомих алгоритмів оцінювання елементів матриці маршрутних кореспонденцій (ММК) між пунктами призначення та відправлення (англ. Origin-Destination Matrix [295]) який широко використовується при плануванні й управлінні в транспортних системах.

На практиці оцінювання (знаходження точних значень елементів ММК) є важливим етапом розв'язування завдань проектування транспортних мереж [295]. Стовпці ММК відповідають кореспонденціям, що з'єднують пункти відправлення та призначення пасажирів, рядки – множину ребер E (наявні і потенційні безпосадкові рейси). Нагадаємо, що у мережі $G = (N, E)$ множина вузлів розглядається як пункти відправлення і призначення, а маршрути між цими пунктами представляються як послідовність ребер з множини E . Для обчислення значень компонентів вектора $d = (d_e; e \in E)$ можна застосувати один з алгоритмів [295, 312], за допомогою якого оцінюються елементи ММК,

які представляють собою величину пасажиропотоку між вузлами протягом деякого поточного періоду часу (доба, тиждень і т. д.). Для оцінювання елементів ММК спочатку шляхом ϖ спостережень визначається величина трафіку κ_e^{ϖ} на кожному ребрі $e \in E$. Далі вектор $\kappa^{\varpi} = (\kappa_e^{\varpi}; e \in E)$ використовується для статистичного оцінювання елементів ММК. Наприклад, в [312] для оцінювання елементів ММК застосовується «жадібний» (англ. greedy) підхід [391] за допомогою якого визначаються найкоротші шляхи в мережі $G = (N, E)$. По цих шляхах пропонується пропустити максимальну кількість потоків від одного вузла до іншого таким чином, щоб сумарний потік на ребрі e не перевищував κ_e^{ϖ} . Для оцінювання елементів ММК в роботі [247] сформульована відповідна задача лінійного програмування з умовою справляння деякого штрафу, якщо потік спрямовується не по найкоротшому шляху.

Крім цих алгоритмів, для оцінювання елементів ММК застосовуються методи мінімізації деякої нелінійної функції наступним чином. Нехай на мережі $G = (N, E)$ зафіксовані маршрути, що з'єднують деякі пари вузлів. Кожній кореспонденції L в мережі $G = (N, E)$ можна зіставити $|E|$ -мірний вектор $\pi(L)$, де $\pi(L_e) = 1$, якщо ребро $e \in E$ є ребром кореспонденції L , і $\pi(L_e) = 0$, якщо e не є ребром кореспонденції L . Очевидно, що число компонентів вектора $\pi(L)$ дорівнює $|E|$. Цей вектор зазвичай називається *характеристичним вектором кореспонденції L* .

Розглянемо матрицю Q , стовпчики якої є характеристичними векторами заданих кореспонденцій на мережі $G = (N, E)$, а рядки відповідають ребрам із множини E . Нехай χ – вектор, кожна компонента якого означає невідому кількість пасажирів по кожній з кореспонденцій в мережі $G = (N, E)$. Тоді вектор χ є рішенням системи лінійних рівнянь $Q\chi = \kappa^{\varpi}$ для спостережуваних значень вектора κ^{ϖ} . Так як число стовпців матриці Q набагато більше, ніж число її рядків, то система $Q\chi = \kappa^{\varpi}$ має багато рішень. Тому, в залежності від характеру досліджуваних потоків розглядаються різні цільові функції, наприклад, $(Q\chi - \kappa^{\varpi})^2$ [295]. Шляхом мінімізації останньої знаходимо

відповідне рішення (вектор χ) цієї системи. Таким чином, за ϖ спостереженнями оцінюється значення пасажиропотоку на кожному ребрі (елементи ММК) довільної кореспонденції, що з'єднує різні вузли (аеропорти). Після того, як визначені значення компонентів вектора χ , для кожного ребра $e \in E$ значення d_e обчислюється як скалярний добуток векторів Q_e і χ тобто $d_e = Q_e \chi$, де Q_e – рядок матриці Q , що відповідає ребру e .

2. Обчислення значення функції $PaxFlow(\Lambda)$.

Яким чином можна визначати значення $PaxFlow(\Lambda)$ для довільної підмножини Λ множини N , якщо відомі $PaxFlow(\{v, w\})$ для всіх пар різних вузлів $v, w \in N$, $v \neq w$? Іншими словами, яким чином визначаються прогнозовані або очікувані пасажиропотоки на авіамаршрутах, що примикають до довільної підмножини Λ аеропортів? Щоб визначити значення $PaxFlow(\Lambda)$ на довільній підмножині Λ ($\emptyset \neq \Lambda \subset N$) достатньо знайти прогнозовані значення $PaxFlow(\{v, w\})$ пасажиропотоків між усіма парами аеропортів $v, w \in N$, де $v \neq w$. Тоді обчислення $PaxFlow(\Lambda)$ на необхідних підмножинах $\Lambda \subset N$ можна здійснювати наступним чином.

Нехай $G_0 = (N_0, E_0)$ – мережа з множинами вершин $N_0 = N$ і ребер

$$E_0 = \{(v, w): PaxFlow(\{v, w\}) > 0, v, w \in N\},$$

де $PaxFlow(\{v, w\}) > 0$ є пропускною спроможністю ребра $(v, w) \in E_0$. На цій мережі значення функції $PaxFlow(\Lambda)$ на підмножині Λ можна визначити як потужність, або пропускну спроможність розрізу, що відокремлює частину Λ від $N \setminus \Lambda$. З цього визначення $PaxFlow(\Lambda)$ виходить, що вона симетрична. Крім того, для довільної множини $\Lambda \subset N$ обчислення $PaxFlow(\Lambda)$ здійснюється програмним способом. Іншими словами, обчислення значень функції $PaxFlow(\Lambda)$ здійснюється лише для необхідних підмножин $\Lambda \subset N$.

Визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів

У завданні (6.9)-(6.12) число обмежень виражається як експонента від числа вузлів мережі $G = (N, E)$. Якщо допустити ієрархію аеропортів, скажімо, за їх

класом, що відповідає дійсності, то необхідну пропускну спроможність кожного аеропорту і відповідну структуру мережі безпосадкових маршрутів можна визначити шляхом розв'язання спеціальної задачі цілочислового програмування.

З теорії графів відомо, що граф, що зв'язує всі вузли множини N , і не містить циклів, називається остовним деревом мережі $G = (N, E)$. Довільне остовне дерево містить $|N| - 1$ ребер [312]. Нехай $T = (N, E(T))$ – деяке остовне дерево мережі $G = (N, E)$. Після видалення довільного ребра $e \in E(T)$ з дерева $T = (N, E(T))$, воно розпадається на два піддерева T_1 і T_2 . На мережі $G = (N, E)$ розріз, що відокремлює вузли піддерева T_1 від вузлів T_2 , відповідає ребру $e \in E(T)$. Множину розрізів на мережі $G = (N, E)$, відповідних ребрам дерева $T = (N, E(T))$, позначимо як $\Gamma(T)$. Оскільки в дереві $T = (N, E(T))$ є $|N| - 1$ ребер, то $\Gamma(T)$ має $|N| - 1$ різних розрізів.

З визначення $x_v = x(\delta(v))$ виходить, що зміна пропускну спроможності ребер (v, w) еквівалентна зміні пропускну спроможності аеропортів v і w . При цьому для визначення значення змінних x_e для всіх $e \in E$ не обов'язково включати всі розрізи мережі $G = (N, E)$ в обмеження (6.10). Для цього досить в обмеження (6.10) моделі (6.9) - (6.12) включати розрізи $\delta(\Lambda)$, які відповідні тільки ребрам дерева $T = (N, E(T))$. Тому, завдання визначення необхідних пропускну спроможностей аеропортів можна сформулювати як окремий випадок моделі (6.9) - (6.12):

знайти

$$\min \sum_{e \in E} c_e z_e \quad (6.13)$$

за обмежень

$$\sum_{e \in \delta(\Lambda)} z_e = PaxFlow(\Lambda), \text{ для } \forall \delta(\Lambda) \in \Gamma(T), \quad (6.14)$$

$$z_e \geq d_e \geq 0 \text{ для } \forall e = (v, w) \in E, \quad (6.15)$$

$$z_e - \text{ціле число для } \forall e \in E. \quad (6.16)$$

Зрозуміло, що (6.13)-(6.15) є лінійною релаксацією цієї задачі. Після заміни $y_e = z_e - d_e$ модель (6.13)-(6.16) можна представити у вигляді:

знайти

$$\min \sum_{e \in E} c_e y_e \quad (6.17)$$

за обмежень

$$\sum_{e \in \delta(\Lambda)} y_e = \text{PaxFlow}(\Lambda) - \sum_{e \in \delta(\Lambda)} d_e, \quad \text{для } \forall \delta(\Lambda) \in \Gamma(T), \quad (6.18)$$

$$y_e \geq 0 \quad \text{для } \forall e = (v, w) \in E, \quad (6.19)$$

$$y_e - \text{ціле число для } \forall e \in E. \quad (6.20)$$

Покажемо, що шляхом розв'язання завдання (6.17)-(6.19), що є лінійною релаксацією (6.17)-(6.20), можна знайти оптимальні цілочисельні значення змінних y_e , тобто розв'язок завдання (6.17)-(6.20). З цією метою розглянемо матрицю A , рядки якої є характеристичними векторами розрізів $\Gamma(T)$, і нехай b – вектор з компонентами

$$b_\tau = \text{PaxFlow}(\Lambda_\tau) - \sum_{e \in \delta(\Lambda_\tau)} d_e \quad (6.21)$$

для всіх розрізів $\delta(\Lambda_\tau) \in \Gamma(T)$, відповідних ребрам τ дерева $T = (N, E(T))$. Таким чином, отримуємо, що матриця A має $|E|$ стовпців і $|N| - 1$ рядків. В цих позначеннях наведемо модель (6.17)-(6.19) (без умови (6.20)) у вигляді:

знайти

$$\min \sum_{e \in E} c_e z_e \quad (6.22)$$

за обмежень

$$Ay = b \quad (6.23)$$

$$y_e \geq 0 \quad \text{для } \forall e \in E, \quad (6.24)$$

де $y = (y_e; e \in E)$ – вектор.

Припустимо, що на довільному ребрі кількість прогнозованого пасажиропотоку не може бути менше ніж його поточне значення. Тоді $b_\tau \geq 0$ для всіх $\tau \in E(T)$. Розглянемо стовпці матриці A , які відповідають ребрам остовного дерева $T = (N, E(T))$. Оскільки кожне ребро τ міститься тільки в одному з розрізів $\delta(A_\tau) \in \Gamma(T)$, то стовпці, що відповідають ребрам остовного дерева $T = (N, E(T))$, утворюють одиничну підматрицю матриці A . Тому змінні y_e , відповідні ребрам $\tau \in E(T)$, є базисними змінними для моделі (6.22)-(6.24). Оскільки матриця A має повний ранг, то число базисних змінних дорівнює $|N| - 1$. Отже, маємо початковий цілочисельний базисний розв'язок для завдання (6.22)-(6.24). Потім, модифікуючи кроки симплекс-методу таким чином, щоб базисний розв'язок був цілочисельним [247] можна знайти цілочисельний розв'язок моделі (6.22) - (6.24).

Щодо розрахунку числа остовних дерев на графі

В мережі $G = (N, E)$ існує велика кількість різних остовних дерев. Тому залишається відкритим питання вибору остовного дерева $T = (N, E(T))$ на мережі $G = (N, E)$.

Обчислити число остовних дерев графа можна за допомогою спектральної теорії графів (по суті, це об'єднання теорія графів і лінійної алгебри) [313].

Визначення лапласіан графа: дано неорієнтований граф з впорядкованими вузлами $(v_1, v_2, \dots, v_n)$. Матриця Лапласа $L(G)$ визначається як $n \times n$ матриця з наступними елементами:

$$l_{ij} = \begin{cases} \text{ступінь } (v_i), \text{ якщо } i = j \\ -1, \text{ якщо } v_i \text{ з'єднане з } v_j \\ 0 - \text{ в інших випадках.} \end{cases} \quad (6.25)$$

Це означає, що значення діагональних елементів дорівнюють ступеню відповідних вузлів, і значення елементів, які не лежать на діагоналі, дорівнює -1 , якщо ребро з'єднує два вузли, і дорівнюють 0 – в інших випадках.

Матриця Лапласа графа має багато цікавих властивостей [231]. Зокрема можна показати, що у зв'язному графі матриці Лапласа міститься $n - 1$ невід'ємних характеристичних чисел. Ця властивість використовується в теоремі Кірхгофа [231], якою можна скористатися для розрахунку кількості остовних дерев.

Отже, для заданого зв'язного неорієнтованого графа G з n вузлами нехай $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{n-1}$ є ненульовими характеристичними числами $L(G)$. Тоді число різних остовних дерев графа G буде дорівнювати

$$T(G) = \frac{1}{n} \prod_{i=1}^{n-1} \lambda_i. \quad (6.26)$$

В якості прикладу розглянемо граф, зображений на рис. 6.1.

Для цього графа маємо:

$$L(G) = \begin{bmatrix} 3 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 & 0 \\ -1 & -1 & 3 & -1 \\ -1 & 0 & -1 & 2 \end{bmatrix}, \quad \begin{matrix} \lambda_1 = 4 \\ \lambda_2 = 4 \\ \lambda_3 = 2 \\ \lambda_4 = 0 \end{matrix}, \quad t(G) = \frac{1}{4}(4)(4)(2) = 8$$

Рисунок 6.1 – Приклад графа, матриці Лапласа та характеристичної функції: число біля кожного вузла вказує на обраний порядок. Загальна кількість остовних дерев, яке можна розрахувати за допомогою теореми Кірхгофа, дорівнює 8.

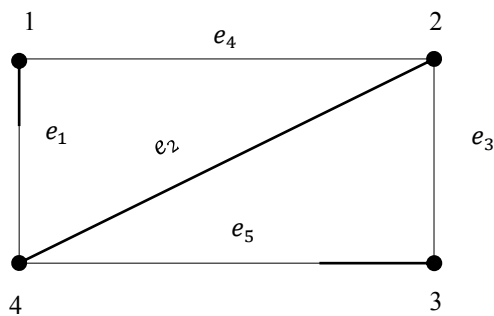
Із спектральної теорії графів відомо, що матрицю Лапласа графа G можна представити як добуток матриці інцидентності E і транспонованої матриці E^T : $L(G) = EE^T$ [231].

В якості ще одного прикладу розглянемо граф, зображений на рис. 6.2.

Матриця інцидентності E для графа з 4 вузлами і 5 ребрами є 4×5 матрицею, яка вказує, які ребра впливають на які вузли. Ми припускаємо, що як

ребра, так і вузли впорядковані. Використовуючи впорядкованість вузлів, ми фіксуємо напрямлення на кожному ребрі так, щоб ребро прямувало від нижнього вузла до вищого. Входи матриці інцидентності визначаються наступним чином:

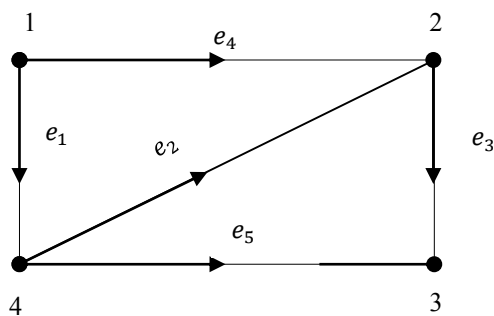
$$a_{i,j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо ребро } e_j \text{ виходить з } v_i \\ -1, & \text{якщо ребро } e_j \text{ входить у } v_i \\ 0 & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (6.27)$$



$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Рисунок 6.2 – Приклад графа з матрицею інцидентності E : число біля кожного вузла вказує на обраний порядок, e_i біля кожного ребра вказує на його номер.

В результаті додання довільної орієнтації ребер графа G отримаємо граф виду:



$$E^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ -1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Якщо з E^T видалити будь-який рядок (нехай, наприклад, це буде рядок 4, то отримаємо усічену матрицю

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Розглянемо матрицю

$$L(G) = AA^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 \\ -1 & 3 & -1 \\ 0 & -1 & 2 \end{bmatrix} \longrightarrow \det(AA^T) = \det(L(G)) = 8.$$

Отже, нехай G – зв'язний неорієнтований граф, A – усічена матриця інцидентності орієнтованого графа, отриманого присвоєнням ребер графа G довільної орієнтації. Тоді число остовних дерев у графі G дорівнює [231, стор. 116]:

$$\det(AA^T) = \det(L(G)). \quad (6.28)$$

Для вибору остовного дерева припустимо, що можна встановити рейтинг серед аеропортів за деяким критерієм, що тотожне деякому упорядкуванню вузлів мережі $G = (N, E)$. Вузли множини N представимо у вигляді списку $(v_1, v_2, \dots, v_n)$, в якому вони упорядковані за зростанням рейтингу аеропортів. Тут $n = |N|$. Якщо пріоритет між деякими аеропортами не встановлений, то відповідні їм вузли в цьому списку можуть слідувати в довільному порядку. Враховуючи, що повний граф містить ребро, що з'єднує довільну пару вузлів, побудуємо остовне дерево наступним чином. Якщо в списку $(v_1, v_2, \dots, v_n)$ між вузлами v_i і v_{i+1} встановлений порядок, то ребро (v_i, v_{i+1}) включаємо у множину $E(T)$. Якщо між ними порядок не встановлений, то в множині $E(T)$ включаємо довільні ребра з кінцевими вузлами v_i або v_{i+1} . Таким чином будується остовне дерево $T = (N, E(T))$. Зміст упорядкування вузлів мережі $G = (N, E)$ полягає в тому, що чим вище пріоритет аеропорту, тим більше авіамаршрутів, що примикають до нього, враховуються безпосередньо для визначення його пропускної спроможності.

Алгоритм розв'язання завдання визначення необхідної пропускної спроможності аеропортів України:

1. Формуємо мережу $G = (N, E)$ (аеропорти України, що входять у мережу G це аеропорти в містах IEV, ODS, LWO, DNK, HRK, DOK (рис. 6.3)). Вузли множини N представимо у вигляді списку $(v_1, v_2, \dots, v_n)$, в якому вони упорядковані за зростанням рейтингу аеропортів.

2. Визначаємо:

- d_e – поточне значення кількості пасажирів на ребрі e з урахуванням матриці кореспонденцій на заданій мережі G ;
- $PaxFlow(\{v, w\})$ – прогнозований пасажиропотік на ребрі e ;
- $c_e = c_v + c_w$, де c_v, c_w – приведені витрати на реконструкцію аеропортів v, w , умовн. грош. од. на 1 пас. (вага ребра $e = (v, w)$).

3. Вибираємо остовне дерево (в прикладі розглянемо одне мінімальне остовне дерево, рис. 6.4).

4. Будуємо $(n - 1) \times t$ матрицю, де кожний рядок – це характеристичний вектор розрізу $\delta(\Lambda_\tau)$ для всіх $\tau \in T$.

5. Розраховуємо $PaxFlow(\Lambda_\tau)$ та $\sum_{e \in \delta(\Lambda_\tau)} d_e$ для кожного $\tau \in T$, та за формулою (6.19) визначаємо b_τ (табл. 6.3).

6. Визначаємо оптимальні значення y_e^* застосовуючи ППП LINDO (симплекс-метод).

7. Знаходимо необхідні пропускні спроможності на ребрах отриманої мережі за формулою $z_e^* = y_e^* + d_e$.

8. Виходячи з того, що для маршруту $e = (v, w)$ $x_v = \sum_{e \in \delta(v)} x_e$ – визначаємо аеропорти України, у яких необхідно збільшити пропускну спроможність, та відповідно витрати на їх реконструкцію, порівнюючи x_v^* та фактичну пропускну спроможність. Якщо значення x_v^* більше за наявну пропускну спроможність переходимо до завдання поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів (п. 6.4, 6.5).

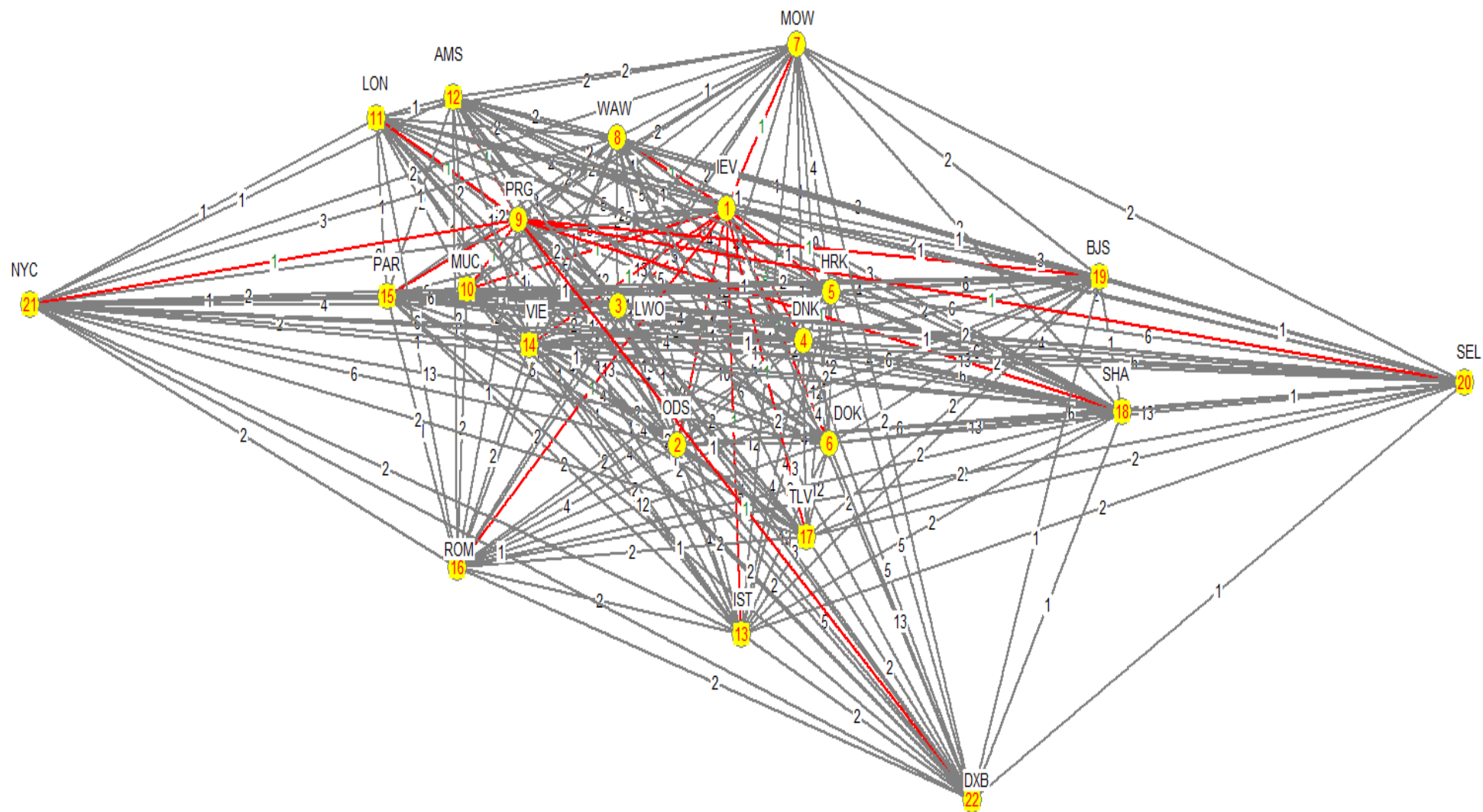


Рисунок 6.3 – Мережа $G = (N, E)$

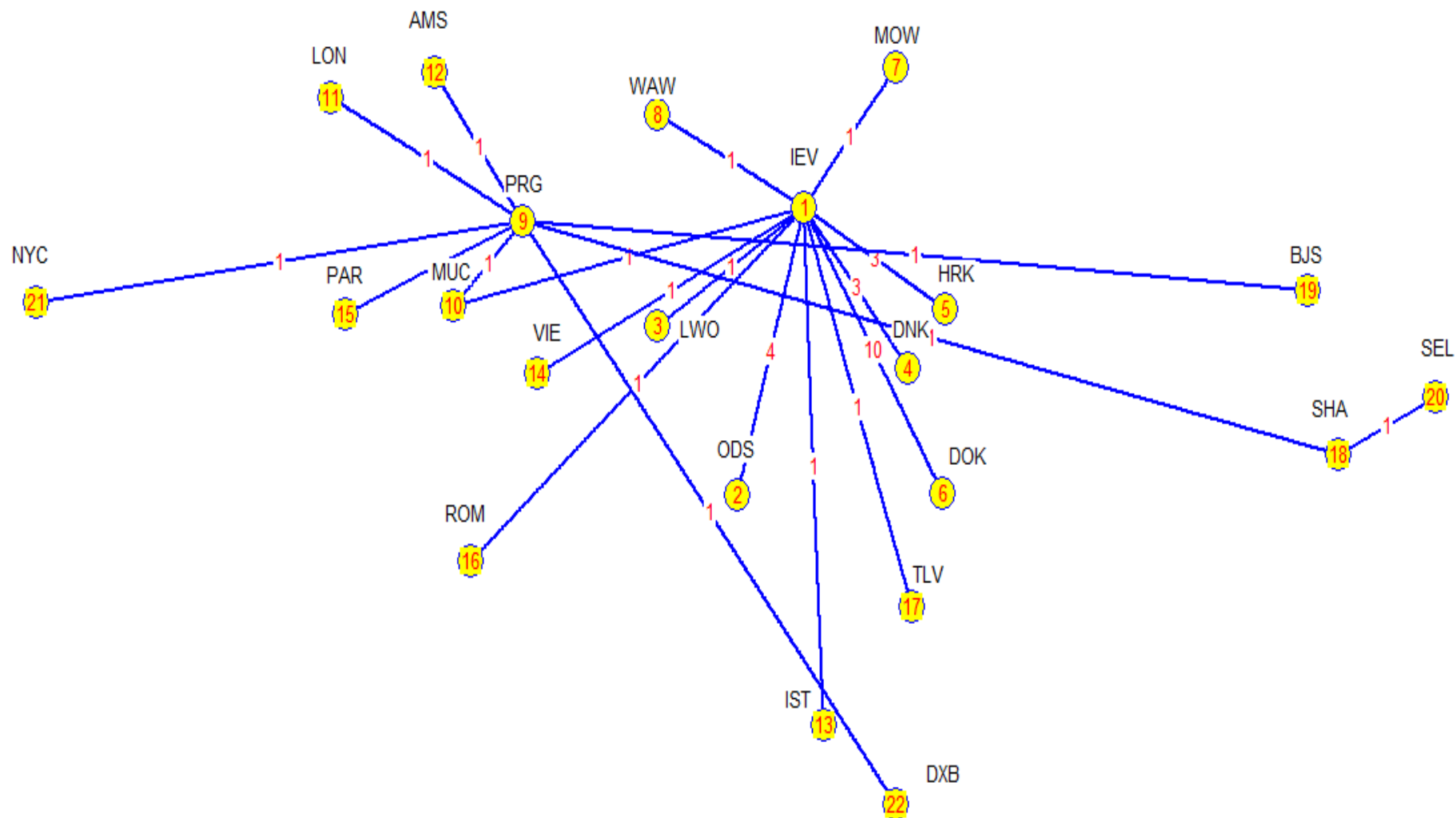


Рисунок 6.4 – Остовне дерево T заданої мережі G

Таблиця 6.3 – Матриця обмежень (6.23) (див. файл matrix.xlsx)

Кореспонденції маршрути (ребра)		IEV-PRG	IEV-LON	IEV-AMS	IEV-PAR	...	SHA-SEL	b_τ (тис. пас./рік)
		y19	y111	y112	y115	...	y1820	
1	ODS-IEV	0	0	0	0	...	0	443
2	LWO-IEV	0	0	0	0	...	0	392
3	DNK-IEV	0	0	0	0	...	0	327
4	HRK-IEV	0	0	0	0	...	0	148
5	DOK-IEV	0	0	0	0	...	0	128
6	MOW-IEV	0	0	0	0	...	0	1285
7	WAW-IEV	0	0	0	0	...	0	455
8	MUC-IEV	0	0	0	0	...	0	1335
9	IST-IEV	0	0	0	0	...	0	1016
10	VIE-IEV	0	0	0	0	...	0	915
11	ROM-IEV	0	0	0	0	...	0	1046
12	TLV-IEV	0	0	0	0	...	0	648
13	PRG-AMS	0	0	1	0	...	0	1752
14	PRG-LON	0	1	0	0	...	0	3903
15	PRG-NYC	0	0	0	0	...	0	1525
16	PRG-PAR	0	0	0	1	...	0	974
17	PRG-MUC	1	1	1	1	...	0	4720
18	PRG-SHA	0	0	0	0	...	0	2400
19	PRG-BJS	0	0	0	0	...	0	817
20	PRG-DXB	0	0	0	0	...	0	807
21	SHA-SEL	0	0	0	0	...	1	1030

В табл. 6.3 компоненти вектору b вказані в правій частині рівності, а в лівій частині представлена матриця A , стовпці якої відповідають ребрам $e \in E$, а рядки є характеристичними векторами розрізів, що відповідають ребрам основного дерева T , представленого на рис. 6.4. Кожна компонента вектору y вказана на відповідному йому стовпці. За допомогою ППП LINDO було отримано оптимальний розв'язок y^* моделі (6.22)-(6.24), який подано у табл. 6.4.

Ребра, що відповідають оптимальним базисним змінним на вихідній мережі авіамаршрутів, вказані на рис. 6.5. Результати розрахунків оптимальних значень z_e^* вказані в табл. 6.4, та графічно представлені у додатку Л.

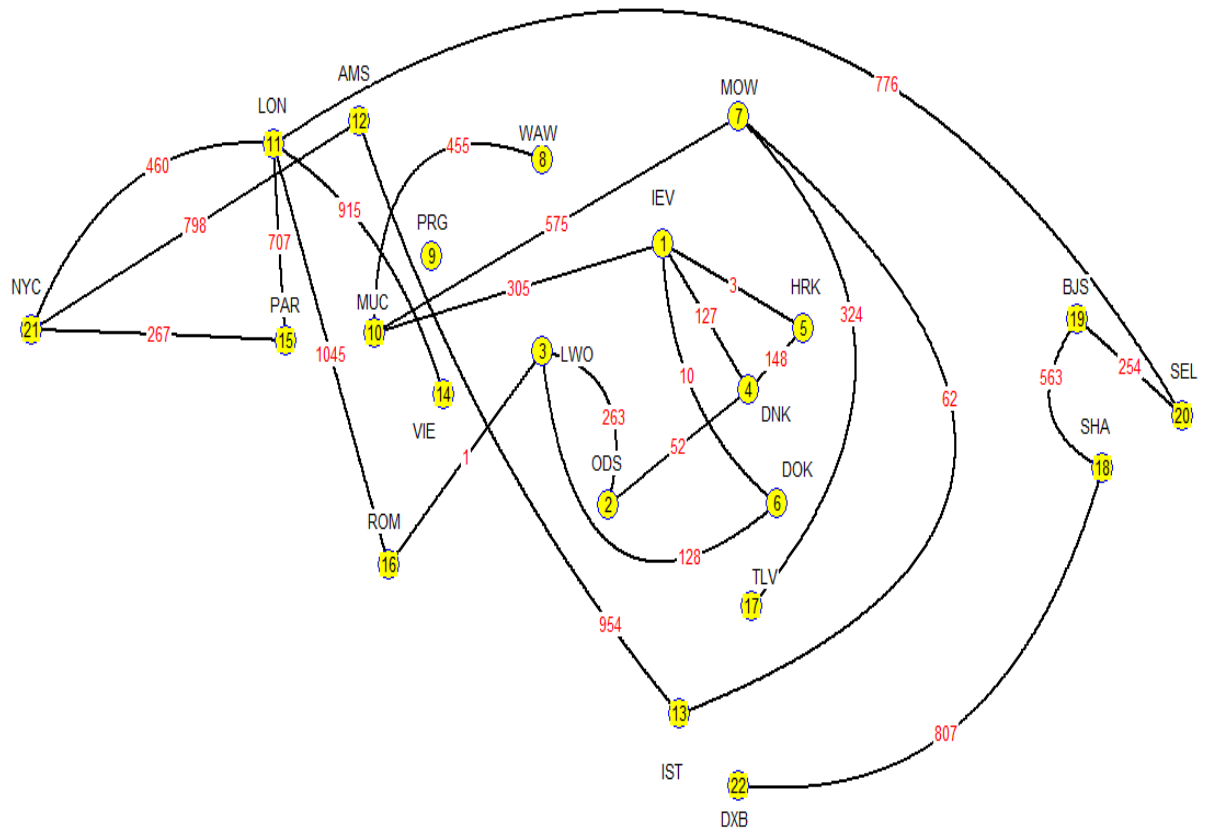


Рисунок 6.5 – Оптимальні базисні змінні на вихідній мережі авіамаршрутів G

Таблиця 6.4 – Вибірка із оптимального рішення: значення z_e^* на мережі авіамаршрутів з аеропортів України

ребра	змінна	y^*	d_e	z_e^*	$2z_e^{*3}$	ребра	змінна	y^*	d_e	z_e^*	$2z_e^*$
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
IEV-PRG	y19		70	70	140	DNK-HRK	y45	148	0	148	296
IEV-LON	y111		113	113	226	DNK-DOK	y46		0	0	0
IEV-AMS	y112		83	83	166	DNK-MOW	y47		27	27	54
IEV-PAR	y115		41	41	82	DNK-WAW	y48		0	0	0
IEV-SHA	y118		0	0	0	DNK-PRG	y49		0	0	0
IEV-BJS	y119		40	40	80	DNK-MUC	y410		0	0	0
IEV-SEL	y120		0	0	0	DNK-LON	y411		0	0	0
IEV-NYC	y121		56	56	112	DNK-AMS	y412		0	0	0
IEV-DXB	y122		61	61	122	DNK-IST	y413		0	0	0
ODS-LWO	y23	263	0	263	526	DNK-VIE	y414		2	2	4
ODS-DNK	y24	52	0	52	104	DNK-PAR	y415		0	0	0

³ Враховуємо потік «туди й назад»

Продовження табл. 6.4.

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
ODS-HRK	y25		0	0	0	DNK-ROM	y416		0	0	0
ODS-DOK	y26		0	0	0	DNK-TLV	y417		9	9	18
ODS-MOW	y27		30	30	60	DNK-SHA	y418		0	0	0
ODS-WAW	y28		19	19	38	DNK-BJS	y419		0	0	0
ODS-PRG	y29		29	29	58	DNK-SEL	y420		0	0	0
ODS-MUC	y210		0	0	0	DNK-NYC	y421		0	0	0
ODS-LON	y211		0	0	0	DNK-DXB	y422		0	0	0
ODS-AMS	y212		0	0	0	HRK-DOK	y56		0	0	0
ODS-IST	y213		26	26	52	HRK-MOW	y57		12	12	24
ODS-VIE	y214		22	22	44	HRK-WAW	y58		0	0	0
ODS-PAR	y215		0	0	0	HRK-PRG	y59		0	0	0
ODS-ROM	y216		0	0	0	HRK-MUC	y510		0	0	0
ODS-TLV	y217		11	11	22	HRK-LON	y511		0	0	0
ODS-SHA	y218		0	0	0	HRK-AMS	y512		0	0	0
ODS-BJS	y219		0	0	0	HRK-IST	y513		0	0	0
ODS-SEL	y220		0	0	0	HRK-VIE	y514		0	0	0
ODS-NYC	y221		0	0	0	HRK-PAR	y515		0	0	0
ODS-DXB	y222		4	4	8	HRK-ROM	y516		0	0	0
LWO-DNK	y34		0	0	0	HRK-TLV	y517		0	0	0
LWO-HRK	y35		0	0	0	HRK-SHA	y518		0	0	0
LWO-DOK	y36	128	0	128	256	HRK-BJS	y519		0	0	0
LWO-MOW	y37		0	0	0	HRK-SEL	y520		0	0	0
LWO-WAW	y38		25	25	50	HRK-NYC	y521		0	0	0
LWO-PRG	y39		6	6	12	HRK-DXB	y522		0	0	0
LWO-MUC	y310		19	19	38	DOK-MOW	y67		35	35	70
LWO-LON	y311		0	0	0	DOK-WAW	y68		0	0	0
LWO-AMS	y312		0	0	0	DOK-PRG	y69		8	8	16
LWO-IST	y313		0	0	0	DOK-MUC	y610		19	19	38
LWO-VIE	y314		0	0	0	DOK-LON	y611		0	0	0
LWO-PAR	y315		0	0	0	DOK-AMS	y612		0	0	0
LWO-ROM	y316	1	2	3	6	DOK-IST	y613		0	0	0
LWO-TLV	y317		0	0	0	DOK-VIE	y614		0	0	0
LWO-SHA	y318		0	0	0	DOK-PAR	y615		0	0	0
LWO-BJS	y319		0	0	0	DOK-ROM	y616		0	0	0
LWO-SEL	y320		0	0	0	DOK-TLV	y617		7	7	14
LWO-NYC	y321		0	0	0	DOK-SHA	y618		0	0	0
LWO-DXB	y322		0	0	0	DOK-BJS	y619		0	0	0
IEV-ODS	y12		36	36	72	DOK-SEL	y620		0	0	0
IEV- LWO	y13		36	36	72	DOK-NYC	y621		0	0	0
IEV- DNK	y14	127	40	167	334	DOK-DXB	y622		3	3	6
IEV -HRK	y15		20	20	40	IEV -IST	y113		34	34	68

Продовження табл. 6.4.

1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
IEV- DOK	y16		40	40	80	IEV- VIE	y114		40	40	80
IEV- MOW	y17		340	340	680	IEV- ROM	y116		18	18	36
IEV -WAW	y18		65	65	130	IEV- TLV	y117		144	144	288
IEV -MUC	y110	305	81	386	772						

Якщо відомий обсяг пасажиропотоку і тип ПС, то легко визначається частота рейсів, і навпаки. Тому при вирішенні практичних завдань доцільно перейти від пасажиропотоків до частоті авіарейсів з урахуванням типів ПС, що виконують кожен авіарейс.

Отже, згідно отриманого рішення, за заданих умов вартості реконструкції та обсягів регулярних пасажирських перевезень на заданій мережі, оптимальний перерозподіл пасажиропотоків потребує наступної пропускної спроможності аеропортів (млн пас. на рік) України: м. Київ – приблизно 3,6; м. Одеса – 0,984; м. Львів – 0,960; м. Дніпропетровськ – 0,706; м. Донецьк – 0,480; м. Харків – 0,48, що є нижчим за наявні ресурси. Аналіз графу Л.2 дозволяє також зробити висновок, що за заданих умов, без врахування витрат на (5.9), (5.10) пріоритетною є модель розвитку хабу на базі аеропорту в м. Київ при умові розвитку далекомагістральних рейсів. Загальні витрати на реконструкцію аеропортів України при заданих умовах складуть 8 млн 440 тис. ум. грош.од., з них для аеропорту м. Київ необхідно 1,3 млн; м. Одеса – 2,7 млн; м. Львів – 4 тис.; Дніпропетровськ – 2,5 млн; м. Донецьк – 2,56 млн.

6.3 Поетапний метод управління розвитком мережі аеропортів

На третьому етапі розв'язання завдання визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між аеропортами в даному підрозділі пропонується метод, за допомогою якого можна буде досить ефективно розв'язувати окремі завдання оцінювання конкурентного

рейтингу аеропортів, які входять до досліджуваної мережі. В даній роботі розглядається оцінювання інвестиційної привабливості аеропорту в частині його авіаційного виду діяльності.

Перш ніж розпочати формальну постановку завдання і опис методу його розв'язання, необхідно уточнити поняття *реконструкція*, тобто що розуміється під реконструкцією аеропорту, які витрати при цьому враховуються і яким чином варіації за рівнем реконструкції окремих аеропортів відображаються на сумарних витратах усієї сукупності конкуруючих аеропортів регіону, що розглядається.

Як було зазначено в п. 3.5, типовий аеропорт складається з аеровокзалу та підприємств аеропортового комплексу з великою кількістю складних інженерних об'єктів, включаючи, насамперед, аеродром.

Аеродром характеризується багатьма параметрами, але основними є:

B_n – питома пропускна спроможність за літако-вильотами, яка залежить від параметрів технічних засобів УПР в зоні аеропорту, кількості ЗПС та їх взаємного розташування, кількості слотів;

$L_{ЗПС}$ – довжина ЗПС;

σ – допустима міцність покриття ЗПС;

$h_{ЗПС}$ – висота над рівнем моря;

$t_{ЗПС}$ – середньорічна температура в зоні аеродрому;

$\alpha_{ЗПС}$ – ухил ЗПС.

Цих основних параметрів аеропорту виявляється досить для того, щоб, знаючи злітно-посадкові характеристики ПС, судити про можливості його експлуатації на даному аеродромі.

Залежно від розміру штучної ЗПС аеродроми за українським законодавством класифікують [24]:

при довжині ЗПС більше 3500 м – позакласний аеродром (далі – ПК);

при довжині ЗПС 2500–3500 м – аеродром I класу;

при довжині ЗПС 1800–2500 м – аеродром II класу;

при довжині ЗПС 1200–1800 м – аеродром III класу.

Клас аеропорту можна визначати річним обсягом пасажирських перевезень (пасажирооборотом), тобто сумарною кількістю всіх пасажирів, які прилітають та відлітають, включаючи транзитні (табл. 6.5). Крім того, можна скористатися класифікацією аеропортів ІКАО або FAA, які представлені в табл. 4.7 п. 4.2.3.

Таблиця 6.5 – Залежність класу аеропорту від річного обсягу пасажирських перевезень

Клас аеропорту	Позакласний	I	II	III	IV	V	Некласифікований
Річний обсяг пасажирських перевезень, тис. осіб	Більше 10000	10000 – 7000	7000 – 4000	4000 – 2000	2000 – 500	500 – 100	Менше 100

У такому разі варіації за рівнем реконструкції будемо трактувати як перехід з одного класу в інший, вищий. При цьому витрати, пов'язані з таким переходом, вважаються відомими. Крім того, для аеропорту заздалегідь відомі B_n і I_n – типаж ПС, який може приймати аеропорт, що тотожне завданню основних параметрів аеропорту, і $C_{АП}^{ек}$ – експлуатаційні витрати. При фіксованій конфігурації авіамережі інші параметри, тобто $h_{зпс}$ і $t_{зпс}$ слід вважати фазовими координатами, які входять у вираз комерційного завантаження ПС ($G_{ком}$) при побудові матриці коефіцієнтів розподільної задачі закріплення ПС за авіамаршрутами [57].

Безумовно, в процесі агрегування параметрів завжди втрачаються деякі специфічні властивості окремих аеродромів. Однак, беручи до уваги ту обставину, що результати операційного моделювання все одно уточнюються (неформально) ОПР, з урахуванням додаткових факторів, такий підхід – умовно назовемо його нормативним – видається досить коректним.

Аеровокзальний комплекс також характеризується багатьма параметрами. Одним із основних є D_n – пропускна спроможність терміналів щодо пасажиропотоку, яку будемо ототожнювати з класом аеропорту. У

загальній постановці завдання, коли потрібно виконати весь обсяг перевезень на мережі авіамаршрутів, тобто задовольняти максимальний прогнозований попит, обмеження за параметром $\mathcal{D}_n$ не включаються в розподільну задачу, тому що їх можна легко перевірити до початку її розв'язання. Ясно, що для будь-якого аеропорту $n \in \{1, \dots, N\}$ має виконуватися умова $\sum_{j \in J_n} d_j \leq \mathcal{D}_n$, де d_j – попит на j -у авіамаршруті; J_n – множина авіамаршрутів, прикріплених до n -го аеропорту. Якщо для деякого $\bar{n} \in \{1, \dots, N\}$ ця умова не виконується, то клас $\bar{n}$ -го аеропорту підвищуємо доти доки не отримаємо $\sum_{j \in J_n} d_j \leq \mathcal{D}_{\bar{n}}$. Необхідні для підвищення класу цього аеропорту витрати слід розглядати як неминучі і включати у витрати на реконструкцію. Звідси випливає, що в контексті загального завдання реконструкції керованими параметрами аеропорту є B_n і $\mathcal{D}_{\bar{n}}$, які в агрегованому вигляді можна виразити через клас аеропорту, припускаючи, що йому має відповідати клас аеродрому.

Модель завдання реконструкції при середньостроковому плануванні, очевидно, відрізнятиметься від подібного завдання перспективного планування більш жорсткими обмеженнями на: поставки нових ПС, структуру вихідного парку, частоту польотів на авіамаршрутах і в зоні аеропорту, інвестиції, загальну кількість реконструйованих аеропортів, можливості будівництва нових аеропортів тощо. Тоді з методологічної точки зору «м'якішу» структуру завдання перспективного планування розвитку аеропортів можна трактувати як окремий випадок завдання середньострокового (наприклад, на п'ять років) планування.

Нехай задана конфігурація мережі авіамаршрутів для деякого розрахункового року t , річні сумарні витрати (капітальні вкладення плюс експлуатаційні витрати) залежать від вектору параметрів аеропорту y і вектору параметрів парку ПС x :

$$TC(x, y) = C_{ПС}(x, y) + C_{АП}(y, x), \quad (6.29)$$

де $C_{ПС}(x, y)$ – річні експлуатаційні витрати на парк ПС;

$C_{\text{АП}}(y, x)$ – сумарні витрати (інвестиції та річні експлуатаційні витрати) аеропортів.

Легко показати, що експлуатація заданого парку ПС на мережі існуючих (без реконструкції) аеропортів буде пов'язана із значними $C_{\text{ПС}}(x, y)$. Разом з тим, будь-яке рішення (x, y) , що приймається з метою зниження $C_{\text{ПС}}$, веде до збільшення $C_{\text{АП}}$. Дійсно, введення в експлуатацію нових типів ПС із більшою злітною вагою (наприклад, аеробусів) або з більшою злітною дистанцією вимагатиме збільшення розмірів ЗПС аеродрому і несучої здатності штучних покриттів, підвищених протипожежних вимог, а отже, збільшення $C_{\text{АП}}$, як це і сталося з аеропортами «Київ», «Львів» та іншими, які пройшли реконструкцію напередодні Євро-2012. З іншого боку, зростання аеропортових інвестицій тягне за собою збільшення можливостей n -го аеропорту щодо прийняття ПС різних типів. Тобто типорозмірний ряд I_n дозволить приймати нові типи ПС, які раніше не обслуговувалися в n -му аеропорту. Інтуїтивно можна припустити, що оптимальне рішення (x^*, y^*) лежить десь між двома крайностями: коли аеропорти зовсім не реконструюються і коли вони реконструюються в повній відповідності з вимогами злітно-посадкових характеристик ПС, обраних без обмежень на спроможність аеропортів їх приймати.

Нехай для року t відомий оптимальний розподіл парку літаків за авіамаршрутами при існуючому до цього року стані аеропортів, тобто до їх реконструкції. Очевидно, що в цьому разі $C_{\text{АП}} = \text{const}$, а функція $C_{\text{ПС}}$ досягає свого найбільшого значення. Якщо тепер нарощувати $C_{\text{АП}}(y, \bar{x})$ шляхом реконструкції деяких аеропортів при фіксованому парку $\bar{x}$, тобто змінюючи значення вектора y , то, можливо, буде досягнуто такого ступеня реконструкції y^* , за якого сумарні витрати $TC(x, y)$ стануть найменшими за рахунок зниження $C_{\text{ПС}}$. Однак відповідні витрати $C_{\text{АП}}$ не повинні перевищувати заплановані аеропортові витрати Φ .

Таким чином, завдання оптимальної реконструкції аеропортів може бути сформульоване в такому вигляді: при обмеженій величині аеропортових

витрат ($C_{\text{АП}}(t) \leq \Phi$) знайти таку послідовність і глибину реконструкції аеропортів, щоб сумарні витрати $ТС(x, y)$ були мінімальними. Принципова схема роботи поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів представлена у додатку М на рис. М.1.

Розглянемо схему метода наближеного розв'язання сформульованого завдання (див. рис. М.1):

1. З вихідної множини аеропортів експертним шляхом виключаються ті аеропорти, реконструкція яких або неможлива, або визначена заздалегідь в директивному порядку.

2. В останній підмножині виявляються ті аеропорти, реконструкція яких є економічно доцільною в сенсі зниження сумарних витрат $ТС(x, y)$. Позначимо множину таких аеропортів $\mathcal{A}_R$.

3. Розглядаються випадкові поєднання аеропортів з множини $\mathcal{A}_R$ при різних рівнях реконструкції. В результаті порівняння вибираємо таку комбінацію аеропортів, що реконструюються і рівень їх реконструкції, які дають змогу максимально знизити $ТС(x, y)$ в порівнянні з початковими витратами $ТС_0(x, y)$. Або за допомогою алгоритмів нечітких множин ОПР вибирає найбільш прийнятний варіант реконструкції, залучаючи додаткові критерії ефективності.

Кількісну оцінку очікуваного ефекту від реконструкції отримуємо на основі аналізу моделі розподільної задачі на чутливість до зміни керованих параметрів B_n і I_n . Замість ресурсу B_n можна розглядати $\mathcal{D}_n$, що не принципово з точки зору методу, так як обидва ресурсу лінійно залежні, хоча пріоритет у черговості капітальних вкладень в такому випадку перейде від аеродромної інфраструктури до терміналів.

Для зручності подальшого викладення матеріалу наведемо одну з версій статичної розподільної задачі, опублікованої в [32]:

потрібно мінімізувати сумарні наведені витрати

$$C_{\text{ПС}} = \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} x_{ij} \quad (6.30)$$

за обмежень

$$\sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \geq d_j, \quad j \in J, \quad (6.31)$$

$$\sum_{i \in I} v_{ij} x_{ij} \geq v_j^*, \quad j \in J_{low}, \quad (6.32)$$

$$\sum_{j \in J_n} \sum_{i \in I} v_{ij} x_{ij} \leq B_n, \quad n \in N_B, \quad (6.33)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i, \quad i \in I, \quad (6.34)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i \in I, \quad j \in J, \quad (6.35)$$

де i – індекс типу ПС;

x_{ij} – кількість ПС;

c_{ij} – сумарні річні витрати ПС, грн;

p_{ij} – середня продуктивність ПС, пас. на рік;

v_{ij} – середня частота польотів ПС, рейсів на рік;

v_j^* – мінімальна частота польотів на авіамаршруті j , рейсів на рік;

a_i – кількість ПС типу i ;

$J = \{1, \dots, a\}$ – множина авіамаршрутів;

J_n – множина авіамаршрутів, прикріплених до аеропорту n ;

$I = \{1, \dots, m\}$ – множина типів ПС;

N_B – множина аеропортів, для яких вимога щодо інтенсивності руху (зліт-посадка) є істотною;

J_{low} – множина авіамаршрутів з низьким попитом.

Тепер за допомогою моделі (6.30)–(6.35) спробуємо знайти відповідь на запитання: на яку величину можуть скоротитися витрати $ТС(x, y)$, якщо в результаті реконструкції аеропорту n :

1) пропускна спроможність B_n збільшиться на величину ΔB_n ;

2) типаж літаків, який може бути прийнятий n -м аеропортом, розшириться на величину ΔI_n .

Нехай при існуючому стані аеропортів $y^{(0)} = (y_1^{(0)}, \dots, y_n^{(0)}, \dots, y_s^{(0)})$, де

$\psi_n^{(0)}$ – клас n -го аеропорту, в результаті розв’язання завдання (6.30)–(6.35), маємо:

- а) оптимальні значення змінних x_{ij}^* , $i \in I$, $j \in J$;
- б) відповідне їм значення $C_{\text{ПС}}^* = C_{\text{ПС}}(x^*, \psi^{(0)})$;
- с) оптимальні значення двоїстих змінних $u_j^* (j \in J)$, $v_j^* (j \in J_{\text{low}})$; $W_n^* (n \in N_B)$; $Z_i^* (i \in I)$.

Оскільки при $\psi^{(0)}$ існують обмеження на вибір типів ПС на авіамаршрут j (через те, що дальність польоту не відповідає протяжності авіамаршруту або/і злітно-посадкові характеристики – класам аеродромів), то ці обмеження можуть бути враховані в моделі (6.30)–(6.35) в коефіцієнтах цільової функції (6.30). Для тих ПС i -го типу, які за своїми характеристиками не можуть виконувати рейси на j -му авіамаршруті, відповідні змінні x_{ij} увійдуть до функції $C_{\text{ПС}}(x_{ij}, \psi^{(0)})$ з великими штрафними коефіцієнтами.

Позначимо:

I_j – множина типів ПС, характеристики яких дають змогу експлуатувати їх на j -му авіамаршруті за умови врахування його протяжності і класів обслуговуючих її аеропортів;

$\hat{I}_j$ – множина типів ПС, які не можуть експлуатуватися на j -му авіамаршруті через обмеження за дальністю польоту.

Тоді коефіцієнти $\tilde{c}_{ij}$ при змінній x_{ij} можна подати у вигляді:

$$\tilde{c}_{ij} = \begin{cases} c_{ij} & \text{для } i \in I_j \\ P_1 & \text{для } i \in \hat{I}_j \\ c_{ij} + P_2 & \text{для } i \notin I_j \cup \hat{I}_j, \end{cases} \quad (6.36)$$

де P_1 і P_2 – досить великі позитивні числа.

Задачі (6.30)–(6.35) можна поставити у відповідність іншу задачу, яка називається двоїстою по відношенню до першої. Так як система обмежень

задана у вигляді нерівностей, в даному випадку можна розглядати симетричну пару задач.

Наведемо модель (6.30)–(6.35) прямої задачі до виду:

$$C_{\text{ПС}}^* = - \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max \quad (6.37)$$

за обмежень

$$- \sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \leq -d_j, \quad j \in J, \quad (6.38)$$

$$- \sum_{i \in I} v_{ij} x_{ij} \leq -v_j^*, \quad j \in J_{\text{low}}, \quad (6.39)$$

$$\sum_{j \in J_n} \sum_{i \in I} v_{ij} x_{ij} \leq B_n, \quad n \in N_B, \quad (6.40)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq a_i, \quad i \in I, \quad (6.41)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (6.42)$$

Двоїста задача матиме вид:

$$C_{\text{ПС}}^* = \sum_{j \in J} d_j u_j + \sum_{j \in J_b} v_j^* v_j - \sum_{n \in N_B} B_n w_n - \sum_{i \in I} a_i z_i \rightarrow \min \quad (6.43)$$

за обмежень

$$-p_{ij} u_j - v_{ij} v_j + v_{ij} w_n + z_i \geq c_{ij}, \quad i \in I, \quad j \in J, \quad (6.44)$$

$$-p_{ij} u_j - v_{ij} v_j + v_{ij} w_n + z_i \geq c_{ij}, \quad i \in I, \quad j \in J_{\text{low}}, \quad (6.45)$$

$$u_j \geq 0, \quad j \in J, \quad (6.46)$$

$$v_j \geq 0, \quad j \in J_{\text{low}}, \quad (6.47)$$

$$\mathcal{W}_n \geq 0, \quad n \in N_B, \quad (6.48)$$

$$\mathcal{Z}_i \geq 0, \quad i \in I. \quad (6.49)$$

Оскільки завдання (6.30)–(6.35) вирішувалося шляхом декомпозиції за обмеженнями (6.33)–(6.34), то витрати $C_{\text{ПС}}^*$ визначаються як:

$$C_{\text{ПС}}^* = \sum_{j \in J} \hat{L}_j^* - \sum_{n \in N_B} B_n \mathcal{W}_n^* - \sum_{i \in I} a_i \mathcal{Z}_i^*, \quad (6.50)$$

де $\hat{L}_j^*$ – розв’язок завдання j ($j = \overline{1, n}$) виду:

мінімізувати

$$\hat{L}_j = \sum_{i \in I} \hat{c}_{ij} x_{ij} \quad (6.51)$$

за обмежень

$$\sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \geq d_j, \quad j \in J_{\text{low}}, \quad (6.52)$$

$$\sum_{i \in I} v_{ij} x_{ij} \geq v_j^*, \quad j \in J_{\text{low}}, \quad (6.53)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i \in I, \quad j \in J_{\text{low}}, \quad (6.54)$$

$$\sum_{i \in I} p_{ij} x_{ij} \geq d_j, \quad j \notin J_{\text{low}}, \quad (6.55)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i \in I, \quad j \notin J_{\text{low}}, \quad (6.56)$$

де

$$\hat{c}_{ij} = \tilde{c}_{ij} + \mathcal{Z}_i + v_{ij}(\mathcal{W}_\alpha + \mathcal{W}_\beta), \quad i \in I, \quad j \in J, \quad j \equiv (\alpha, \beta). \quad (6.57)$$

Вважаючи $C_{\text{АП}}(\psi,^{(0)}x) = \text{const}$, починаємо пошук тих аеропортів, реконструкція яких дасть можливість максимально знизити витрати $C_{\text{ПС}}(x, \psi)$. Блок-схема алгоритму розв’язання завдання поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів представлена на рис. М.2 додатку М.

Етап І. Розв’яжемо завдання виду (6.30)–(6.35) без урахування обмежень на класи аеропортів. У такому випадку $\tilde{c}_{ij} = c_{ij}$ для всіх $i \notin \hat{I}_j$. Тим самим

визначимо множину аеропортів $\mathcal{A}_1$, стан яких не перешкоджає досягненню $\min C_{\text{ПС}}$ і одночасно множину $\mathcal{A}_2$ таких аеропортів, які потребують реконструкції з метою зниження $C_{\text{ПС}}(x, y^{(0)})$. Цей результат також дає змогу судити, наскільки велика невідповідність між парком ПС і станом аеропортів. Якщо витрати $C_{\text{АП}}$, що дають можливість досягти $\min C_{\text{ПС}}$, не перевищують Φ , то можна вважати, що отримано остаточне розв'язання завдання, адже за типажом ПС, які розподілилися на кожному авіамаршруті, ясно, який аеропорт і на яку глибину необхідно реконструювати. Якщо $C_{\text{АП}} > \Phi$, то переходимо до II-го етапу розв'язання.

Етап II. Для кожного аеропорту $n \in \mathcal{A}_2$ визначимо очікувану величину скорочення витрат по парку ПС $\Delta C_{\text{ПС}}^n$ в залежності від підвищення його класу на одну позицію.

Нехай у результаті реконструкції n -го аеропорту типаж ПС, прийнятих аеропортом n , розширюється на величину ΔI_n . Тоді для $i \in \Delta I_n$ на авіамаршрутах $j \in J_n$ відпадає необхідність у штрафних коефіцієнтах P_2 :

$$\tilde{c}'_{ij} = \tilde{c}_{ij} - P_2 = c_{ij}, \quad (6.58)$$

що може дати скорочення витрат $\Delta \hat{L}_j$, $j \in J_n$.

Якщо оптимальність останнього базису j -задачі (6.51)–(6.56) не порушується при нових значеннях коефіцієнтів $\tilde{c}'_{ij}$, то $\Delta \hat{L}_j = \sum_i P_2 x_{ij}^*$ (тут підсумовування виконується за тими $i \in \Delta I_n$, які входили в базис до реконструкції).

Якщо $\hat{L}'_j$ – нове значення $\hat{L}_j$ при базисних змінних x'_{ij} , то:

$$\Delta \hat{L}_j = \hat{L}_j^* - \hat{L}'_j. \quad (6.59)$$

Підрахуємо:

$$\Delta L_n = \sum_{j \in J_n} \Delta \hat{L}_j, \quad (6.60)$$

$$\Delta x_i = \sum_{j \in J_n} (x'_{ij} - x^*_{ij}). \quad (6.61)$$

Величина $\Delta x_i > 0$ вказує на обсяг дефіциту ПС типу i , який не дає змогу досягти ефекту ΔL_n ; відповідно $\Delta x_i < 0$ визначає кількість ПС типу i , які є в надлишку.

Величина очікуваного ефекту від підвищення пропускної спроможності аеропорту n оцінюється добутком $\mathcal{W}_n^* \Delta B_n$, $n \in N_B$.

Таким чином, скорочення витрат $C_{\text{ПС}}$ за рахунок реконструкції аеропорту n можна наближено оцінити величиною:

$$\Delta C_{\text{ПС}}^* = \Delta \hat{L}_n + \mathcal{W}_n^* \Delta B_n - \sum_{i \in I} Z_i^* \Delta x_i. \quad (6.62)$$

Для кожного аеропорту n з множини $\mathcal{A}_2$ обчислюємо відношення:

$$\beta_n = \frac{\Delta C_{\text{ПС}}^n}{C_{\text{АП}}^n}. \quad (6.63)$$

З множини ефективних (з точки зору реконструкції аеропортів, тобто для яких $\beta_n > 1$) вибираємо такий аеропорт n^* , що

$$\beta_{n^*} = \max_{\{n | \beta_n > 1\}} \beta_n. \quad (6.64)$$

Змінюючи параметри: 1) B_{n^*} на величину ΔB_{n^*} 2) $\tilde{C}_{ij}$ для $j \in J_n$ за правилом (6.58) для $i \in \Delta I_{n^*}$, $j \in J_{n^*}$ розв'яжемо розподільну задачу (6.30)–(6.35) і знайдемо

$$TC^{(1)}(x, y_1, \dots, y_{n^*} + 1, \dots, y_s) = C_{\text{ПС}}^{(1)}(x, y_{n^*} + 1) + C_{\text{АП}}(y_{n^*} + 1, x). \quad (6.65)$$

Зазначимо, що «+1» означає підвищення класу аеропорту на один клас згідно пропонованої чи чинної класифікації.

Таким чином, II етап являє собою ітераційний процес, на N -у кроку якого виконуються такі операції:

1. Для кожного аеропорту $n \in \mathcal{A}_2$ визначається величина β_n .
2. З тих аеропортів множини $\mathcal{A}_2$, для яких $\beta_n > 1$, вибирається аеропорт n^* , у якого $\beta_{n^*} = \max_{\{n | \beta_n > 1\}} \beta_n$.
3. Вноситься аеропорт n^* у множину $\mathcal{A}_R$.
4. Розв'язується розподільна задача для стану аеропорту $y^{(N)}$.
5. Обчислюється

$$TC^{(N)}(x, y_{n^*} + 1) = C_{\text{ПС}}^{(N)}(x, y_{n^*} + 1) + \sum_{n^* \in \mathcal{A}_R} C_{\text{АП}}(y_{n^*} + 1, x). \quad (6.66)$$
6. Якщо $C_{\text{АП}} > \Phi$, то процес реконструкції на цьому кроку припиняється.
7. Якщо $C_{\text{АП}} \ll \Phi$, то формується оновлена множина $\mathcal{A}_2$ з врахуванням реконструкцій, виконаних на попередніх ітераціях.
8. Цей ітераційний процес можна продовжити доки сумарні аеропортові витрати не перевищують допустимих Φ .

Алгоритм запропонованого поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів застосуємо для експериментального розрахунку з врахуванням умов функціонування мережі аеропортів України.

1. За схемою, представленою на рис. М.1, виключаємо аеропорти SIP та DOK, реконструкція яких на сьогодні не є можливою із-за окупації АРК та подій в зоні АТО.

2. Визначаємо аеропорти, реконструкція яких є економічно доцільною. У якості прикладу допустимо, що до $\mathcal{A}_2$ входять аеропорти LWO, KBP, ODS. Основні дані по цих аеропортах наведені в табл. 6.6.

3. Проводимо оцінку різних рівнів реконструкції аеропортів множини $\mathcal{A}_2$.

3.1. Розв'язуємо завдання (6.30)-(6.35) при існуючому стані аеропортів (вхідні дані, запис моделі у ППП LINDO та розв'язок наведені у додатку М, п. М. 2).

В результаті аналізу розв'язку завдання (6.230)-(6.35) (див. додаток М, п. М.2 і табл. 6.7) визначаємо, що значення цільової функції складає 816 млн. ум. од. Є значні обмеження розвитку далекомагістральних рейсів з аеропортів LWO та ODS. За заданих умов не попали у оптимальне рішення ПС типу B747-400, B747-8, B767-400ER, B787-8, A380 на маршрутах зі LWO, KBP та A330-200, B767-300 на маршрутах з ODS, що пояснюється значними штрафними коефіцієнтами за невідповідність по класам ICAO та RFF аеропортів та ПС. Обмеженням, що зв'язує є тільки обмеження по кількості Ан-148-100В, всі інші обмеження є тими, що не зв'язують, тобто дефіциту пропускної спроможності аеропортів за допустимою інтенсивністю польотів не має.

Таблиця 6.6 – Вхідні дані по аеропортах множини $\mathcal{A}_2$

№	місто	аеропорт, код IATA (або ICAO) /назва за AIP	довжина ЗПС, м	ширина ЗПС, м	макс. ширина руліжної доріжки, м	ICAO code	RFF	Клас аеродрому
1	Львів	LWO / L`viv International	3305	45	23,0	4D	8	I
2	Київ	KBP/ State International Airport Boryspi	4000	60	22,5	4E	8	Позакл.
3	Одеса	ODS / Odesa International	2800	56	23,0	4C	7	I

3.2. Розв'язуємо завдання (6.30)-(6.35) без обмежень на клас аеропортів.

У даному випадку в оптимальному розв'язку завдання (6.30)-(6.35) (додаток М.2, табл. 6.7) на далеко- та середньомагістральні рейси розподілилися літаки зазначених вище типів, окрім A380. Загальні витрати по експлуатації ПС на заданій мережі авіамаршрутів скорочуються на 67,4 % і становлять 284 млн ум. од. Підвищення класу аеропорту, в разі розвитку далекомагістральних маршрутів потребують всі задані аеропорти. Загальна необхідна кількість ПС за типами становить: B737-400 – 0, B737-900/-900ER/MAX 9* – 4, B747-400 – 2, B747-8 – 0, B767-400ER – 1, B767-300/-

300W – 3, B787-8 – 9, A320 – 2, A330-200 – 0, A380 – 0, Embraer 190 – 15 ПС;
Ан-148-100В – 5 ПС.

Таблиця 6.7 – Результати розв’язку на I етапі

За існуючих умов			Без обмежень щодо KBP, LWO, ODS	
Цільова функція, млн ум. од.	816		Цільова функція, млн ум. од.	284
маршрут	Тип ПС	Кількість	Тип ПС	Кількість
1	2	3	4	5
Львів – Сеул	Ан-148-100В ⁴ (з 4 посадками)	1,44	787-9	1
Львів – Пекін	767-300/-300W	0,6	787-9	1
Львів – Нью-Йорк	767-300/-300W	0,6	787-9	1
Львів – Дубаї	A320	0,26	A320	1
Львів – Прага	E 90	0,086	E90	1
Львів- Стамбул	E 90	0,2	E90	1
Львів- Варшава	E 90	0,15	E90	1
Львів – Барселона	E 90	0,17	E90	1
Львів – Москва	E 90	0,2	E90	1
Львів – Мюнхен	E 90	0,32	E90	1
Київ – Делі	A330-200	1,88	737-900	1
			747-400	1
Київ – Хошімін	A330-200	1,33	747-400	1
Київ – Дубаї	A330-200	0,75	767-400	1
Київ – Торонто	A330-200	0,62	767-300	1
Київ – Токіо	A330-200	0,67	767-300	1
Київ – Нью-Йорк	A330-200	0,62	767-300	1
Київ – Сеул	767-300/-300W	0,0004	787-9	1
	A330-200	0,24		
Київ – Коломбо (Шрі-Ланка)	767-300/-300W	0,035	787-9	1
	A330-200	0,19		
Київ – Барселона	E 90	1,07	Ан-148-100В	2
Київ - Москва	E 90	2,72	737-900	1
Київ – Стамбул	E 90	0,38	E90	1
Київ – Варшава	E 90	0,62	E90	1
Київ – Мюнхен	E 90	0,62	E90	1
Київ – Лондон	E 90	3,84	737-900	1
Одеса – Сеул	Ан-148-100В (з 3 посадками) ¹	0,6	787-8	1
Одеса – Пекін	E 90 (з 2 посадками) ¹	0,71	787-8	1
	Ан-148-100В (з 2 посадками) ¹	1,59	787-8	1
Одеса - Хошимін	Ан-148-100В (з 3 посадками) ¹	0,32	787-8	1
Одеса – Нью-Йорк	Ан-148-100В (з 3 посадками) ¹	1,04	787-8	1
Одеса –Тбілісі	E 90	0,24	E90	1
Одеса – Москва	E 90	1,02	Ан-148-100В	2

⁴ Умовно допустиме значення змінної

Продовження табл. 6.7

1	2	3	4	5
Одеса - Варшава	E 90	0,17	Ан-148-100В	1
Одеса – Мюнхен	E 90	0,91		
Одеса – Дубаї	737-900/-900ER/MAX 9*	0,3	A320	1
Одеса – Прага	E 90	0,34	E90	1
Одеса – Стамбул	E 90	0,56	E90	1
Одеса – Париж	E 90	0,57	E90	1
Одеса – Делі	737-900	0,8	737-900	1

4. Припустимо, що вартість підвищення категорії RFF на одиницю складає 4 млн. ум. од. [353], а реконструкція ЗПС 121 млн ум. од. Допустимо, що $C_{АП} > \Phi$ ($\sum_{n \in \mathcal{A}_2} [129 \text{ млн ум. од.} + \text{const}_{n \in \mathcal{A}_2}] > \Phi$). Для кожного заданого аеропорту $n \in \mathcal{A}_2$ визначаємо очікувану величину скорочення витрат по парку ПС $\Delta C_{ПС}^n$ в залежності від підвищення його класу на одну позицію. Згідно розрахунків (файли KBP_development.docx, LWO_development.docx, ODS_development.docx):

- підвищення класу KBP до 9 категорії RFF призводить до зниження витрат по експлуатації парку ПС на 4,3 %, або на 35 млн. ум. од. за рахунок перерозподілу та розширення типажу ПС по маршрутах (в оптимальний план попали B747-400 на маршрутах з Києва до Делі, Токію, Хошиміна, B787-8 – до Сеула та Коломбо; A320 – до Дубаї);

- підвищення класу LWO до 9 категорії RFF та аеродрому до позакласного класу (або 4E за ICAO) – на 22,63 %, або 185 млн. ум. од. (в оптимальний план попали B787-8 на маршрутах зі Львова до Сеулу, Пекіну та Нью-Йорку);

- підвищення класу ODS до 8 категорії RFF та аеродрому до I класу (довжина ЗПС збільшується до 3500 м) може призвести до зниження витрат на 34,4 %, або 281 млн. ум. од. на за рахунок введення в експлуатацію п'яти B767-300 на маршрутах з Одеси до Сеулу, Пекіну, Хошиміну, Нью-Йорку.

5. Для кожного аеропорту n з множини $\mathcal{A}_2$ обчислюємо відношення (6.63). Отже, отримуємо, що $\beta_{KBP} = \frac{35}{4 + \text{const}_{KBP}} = 8,75$; $\beta_{LWO} =$

$$\frac{185}{(4+121)+const_{LWO}} = 1,48; \beta_{ODS} = \frac{281}{(4+121)+const_{ODS}} = 2,24.$$

Ясно, що, враховуючи обсяги перевезень, експлуатаційні витрати в КВР більші ніж в LWO або ODS, тобто $const_{KBP} > const_{LWO} \geq const_{ods}$, але прийmemo, що $const_{KBP} < 121$ млн ум. од. Тому будемо враховувати лише інвестиційну складову витрат.

6. Згідно правилу (6.63) вибираємо аеропорт КВР. Згідно (6.64) загальні витрати складуть $TC^{(1)}(x, y_{KBP}^* + 1) = 781 + 4 + const_{KBP} = 785 + const_{KBP}$ млн. ум. од.

7. Продовжуємо ітераційний процес з врахуванням реконструкцій, виконаних на попередніх ітераціях, тобто з врахуванням підвищення класу КВР, доки сумарні аеропортові витрати не перевищують допустимих Φ .

Потім розглядаються випадкові комбінації реконструкції аеропортів, які увійшли у множину $\mathcal{A}_R$. Остаточне рішення визначається ОПР після порівняльного аналізу цих комбінацій, або за допомогою теорії нечіткої логіки [102, 174, 218, 225, 263, 314].

Розв'язання завдань інвестиційного характеру не завжди обмежується вибором одного скалярного критерію типу (6.43). У проектному аналізі, наприклад, при остаточному виборі проектного рішення прийнято використовувати такі кількісні показники ефективності, як NPV, IRR, PBP і ін. Проблеми векторної оптимізації для детермінованого випадку присвячено досить багато літератури [225]. Однак на практиці зустрічаються багатокритеріальні задачі, в яких критерії ефективності носять якісний характер, вносячи, таким чином, високий ступінь невизначеності в процес прийняття рішення.

Тому з множини відомих методів прийняття рішень найбільший інтерес представляють ті, які дають можливість враховувати і багатокритеріальність, і невизначеність, а також дозволяють здійснювати вибір рішень із множини альтернатив за наявності різного типу критеріїв.

Серед методів, які використовують інформацію про переваги на

множині критеріїв і про наслідки альтернатив, перспективними можна вважати *методи аналізу ієрархій, декомпозиційні методи теорії очікуваної корисності та теорії нечітких множин*. Ці методи в найбільшій мірі задовольняють вимогам універсальності, врахування багатокритеріальності вибору в умовах невизначеності з дискретної або неперервної множини альтернатив, простоти представлення експертної інформації.

Метод аналізу ієрархій (МАІ) – методологічна основа для розв’язання завдань вибору альтернатив за допомогою їх багатокритеріального рейтингування [228].

МАІ передбачає декомпозицію проблеми на все більш прості складові частини і обробку суджень ОПР. В результаті визначається відносна значимість досліджуваних альтернатив для всіх критеріїв, які знаходяться в ієрархії. Відносна значущість виражається чисельно у вигляді векторів пріоритетів. Отримані таким чином значення векторів є оцінками в шкалі відносин і відповідають так званим жорстким оцінками. Даний метод дає зручні засоби врахування експертної інформації для вирішення різних завдань [34].

Декомпозиційні методи теорії очікуваної корисності отримали найбільш широке поширення серед групи аксіоматичних методів прийняття рішень в умовах ризику і невизначеності.

Основна ідея цієї теорії полягає в отриманні кількісних оцінок корисності можливих результатів, які є наслідками процесів прийняття рішень. У подальшому на підставі цих оцінок можна вибрати найкращий результат. Для отримання оцінок корисності необхідно мати інформацію про переваги особи, відповідальної за прийняте рішення.

Для застосування цих методів необхідно мати кількісну залежність між результатами і альтернативами, а також експертну інформацію для побудови функції корисності. Ці умови виконуються не завжди, що обмежує застосування методів теорії корисності. До того ж процедура побудови функції корисності трудомістка і погано формалізується [200].

Серед методів прийняття рішень в умовах невизначеності останнім часом найбільше поширення отримали методи теорії нечітких множин, які найбільшою мірою задовольняють вимогам універсальності, врахування багатокритеріальності вибору в умовах невизначеності з дискретної або неперервної множини альтернатив, простоти представлення експертної інформації.

Завдання багатокритеріального вибору формально є більш загальними, ніж завдання із звичайним відношенням, а з іншого – більш реалістичні з точки зору практики. У ОПР є деяка ступінь впевненості (оцінювана, наприклад, у відсотках або, що те ж саме, числом від 0 до 1) в тому, що один варіант з двох переважніший іншого. Саме з такого роду інформацією і оперує теорія нечітких множин.

Використання функцій приналежності (ФП) і всього механізму теорії нечітких множин (НМ) скоріше ідея, оскільки, на їх основі створено кілька методів, кожен з яких по-своєму використовує описані механізми [263]. В той же час вони мають і загальні переваги порівняно з іншими методами.

До методів багатокритеріального вибору альтернатив з використанням нечітких множин можна віднести:

- відношення переваги;
- нечіткий висновок;
- адитивна згортка;
- максиміна згортка.

З урахуванням різних механізмів цілком можлива ситуація отримання різних результатів. Хоча найчастіше загальний порядок ранжирування буде простежуватися однаковий, значення ФП будуть відрізнятися.

Розбіжність результатів, отриманих різними методами, пояснюється, з одного боку, різними способами представлення експертної інформації, а з іншого боку – розходженням підходів до прийняття рішень. Максиміна згортка і лінгвістична векторна оцінка є реалізаціями песимістичного

підходу, що ігнорує хороші сторони альтернатив, коли кращою вважається альтернатива, що має мінімальні недоліки за всіма критеріями. Адитивна згортка передбачає оптимістичний підхід, коли низькі оцінки за критеріями мають однаковий статус у порівнянні з високими. Нечіткий висновок на правилах реалізує евристичний підхід. Останній знайшов широке застосування в експертних системах.

Методи, що засновані на теорії нечітких множин, мають загальні властивості [263]:

1. Методи прийняття рішень на нечітких моделях дозволяють зручно і якісно проводити оцінку альтернатив за окремими критеріями. На відміну від інших методів додавання нових альтернатив не змінює порядок раніше ранжованих наборів. При оцінці альтернатив за критеріями можлива як лінгвістична оцінка, так і оцінка на основі точкових оцінок з використанням функцій належності критеріїв.

2. Основною проблемою багатокритеріального вибору із застосуванням нечітких моделей є подання інформації про взаємозв'язки між критеріями і способи обчислення інтегральних оцінок. Методи, що базуються на різних підходах, дають різні результати. Кожен підхід має свої обмеження й особливості, і користувач повинен отримати про них уявлення, перш ніж застосовувати той чи інший метод прийняття рішень. Найбільш широкі можливості для подання інформації дає евристичний підхід.

3. Більшість нечітких методів прийняття рішень показує слабку стійкість результатів відносно вхідних даних. Вважається, що найбільшу стійкість має метод, заснований на правилах.

6.4 Вибір інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності

У процесі розвитку АТС в певні моменти часу виникає ситуація, коли необхідно прийняти рішення, від якого залежить подальша діяльність

авіатранспортної галузі. Наприклад, при плануванні стратегій відкриття нових аеропортів або, навпаки, закриття неперспективних, при реконструкції привабливих для інвестора окремих терміналів та аеропортового комплексу в цілому. Дана ситуація визначена в теорії прийняття рішень. Процес прийняття рішень зводиться до вибору однієї або декількох найкращих альтернатив з деякого набору. Для того щоб зробити такий вибір, потрібно чітко визначити мету та критерії, за якими буде проводитися оцінка деякого набору альтернативних варіантів. Вибір методу розв'язання такого завдання залежить від кількості і якості доступної інформації. Дані, необхідні для здійснення обґрунтованого вибору, можна розділити на чотири категорії: інформація про альтернативні варіанти, інформація про критерії вибору, інформація про переваги, інформація про оточення завдання [174]. Розглянемо деякі з цих параметрів більш докладно.

6.4.1 Ідея методів нечітких множин

Розглянемо універсальну множину $\mathcal{U} = \{u\}$. Нечіткою множиною $\mathcal{Q}$ на множині $\mathcal{U}$ називається сукупність пар

$$\mathcal{Q} = \{(\mu_{\mathcal{Q}}(u), u)\},$$

де $\mu_{\mathcal{Q}}: \mathcal{Q} \rightarrow [0,1]$ – відображення множини $\mathcal{Q}$ в одиничний відрізок $[0,1]$, що прийнято називати *функція приналежності* (Membership Function) [391].

Значення функції приналежності $\mu_{\mathcal{Q}}(u)$ для елемента $u \in \mathcal{U}$ називається *ступенем приналежності*. Разом з функцією і ступенем приналежності необхідно використовувати поняття *лінгвістичної та нечіткої змінних*. Лінгвістичні змінні описують поняття, властиві людському мисленню. Нечітка змінна описується набором $(\mathcal{N}, \mathcal{U}, \mathcal{Q})$, де $\mathcal{N}$ – це назва змінної, $\mathcal{U}$ – універсальна множина (область міркувань), $\mathcal{Q}$ – нечітка множина на $\mathcal{U}$.

Значеннями лінгвістичної змінної можуть бути нечіткі змінні, тобто лінгвістична змінна знаходиться на більш високому рівні, ніж нечітка змінна. Множина всіх можливих лінгвістичних змінних називається терм-множиною, будь-який елемент терм-множини – термом.

Завдання побудови ФП ставиться наступним чином: дано дві множини: множина термів $\mathcal{L} = \{\ell_1, \ell_2, \dots, \ell_{\mathcal{F}}\}$ і універсальна множина $\mathcal{U} = \{u_1, u_2, \dots, u_{\mathcal{H}}\}$. Нечітка множина $\tilde{\ell}$, якою описується лінгвістичний терм $\ell_{\mathcal{F}}$, на універсальній множині $\mathcal{U}$ представляється у вигляді [263]:

$$\tilde{\ell}_{\mathcal{F}} = \left(\frac{\mu_{\ell_{\mathcal{F}}}(u_1)}{u_1}, \frac{\mu_{\ell_{\mathcal{F}}}(u_2)}{u_2}, \dots, \frac{\mu_{\ell_{\mathcal{F}}}(u_{\mathcal{H}})}{u_{\mathcal{H}}} \right), \mathcal{F} = \overline{1, \mathcal{F}}, \mathcal{H} = \overline{1, \mathcal{H}}.$$

Необхідно визначити ступені приналежності елементів множини $\mathcal{U}$ елементам з множини $\mathcal{L}$, тобто знайти $\mu_{\ell_{\mathcal{F}}}(u_{\mathcal{H}})$ для всіх $\mathcal{F} = \overline{1, \mathcal{F}}, \mathcal{H} = \overline{1, \mathcal{H}}$.

Завдання вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності передбачає залучення багатьох експертів, тому одним з методів побудови ФП може бути метод заснований на статистичній обробці суджень групи експертів.

Введемо наступні позначення: $\mathcal{K}$ – кількість експертів; $\mathcal{B}_{\mathcal{H}, \mathcal{F}}^{\mathcal{K}}$ – думка $\mathcal{K}$ -го експерта про наявність у елемента $u_{\mathcal{H}}$ властивостей нечіткої множини $\tilde{\ell}_{\mathcal{F}}$, $\mathcal{K} = \overline{1, \mathcal{K}}, \mathcal{F} = \overline{1, \mathcal{F}}, \mathcal{H} = \overline{1, \mathcal{H}}$. Будемо вважати, що експертні оцінки бінарні, тобто: $\mathcal{B}_{\mathcal{H}, \mathcal{F}}^{\mathcal{K}} \in \{0; 1\}$, де 1 вказує на наявність у елемента $u_{\mathcal{H}}$ властивостей нечіткої множини $\tilde{\ell}_{\mathcal{F}}$, а 0 – на їх відсутність. За результатами опитування експертів, ступені належності нечіткій множині $\tilde{\ell}_{\mathcal{F}}$ розраховуються наступним чином:

$$\mu_{\ell_{\mathcal{F}}}(u_{\mathcal{H}}) = \frac{1}{\mathcal{K}} \sum_{\mathcal{K}=\overline{1, \mathcal{K}}} \mathcal{B}_{\mathcal{H}, \mathcal{F}}^{\mathcal{K}}, \mathcal{H} = \overline{1, \mathcal{H}}. \quad (6.67)$$

Наприклад необхідно побудувати функції приналежності термів «швидкий», «очікуваний», «більш-менш прийнятний», «неприйнятний» використовуваних для лінгвістичної оцінки змінної «термін окупності інвестицій в аеропорт».

Результати опитування п'яти експертів зводяться в табл. 6.8, побудовані ФП представлені на рис. 6.6.

На практиці зручно використовувати ті ФП, які допускають аналітичне представлення у вигляді деякої простої математичної функції. Це спрощує не тільки відповідні чисельні розрахунки, але і скорочує обчислювальні ресурси, необхідні для зберігання окремих значень цих функцій приналежності.

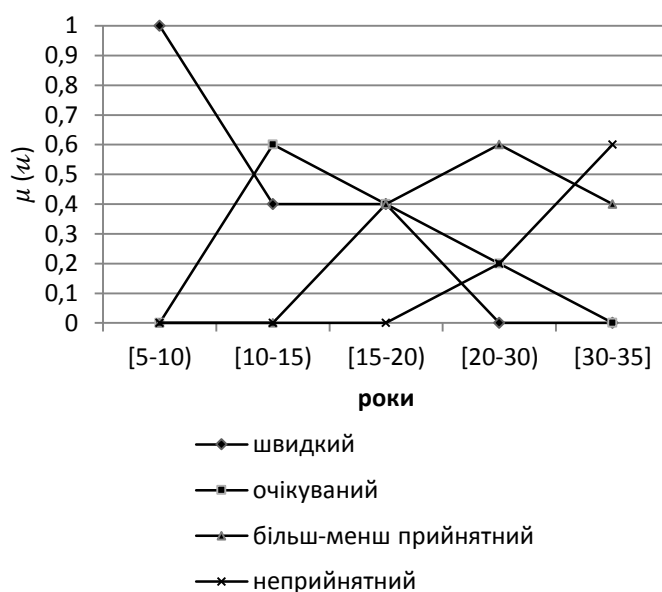


Рисунок 6.6 – ФП НМ
(за даними табл. 6.8)

Таблиця 6.8 – Лінгвістична оцінка змінної «термін окупності інвестицій в аеропорт» у завданні вибору інвестиційно привабливого аеропорту

Номер експерта	Терм	Кількість років				
		[5-10)	[10-15)	[15-20)	[20-30)	[30-35]
1	2	3	4	5	6	7
1	швидкий	1	1	1	0	0
	очікуваний	0	0	1	0	0
	більш-менш прийнятний	0	0	0	1	0
	неприйнятний	0	0	0	0	1
2	швидкий	1	0	0	0	0
	очікуваний	0	1	1	0	0
	більш-менш прийнятний	0	0	0	1	1
	неприйнятний	0	0	0	0	0
3	швидкий	1	1	1	0	0
	очікуваний	0	0	0	1	0
	більш-менш прийнятний	0	0	0	0	1
	неприйнятний	0	0	0	0	0

Продовження табл. 6.8

1	2	3	4	5	6	7
4	швидкий	1	0	0	0	0
	очікуваний	0	1	0	0	0
	більш-менш прийнятний	0	0	1	1	0
	неприйнятний	0	0	0	0	1
5	швидкий	1	0	0	0	0
	очікуваний	0	1	0	0	0
	більш-менш прийнятний	0	0	1	0	0
	неприйнятний	0	0	0	1	1
ФП за (6.67)	швидкий	1	0,4	0,4	0	0
	очікуваний	0	0,6	0,4	0,2	0
	більш-менш прийнятний	0	0	0,4	0,6	0,4
	неприйнятний	0	0	0	0,2	0,6

Крім популярних параметричних ФП (табл. 6.9) застосовуються Z-образні і S-образні ФП, які отримали свою назву по виду кривих, що представляють їх графіки.

Таблиця 6.9 – Параметричні ФП [263]

Найменування функції	Аналітичний вираз	Інтерпретація параметра
Трикутна	$\mu(u) = \begin{cases} 0, u \leq a \text{ або } u \geq c \\ \frac{u-a}{b-a}, a < u \leq b \\ \frac{c-u}{c-b}, b < u < c \end{cases}$	(a, c) – носій НМ – песимістична оцінка нечіткого числа
Трапецієвидна	$\mu(u) = \begin{cases} 0, u \leq a \text{ або } u \geq d \\ \frac{u-a}{b-a}, a \leq u \leq b \\ 1, b \leq u \leq c \\ \frac{d-u}{d-c}, c < u < d \end{cases}$	(a, d) – носій НМ – песимістична оцінка нечіткого числа [b, c] – ядро НМ – оптимістична оцінка нечіткого числа
Гаусова	$\mu(u) = \exp\left(-\frac{(u-b)^2}{2c^2}\right)$	b – координата максимуму c – коефіцієнт концентрації
Сигмоїдна	$\mu(u) = \frac{1}{1+\exp(-a(u-c))}$	a – коефіцієнт крутизни c – координата переходу через 0,5
Сінглетонна	$\mu(u) = \begin{cases} 1, & u = a \\ 0, & u \neq a \end{cases}$	a – чітке число, яке представляється у вигляді НМ

Z-функція та S-функція в загальному випадку можуть бути задані аналітично за допомогою змінної u і деяких числових параметрів a, b , які приймають довільні дійсні значення та визначають екстремальні значення кривої.

Постановка будь-якого завдання багатокритеріального вибору включає

1) множину можливих розв'язків (допустимих рішень, альтернатив, варіантів, планів, стратегій) U

2) векторний критерій f виду:

$$f = (f_1, f_2, \dots, f_z), \quad (6.68)$$

який приймає значення у просторі z -мірних векторів $\mathcal{P}^z$. Всі можливі векторні оцінки утворюють множину можливих оцінок (можливих або допустимих векторів)

$$\mathcal{W} = \mathcal{w}(u) = \{\mathcal{w} \in \mathcal{P}^z | \mathcal{w} = f(u) \text{ при деякому } u \in U\}. \quad (6.69)$$

Разом з множиною вибраних рішень зручно ввести поняття *множини вибраних векторів (вибраних оцінок)*:

$$\mathcal{S}(\mathcal{W}) = f(\mathcal{S}(U)) = \{\mathcal{w} \in \mathcal{W} | \mathcal{w} = f(u), \text{ при } u \in \mathcal{S}(U)\}, \quad (6.70)$$

яке представляє собою деяку підмножину множини $\mathcal{W}$.

Як правило, між множинами можливих розв'язань U і відповідною множиною векторів $\mathcal{W}$ можна встановити взаємно однозначну відповідність, тобто кожному можливому розв'язку поставити у відповідність певний можливий вектор, і навпаки – кожному можливому вектору зіставити певний можливий розв'язок [172];

3) відношення переваги $\succ u$.

Завдання багатокритеріального вибору полягає у відшукуванні множини обраних розв'язань $S(U)$, $S(U) \subset U$ з врахуванням його відношення переваги $\succ$ на основі заданого векторного критерію f , що відбиває набір цілей ОПП [218].

Наприклад, у завданні вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності можна розглядати наступний перелік критеріїв:

- клас аеропорту;
- витрати капіталу;
- клас аеродрому;
- строк окупності інвестицій і рентабельність;
- придатність для організації непрофільного бізнесу;
- RFFC;
- придатність для виробництва, наявність технологій;
- ступінь розвиненості інфраструктури;
- придатність для постачання (логістики);
- залежність від пасажиропотоків і вантажопотоків;
- віддаленість від населеного пункту;
- повторна (подальша) реконструкція;
- інфраструктура терміналів.

Нові проекти реконструкції відрізняються тим, що на момент прийняття рішень немає повної інформації або інформація має розпливчастий характер. Оцінка альтернатив за наведеними критеріями буде носити експертний характер і покладатися на інтуїтивні судження.

Для початку процесу аналізу необхідно побудувати математичну модель завдання ухвалення рішення, яка зводиться до завдання двох структур: реалізаційної структури й оцінної структури. Реалізаційна структура відображає залежність між обраними альтернативами й виникаючими наслідками (результатами). За допомогою оцінної структури проводиться суб'єктивна оцінка виникаючих результатів з погляду ОПП.

6.4.2 Нечіткий висновок

Нечіткі судження поділяються на два види, перший з них називається *одиничний*: $n \in \mathcal{N}$, де n – лінгвістична змінна, а $\mathcal{N}$ – її лінгвістичне значення; другий тип називається *композиційним* і має вигляд: $\mathcal{N} \in n$ і $\mathcal{W} \in w$, це композиція одиничних суджень, з'єднаних операторами I , $АБО$, $НЕ$, представленими як нечіткі перетинання, об'єднання й доповнення відповідно. Композиційні нечіткі судження нечітко взаємозалежні. ФП для таких композиційних суджень обчислюється за допомогою нечіткої *імплікації*. Нечіткі правила поєднуються в одну або більше множин на вході (*посилка*), і пов'язані з нечіткою множиною на виході (*наслідки*).

Отже, нечіткий висновок – це апроксимація залежності «входи-виходи» на основі лінгвістичних суджень <якщо-то> та логічних операцій над нечіткими множинами [263].

Типова структура системи нечіткого висновку представлена на рис. 6.7.

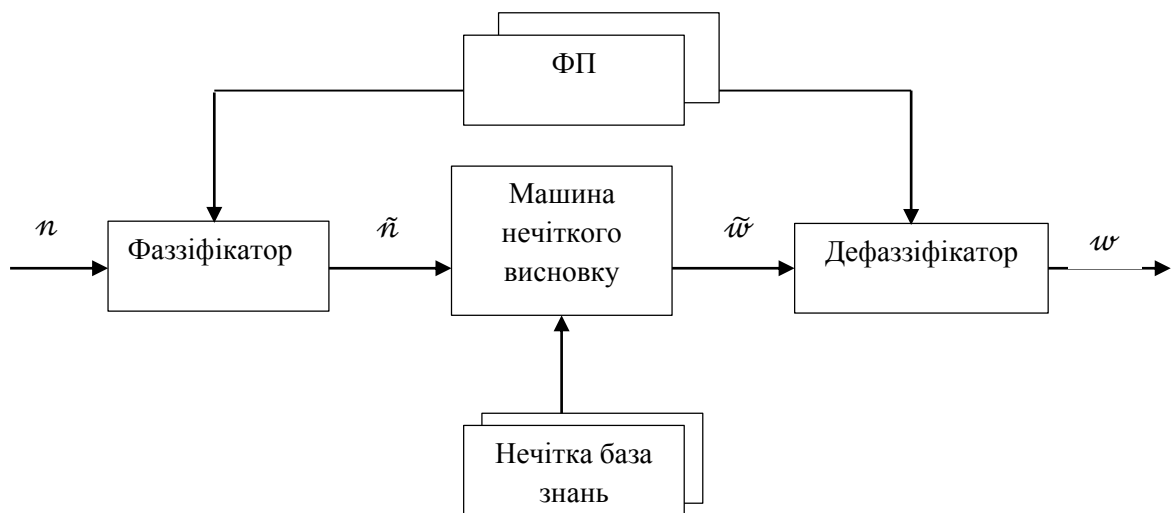


Рисунок 6.7 – Система нечіткого логічного висновку [263]

Фаззифікатор. На вході будь-якої нечіткої логічної системи перебуває інформація про оцінки лінгвістичних змінних експертами за запропонованими критеріями. Тому необхідно проведення процедури

фаззифікації, яка полягає у визначенні ступеня істинності, тобто значення функції приналежності для лівих частин кожного правила.

Машина нечіткого висновку на основі правил бази знань визначає значення вихідної змінної у вигляді НМ $\tilde{\mathcal{W}}$, яка відповідає нечітким значенням вхідних змінних $\tilde{\mathcal{N}}$.

Дефаззифікатор перетворює вихідну НМ $\tilde{\mathcal{W}}$ в чітке число $\mathcal{W}$. У теорії НМ дефаззифікація аналогічна знаходженню характеристик положення випадкових величин (математичного очікування, моди, медіани) у теорії ймовірностей. Найпростішим способом дефаззифікації є вибір чіткого числа з максимальним ступенем приналежності. Придатність цього способу обмежується лише однокстремальними функціями приналежності. Для багатокстремальних функцій приналежності застосовуються такі методи дефаззифікації: центр ваги (Centroid); медіана (Bisector); центр максимумів (Mean of Maximums); найбільший з максимумів (Largest of Maximums); найменший з максимумів (Smallest of Maximums) [102, 218].

Найбільш потужними програмними засобами, що мають механізми обробки НМ-1, є MATLAB і Fuzzytech [102, 263].

6.4.3 Опис розв'язуваного завдання. Основні умови

Постановка завдання

Для будь-якого аеропорту економічний сенс інвестицій полягає в тому, щоб відновити капітал з певним прибутком після тривалого періоду експлуатації реконструйованого аеропорту. Очевидно, основне завдання, яке ставлять перед собою аеропорти, полягає в тому, щоб отримати максимальний прибуток при обмежених інвестиціях. Цим і визначається фінансова політика аеропортів.

Припустимо, що в результаті маркетингового аналізу ринку інвестор зупинив свій вибір на інвестиційному проекті, що полягає у вкладенні вільних коштів у реконструкцію одного з аеропортів України. Даний проект

може розвиватися в декількох варіантах, залежно від географічного розташування аеропорту. У результаті розв'язку серії завдань визначених у [267] і наступних обговорень із ОПР, аналітики інвестора запропонували наступні альтернативи:

альтернатива 1 – аеропорт Бориспіль;

альтернатива 2 – аеропорт Донецьк;

альтернатива 3 – аеропорт Харків;

альтернатива 4 – аеропорт Львів;

альтернатива 5 – аеропорт Одеса.

Критерії ($F1, \dots, F5$), використовувані для оцінки даних альтернатив, були задані в такий спосіб:

- $F1$ – термін окупності інвестицій (див. табл. 6.8);
- $F2$ – клас аеропорту за ІКАО (1А відповідає значенню 1, 2В – 2, 3С, 4С – 3, 4D – 4, 4Е – 5);
- $F3$ – річний обсяг пасажирських перевезень (млн. пас.) (має діапазон від 0,5 до 20 млн. пас. на рік);
- $F4$ – максимальна пропускна спроможність пасажирського терміналу (пас./год) (має діапазон від 0,8 до 3 тис. пас./год.);
- $F5$ – RFFC (категорія ІКАО з рятування та боротьби з пожежею) (має діапазон від 1 до 10, визначається характеристиками альтернатив).

Змінні $n_1, n_2, \dots, n_5$ будемо вимірювати на базовій множині $\mathcal{U}$ альтернатив.

Нечітка база знань ($d1, \dots, d6$) формується з наступних висловлень:

1) Якщо для альтернативи термін окупності інвестицій, клас аеропорту за ІКАО та RFFC прийнятні, але клас аеропорту за обсягом перевезень та пропускною спроможністю на низькому рівні, то вона – задовільна (**S**).

2) Якщо для альтернативи термін окупності інвестицій швидкий, клас аеропорту за ІКАО, за обсягом перевезень, пропускною спроможністю, RFFC знаходяться на високому рівні, то вона – бездоганна (**P**).

3) Якщо для альтернативи строк окупності інвестицій очікуваний, клас аеропорту за ІКАО, за обсягами перевезень, пропускною спроможністю та RFFC знаходяться на прийнятному рівні, то вона – дуже задовільна (*VS*).

4) Якщо для альтернативи строк окупності інвестицій очікуваний, клас аеропорту за ІКАО й RFFC прийнятні, але клас за обсягами перевезень та пропускною спроможністю низькі, то вона – задовільна (*S*).

5) Якщо для альтернативи термін окупності інвестицій неприйнятний, або клас аеропорту за ІКАО, за обсягом перевезень, пропускною спроможністю, RFFC – на низькому рівні, то вона – незадовільна (*US*).

6) Якщо альтернатива має прийнятні умови по терміну окупності інвестицій, класу аеропорту за ІКАО та за обсягами перевезень, але пропускна спроможність та RFFC – на низькому рівні, то вона – більш ніж задовільна (*MS*).

Для подальшої побудови правил визначаються можливі значення множини змінних $n_1, n_2, \dots, n_5$ та w які будуть використовуватися для оцінки альтернатив у правилах $d1, \dots, d6$:

d1: Якщо
 $n1$ = прийнятне І
 $n2$ = прийнятне І
 $n3$ = низьке І
 $n4$ = низьке І
 $n5$ = прийнятне,
то w = *S*.

d4: Якщо
 $x1$ = очікуване І
 $x2$ = прийнятне І
 $x3$ = низьке І
 $x4$ = низьке І
 $x5$ = прийнятне,
то w = *S*.

d2: Якщо
 $x1$ = швидке І
 $x2$ = високе І
 $x3$ = високе І
 $x4$ = високе І
 $x5$ = високе,
то w = *P*.

d5: Якщо
 $x1$ = неприйнятне І
 $x2$ = низьке І
 $x3$ = низьке І
 $x4$ = низьке І
 $x5$ = низьке,
то w = *US*.

d3: Якщо
 $x1$ = очікуване І
 $x2$ = прийнятне І
 $x3$ = прийнятне І
 $x4$ = прийнятне І
 $x5$ = прийнятне,
то w = *VS*.

d6: Якщо
 $x1$ = прийнятне І
 $x2$ = прийнятне І
 $x3$ = прийнятне І
 $x4$ = низьке І
 $x5$ = низьке,
то w = *MS*.

Змінна $\mathcal{W}$ задана на множині: Invest_decision = {0; 0,1; 0,2; ... ; 1}.

Змоделюємо запропоновану нечітку систему вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності в ППП MATLAB. Для цього скористуємося засобами Fuzzy Logic Toolbox. Для розробки системи

нечіткого висновку в інтерактивному режимі можуть бути застосовані такі графічні засоби, які входять в склад пакету Fuzzy (додаток Н): редактор систем нечіткого висновку (FIS Editor), редактор ФП (Membership Function Editor), редактор правил системи нечіткого висновку (Rule Editor), програма перегляду правил нечіткого висновку (Rule Viewer) та програма перегляду поверхні системи нечіткого висновку (Surface Viewer).

Найвищу сумарну оцінку одержала альтернатива номер 1, що говорить про те, що інвестори скоріше всього виберуть альтернативу реконструкції аеропорту «Бориспіль» (табл. 6.10).

Остаточний розв'язок залишається за експертами, який можна зробити, враховуючи результуюче ранжирування альтернатив. На рис. 6.8 показані результати розрахунків за правилами нечіткого висновку для вхідних даних аеропорту «Бориспіль». Вид поверхні $\mathcal{W}$ (Invest_decision), представлений на рис. 6.9, можна отримати за допомогою Surface Viewer.

Таблиця 6.10 – Результати моделювання завдання вибору інвестиційно привабливого аеропорту

Альтернатива	Вхідні дані, $\mathcal{N}$					Вихідні дані, $\mathcal{W}$		Рейтинг за Мамдані/Сугено
	Термін окупності (PP)	Індекс класу аеропорту за ICAO (ICAO_CL)	Річний обсяг перевезень, млн. пас. (PAX)	Макс. пропускна спроможність пас.терміналу, тис. пас./год. (Capacity)	RFEC	Нечіткий висновок Мамдані	Нечіткий висновок Сугено	
«Бориспіль»	10	5	15	3,0	8	0,93	1	1
«Одеса»	10	3	4 ⁵	0,8	7	0,28	0,05	2/3
«Львів»	10	5	1	2,5	8	0,19	0,11	3/2
«Харків»	20	4	1	2,0	7	0,17	0,09	4
«Донецьк» ⁶	25	2	1	1,0	5	0,13	0	5

⁵ Оптимістичний прогноз інвесторів на базі загального дослідження перспектив ринку за умови швидкої реконструкції аеропорту

⁶ Вхідні дані по аеропорту «Донецьк» скореговані у зв'язку із подіями в зоні АТО 2014-2015 рр.

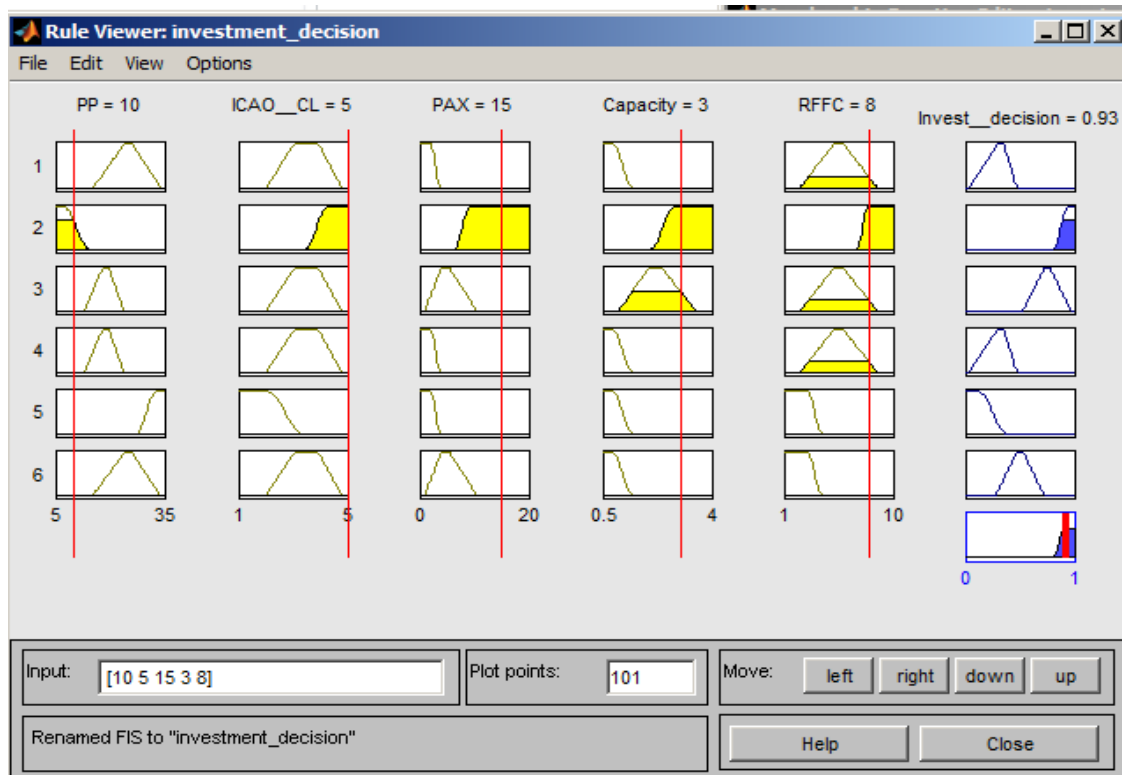


Рисунок 6.8 – Правила нечіткого висновку в Rule Viewer для даних аеропорту «Бориспіль»

Цей графік дуже наглядно показує як буде змінюватися значення рішення при зміні обсягів пасажиропотоків аеропорту та терміну окупності інвестицій при інших незмінних заданих умовах. Тобто, якщо обсяги перевезень різко скоротяться до 5 млн. пас., або термін окупності буде становити більше ніж 15 років, рішення щодо інвестицій в даний аеропорт може знизитися до значень S , або US .

Останнім часом значна увага приділяється нечітким множинам другого порядку [314, 388] або, інакше,

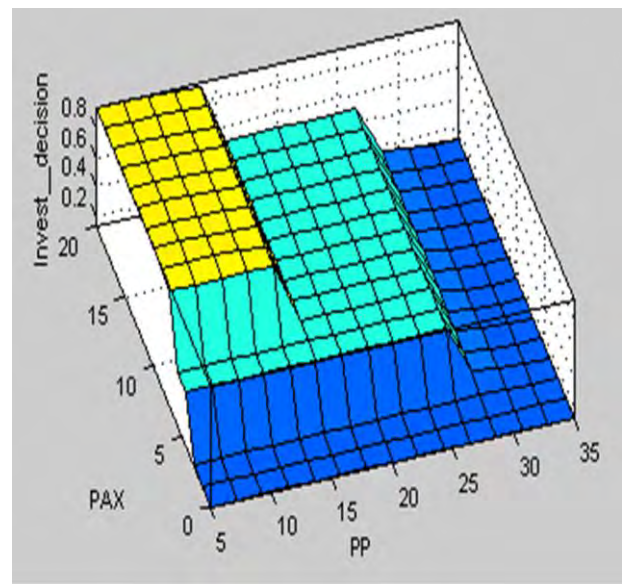


Рисунок 6.9 – Вид поверхні Y для бази знань Мамдані (аеропорт «Бориспіль»)

другого типу (Fuzzy Sets Type-2). Нечіткі множини типу-2 дозволяють моделювати різні невизначеності, які не можуть бути адекватно представлені за допомогою НМ першого типу. Однак застосування типу-2 збільшує обчислювальну складність у порівнянні з нечіткими множинами першого типу за наявності додаткової розмірності. Тому, використання НМ типу-2 є доцільним, якщо дозволяє забезпечити значне поліпшення результатів (наприклад, значне підвищення точності прогнозу).

Спочатку нечіткі множини другого порядку були представлені Л. Заде в 1975 році і по суті були «нечіткими нечіткими» множинами, в яких ступінь приналежності – це нечітка множина першого типу. Нові поняття були введені вже Менделем і Лінгом (Mendel і Liang), які полягали в описі нечіткої множини другого типу через нижню ($LMF(\tilde{A})$ або $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$) і верхню ($UMF(\tilde{A})$ або $\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x)$) функції приналежності (тут позначення змінних та множин вказані згідно з [314]). Кожна з цих функцій може бути представлена у вигляді НМ першого типу (рис. 6.10). Інтервал між цими двома функціями являє собою відбиток невизначеності (Footprint of Uncertainty – FOU ($\tilde{A}$) на рис. 6.10), який і є головною характеристикою НМ другого порядку [314].

Характерна схема нечіткого висновку для НМ типу-2 представлена на рис. 6.11 [349]. Ця сукупність називається нечітким логічним контролером, або нечіткою логічною системою.

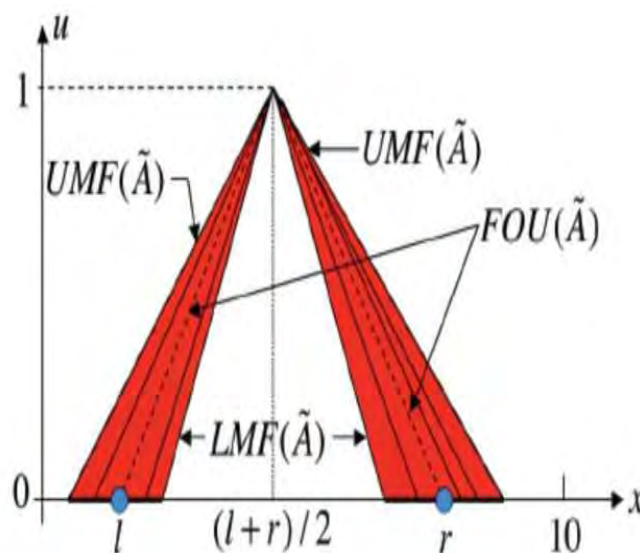


Рисунок 6.10 – Графічна інтерпретація поняття ФП-2

В даній схемі не змінюються правила, необхідно лише модифікувати нечіткі моделі на вході і виході. Змінюється обробка висновку: база правил застосовується до даних, представлених за допомогою ФП-2, додається етап для скорочення порядку нечіткої множини, який представлений на рис. 6.12, і вже до типу-1 застосовується дефазіфікація.

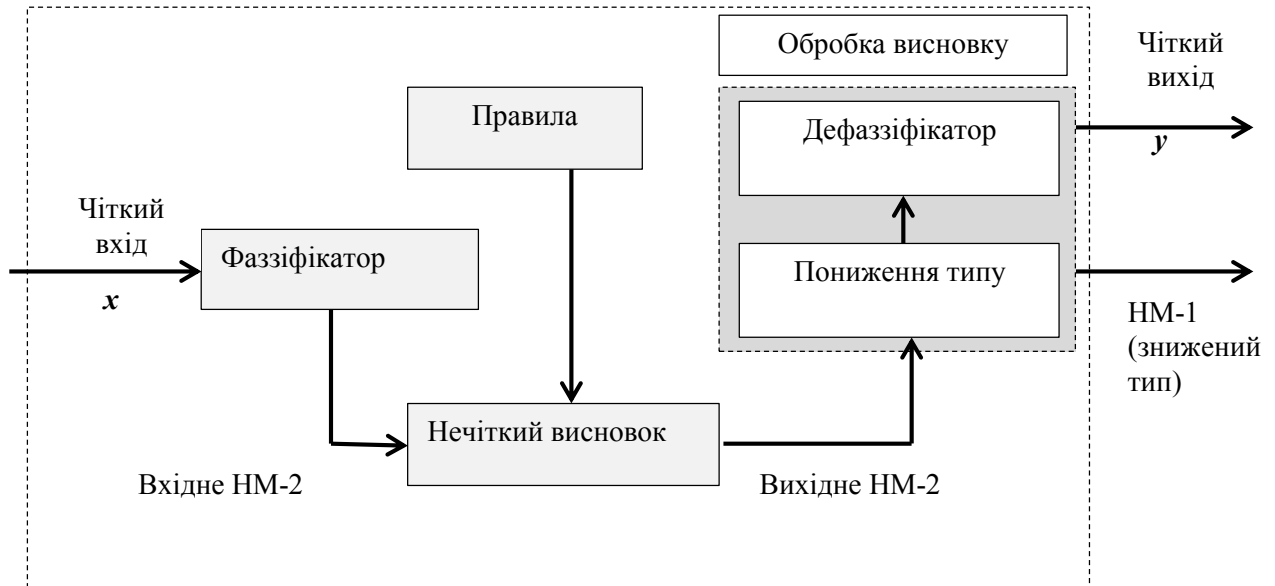


Рисунок 6.11 – Система нечіткого логічного висновку Тип-2

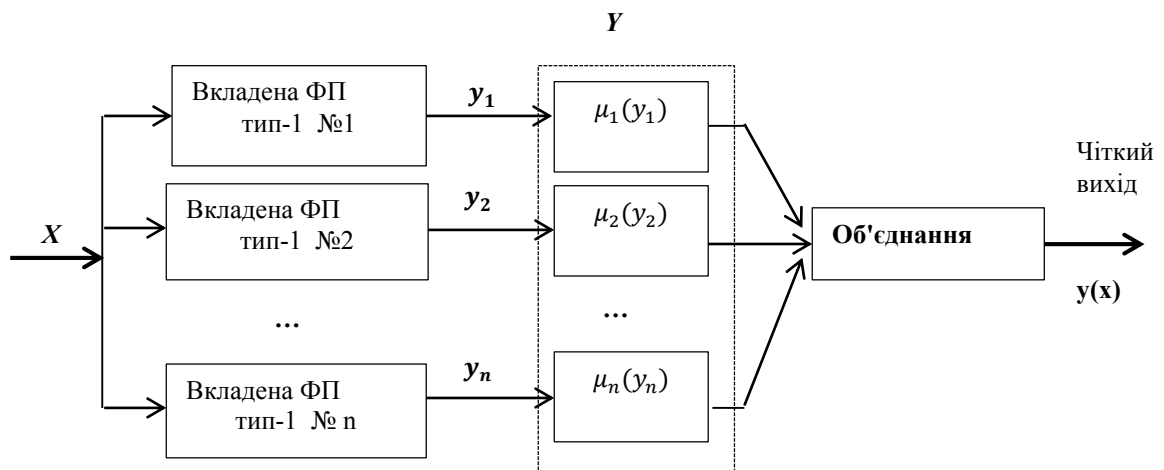


Рисунок 6.12 – Організація нечіткого виводу через вкладені ФП

ФП тип-2 представлена в системі умовного висновку як сукупність вкладених ФП-1. Завдяки цьому, є можливість використовувати математику умовного висновку для типу-1 (див. п. 6.3.2). Загальна послідовність кроків

розв'язування задачі багатоальтернативного вибору представлена на рис. Н.6. додатку Н. Альтернативи оцінюються двома значеннями, що містять інтервал невизначеності за даним критерієм.

6.5 Оптимізація параметрів системи обслуговування пасажирів в аеровокзалах

Під системою обслуговування пасажирів в аеровокзалах розуміють сукупність технологічного устаткування, засобів механізації, автоматизації, інформатизації управління та обслуговуючого персоналу, яка забезпечує виконання операцій реєстрації пасажирів, оформлення та обробки багажу, прийнятого до перевезення, проведення огляду та інформування.

Аналіз факторів, що впливають на роботу системи обслуговування пасажирів, показує, що майже всі вони мають імовірнісний характер. Дійсно, момент вильоту ПС залежить від технічного обслуговування, заправлення паливом, від процесу обслуговування пасажирів, від злету і посадки інших ПС, від погодних умов тощо, і не завжди збігається з часом, зазначеним у розкладі. Коефіцієнт зайнятості крісел залежить від сезону і часу доби. Відсоток пасажирів кожного рейсу, які реєструються on-line, визначається наданням цієї послуги авіакомпанією і наявністю відповідних технологічних засобів в аеропорту. Час прибуття пасажирів у аеропорт до вильоту також залежить від багатьох психологічних і об'єктивних особливостей і не є детермінованими. Кількість місць багажу у пасажирів визначається метою поїздки, напрямком рейсу, тривалістю польоту тощо.

Аналогічно час реєстрації та оформлення багажу, проходження огляду не є постійним і залежить від кількості одночасно пред'явлених квитків, продуктивності обслуговуючого персоналу, віку пасажирів тощо. Тому незалежно від досліджуваної системи при моделюванні процесу обслуговування пасажирів в аеровокзалі необхідно розглядати не лише всю сукупність факторів, що впливають на процес, але враховувати, що вони

здебільшого мають стохастичний характер.

Наведемо основні фази моделювання процесу обслуговування пасажирів, які відлітають. Це фази *входу, підготовки даних, функціонування системи, аналізу функціонування, виходу*.

Фаза *входу* включає визначення всіх зовнішніх і внутрішніх факторів, які впливають на роботу системи обслуговування пасажирів, а саме:

- розклад руху ПС або інтенсивність літаковильотів і пасажиромісткість ПС;
- коефіцієнт зайнятості крісел;
- відсоток пасажирів, що проходять реєстрацію on-line;
- закони розподілу: відсотків пасажирів, які реєструються on-line, часу прибуття пасажирів в аеропорт до вильоту, кількості місць багажу у одного пасажирів, часу реєстрації одного пасажирів, часу огляду одного пасажирів у пунктах контролю;
- продуктивність транспортерів, інтроскопів;
- вимоги IATA щодо площ на одного пасажирів в зонах аеровокзалу;
- максимальний час перебування пасажирів у черзі перед пунктом реєстрації, огляду, перед транспортером;
- кількість відвідувачів на одного пасажирів;
- параметри для розрахунку зони під'їзду та зовнішньої зони вильоту.

У фазі *підготовки даних* визначаються параметри системи:

- розрахунковий час згідно з розкладом у період максимального завантаження аеровокзалу;
- кількість пасажирів, які мають пройти реєстрацію на η -й рейс;
- моменти прибуття кожного пасажирів в аеропорт до вильоту;
- інтенсивність пасажиропотоку.

Далі виконується фаза *функціонування системи*, де моделюються всі технологічні операції процесу обслуговування. В даній фазі розраховуються параметри щодо:

- часу реєстрації одного пасажирів і кількості місць багажу,

характеристика черги пасажирів;

- часу перевірки багажу та ручної поклажі інтроскопами;
- часу огляду одного пасажирів в пунктах контролю;
- необхідних площ для обслуговування заданого пасажиропотоку.

Фаза моделювання *аналіз функціонування системи* передбачає багаторазове випробування опорного рішення відповідно до параметрів методом імітаційних випробувань і повторний розрахунок моделі для отримання опорного рішення. Проводяться також зміни відповідних вхідних факторів з метою підвищення ефективності роботи системи.

У фазі *виходу* здійснюється вибір оптимальної структури системи обслуговування пасажирів, які відлітають:

- вибір необхідної кількості пунктів реєстрації, кількості інтроскопів, пунктів огляду пасажирів, їхнього багажу та ручної поклажі;
- вибір продуктивності транспортерів та інтроскопів для системи обробки багажу пасажирів;
- вибір необхідних площ зон обслуговування пасажирів;
- порівняння отриманих при імітаційному моделюванні результатів з фактичними даними по заданому аеропорту.

Застосування імітаційної моделі дає змогу зробити висновки про можливі результати, засновані на імовірнісних розподілах випадкових факторів (величин). Стохастичну імітацію часто називають методом Монте-Карло [160].

Інтенсивність вхідного потоку пасажирів у період пікового навантаження аеропорту зазвичай пропонується розраховувати за формулою (6.71), яка наведена в різних варіаціях у багатьох дослідженнях, зокрема і в роботі [71]. Дана формула, з деякими уточненням, які враховують сучасні технології реєстрації, є актуальною і прийнятною і сьогодні:

$$\lambda_{\text{пас}} = \frac{1}{T_{\text{розр}}} \sum_{\eta=1}^N p_{\eta}(t) S_{\eta} k z_{\eta} (1 - \mathcal{K}^{\text{online}}), \quad (6.71)$$

де $p_{\eta}(t)$ – ймовірність прибуття пасажирів η -го рейсу в аеровокзал за час t до вильоту літака за розкладом;

S_{η} – пасажиромісткість літака, що обслуговує η -й рейс;

kz_{η} – середній коефіцієнт зайнятості пасажирських місць для η -го рейсу (надалі в розрахунках визначається рівномірно розподіленою випадковою величиною в межах 0,7–0,9);

K^{online} – коефіцієнт, що враховує відносну кількість пасажирів, зареєстрованих on-line (надалі в розрахунках визначається рівномірно розподіленою випадковою величиною в межах 0,1–0,3);

$T_{розр}$ – параметр, за яким розраховується середнє значення інтенсивності вхідного потоку пасажирів, хв.;

N – кількість рейсів протягом періоду розрахунку.

Дані про кількість рейсів у період пікового навантаження формуються безпосередньо з розкладу повітряного руху заданого аеропорту. Якщо ж розраховується нова проектована система обслуговування, для якої розкладу не існує, то виникає необхідність у моделюванні послідовності моментів вильоту ПС.

Як уже зазначалося раніше, в цьому разі можна вважати, що моменти вильоту ПС являють собою випадкові події. Тому момент відправлення поточного рейсу (τ_i) для гіпотетичних систем визначається як:

$$\tau_i = \tau_{i-1} + \gamma_{i-1}, \quad (6.72)$$

де τ_{i-1} – момент вильоту попереднього ПС;

γ_{i-1} – випадковий інтервал часу між відправленням поточного і попереднього ПС.

При моделюванні величини γ_i необхідно враховувати той факт, що мінімальний проміжок часу між двома такими вильотами приблизно

дорівнює 90 секунд. Тому має виконуватися умова $\tau_i - \tau_{i-1} \geq 0$. При цьому коригується співвідношення (6.72), а саме: $\tau_i = \tau_{i-1} + 90 + \gamma_{i-1}$.

Час обслуговування пасажирів в аеровокзалах є випадковою величиною, що залежить від складу формальностей, що виконуються, конкретної роботи в системі обслуговування, а також від факторів, що характеризують пасажирів: кількість квитків, які він реєструє, і кількість місць багажу. Визначимо час обслуговування як рівномірно розподілену випадкову величину в межах 1–3,5 хв.

Нижче наведемо фрагмент експериментального розрахунку системи обслуговування пасажирів в аеровокзалі. Використовувана методика розрахунків базується на основних положеннях керівництва ІАТА з розвитку аеропортів [281]. Відмінним є те, що для виконання фази *аналізу функціонування системи* враховувалася випадковість деяких характеристик.

Отже, оптимальна кількість стійок реєстрації визначається за формулою:

$$N_1 = 1,1(\lambda_{\text{пас}} t_1), \quad (6.73)$$

де t_1 – середній час обслуговування одного пасажирів, хв.

Але (6.73) може бути використана лише за умови використання технології порейсової централізованої реєстрації. Для випадку технології вільної реєстрації можна скористатися однією з моделей теорії масового обслуговування. Наприклад, в [224] використовується формула

$$n_{\text{opt}} = t_1 \left(\lambda_{\text{пас}} + \frac{1}{t_w} \ln \frac{W}{P(t_f > t_w)} \right), \quad (6.74)$$

де t_w – розрахунковий максимальний час очікування на обслуговування пасажиром у черзі, хв.; W – імовірність того, що всі робочі місця в операційній залі зайняті обслуговуванням; $P(t_f > t_w)$ – імовірність того, що фактичний час очікування пасажиром у черзі t_f може перевищити

розрахунковий час очікування. Значення розрахункових величин t_w , W , $P(t_f > t_w)$ задаються, виходячи безпосередньо з умов: розрахунковий максимальний час очікування пасажиром у черзі задається в межах 2–5 хв., що дає змогу забезпечити задовільний рівень обслуговування пасажирів. Взагалі, задане розрахункове значення часу очікування повинне забезпечуватися з досить високою надійністю, що становить 0,90–0,99. Значення ймовірності того, що фактичний час очікування обслуговування пасажиром у черзі зможе перевищити розрахунковий час очікування, таким чином, має задаватися досить нетривалим – у межах 0,1–0,01. Значення ймовірностей того, що всі робочі місця виявляться зайнятими, має прийматися в межах 0,7–0,9, що забезпечує достатню зайнятість і продуктивність обслуговуючого персоналу.

Необхідна кількість пунктів паспортного контролю на виліт визначається виразом:

$$N_2 = 1,1(\lambda_{\text{пас}} t_2), \quad (6.75)$$

де t_2 – середній час обслуговування пасажирів, хв.

Потреба в інтроскопах для централізованого контролю безпеки розраховується так:

$$N_3 = \frac{\lambda_{\text{пас}} w}{y}, \quad (6.76)$$

де y – пропускна спроможність інтроскопів (багажних місць на годину),

w – кількість місць ручної поклажі в одного пасажирів (задаємо рівномірно розподілену випадкову величину в межах від 1 до 4).

Формули (6.73)–(6.76) було використано для проведення імітаційного моделювання в програмі Excel. Для генерації випадкових величин використовувалася функція «СЛЧИС», що повертає рівномірно розподілене випадкове дійсне число, яке більше або дорівнює 0 та менше 1. Нове випадкове дійсне число повертається при кожному обчисленні аркуша. Щоб

отримати випадкове дійсне число в діапазоні між a і b , можна використовувати таку формулу: «СЛЧИС()*(b-a)+a».

Імітація зміни умовного пасажиропотоку від розрахункової інтенсивності від 5 пас./хв. до 13 пас./хв. показала, що при середньому часі обслуговування пасажирів 0,9 хв./пас. оптимальна кількість стійок порейсової реєстрації дорівнює значенню $\lambda_{\text{пас}} - 1$, а при вільному методі – дорівнює $\lambda_{\text{пас}}$ (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 – Результати імітації визначення оптимальних параметрів за методикою (6.73)–(6.76)

№ імітації	Інтенсивність вхідного потоку	Кількість стійок порейсової реєстрації	Кількість стійок реєстрації за вільним методом	Кількість пунктів паспортного контролю – виліт	Кількість інтроскопів на контролі безпеки – централізований
1	5,00	4	5	3	1
2	6,00	5	6	4	2
3	8,00	7	8	5	2
4	13,00	12	13	9	3

Результати імітації зміни коефіцієнтів завантаження та пасажирів, що реєструються on-line, у межах $0,7 \div 0,9$ та $0,1 \div 0,3$ відповідно, показали, що при заданому розкладі інтенсивність вхідного потоку змінюється в межах від 5 до 6 пас./хв. Зменшення коефіцієнту завантаження до 0,3 призводить до результатів від 2 до 3 пас./хв. До так самого діапазону інтенсивності вхідного потоку пасажирів ($2 \div 3$ пас./хв.) призводить збільшення коефіцієнту пасажирів, зареєстрованих on-line, у межах $0,5 \div 0,9$ (дослідження опубліковано у [137]).

Побудована в Excel імітаційна модель за формулами (6.73)–(6.76) дає змогу також простежити зміну значень інтенсивності вхідного потоку при зміні закону розподілу ймовірностей $p_{\eta}(t)$. Логнормальний розподіл ймовірностей прибуття пасажирів η -го рейсу в аеровокзал за час t до вильоту літака за заданим розкладом, при зміні коефіцієнтів завантаження та пасажирів, які реєструються on-line, у межах $0,7 \div 0,9$ та $0,1 \div 0,3$ відповідно

призводить до збільшення значення інтенсивності вхідного потоку на 2–3 пас./хв., тобто $\lambda_{\text{пас}} = 7 \div 8$ пас./хв.

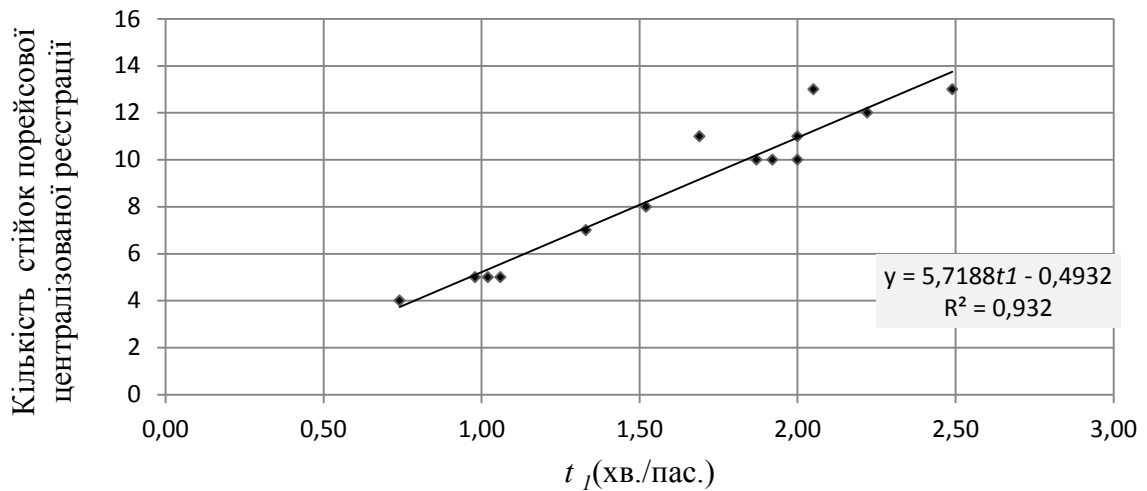


Рисунок 6.13 – Залежність оптимальної кількості стійок реєстрації від середнього часу обслуговування пасажирів

Результати імітаційних розрахунків залежності кількості стійок реєстрації від середнього часу обслуговування одного пасажирів показали, що при заданій інтенсивності пасажиропотоку у 5 пас./хв. потрібна кількість стійок реєстрації коливається від 4 до 13 шт. При цьому мінімальна кількість стійок досягається при продуктивності обслуговування 0,74 хв./пас., а максимальна – 2,49 хв./пас. Тобто затримка в обслуговуванні пасажирів на 1 хв. 45с. здатна призвести до потреби у значному збільшенні кількості стійок реєстрації (рис. 6.13).

Крім програми Excel для проведення експериментальних розрахунків щодо оптимальних характеристик зон аеровокзалу можна скористатися програмою STORM, в основу якої закладено моделі теорії масового обслуговування [138]. За допомогою даної програми було виконано та проаналізовано розрахунки по всіх етапах технології обслуговування пасажирів з урахуванням існуючої інтенсивності обслуговування, витрат на експлуатацію устаткування та продуктивності сучасного обладнання з відповідним програмним забезпеченням (табл. 6.12).

Таблиця 6.12 – Оцінювання зміни ефективності технології обслуговування пасажирів в аеропорту за рахунок підвищення продуктивності застосовуваних ресурсів

Етапи технології	Митний контроль – виліт (кількість інтроскопів)	Паспортний контроль – виліт (пункти контролю)	Контроль на безпеку (кількість інтроскопів)	Паспортний контроль – прибуття (пункти контролю)	Конвєсри видачі багажу	Митний контроль – прибуття (кількість інтроскопів)
характеристики						
Кількість обслуговуючих каналів	4	10	2	10	2	12
Середня інтенсивність вхідного потоку	52 багаж. місьця /хв.	26 пас./хв.	52 багаж. місьця /хв.	30 пас./хв.	60 багаж. місьць /хв.	60 багаж. місьць /хв.
Фактична середня інтенсивність обслуговування	1,5 хв./ багаж. місьце	1,5 хв./пас.	1 хв./багаж. місьце	1,5 хв./пас.	1 хв./багаж. місьць	1,5 хв./ багаж. місьце
Проектна середня інтенсивність обслуговування	0,5 хв./ багаж. місьце	0,5 хв./пас.	0,5 хв./багаж. місьце	0,5 хв./пас.	0,5 хв./багаж. місьць	0,5 хв./ багаж. місьце
Оптимальна кількість каналів обслуговування за фактичної середньої інтенсивності обслуговування	77	38	51	44	59	89
Проектна оптимальна кількість каналів обслуговування	25	12	25	14	29	29
Відсоток зменшення кількості каналів обслуговування	67,5	68,4	51,0	68,2	50,8	67,4

Експеримент довів, що значне скорочення оптимального значення каналів обслуговування (інтроскопів, пунктів контролю) в аеровокзалі – від 50 до 68% – досягається при зменшенні часу обслуговування з 1–1,5 хв. на одне багажне місьце до 0,5 хв.

Слід також відмітити, що комплексні розрахунки оптимальних площ та кількості обладнання можна проводити на етапі проектування аеровокзалу виходячи з прогнозованого максимального пасажиропотоку. При цьому не є важливим, за яким законом розподіляється ймовірність надходження пасажирів у систему обслуговування. А от для оперативних рішень щодо кількості стійок реєстрації, пунктів контролю тощо необхідно стежити за інтенсивністю і розподілом пасажиропотоку у часі.

Такі спостереження можна провести окремо для кожного рейсу. Заклавши в методику розрахунку визначені ймовірності надходження пасажирів у систему обслуговування і реалізувавши даний алгоритм в одній з прикладних програм імітаційного моделювання, ми можемо отримати готовий ІТ-продукт для оперативного реагування щодо визначення оптимальних параметрів роботи системи обслуговування пасажирів в аеропорту.

Аналіз і моделювання процесу реєстрації в ДМА «Бориспіль»

На момент дослідження в аеропорту Бориспіль застосовувався в основному порейсовий метод реєстрації (див. рис. 3.21). Одна із зарубіжних авіакомпаній застосовувала вільний метод реєстрації, однак лише на кількох (до 4-х) виділених для неї стійках. Було встановлено, що в зонах реєстрації терміналу D є 61 стійка реєстрації та 6 Self-Service Check-in Kiosks (або CUSS), 18 стійок авіаційної безпеки, 28 пунктів паспортного контролю. За заявленими технічними характеристиками в терміналі D можна обслужити до 10 млн пас. на рік, або 3000 пас./год., як з вильоту, так і з прильоту.

З метою виявлення проблеми «черг» на стійках реєстрації в новому терміналі D аеропорту «Бориспіль» було проведено аналіз даної технологічної операції методом спостереження з подальшою обробкою отриманих статистичних даних. Процес реєстрації спостерігався на рейси з Києва (IEV) до Москви (MOW), Варшави (WAW), Алмати (ALA) і Таллінна (TLL). Реєстрація на рейсах в MOW, ALA і TLL починалася за 2 год. до вильоту і закривалася за 30 хв. до вильоту. Реєстрація на WAW почалася за 1 год. 50 хв. до вильоту за розкладом через затримку рейсу з WAW. Для проведення реєстрації на TLL і ALA було відкрито по 3 стійки, на MOW і WAW по 4 стійки. Для пасажирів бізнес- і економ-класу на всіх рейсах надавались окремі стійки реєстрації.

Діюча порейсова технологія передбачає відкриття кількості стійок в залежності від завантаження ПС з розрахунку не більше 50 пасажирів на одну стійку реєстрації, але не менше двох.

Рис. 6.14 чітко показує, що існує пік прибуття, адже понад 60 % пасажирів прибувають не пізніше, ніж за 2,5 години до запланованого часу вильоту (STD) (за винятком рейсу до Таллінна).

Розподіл ймовірностей прибуття пасажирів до STD (рис. 6.15), як було зазначено вище, залежить від багатьох факторів, головними з яких є:

методи обслуговування та відсоток пасажирів, для яких пункт призначення є трансфером.

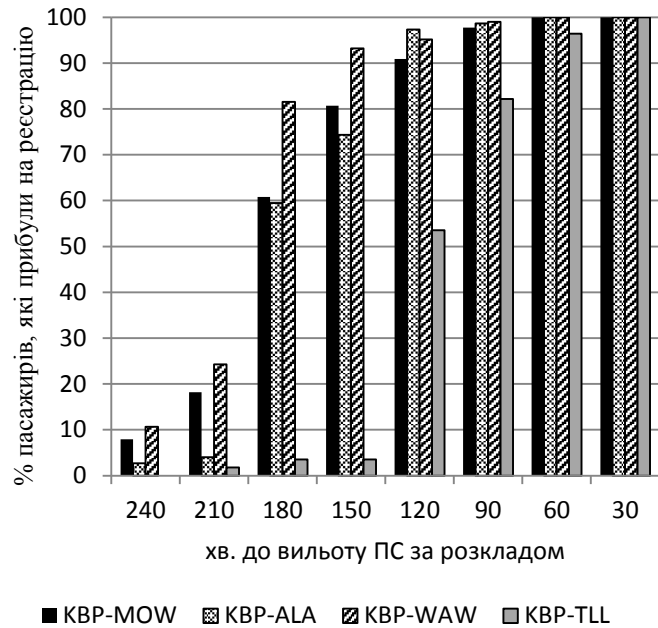


Рисунок 6.14 – Модель прибуття

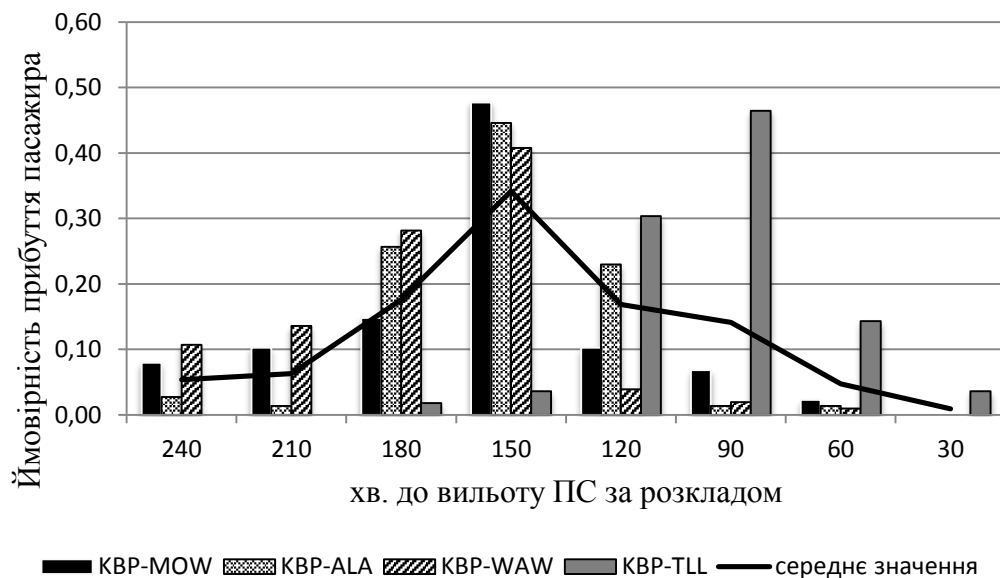


Рисунок 6.15 – Графіки функцій розподілу ймовірностей часу прибуття пасажирів

Відповідно, на стійках реєстрації на рейси в MOW, WAW, ALA на час відкриття реєстрації спостерігалися великі черги, які практично рівномірно

розподілилися між стійками. Довжини черг залежали від завантаження рейсів. Так, черга біля стійки реєстрації економ класу на MOW за 2 год. до вильоту становила близько 35-40 пасажирів, на WAW і ALA – близько 30 пасажирів. Для рейсу на TLL пік навантаження почався приблизно за 1 год. 40 хв. до вильоту, при цьому черга біля стійки реєстрації становила близько 15 осіб.

Технологією CUSS для реєстрації на рейс на MOW скористалося 3 пасажирів (1,7% від загальної кількості), web-реєстрацією скористалися 13 пасажирів (7,4%). Реєстрацію через CUSS на WAW пройшли 9 пасажирів (8,74 %), тимчасом як послугою web-реєстрації скористалося 6 пасажирів (5,83%). Результати реєстрації на рейс на ALA показали, що самостійно зареєструвалися 14 пасажирів, з них за допомогою CUSS 8 пасажирів (10,8%).

Зафіксований час обслуговування одного пасажирів на стійках реєстрації показано в табл. 6.13.

Таблиця 6.13 – Час реєстрації (в хв. на одного пасажирів) в терміналі D

Технологія реєстрації	Середній час	Min час	Max час	Стандартне відхилення	Кількість пасажирів
IEV-MOW					
CUTE	3,51	0,40	19,00	4,77	160
CUSS	1,15	0,92	1,55	0,34	3
IEV-ALA					
CUTE	1,92	0,60	4,50	1,30	60
CUSS	0,95	0,70	1,30	0,19	8
IEV-WAW					
CUTE	1,58	0,50	4,00	1,03	88
CUSS	0,93	0,70	1,10	0,13	9
IEV-TLL					
CUTE	3,24	0,60	13,00	3,26	56
CUSS	-	-	-	-	0

Середній час обслуговування одного пасажирів на стійці реєстрації становив 3,51 хв. зі стандартним відхиленням 4,77 хв. для рейсу на MOW проти припущення, закладеного в затверджені технології, що процес має займати менше ніж 1,1 хв.

Зазначимо основні характеристики процесу реєстрації рейсу на MOW, які було отримано при спостереженні:

- практично всі пасажирів мали велику кількість багажу, що потребувало додаткового часу на його оформлення;
- оформлення пасажирів, для яких MOW була пунктом трансферу, потребувало додаткового часу на пояснення деталей подальшої подорожі;
- при розгляді агентами з реєстрації питань правильності оформлення документів і віз час обслуговування одного пасажирів досягав близько 19 хв.

На інших рейсах, за якими велося спостереження, час реєстрації одного пасажирів також різко зростає за наявності декількох місць багажу, які перевищували норму безкоштовного провезення, або якщо агенти з реєстрації вимагали додаткових документів щодо імміграційних процедур. Було зафіксовано, що процедура реєстрації однієї несупроводжуваної дитини (UM) на рейсі IEV-TLL зайняла близько 40 хв. Крім того, на даному рейсі пасажирів не могли скористатися реєстрацією за допомогою CUSS через те, що на даному рейсі ця послуга не надавалася.

Для всіх рейсів, за якими велося спостереження, справедливе твердження, що час обслуговування пасажирів, який мав певний досвід використання CUSS, був значно меншим, ніж у інших. Більшості пасажирів потрібна допомога у виконанні процесу реєстрації. Розташування CUSS повинно бути таким, щоб пасажир міг бачити його до стійок реєстрації. Мінімальний час обслуговування на стійках реєстрації досягався при обслуговуванні пасажирів без багажу (24 сек.). Так само видно, що мінімальний час обробки на стійках менше, ніж у кіосках. Це є результатом ефективності агентів реєстрації.

Інший важливий аспект, який досліджувався, – це час очікування кожного пасажирів. Рис. 6.15 дає підстави зробити припущення про те, що кількість прибулих на реєстрацію пасажирів визначається розподілом Пуассона (1.9). Крім того, отримані під час спостереження фактичні дані підтверджують гіпотезу про те, що час обслуговування має експоненційний

розподіл (рис. 6.16).

Це означає, що для оцінювання середнього часу очікування у черзі та перебування в зоні реєстрації на рейс пасажирів, який прибув за 2 год. до STD, можна скористатися базовою моделлю теорії масового обслуговування M/M/s з кінцевим джерелом вимог [160, с. 857–878]. Результати розрахунків за даною моделлю, наведені в табл. 6.14, підтверджують фактичні дані, отримані при спостереженні процесу

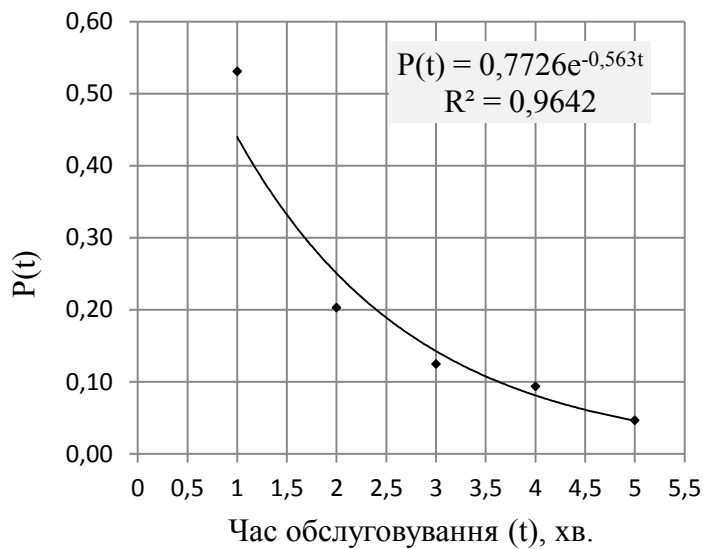


Рисунок 6.16 – Розподіл ймовірностей часу обслуговування на стійках реєстрації

реєстрації на згадані вище рейси. Так, якщо реєстрацію близько 90 пасажирів виконують агенти на трьох стійках, то час очікування в черзі може досягати 1 год. 11 хв. Оскільки понад 90 % пасажирів прибувають до відкриття стійок реєстрації, то зрозуміло, що ймовірність очікування в черзі, дорівнює 1.

Зазначимо, що максимальна кількість пасажирів в очікуванні послуг становила 0 для CUSS проти 45 щодо стійок реєстрації. Але під час спостереження за реєстрацією зафіксовані випадки, коли пасажирів, які пройшли реєстрацію за допомогою CUSS, стояли потім у загальній черзі для того, щоб здати багаж. Імовірно, існує проблема з інформування пасажирів про наявність багажних стійок для самостійної реєстрації (Baggage Drop Off desk). Таким чином, пасажир з багажем потрібно витратити досить багато часу на очікування в чергах, використовуючи обидва види реєстрації – самостійну і традиційну.

Наявність 61 стійки реєстрації в терміналі D аеропорту «Бориспіль» дійсно може забезпечити обслуговування 3000 пас./год. (тобто 50 пас./хв.),

але за умови, що час реєстрації одного пасажирів не перевищить 1,1 хв. Це твердження можна довести, посилаючись на рекомендації IATA [281] з розрахунку оптимальних характеристик зон аеровокзалу (див. формулу (6.73)).

Таблиця 6.14 – Характеристика черги реєстрації (модель M/M/S з кінцевим джерелом вимог)

Характеристики	Оцінки
Вхідні дані	
Загальна кількість пасажирів	90
Інтенсивність прибуття, пас./ хв.	1,5
Інтенсивність обслуговування, пас./ хв.	0,4
Кількість стійок реєстрації	3
Розрахункові дані	
Коефіцієнт завантаження стійок реєстрації	100,00%
$P(0)$, ймовірність, що стійка реєстрації вільна	0,0000
L_q , очікувана довжина черги, пас.	86,2000
L , очікувана кількість пасажирів у системі	89,2000
W_q , очікуваний час у черзі, хв.	71,8333
W , очікуваний загальне час у системі, хв.	74,3333
Ймовірність того, що пасажир чекатиме	1,0000

Описаний вище експеримент довів, що для підтримки комфорту пасажирів аеропорту Бориспіль необхідно скоротити час очікування реєстрації на конкретному рейсі. Якщо оперативно підвищити продуктивність обслуговування пасажирів не є можливим, то в технології необхідно передбачити збільшення ресурсів для процесу реєстрації у пік прибуття. Для цього можна використати технологію *динамічного відкриття і закриття стійок реєстрації* [309, 352, 365].

Суть його полягає у визначенні оптимальної кількості стійок на певні моменти часу до відправлення рейсу в залежності від кількості пасажирів, які

прибули на реєстрацію. Так, маючи статистичну базу даних щодо прибуття пасажирів на певні рейси, можна скласти моделі прибуття, які потім використовувати для імітаційного моделювання процесу реєстрації. Основною у цьому разі є фіксація в технології вимог до розміру черги біля стійки реєстрації та врахування *фактичного* часу обслуговування. Якщо кількість пасажирів у черзі стає більшою за задане число, то відкривається додаткова кількість стійок, розрахована за допомогою відповідної моделі теорії масового обслуговування. Підставою для зменшення кількості (закриття не завантажених) стійок для реєстрації стане розрахунок щодо кількості необхідних стійок у разі зменшення пасажиропотоку.

Розглянемо приклад розрахунку оптимальної кількості стійок реєстрації при вільному методі. Припустимо, що очікується прибуття 1000 пасажирів протягом години на реєстрацію на 10 рейсів (табл. 6.15). Застосувавши модель $M/M/s$ можна визначити, що робота у годину-пік 42-х стійок і середній час на реєстрацію одного пасажирів 2,5 хв. можуть забезпечити значне скорочення часу очікування обслуговування пасажирів у системі. Прибувши в аеропорт за 2 год. до вильоту рейсу, пасажир на реєстрацію в середньому витратить не більше 10 хв. Це означає, що пройшовши всі види контролю, пасажир, у якого залишилося досить багато часу до вильоту рейсу, стає потенційним клієнтом додаткових послуг (кафе, магазини тощо). А це, в свою чергу, є важливим внеском у розвиток неавіаційної діяльності аеропорту (згідно з фінансовим звітом аеропорту «Бориспіль» за 2011 р. доходи від неавіаційної діяльності становили лише 18% від загального доходу [272]).

Далі, за допомогою тієї самої моделі $M/M/s$ можна розрахувати прийнятні характеристики зони реєстрації, імітуючи процес на основі статистичних даних або враховуючи *фактичні* дані щодо прибуття пасажирів на реєстрацію (можна застосовувати датчик для підрахунку кількості пасажирів, що прибули на стійку реєстрації) та швидкості обслуговування. Так, 13 стійок реєстрації при середньому часі обслуговування 2,5 хв. на

одного пасажирів можуть забезпечити швидке проходження реєстрації (менше ніж 10 хв.) 300 пас./год.

Таблиця 6.15 – Моделювання характеристик черги реєстрації при вільному методі (модель M/M/S)

Характеристики	Оцінки
Вхідні дані	
Загальна кількість пас./ год.	1000
Інтенсивність прибуття, пас./ хв.	16,66
Інтенсивність обслуговування, пас./ хв.	0,4
Кількість стійок реєстрації	42
Розрахункові дані	
Коефіцієнт завантаження стійок реєстрації	99,21%
$P(0)$, ймовірність, що стійка реєстрації вільна	0,0000
L_q , очікувана довжина черги, пас.	117,4060
L , очікувана кількість пасажирів у системі	159,0727
W_q , очікуваний час у черзі, хв.	7,0444
W , очікуваний загальний час у системі, хв.	9,5444
Ймовірність того, що пасажир чекатиме	0,9392

Як було зазначено вище, модель M/M/s можна застосувати і для організації процесу реєстрації на окремому рейсі. На рис. 6.17 наведено результати імітаційного моделювання для визначення оптимальної кількості стійок реєстрації на рейс IEV-MOW для певного моменту часу до вильоту з кроком 30 хв. При розрахунках були зроблені припущення про можливість відкриття реєстрації за 4 год. до вильоту. Застосування динамічного підходу в даному прикладі дало змогу скоротити час перебування пасажирів в зоні реєстрації до 7 хв.

Отже, аналіз і моделювання процесу реєстрації пасажирів показав, що розвиток технології самореєстрації в аеропорту «Бориспіль» вимагає більшої інформативності та первинної допомоги пасажирів у самостійному оформленні посадкових талонів.

Чіткі вказівки щодо розташування і технології здавання багажу на Baggage Drop Off desk дадуть змогу підвищити якість і зручність використання технології CUSS. Фактичний час обслуговування на стійках реєстрації може значно відрізнятись від розрахункового в залежності від кількості багажу, наявності трансферу і необхідності перевірки імміграційних документів. Скорочення часу очікування проходження аеропортових формальностей гіпотетично може вплинути на зростання доходів від неавіаційної діяльності аеропорту «Бориспіль». Якщо оперативно підвищити продуктивність обслуговування пасажирів не можливо, то необхідно передбачити збільшення ресурсів обслуговування. Впровадження динамічного підходу до відкриття та закриття стійок реєстрації дає змогу скоротити максимальний час перебування пасажирів у зоні реєстрації з 1 год. 11 хв. до 10 хв.

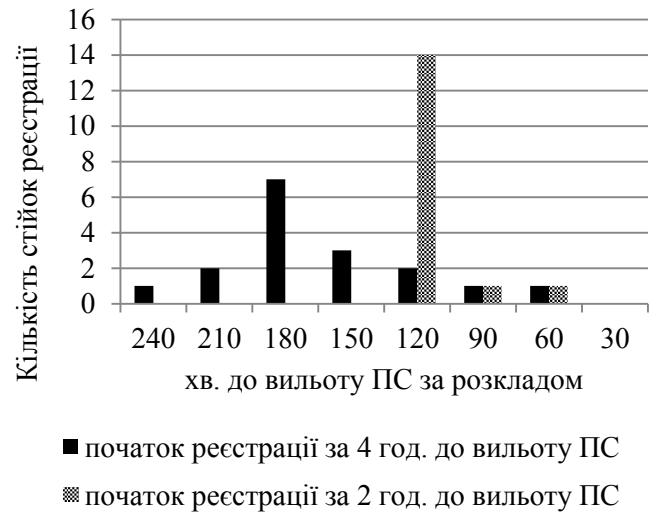


Рисунок 6.17 – Моделювання динамічного відкриття і закриття стійок реєстрації для рейсу IEV–MOW

6.6 Оптимізація розподілу ресурсів у завданнях наземного обслуговування в аеропортах

Розподіл ресурсів АХК, які обслуговують задані аеропорти, слід проводити з урахуванням виробничих можливостей і потреб усіх підрозділів. Цій меті може служити правильно побудована система внутрішніх цін на ресурси, що діє всередині даної системи. В радянській і зарубіжній науковій літературі [74, 265, 267, 357] чимало уваги приділяється теорії двоїстості,

зокрема, двоїстих оцінок. Однак, питання прикладного використання двоїстих оцінок, за винятком небагатьох публікацій [32, 267], висвітлені недостатньо повно.

Для лінійних задач оптимізації роботи АХК внутрішні ціни можуть бути побудовані на базі двоїстих оцінок. Основна ідея використання двоїстих оцінок для раціонального розподілу дефіцитних ресурсів між службами АХК полягає в такому. Припустимо, що на основі минулого досвіду або інших міркувань складений первинний орієнтовний план розподілу ресурсів. Природно, виникає питання про можливості його поліпшення. Для відповіді на нього необхідні оцінки, що вказують на оптимальність або допустимість початкового плану розподілу. Як такі оцінки можуть бути прийняті двоїсті оцінки, отримані в результаті розв'язання локальних задач оптимізації роботи кожної служби з урахуванням початкового розподілу ресурсів між ними.

Так, якщо для деякого ресурсу його оцінки хоча б у двох службах різні, то доцільно цей ресурс перерозподілити між цими службами. При цьому може бути трохи погіршено значення цільової функції служби, у якій частина ресурсу вилучається, і покращено у службі, якій цей ресурс передається, але загальний ефект буде підвищено. Для вирішення питання про кількість ресурсу, що перерозподіляється, окремі моделі завдань для цих двох служб об'єднуються в єдину модель із загальною цільовою функцією і загальними обмеженнями щодо однорідних ресурсів, що розподіляються. В результаті розв'язання об'єднаної задачі і буде отримано найкращий перерозподіл дефіцитних ресурсів між цими службами. Для цих служб всі ці оцінки на однойменні ресурси будуть відповідно рівні між собою. Потім знову розподіляється об'єднана модель на дві окремі початкового типу, при цьому праві частини обмежень змінюються у відповідності з отриманим перерозподілом ресурсів і так далі. Процес триває до зрівнювання двоїстих оцінок на однойменні ресурси в усіх службах.

Розглянемо АХК, що складається з кількох служб, кожна з яких надає

певний вид послуг, і центру, який постачає службам m видів ресурсів. Для спрощення подальших експериментальних розрахунків комплекс послуг, що надаються кожною службою, розглядатимемо як один вид послуги.

Введемо такі позначення:

i – індекс виду ресурсу, $i = \overline{1, m}$,

j – індекс служби АХК, $j = \overline{1, n}$,

r_{ij} – кількість i -го ресурсу, який має j -а служба,

$\underline{v}_j$ і $\overline{v}_j$ – нижня і верхня межі обсягу послуг служби АХК,

T_j – кількість технологічних способів надання послуги службою АХК,

c_{ij}^t – витрати i -го ресурсу на одиницю j -ї послуги, наданої за допомогою t -ї технології;

v_{jt} – обсяг j -ї послуги, наданої за допомогою t -ї технології (шукані величини); в залежності від доступності вихідних даних це можуть бути фізичні або грошові величини.

На першому етапі розв'язання розподілимо вектор ресурсів $\vec{r}_i$ між службами АХК довільним чином (наприклад, на основі досвіду фахівця). Нехай першій службі буде виділено r_{i_1} одиниць i -го ресурсу, $i = \overline{1, m}$, другій – r_{i_2} і так далі. З урахуванням цього розподілу для кожної служби складемо завдання визначення оптимального плану надання послуг. Так, для j -ої служби це завдання має такий вигляд: визначити план $\{v_{jt}\}$, при якому досягається максимум цільової функції:

$$TP_j = \sum_{t=1}^{T_j} p_{jt} v_{jt} \quad (6.77)$$

за обмежень:

$$v_{jt} \geq 0, \quad (6.78)$$

$$\sum_{t=1}^{T_j} c_{ij}^t v_{jt} \leq r_{ij}, \quad (6.79)$$

$$\overline{v}_j \geq \sum_{t=1}^{T_j} v_{jt} \geq \underline{v}_j, \quad (6.80)$$

де p_{jt} – прибуток, отримана j -ю службою АХК за надання одиничної послуги за t -ю технологією.

На підставі аналізу досвіду роботи АХК в аеропортах України, було складено набір деяких вхідних параметрів для експериментальних розрахунків (табл. 6.16). Як було зазначено в п. 3.5, для наземного обслуговування у структурі АХК можуть бути передбачені два підрозділи: з наземного обслуговування ПС та термінального обслуговування (див. табл. 3.7), тобто $n = 2$.

Таблиця 6.16 – Вхідні дані для експериментальних розрахунків (дані сформовані на 1 календарний місяць)

		i	
		1	2
j	Назва	Бюджет, ум. грош. од.	Місячний фонд робочого часу персоналу, год.
1	Служба термінального обслуговування	70000	3000
2	Служба наземного обслуговування ПС	215000	13000

У розрахунках виходитимемо з того, що технологія наземного обслуговування залежить від бізнес-моделі авіакомпанії (табл. 6.17) і, відповідно, потребує різної кількості ресурсів на певних етапах (див. рис. Д.1 додатку Д). АХК обслуговує в основному ближньо- і середньоміагістральні рейси (до 5000 км), кількість пасажирів коливається в діапазоні від 100 до 150 пас., максимальна злітна вага ПС – близько 70 т.

Як обсяг послуг розглядатимемо кількість обслужених рейсів за 1 місяць, причому $\underline{V}_j = 30$, а $\overline{V}_j = 6000$. Середній прибуток АХК за рейс від надання послуг у терміналі аеропорту для авіакомпанії класичної бізнес-моделі становить 148 ум. грош. од., низьковитратної – 112 ум. грош. од.; за наземне обслуговування ПС – 450 і 380 ум. грош. од. прибутку відповідно. Розподіл ресурсів $\vec{r}_i$ на першому етапі розв’язання між службами АХК

зазначено в табл. 6.18. Як критерій оптимальності кожної служби і АХК в цілому, згідно з (6.77) приймемо максимум прибутку.

Таблиця 6.17– Характеристика технологій наземного обслуговування

Варіант технології	I	II
Бізнес-модель авіакомпанії	Класична	Низьковитратна
Кількість пасажирів	З урахуванням декількох класів обслуговування (F, C, Y)	Максимальна пасажиромісткість ПС
Реєстрація пасажирів (початок за 2 год. до вильоту)	Передбачає додаткові ресурси на оформлення трансферу і значної кількості багажу	Максимальне використання технології самореєстрації
Кейтеринг	2 машини для обслуговування бортової кухні	1 машина для обслуговування бортової кухні
Заправка питною водою	200 л (100% поповнення)	
Утилізація стічних вод	200 л	
Місце стоянки ПС	Термінал	Перон
Вантаж (тип, кількість)	4 ULD	100 місць багажу (вантаж без контейнеризації)
Аеродромне живлення	Телескопічний трап	Агрегат аеродромного живлення
Прибирання	Так	
Буксирування	Аеродромний безводильний тягач	Немає (відкритий перон)
Час обороту ПС	27 хв.	19 хв.

Таблиця 6.18 – Вхідні дані щодо витрат i -го ресурсу на одиницю j -ї послуги

		C_{ij}^t			
j	Назва	Бюджет, ум. грош. од. на рейс		Витрати фонду робочого часу персоналу, год./рейс	
		t		t	
		I	II	I	II
1	Служба термінального обслуговування	170	150	8	6
2	Служба наземного обслуговування ПС	510	480	8,55	4,03

У результаті розв'язання завдань типу (6.77)–(6.80) для кожної служби $j = \overline{1, n}$ отримаємо, крім оптимального плану $\{v_{jt}^0\}$, вектор двоїстих оцінок $\{u_{ij}^0\}$, що відповідає обмеженням (6.79), а також значення цільової функції TP_j^0 (табл. 6.19).

Таблиця 6.19 – Результати експериментальних розрахунків моделі (6.77)–(6.80)

j	v_{jt}	Двоїсті оцінки	
		Бюджет, умов. грош. од. на рейс	Витрати фонду робочого часу персоналу, год./рейс
1	$v_{11}=166$	0,04	17,50
	$v_{12}=277$		
	Значення цільової функції	55777,78	
2	$v_{21}=421$	0,88	0,00
	$v_{22}=0$		
	Значення цільової функції	189705,90	
Сумарний прибуток		245483,68	

Порівняємо двоїсті оцінки однойменних ресурсів, отримані для різних служб. Як видно з табл. 6.19, вони істотно відрізняються одна від одної. Цей випадок має місце при неоптимальному розподілі ресурсів між службами. Дійсно, якщо, наприклад, $U_{12}^{\circ}=17,5$, а $U_{22}^{\circ}=0$, то при додаванні 1-й службі одиниці 2-го виду ресурсу буде отримано 17,5 одиниць додаткового прибутку, а при вилученні одиниці того самого ресурсу у 2-й служби прибуток зменшиться на 0 одиниць. Отже, має сенс вилучити деяку кількість цього ресурсу у 2-ої службі й передати його в першу.

Формально робимо так. Після розв'язання завдань типу (6.77)–(6.80) вибираємо дві служби j_1 і j_2 , для яких різниця двоїстих оцінок щодо деякого ресурсу i_1 максимальна, тобто для яких:

$$U_{i_1 j_1}^{\circ} - U_{i_1 j_2}^{\circ} = \max_i \max_{\substack{1 \leq j' \leq n \\ 1 \leq j'' \leq n}} (U_{i j'}^{\circ} - U_{i j''}^{\circ}). \quad (6.81)$$

Для служб j_1 і j_2 формулюємо *локальну задачу* оптимального перерозподілу ресурсів між ними. З цією метою об'єднуються моделі типу (6.77)–(6.80) для служб j_1 і j_2 в одну, яка має такий вигляд:

визначити план $\{v_{j_1 t}^1, v_{j_2 t}^1\}$, за якого досягається максимум цільової функції:

$$TP_{j_1 j_2} = \sum_{t=1}^{T_{j_1}} p_{j_1 t} v_{j_1 t} + \sum_{t=1}^{T_{j_2}} p_{j_2 t} v_{j_2 t} \quad (6.82)$$

з урахуванням обмежень

$$v_{j_1 t} \geq 0; \quad v_{j_2 t} \geq 0; \quad (6.83)$$

$$\sum_{t=1}^{T_{j_1}} c_{ij_1}^t v_{j_1 t} + \sum_{t=1}^{T_{j_2}} c_{ij_2}^t v_{j_2 t} \leq r_{ij_1} + r_{ij_2}, i = \overline{1, m}; \quad (6.84)$$

$$\bar{v}_{j_1} \geq \sum_{t=1}^{T_{j_1}} v_{j_1 t} \geq \underline{v}_{j_1}; \quad (6.85)$$

$$\bar{v}_{j_2} \geq \sum_{t=1}^{T_{j_2}} v_{j_2 t} \geq \underline{v}_{j_2}. \quad (6.86)$$

У результаті розв'язання завдання (6.82)–(6.86) отримаємо оптимальний план $\{v_{j_1 t}^1, v_{j_2 t}^1\}$, новий вектор двоїстих оцінок $\{U_i^1\}$, який тепер відповідає службам j_1 та j_2 , а також значення цільової функції $TP_{j_1 j_2}^1$. При цьому $TP_{j_1 j_2}^1 > TP_{j_1}^\circ + TP_{j_2}^\circ$, тобто загальний прибуток двох служб, став вищим, ніж при розв'язанні завдання (6.77)–(6.80) для служб окремо. Дійсно, нерівність $TP_{j_1 j_2}^1 < TP_{j_1}^\circ + TP_{j_2}^\circ$ неможлива, адже план $\{v_{j_1 t}^\circ, v_{j_2 t}^\circ\}$, отриманий з оптимальних планів моделі (6.77)–(6.80) для служб j_1 і j_2 , очевидно є допустимим і для моделі (6.82)–(6.86), а план $\{v_{j_1 t}^1, v_{j_2 t}^1\}$ – не лише допустимим, але й оптимальним. Отже, остання нерівність суперечить оптимальності плану $\{v_{j_1 t}^1, v_{j_2 t}^1\}$. Як правило, неможлива і рівність $TP_{j_1 j_2}^1 = TP_{j_1}^\circ + TP_{j_2}^\circ$, адже принаймні для достатньо малої кількості ресурсу, що перерозподіляється Δ_{i_1} , приріст прибутку служби j_1 , рівний $U_{i_1 j_1}^\circ \Delta_{i_1}$, перевищує «збиток» служби j_2 , рівний $U_{i_1 j_2}^\circ \Delta_{i_1}$. Результати експериментального розрахунку розв'язання завдання (6.82)–(6.86) з розглянутого вище прикладу наведено в табл. 6.20. Зауважимо, що в

оптимальний план наземного обслуговування потрапили рейси лише класичних авіакомпаній, обмеження фінансових оборотних ресурсів (бюджету) є стримуючим, загальний прибуток двох служб став вищим на 5926,92 ум. грош. од., ніж при розв'язанні завдання (6.77)–(6.80) для служб окремо.

Таблиця 6.20 – Результати експериментальних розрахунків моделі (6.82)–(6.86)

j	v_{jt}	Двоїсті оцінки	
		Бюджет, ум. грош. од. на рейс	Витрати фонду робочого часу персоналу, год./рейс
1	$v_{11} = 30$	0,88	0,00
	$v_{12} = 0$		
2	$v_{21} = 548$		
	$v_{22} = 0$		
Сумарний прибуток		251410,6	

Після розв'язання *локальної задачі* знову «відокремлюється» модель (6.82)–(6.86) на дві моделі типу (6.77)–(6.80). При цьому праві частини обох задач формуються з урахуванням отриманого перерозподілу ресурсів. Якщо в результаті розв'язання завдання (6.82)–(6.86) деякий ресурс залишається використаним не повністю, то його залишок при «роз'єднанні» моделі може бути розподілений між цими двома службами довільним чином. На цьому перший етап закінчується. Перерозподіл ресурсів у розглянутому прикладі дав змогу поліпшити початковий план на 5398,63 ум. грош. од. Крім того, розрахунки показали, що при заданому рівні прибутку, витрат та продуктивності праці для АХК ефективніше надавати послуги авіакомпаніям з класичною бізнес-моделлю (табл. 6.21).

Якщо розглядається АХК, яка має більш ніж 2 служби, знову вибираються дві служби, для яких різниця двоїстих оцінок для деякого ресурсу максимальна і так само будується модель другої *локальної задачі* і так далі. Процес закінчується, якщо двоїсті оцінки щодо кожного виду ресурсу для всіх служб будуть рівними між собою.

Слід зазначити, що скінченність алгоритму не гарантується, проте при розв'язанні практичних завдань можна обмежитися не строгою, а приблизною рівністю двоїстих оцінок. Природно, що кількість *локальних задач* для кожного з етапів розв'язання залежатиме від ступеня наближення.

Таблиця 6.21 – Результати експериментальних розрахунків моделі (6.77)–(6.80) з урахуванням рішення моделі (6.82)–(6.86)

j	v_{jt}	Двоїсті оцінки	
		Бюджет, ум. грош. од. на рейс	Бюджет, ум. грош. од. на рейс
1	$v_{11} = 294$	0,87	0,00
	$v_{12} = 0$		
	Значення цільової функції	43529,41	
2	$v_{21} = 460$	0,88	0,00
	$v_{22} = 0$		
	Значення цільової функції	207352,9	
Сумарний прибуток		250882,31	

6.7 Методи забезпечення ефективного функціонування навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту

Розв'язання проблеми раціональної системи організації роботи взаємодіючих видів транспорту у вантажному комплексі аеропортів, яка була виділена в п. 1.3, починається на стадії розробки проектів транспортних об'єктів і закінчується оперативним регулюванням транспортних процесів. Технологічна взаємодія передбачає визначення кількості необхідних ресурсів: перевантажувальних пунктів, засобів механізації та іншого обладнання, персоналу за етапами перевезень. Навантажувально-розвантажувальні пункти (пости) (НРП) у вантажному складі аеропорту є

першим етапом технологічної взаємодії авіаційного і автомобільного видів транспорту. Вони призначені для виконання робіт автомобілями різних типів, що доставляють вантаж в аеропорт. Отже, завдання полягає в обґрунтуванні оптимальної кількості НРП у вантажному складі аеропорту за заданими критеріями.

Базуючись на роботах [71, 38], розробимо методику оптимізації кількості НРП вантажного складу аеропорту.

Згідно з [71] є три типи показників: інформативні, нормативні та статистичні.

До нормативних показників будемо відносити:

t_p, t_k, t_m – час навантажування/розвантаження одного місця вручну, краном та засобами механізації, хв.;

q – витрати, пов'язані з простоем автомобіля (очікування в черзі), ум. гр. од./год.;

E_0 – ринковий коефіцієнт ефективності;

k_s – коефіцієнт, що враховує вартість монтажу.

Зазначимо, що витрати на очікування автомобілів у черзі можна визначити експертним шляхом, наприклад, з урахуванням категорії вантажів, що перевозяться, наявності конкурентної служби з відповідними НРП, заробітної плати водіїв тощо. Цей показник вносить елемент системності в дослідження ефективності функціонування вантажних складів аеропортів, адже враховує витрати не аеропорту, а споживача аеропортових послуг.

До інформативних показників відноситимемо:

N_d – кількість робочих днів на рік, дні;

T – кількість робочих годин на день, год.;

$C_{рд}$ – експлуатаційні витрати на одну розвантажувальну ділянку за рік, дол. США;

K – капітальні витрати на одну ділянку розвантаження, дол. США;

δ – маса вантажу, кг. Величина δ визначається в залежності від відстані, на яку необхідно перемістити вантаж, умов розвантаження та таке ін.

До статистичних показників належать:

G – розрахунковий вантажопотік, т/год.;

I – кількість типів автомобілів, $i = \overline{1, n}$;

β_i – частка автомобілів i -го типу;

g_i – середнє завантаження автомобілів i -го типу, т;

D_i – дисперсія завантаження автомобілів i -го типу, т²;

m_i – середня маса одного місця вантажу автомобіля i -го типу, т;

V_i – дисперсія маси одного місця вантажу автомобіля i -го типу, т²;

α_i – частка місць вантажу масою більше ніж δ на автомобілі i -го типу.

Автомобілі розрізняються за вантажопідйомністю, в залежності від якої умовно їх можна розділити на сім груп. Середнє завантаження автомобілів g_i розраховується шляхом множення їх максимальної вантажопідйомності на коефіцієнт їх використання.

Методика розрахунку кількості НРП.

1. Розраховуємо інтенсивність прибуття автомобілів на годину:

$$\lambda = \frac{G}{\sum_{i=1}^n \beta_i g_i}. \quad (6.87)$$

2. Визначаємо середній час навантажування/розвантаження одного місця вантажу із автомобіля кожного типу:

$$t_i = \alpha_i t_k + (1 - \alpha_i) t_p - \eta(t_k - t_m), \quad i = \overline{1, n}, \quad (6.88)$$

де $\eta = \begin{cases} 1 & \text{— для автомобілів, які мають спеціальну механізацію;} \\ 0 & \text{— в іншому разі.} \end{cases}$

3. Знаходимо середній час навантажування/розвантаження автомобілів кожного типу

$$\bar{t}_I = \frac{g_i}{m_i} t_i, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6.89)$$

4. Розраховуємо дисперсію часу навантажування/розвантаження автомобілів кожного типу

$$\sigma_i^2 = \left(\frac{g_i}{m_i}\right)^2 \left(\frac{D_i}{g_i^2} + \frac{V_i}{m_i^2}\right) t_i^2, i = \overline{1, n}. \quad (6.90)$$

5. Визначаємо середній час навантажування/розвантаження одного автомобіля

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \beta_i \bar{t}_i. \quad (6.91)$$

6. Кількість розвантажувальних ділянок має відповідати умові

$$S > \frac{\bar{t}\lambda}{60}. \quad (6.92)$$

7. Визначаємо сумарні витрати за рік:

$$TC(\lambda, S) = \frac{1}{60} N_d T L_q \gamma q + S C_{рд} + E_0 S k_s K, \quad (6.93)$$

де S – кількість розвантажувальних ділянок,

γ – середній час очікування автомобілем початку розвантаження, хв.;

L_q – середня довжина черги.

γ та L_q розраховуються як характеристики багатоканальної системи масового обслуговування з очікуванням, якою можна описати загальний процес обслуговування автомобілів у НРП аеропорту. Такі моделі та алгоритми розрахунку відповідних параметрів добре описані в роботах [23, 160]. Так, для визначення середньої довжини черги можна скористатися формулою:

$$L_q = P_S \left[\frac{s \frac{\lambda}{\mu}}{(s - \frac{\lambda}{\mu})^2} \right], \quad (6.94)$$

де μ – середня інтенсивність навантажування/розвантаження одного автомобіля, яка дорівнює $\frac{1}{t}$;

P_S – ймовірність того, що в системі обслуговуються S автомобілів. Дана характеристика розраховується за формулою:

$$P_S = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^S}{S!} P_0, \quad (6.95)$$

$$\text{де } P_0 = \left(\sum_{n=0}^{S-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^S}{S! \left[1 - \frac{\lambda}{\mu S}\right]} \right).$$

Алгоритм розрахунків (6.87–6.95) може виконуватися для різних значень S з метою визначення оптимального значення за критерієм ефективності $TC \rightarrow \min$.

Розрахунки, проведені на основі експериментальних статистичних даних (додаток П), показали, що при інтенсивності прибуття автомобілів $\lambda = 8,6 \frac{\text{авто}}{\text{год}}$ оптимальна кількість розвантажувальних дільниць S становить 3 пункти. При цьому коефіцієнт завантаження дільниць ρ дорівнює 0,8. Зменшення кількості НРП в аеропорту при заданих вхідних даних є неприпустимим, адже при $\lambda > \mu$ черга автомобілів може необмежено зростати.

Надалі пропонуємо методику (6.87)–(6.95) доповнити економічним аналізом щодо прийняття рішення на рахунок оптимальної кількості НРП.

Наведемо приклад аналізу TC для визначення оптимального S , враховуючи дані щодо вартості обслуговування пунктів $C_{рд}$ та витрат на очікування навантажувально-розвантажувальних операцій q . Припустимо, $C_{рд}$ становить 5000,00 ум. грош. од. на рік, q – 35,00 ум. грош. од. за годину, K – 8030,00 ум. грош. од. Розраховані характеристики системи за цими даними представлені в табл. 6.22.

Найменше значення сумарних витрат TC досягається при $S = 4$ (характеристики системи наведено у додатку П, табл. П.1, П.2).

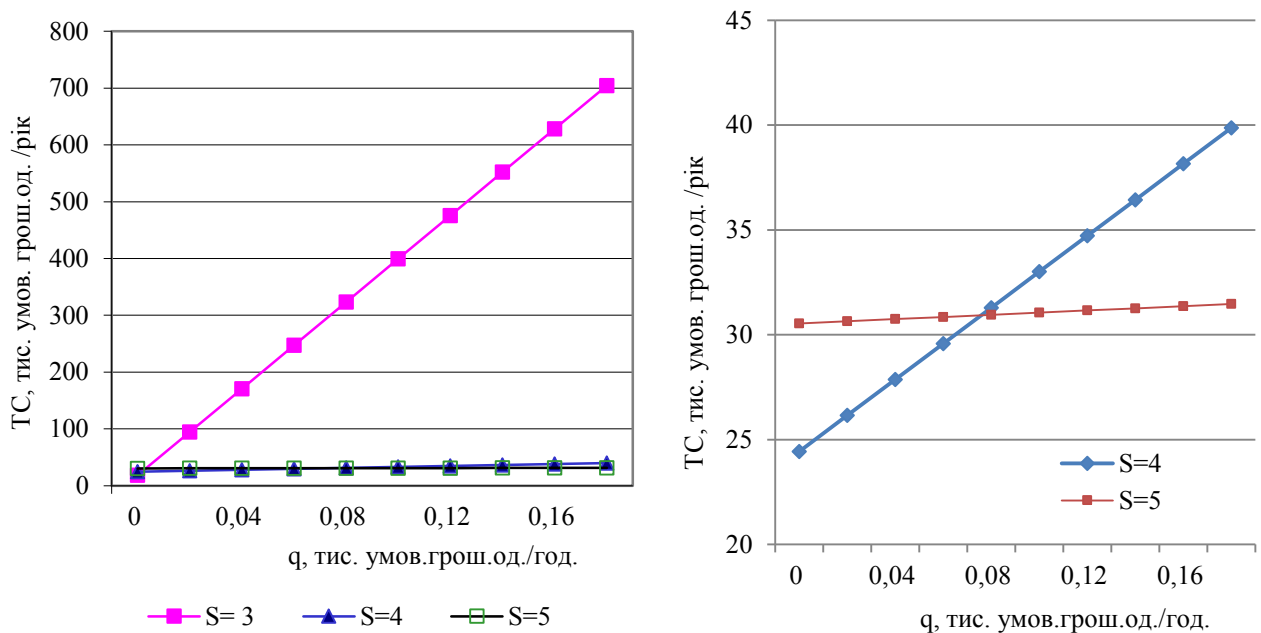
Таблиця 6.22 – Результати розрахунків характеристик експлуатації НРП при різних значеннях S

Характеристика	Варіанти / значення		
Кількість розвантажувальних дільниць, S	3	4	5
Характеристики черги ⁷	$M/M/3$	$M/M/4$	$M/M/5$
Інтенсивність вхідного потоку автомобілів, $\lambda_{\text{хв}}$, авто/хв.	0,1445		
Інтенсивність обслуговування, μ , авто/хв.	0,0576		
Коефіцієнт завантаження системи, %	83,7	62,78	50,22
Імовірність того, що система порожня, P_0	0,043	0,072	0,079
Середня довжина черги, L_q , авто	3,64	0,55	0,13
Середній час очікування автомобілем початку розвантаження, γ , хв.	25,18	3,78	0,92
Середній час перебування в системі (у НРП), хв.	42,55	21,15	18,30
Імовірність очікування в черзі	0,70	0,32	0,13
Сумарна вартість обслуговування НРП, тис. ум. грош. од.	18,32	24,43	30,54
Сумарні витрати на очікування навантажувально-розвантажувальних операцій, тис. ум. грош. од.	133,40	3,00	0,20
$TC(S)$, тис. ум. грош. од.	151,73	27,43	30,72

Розрахунки показують, що збільшення кількості розвантажувальних дільниць до 4 пунктів дає змогу скоротити середній час очікування автомобілем початку розвантаження на 21 хв. (тобто на 85 %), і в результаті можна отримати невелике і прийнятне значення часу очікування – приблизно 4 хв. Незважаючи на зменшення коефіцієнту завантаження системи на 20 % даний варіант ($S = 4$) можна прийняти як оптимальний за критерієм ефективності *мінімальні загальні витрати*. При збільшенні S з 3 до 4 при заданих умовах отримуємо скорочення TC на 124 тис. умовн. грош. од. на

⁷ $M/M/S$ – експоненціальний розподіл моментів часу входження заявок у систему та часу обслуговування при заданій кількості S пунктів обслуговування

рік, або на 81 %. Збільшення НРП до 5, хоча і зменшує час очікування ще на 24 % (значення цього показника в даному разі становить 0,9 хв.), але, вже не має принципового характеру з технологічної і економічної точки зору. Однак, якщо витрати на очікування (простій) автомобілів будуть, наприклад, 90,00 умовн. грош. од. на годину (за умови незмінності інших показників), то сумарна вартість функціонування розвантажувальних пунктів буде мінімальною при $S = 5$, як це показано на рис. 6.18 б.



(а) $S = 3 \div 5$; (б) $S = 4, 5$

Рисунок 6.18 – Визначення оптимальної кількості розвантажувальних пунктів у залежності від зміни вартості очікування обслуговування

Технологією обробки вантажу передбачено встановлення точної кількості вантажних місць, їх ваги, переліку товару і його стану порівняно з даними, що містяться в авіавантажній накладній та документах на всі одержані і видані вантажі. Передача вантажу підтверджується відповідним чином підписаними документами. Також здійснюється вибірковий внутрішній контроль протягом всіх етапів обробки, як для вантажів, так і для їх документів на їх окремих маршрутах прямування. При цьому може

виявитися необхідним скласти короткий список повернутих вантажних відправок.

Опитування експертів з організації вантажних перевезень з та в Україну показало, що основні затримки в доставці вантажів виникають у зв'язку з втратою чи запізненням товаросупровідних документів. Так, наприклад, якщо вантаж прийшов без товаросупровідних документів менеджер транспортно-експедиційної компанії має підготувати цілий пакет документів для надання в Бориспільську митницю (табл. П.3 додатку П). За технологією на оформлення даного пакету менеджер може витратити до однієї доби. Потім на протязі робочого дня йде передача пакета документів до Бориспільського офісу, підписання листів начальника Бориспільської митниці.

Виходячи з пропозицій IATA щодо технології e-Freight (див. п. 3.5), на рис. П.1 додатку П представлена проектна схема документообігу для технології обробки вантажів в ДМА «Бориспіль», яка може значно підвищити ефективність авіап перевезень за рахунок прискорення обміну потоками інформації між усіма учасниками процесу.

На шляху впровадження нової технології e-Freight чимало перешкод. Серед них – велика кількість супровідних документів і організацій, необхідних для кожної вантажної відправки: авіакомпанії, вантажовласники, вантажовідправники, провайдери логістичних послуг, консолідатори, аеропорти, складські господарства, служби наземного сервісу, агентства з продажу, експедитори, автотранспортні компанії і т.д. Однак, значних капітальних вкладень даний проект не потребує. Є необхідність в серйозних змінах організації процесу вантажних перевезень і зміні нормативно-правової бази для функціонування і взаємодії багатьох зацікавлених сторін.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 6

1. Запропонована модель завдання про вибір стратегії розвитку аеропортів в умовах невизначеності. Наведений приклад розрахунку матриці виграшів від реалізації трьох найбільш вірогідних стратегій розвитку мережі аеропортів показав, що позитивний ефект за економічним критерієм досягається лише у випадку досягнення попиту на рівні не менше ніж 19 млн пасажирів і реалізації стратегій розвитку шести основних регіональних аеропортів України (перша стратегія), або розвитку аеропорту «Бориспіль» як міжнародного і восьми регіональних аеропортів для обслуговування внутрішніх перевезень (друга стратегія).

Однак при прийнятті другої стратегії доходи регіональних аеропортів формуватимуться лише за рахунок обслуговування внутрішніх рейсів, а це підвищує ризик зменшення прогнозованих обсягів, адже пасажирів можуть вибрати альтернативні види транспорту. Лібералізація авіаперевезень та реалізація концепції розвитку повної мережі аеропортів України (3-тя стратегія) досягає позитивного з економічної точки зору ефекту при попиті близько 24 млн пасажирів (за інших заданих умов).

2. Розроблені теоретичні основи застосування теорії графів та лінійного програмування у визначенні (обґрунтуванні) необхідної пропускнуєї спроможності аеропортів та проведенні відповідні числові експерименти на прикладі мережі регулярних авіамаршрутів з основних аеропортів України, показали, що:

по-перше, мінімальні витрати на реконструкцію мережі аеропортів досягаються при перерозподілі кореспонденцій пасажиропотоків;

по-друге, отримані значення перерозподілу обсягів пасажиропотоків на заданій мережі дають змогу змодельовати подальший розвиток аеропортів окремого регіону, наприклад, України, враховуючи існуюче оснащення та можливості аеропортів інших регіонів, тобто можна спрогнозувати «конкурентні загрози»;

по-третє, отримані значення необхідної пропускнуєї спроможності аеропортів можуть бути формально аргументованим підґрунтям та вхідним параметром у завданні управління розвитком мережі аеропортів. Наприклад, при оптимальному перерозподілі пасажиропотоків необхідна пропускнує спроможність аеропортів міст України складає: Київ – приблизно 3,6; Одеса – 0,984; Львів – 0,960; Дніпропетровськ – 0,706; Донецьк – 0,480; Харків – 0,48 млн пас. на рік, що є нижчим за наявні ресурси.

3. Запропоновано метод розвитку мережі аеропортів як однієї з основних підсистем АТС в єдності з ефективним функціонуванням авіакомпаній, що ними обслуговуються. З точки зору взаємодії «аеропорти-авіакомпанії» найкраще інвестиційне рішення для аеропортів заданого регіону виходить при досягненні максимального ефекту за деякого інтегрального критерію ефективності розглянутої АТС, зокрема, за критерієм сумарних витрат на реконструкцію аеропортів та експлуатацію парку ПС. Для розв'язання проблеми визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між аеропортами пропонується принципова схема і алгоритм поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів, в яких враховується взаємозалежність ефектів підвищення класу аеропорту і розширення множини ПС, які можуть експлуатуватися на заданій мережі авіамаршрутів. Оптимальне рішення, тобто глибину і послідовність реконструкції аеропортів можна визначити, використовуючи двоїсті оцінки розподільної задачі транспортного типу.

4. Змодельована нечітка система багатокритеріального вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності, яка була чисельно реалізована в ППП MATLAB. При заданих вхідних даних найвищу сумарну оцінку одержала альтернатива аеропорту «Бориспіль», що говорить про те, що інвестори скоріше всього обиратимуть для подальшої реконструкції саме цей аеропорт. Отриманий рейтинг аеропортів за алгоритмами Мамдані та Сугено може бути використаний ОПР для розв'язання завдання визначення послідовності реконструкції аеропортів з

точки зору інвестиційної привабливості.

5. Імітаційне моделювання змін параметрів зон обслуговування пасажирів та обробки багажу в аеропортах показали, що:

- для оперативних рішень щодо кількості стійок реєстрації, пунктів контролю тощо необхідно стежити за інтенсивністю і законом розподілу пасажиропотоку у часі, який може змінюватися в залежності від характеристик рейсу. На етапі проектування аеровокзалу комплексні розрахунки оптимальних площ та кількості обладнання можна проводити виходячи з прогнозованого максимального пасажиропотоку. При цьому не є важливим, за яким законом розподіляється ймовірність надходження пасажирів у систему обслуговування;

- при заданій інтенсивності пасажиропотоку у 5 пас./хв. потрібна кількість стійок реєстрації коливається від 4 до 13 шт. При цьому мінімальна кількість стійок досягається при продуктивності обслуговування 0,74хв./пас., а максимальна – 2,49 хв./пас.;

- значне скорочення каналів обслуговування (інтроскопів, пунктів контролю) в аеровокзалі – до 68% – досягається при зменшенні часу обслуговування з 1,5 хв. на одне багажне місце до 0,5 хв.

- впровадження динамічного підходу до відкриття та закриття стійок реєстрації дає змогу значно скоротити максимальний час перебування пасажирів у зоні реєстрації (з 1 год. 11 хв. до 10 хв.), що гіпотетично позитивно впливає на неавіаційні доходи аеропорту, якість обслуговування та ефективність функціонування аеровокзалів.

Тобто, підвищити ефективність процесу обслуговування пасажирів в аеровокзалі при заданих умовах можна за рахунок існуючого резерву продуктивності обслуговування без збільшення наявних ресурсів.

6. Запропонований метод забезпечення оптимального функціонування авіахендлінгової компанії з використанням теорії двоїстості може бути використаний на стадії середньострокового планування розподілу ресурсів між структурними підрозділами компанії. Чисельна реалізація моделі на

підприємствах «Челендж Аеропорт», «Аеропорт Хендлінг», «ІНТЕРАВІА» дозволяє отримати рішення щодо варіантів підвищення місячного прибутку компанії (більш ніж 5 тис. дол. США на місяць) за рахунок оптимізації первісного плану робіт і перерозподілу ресурсів між підрозділами.

7. Для забезпечення ефективного функціонування навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту запропоновані удосконалена методика розрахунку оптимальної кількості НРП та схема впровадження електронних потоків інформації між учасниками авіавантажних перевезень. Підходи до підвищення ефективності НРП побудовані на врахуванні економічних показників та часових витрат як підсистем АТС, так і підсистем зовнішнього середовища (вартості обслуговування НРП, витрат на очікування автомобілів у черзі, витрат часу на повний цикл обробки експортно-імпортного вантажу в аеропортах). Згідно експериментальних розрахунків при інтенсивності прибуття автомобілів у аеропорт 8,6 авто/год. та середньому часі навантажування/розвантаження одного автомобіля 17,37 хв. збільшення НРП з 3 до 4 сприяє скороченню часу очікування автомобілів в черзі та сумарних витрат на 85 % (21 хв.) та 81% (124 тис. умовн. грош. од. за рік) відповідно. Збільшення НРП до 5, хоча і зменшує час очікування автомобілів в черзі ще на 24 %, але, вже не має принципового характеру з технологічної та економічної точки зору. Додатковий аналіз показав, що доцільність збільшення НРП до 5 може бути обґрунтована при витратах на очікування (простій) автомобілів більших ніж 70,00 умовн. грош. од. на годину (за умови незмінності інших показників).

Основні наукові результати опубліковано у наукових працях [116, 119, 121, 122, 127, 132, 136-139, 142, 143, 365-367].

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми встановлення принципів, закономірностей розвитку та розроблення методів забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем.

Результати досліджень дозволили сформулювати теоретичні та науково-практичні висновки, основними з яких є наступні:

1. На основі дослідження низки наукових робіт, присвячених проблемам розвитку ТС, встановлено:

- актуальність проблеми методології та методів забезпечення ефективного функціонування АТС виходить із пріоритетних напрямків досліджень, які визначені у відповідних європейських публікаціях, та завдань, поставлених у Транспортній стратегії України на період до 2020 р.

- сформований понятійний апарат ТТС не може бути автоматично і в повній мірі використаний в дослідженні АТС, через те що має значний набір специфічних термінів та понять в залежності від виду транспорту та точки зору наукових дослідників.

2. Запропоновано методологію ефективного функціонування АТС яка включає:

- визначення ефективності АТС як ефективності розвитку мережі, тобто системи аеропортів і авіамаршрутів, що їх з'єднують;

- матричну структуру інформаційних відношень між елементами АТС, на основі якої узагальнена інформаційна структура АТС шляхом включення до неї додаткових зв'язків між елементами, що формують попит на пасажирські і вантажні перевезення. Завдяки цьому, по-перше, виникає взаємозв'язок між споживачем, який отримує досвід використання системи, і процесом формування потенційного попиту, а, по-друге, у розробника АТС з'являється мотивація для уточнення структури АТС і особливо синергетичних зв'язків між елементами і підсистемами;

- врахування багаторівневої ієрархії процесу прийняття рішень, що

сприяє координації опису системи, декомпозиції задач прийняття рішень та оцінки їх впровадження в АТС.

3. Розроблено та скомпоновано схему дослідницької бази даних, яка дозволяє провести дослідження з використанням сучасних теорій та підвищити якість відповідних прогнозів для визначення вхідних параметрів в оптимізаційних моделях функціонування підсистем АТС на різних рівнях планування.

4. Для АТС України:

1.2 Встановлено, що наявний парк ПС авіакомпаній України розрахований на експлуатацію ближньо- і середньомагістральних авіамаршрутів, причому є тенденція до переходу на регіональні ПС з пасажиромісткістю менше 100 крісел, що може свідчити про орієнтацію авіакомпаній на розвиток структури мережі, яка відповідає бізнес-моделям фідерних або лоу-кост перевізників.

2.2 Виявлено, що коефіцієнт завантаження, який відповідає точці беззбитковості, для авіакомпаній «Донбасаеро», «Дніпроавіа», МАУ в період 1998–2005 рр. складав 40%. Такі ринкові умови мала тільки американська бюджетна авіакомпанія Jetblue Airways в 2003 р., інші європейські та азіатські авіакомпанії мали досягнути комерційного завантаження більше ніж 50–70 %. Однак заявлений в статистичних збірниках фактичний коефіцієнт завантаження саме тоді відповідав збитковій експлуатації мережі авіамаршрутів українськими авіакомпаніями, що свідчить про невідповідність або недостовірність та хибність існуючої системи збору даних.

3.2 Виявлено, що залежність частки ринку від частки пропонованої ємності парку ПС авіакомпанії МАУ, як провідної авіакомпанії України, є практично лінійною, що формально доводить відсутність прямої конкуренції між авіакомпаніями на українському ринку авіаперевезень.

4.2 Запропонована класифікація аеропортів за допомогою якої розв'язується завдання визначення їх пріоритетності у отриманні державного фінансування. Розроблені ознаки та приклад класифікації застосовані в моделях

формування концепції стратегічного розвитку та функціонування мережі аеропортів України.

5.2 Розраховані показники, які характеризують ефективність АТС України, кількісно підтверджують невідповідність функціонування і розвитку аеропорту «Бориспіль» хабовій стратегії на європейському ринку. Отримані низькі показники регіональних аеропортів підтверджують необхідність змін у їх функціонуванні, зокрема зміни існуючої структури мережі авіамаршрутів, яка формувалася українськими та іноземними авіакомпаніями протягом останніх двох десятиліть. Реструктуризація мережі авіамаршрутів має відповідати визначеним ціннісним орієнтаціям та цілям функціонування АТС.

6.2 Шляхом обробки статистичних даних щодо України доведено, що істотний вплив на попит мають здебільшого два параметри: ВВП на душу населення та обсяг туристичних потоків. Використовуючи даний результат, розроблено кількісні моделі прогнозування обсягів авіап перевезень в Україні на період 2014-2020 рр. Адекватність розроблених моделей підтверджена відповідними статистичними критеріями. Отримані результати довгострокового прогнозу показують, що за умови позитивного розвитку економіки України темп приросту авіаційних пасажирських перевезень складе 0,98-4,77 % на рік, тобто до 2020 року авіаційним транспортом України буде перевезено близько 11,2 млн пас. та обслуговано в аеропортах не менше 19,2 млн пас.

Формальні залежності обсягів вантажних авіаційних перевезень від соціально-економічного та техніко-технологічного розвитку в Україні встановити не вдалося, що можна пояснити млявим розвитком даного сегменту авіаринку. Крім того, основна частка ємностей вантажних авіакомпаній України використовується за межами АТС України.

5. Удосконалено математичну модель функціонування авіакомпанії шляхом введення додаткових елементів у цільову функцію і систему обмежень, що враховують технологічні та економічні вимоги стратегічного планування діяльності авіакомпанії. За показниками функціонування авіакомпаній встановлено, що в умовах збільшення в складі парку України частки ПС

західного виробництва й активної міграції кваліфікованого льотного персоналу за кордон з'явився серйозний дефіцит екіпажів. Останні дослідження ІСАО тільки підтверджують ситуацію, що склалася у світі в цілому, і в Європі зокрема. Через це дорогий людський ресурс повинен враховуватися при побудові математичної моделі функціонування авіакомпанії. Також авіакомпанія може використовувати запропоновану модель для формування техніко-економічних вимог до новостворюваних авіапромисловістю ПС.

6. Розроблена модель поточного планування функціонування авіакомпанії дозволяє для мережі з перевантаженими хабами визначити граничні умови доцільності синтезу безпосадкових маршрутів з низьким рівнем попиту і придбання авіакомпаніями ПС малої пасажиромісткості.

Експериментальні розрахунки показали, що хабова модель мережі більше відповідає економічним інтересам авіакомпанії у випадку ігнорування непрямих витрат, пов'язаних із затримками в аеропортах. Системний підхід до оцінки ефективності експлуатації мережі авіамаршрутів, тобто врахування параметрів по можливим затримкам ПС та пасажирів в завантажених аеропортах, підтверджує гіпотезу про ефективність декомпозиції мережі та введення додаткових прямих рейсів. Так впровадження прямих рейсів потребувало додаткових ресурсів від авіакомпанії (16 ПС у порівнянні з 11 ПС при хабовій моделі), але дозволило скоротити умовний збиток від експлуатації мережі на 38,13 %. Враховуючі незначні обсяги авіап перевезень, вимоги щодо мінімальної частоти для підтримки попиту та необхідність високого коефіцієнту завантаження для економічної ефективності експлуатації далекомагістральних рейсів, перспективними, на наш погляд, будуть пропозиції виробників щодо нових вузькофюзеляжних далекомагістральних ПС.

7. Розроблені методи визначення оптимальної частоти рейсів та меж бронювання показали, що для авіакомпанії, яка функціонує в умовах, наближених до умов функціонування МАУ, можливо підвищити тижневий прибуток компанії за рахунок перерозподілу ресурсів та визначення оптимальної кількості місць для бронювання у різних цінових класах тарифів до 3,95%.

8. Запропонований метод єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку АТС та авіабудівної галузі вносить певну ясність в організаційну структуру процесу проектування і моделювання ПС; допомагає розробнику ПС систематизувати більшу частину відомих на сьогодні методів і алгоритмів аналізу й синтезу складних технічних систем; сприяє підвищенню якості проекту та скороченню часу його розробки; досить ефективно розв'язується низка нових завдань, що виникають на стику оптимального проектування ПС і перспективного планування господарської діяльності авіакомпаній – потенційних замовників проектного ПС.

9. Запропоновано метод вибору стратегії розвитку аеропортів в умовах невизначеності. Наведений приклад розрахунку матриці виграшів від реалізації імовірних стратегій розвитку мережі аеропортів України показав, що позитивний ефект за критерієм річного прибутку (7,49 млн. дол. США) досягається лише при попиті не менше ніж 19 млн пасажирів і реалізації стратегії розвитку шести основних регіональних аеропортів України. Лібералізація авіап перевезень та реалізація концепції розвитку 30 аеропортів України досягає позитивного ефекту у розмірі майже 0,16 млн. дол. США при попиті близько 24 млн пасажирів.

10. Розроблений метод визначення (або обґрунтування) необхідної пропускної спроможності аеропортів в умовах дефіциту інформації про майбутню АТС, заснований на застосуванні теорії графів та лінійного програмування. Проведені відповідні числові експерименти на прикладі мережі регулярних авіамаршрутів з основних аеропортів України, показали, що: по-перше, мінімальні витрати на реконструкцію мережі аеропортів досягаються при перерозподілі кореспонденцій пасажиропотоків; по-друге, отримані значення перерозподілу обсягів пасажиропотоків на заданій мережі дають змогу змодельовати подальший розвиток аеропортів окремого регіону, наприклад, України, враховуючи існуюче оснащення та можливості аеропортів інших регіонів, тобто можна спрогнозувати «конкурентні загрози»; по-третє, отримані значення необхідної пропускної спроможності аеропортів можуть

бути формалізованим підґрунтям та вхідним параметром у завданні управління розвитком мережі аеропортів. Експериментальні розрахунки показали, що при оптимальному перерозподілі пасажиропотоків необхідна пропускна спроможність аеропортів у містах України складатиме: Київ – приблизно 3,600 млн пас. на рік; Одеса – 0,984 млн пас. на рік; Львів – 0,960 млн пас. на рік; Дніпропетровськ – 0,706 млн пас. на рік; Донецьк – 0,480 млн пас. на рік; Харків – 0,480 млн пас. на рік, що є нижчим за наявні ресурси.

11. Запропоновано метод розвитку мережі аеропортів в єдності з ефективним функціонуванням авіакомпаній, що ними обслуговуються. Найкраще інвестиційне рішення для аеропортів заданого регіону отримаємо при досягненні максимального ефекту взаємодії «аеропорти-авіакомпанії» за інтегрального критерію ефективності. Для розв’язання завдання визначення оптимального розподілу обмежених фінансових та інших ресурсів між аеропортами пропонується принципова схема і алгоритм поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів, в яких враховується ефект синергії підвищення класу аеропорту і розширення множини ПС, які можуть експлуатуватися на заданій мережі авіамаршрутів. Оптимальне рішення, тобто глибину і послідовність реконструкції аеропортів можна визначити, використовуючи двоїсті оцінки розподільної задачі транспортного типу.

12. Розроблено метод прийняття рішення щодо вибору інвестиційно привабливого аеропорту в умовах невизначеності, який був реалізований в ППП MATLAB (пакет Fuzzy Logic Toolbox). При заданих вхідних даних найвищу сумарну оцінку (0,93) одержала альтернатива аеропорту «Бориспіль», що говорить про те, що інвестори найімовірніше обиратимуть саме цей транспортний вузол для подальшої реконструкції. Отриманий рейтинг аеропортів за алгоритмами Мамдані та Сугено може бути використаний ОПР для розв’язання завдання визначення послідовності реконструкції аеропортів з точки зору інвестиційної привабливості.

13. Запропонований метод забезпечення оптимального функціонування авіахендлінгової компанії з використанням теорії двоїстості може бути

використаний на стадії коротко- та середньострокового планування розподілу ресурсів між структурними підрозділами компанії. Чисельна реалізація моделі на підприємствах «Челендж Аеропорт», «Аеропорт Хендлінг», «ІНТЕРАВІА» показала, що даний метод дозволяє отримати рішення щодо варіантів підвищення місячного прибутку компанії (більш ніж на 5 тис. дол. США) за рахунок оптимізації первісного плану робіт і перерозподілу ресурсів між підрозділами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамочкина Н. А. Совершенствование методов формирования сети маршрутов авиакомпании в современных условиях авиатранспортного рынка: на примере ОАО «Аэрофлот» [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.00.05/ Абрамочкина Наталья Алексеевна. – М., 2005. – 154 с.
2. Авиационная транспортная система. Патент № 2066285. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru-patent.info/20/65-69/2066285.html>.
3. Автоматизация управления транспортными системами [Текст]/ А. Артынов, В. Ембулаев, А. Пупышев, В. Скалецкий. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
4. Аэропорт «Одеса». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.odessa.aero/ru/node/454>.
5. Акімова Т. А. Застосування методу аналізу ієрархій при оцінці інвестиційної привабливості аеропортів / Т. А. Акімова // Вісник, 2009. – №19. – С. 334–339. – [Електронний ресурс]. – Режим доступа: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vntu/2009_19_1/pdf/0.pdf.
6. Акімова Т. А. Методика визначення конкурентоспроможності аеропорту [Текст]/ Т. А. Акімова// Вісник Хмельницького національного університету. – 2011. – № 1. – С. 234–238.
7. Акімова Т. А. Оцінка інвестиційної привабливості аеропорту [Текст]: дис. ... канд. эконом. наук: 08.00.04/ Акімова Тетяна Андріївна. – К., 2011. – 192 с.
8. Алексієв В. О. Концепція інформаційного розвитку транспортних систем [Текст]: дис... доктора техн. наук: 05.22.01/ Алексієв Володимир Олегович. – Х., 2009. – 342 с.
9. Алтунин А. Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: монография/ А. Е. Алтунин, М. В. Семухин. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.

10. Альошинський Є. С. Основи формування процесу міжнародних вантажних залізничних перевезень [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Альошинський Євген Семенович. – Х., 2009. – 454 с.

11. АМКУ змушує «Дніпроавіа» і «Аеросвіт» знизити ціни на внутрішніх авіарейсах// РБК Україна. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.rbc.ua/ukr/top/show/amku-zastavlyaet-dnepravlia-i-aerosvit-snizit-tseny-na-22092011184100>.

12. Аналітик прогнозує падіння ВВП України у 2014 році до 6,5 %. – [Электронный ресурс] // УНІАН. – Режим доступу: <http://economics.unian.ua/finance/947174-analitik-prognozue-padinnya-vvp-ukrajini-u-2014-rotsi-do-65.html><http://economics.unian.ua/finance/947174-analitik-prognozue-padinnya-vvp-ukrajini-u-2014-rotsi-do-65.html>.

13. Антамошкин А. Н. Методика дослідження ефективності складних ієрархічних систем/ А. Н. Антамошкин, О. Н. Моргунова, Е. П. Моргунов. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.morgunov.org/docs/o_paper10.pdf.

14. Атутова С. Я. Оптимизация параметров реконструкции аэропортов [Текст]/ С. Я. Атутова та ін.// Эффективность и оптимизация систем и процессов гражданской авиации и совершенствование систем комплексного планирования: материалы Всесоюзной конференции. – М.: МИИГА, 1977. – С. 17–21.

15. Багинова В. В. Теоретико-концептуальные основы организации региональной транспортной системы: на примере Республики Бурятия [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Багинова Вера Владимировна. – М., 2004. – 296 с.

16. Балалаев А. С. Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Балалаев Александр Сергеевич. – Хабаровск, 2010. – 280 с.

17. Батмунх С. Комплексная методика проектирования развития структуры системы воздушного транспорта Монголии [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01/ Батмунх Санжаажавын. – СПб., 2003. – 132 с.
18. Бейкер Й. Менеджмент процессов [Текст]/ [Й. Бейкер, Л. Вилков, В. Таратухин, М. Кугелер, М. Роземанн]. – М.: Эксмо, 2007. – 384 с.
19. Бенедык И. В. Повышение эффективности управления транспортными системами на основе логистических процессов [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.00.05/ Бенедык Ирина Владимировна. – Новороссийск, 2007. – 170 с.
20. Бенсон Д. Транспорт и доставка грузов / Д. Бенсон, Дж. Уайтхед; пер. с англ. В. В. Космина. – М.: Транспорт, 1990. – 275 с.
21. Беляков В. «Авиаисток» и партнёры на службе аэропортов России и стран СНГ [Текст]/ В. Беляков // Аэропорт партнёр. – 2006. – № 2. – С. 1–4.
22. Бугайко Д. А. Повышение эффективности коммерческой эксплуатации рейсов трансатлантического направления авиакомпании «Авиалинии Украины» [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.07.04/ Бугайко Дмитрий Александрович. – К., 2000. – 214 с.
23. Вагнер Г., Гарвей М. Основы исследования операций [Текст]/ Г. Вагнер, М. Гарвей; пер. с англ. [и предисл.] Б. Т. Вавилова. – Москва: Мир, 1972-1973. – 3 т.; 22 см. Т. 1. – 1972. – 335 с.
24. Ведомственные нормы технологического проектирования аэропортов: ВНТП 1-85/МГА СССР. [Текст]. – М.: Аэропроект МГА СССР, 1986 – 75 с.
25. Виноградов Л. В. Активное использование методик принятия решений — необходимое условие конкурентоспособности любого авиапредприятия/ Л. Виноградов, Г. Фридман, С. Шебалов// АТО, №85, декабрь 2007. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/model-dlya-optimizacii>.
26. Виноградов Л. В. Математическое моделирование в оптимизации планирования авиационных перевозок: формулировки и методы решения

типовых задач / Л. В. Виноградов, Г. М. Фридман, С. М. Шебалов // Научный вестник МГТУГА. – 2008. – С. 49–57.

27. Владимирская И. П. Оптимизация структурно-функционального взаимодействия в транспортных и производственно-транспортных системах [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.08 / Владимирская Ирина Петровна. – М., 2011. – 277 с.

28. Внедрение технологии электронного оформления грузовых коммерческих и перевозочных документов (E-Freight) в авиакомпании «Аэрофлот» Материалы выступления директора департамента грузовых перевозок ОАО «Аэрофлот» Королева О. К. на III International Air Cargo Forum – 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru>.

29. ВНТП 3-81 Ведомственные нормы технологического проектирования аэровокзалов аэропортов, 1981 г. С изменениями 2006 г. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.complexdoc.ru/ntd/544630>.

30. Волков В. Д. Системно-операционные основы информационной и транспортной логистики в мультимодальных и международных перевозках [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук : 05.22.01 / Волков Валерьян Денисович. – М., 2010. – 363 с.

31. Гаджиев Б. Р. Статическая устойчивость ассортативных и дисассортативных сетей/ Б. Р. Гаджиев, Т. Б. Прогулова, Д. П. Щетинина // Математика, компьютер, образование: сб. науч. трудов. – Вып. 14. – Т. 2: под ред. Г. Ю. Резниченко. – М., Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика». 2007. – С. 22–29.

32. Гдалевич С. С. Вопросы прикладного использования двойственных оценок. [Текст]/ С. С. Гдалевич. – М.: ЦЭМИ АН СССР, 1974. – 38 с. (Препринт / ЦЭМИ АН СССР).

33. Гелетуха Г. Н. Спецмашины аэропортов: справочник [Текст]/ Г. Н. Гелетуха, В. И. Лычик, В. Е. Канарчук. – М.: Транспорт, 1980. – 351 с.

34. Герасимова М. М., Егармин П. А., Лоскутникова М. П. Повышение эффективности системы управления предприятием на основе метода анализа

иерархий // Сб. науч. трудов SWorld. – Вып.2. Том 18. – Иваново: МАРКОВА АД, 2014. – с.15-21.

35. Гинзбург Е. С. Совершенствование пространственной организации авиационного транспорта России [Текст]: дисс. ... канд. географ. наук: 25.00.24/ Гинзбург Евгений Соломонович. – Калининград, 2009. – 158 с.

36. Горбач Г.И., Юн Г.Н. Распределительная задача как составной элемент перспективного планирования самолётного парка/ Г.И. Горбач, Г.Н. Юн // Применение математических методов в экономических исследованиях и планировании. – К.: ИК АН УССР, 1972. – с. 96-106.

37. Горбачов П. Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Горбачов Петро Федорович. – Х., 2009. – 370 с.

38. Горохова М. А. Повышение эффективности использования воздушного транспорта при перевозках грузов внешней торговли в смешанном сообщении [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.00.05/ Горохова Мария Александровна. – М., 2000. – 149 с.

39. Григорак М. Ю. Аналіз посткризових тенденцій на ринку експрес-перевезень в Україні/ М. Ю. Григорак, Т. Ю. Габрієлова, Є. В. Юденко // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2011. – №5 (159). – Ч. 1. – С. 55–61.

40. Грэм Н. GANIS: Предоставление отрасли решающего голоса/ Н. Грэм// Журнал ИКАО. – Т. 66, № 4, 2011. – С. 3.

41. Гуриева М. Т. Современные тенденции развития мирового рынка грузовых авиаперевозок [Текст]: дисс. ... кандидата эконом. наук: 08.00.14/ Гуриева Мадина Таймуразовна. – М., 2010. – 194 с.

42. Данько М. І. Наукові основи ресурсозберігаючих технологій при організації вантажних залізничних перевезень [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Данько Микола Іванович. – Х., 2005. – 357 с.

43. Данциг Дж. Линейное программирование, его приложения и обобщения/ Дж. Данцинг. – М.: Прогресс, 1996. – 600 с.

44. Давидич Ю. А. Теоретические основы эргономического обеспечения автотранспортных технологических процессов [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01; 05.01.04/ Давидич Юрий Александрович. – Х., 2007. – 375 с.

45. Державний комітет статистики України. Статистична інформація. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.

46. Держінспекція із захисту прав споживачів оштрафувала авіакомпанії Коломойського на 120 млн. грн. / Newsru.ua/ Економіка / 11 серпня 2011 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://txt.newsru.ua/arch/finance/11aug2011/avia.html>.

47. Дешевое топливо – новое будущее мирового флота ВС? – Авиация в Украине. Крылья, 2014. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wing.com.ua/content/view/12959/52/>.

48. Дмитрієв М.М. Концепція сітілогістики і пасажирські перевезення / [Дмитрієв М.М., Плошай В.Ф., Воркут Т.А. та інш.] // Вісник НТУ. – К.: НТУ – 2012. – № 26 (2). – С. 72-78.

49. Довідкова інформація щодо Угоди між Україною та Сполученими штатами Америки «Відкрите небо». / Офіційний портал Державної авіаційної служби України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/Miznarodnadiyalnist/Zovnishnja%20dijalnist/24031.html>

50. Дорошенко В. І. Основні показники та індикатори функціонування пасажирської автотранспортної системи [Текст]/ В. І. Дорошенко, К. Д. Діденко// Вісник Київського університету. Сер. Географія. – К., 2005. – Вип.51. – С. 35–36.

51. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Дональд Дрю; пер. с англ. Е. Г. Коваленко, Г. Д. Шерман. – М.: Транспорт, 1972. – 636 с.

52. Евин И. А. Сложные сети как модели сложных систем. Международная конференция «Сети, самоорганизация, будущее» (памяти

Сергея Петровича Капицы): 29–30 ноября 2012 года. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.i-nett.com/2012/11/18/slozhnye-seti-kak-modeli>.

53. Евин И. А. Социальные сети/ И. А. Евин, Т. Ф. Хабибуллин// Компьютерные исследования и моделирование. – 2012. – Т. 3. – № 2.

54. Елисеев С. Ю. Построение и оптимизация функционирования международных транспортно-логистических систем [Текст]: дисс... доктора техн. наук: 05.02.22/ Елисеев Сергей Юрьевич. – М., 2006. – 293 с.

55. Ермольев Ю.М. Методы стохастического программирования/ Ю.М. Ермольев. – М.: Наука, 1976. – 240 с.

56. Жанказиев С. В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: автореф. дисс. ... на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.22.01/ Жанказиев Султан Владимирович. – М., 2012. – 43 с.

57. Журбенко Н. Г. Выбор и распределение гражданских самолётов по авиалиниям [Текст] / Н. Г. Журбенко та ін.// Кибернетика. – 1976. – №4. – С. 138–141.

58. Зайцев Е. Н. Разработка методологии синтеза комплексной системы управления смешанными перевозками с целью повышения эффективности транспортно-логистических систем при неопределенности факторов их взаимодействия [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01 / Зайцев Евгений Николаевич. – СПб., 2006. – 356 с.

59. Закон України від 26.06.97 р. №400/97-ВР «Про збір на обов'язкове державне пенсійне страхування». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://search.ligazakon.ua/-l_doc2.-nsf/link1/Z970400.html.

60. Закон України «Про збір та облік єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування», № 2464-17 від 08.07. 2010 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=2464-17>.

61. Запорожець В. Аеропорт: організація, технологія, безпека/ В. Запорожець, М. Шматко. – К.: Дніпро, 2002. – 168 с.
62. Запорожець О.І., Коновалова О.В. Визначення алгоритмів обґрунтування пропускної здатності аеропорту з обмеженнями по авіаційному шуму// Вісник НАУ. – 2005. – Вип. 1. – с. 148-152.
63. Звонков В. В. Теоретические основы эксплуатации транспорта/ Звонков Василий Васильевич. – Л.: ИС АРАН, 1949–1950 гг. 160 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://isaran.ru/?q=ru/katalog>.
64. Зубков В. Н. Теория и методология организации местной работы на припортовой железной дороге [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Зубков Виктор Николаевич. – Ростов-на-Дону, 2011. – 334 с.
65. Иванов И. Ф. Использование логистической кривой для оценки стоимости компании на развивающемся рынке/ И. Ф. Иванов// Корпоративные финансы – 2008. – № 1 (5). – С. 47–62. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ecsocman.hse.ru/data/401/879/1219/47_62_vypusk5.pdf.
66. ИКАО. Прогноз развития воздушного транспорта до 2025 года. Сір 313 АТ/134. – ИКАО, 2007. – 64 с.
67. Инвестиции в ИТ готовят аэропорты к увеличению пассажиропотока. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sita.aero/ru/content/investitsii-v-it-gotovyat-aeroporty-k-velicheniyu-passazhiropotoka>
68. Исаев С. С. Трансформация территориальной организации международных пассажирских авиаперевозок в конце XX – начале XXI вв. [Текст]: дисс. ... канд. географ. наук: 25.00.24/ Исаев Сергей Сергеевич. – Москва, 2011. – 168 с.
69. Ільєнко О. В. Організація управління партнерськими відносинами підприємств в логістичних ланцюгах авіаційних перевезень [Текст]: дис. ... кандидата економ. наук: 08.00.04 / Ільєнко Оксана Вікторівна. – К., 2008. – 198 с.

70. Кабанихина К. В. Оценка эффективности лизинга воздушных судов [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.07.04/ Кабанихина Кристина Валерьевна. – К., 2002. – 189 с.
71. Канарчук В. Е. Механизация технологических процессов в аэропортах : учеб. для вузов / В. Е. Канарчук, А. Д. Чигринец. – М.: Транспорт, 1986. – 255 с.
72. Канарчук В. Е. Средства обслуживания авиаперевозок [Текст] / В. Е. Канарчук, А. Д. Чигринец, В. Н. Ленчевский. – К.: Техника, 1987. – 136 с.
73. Канель П. Оценка экономического эффекта проведения ЕВРО-2012 в Украине. Инвестиционно-консалтинговый портал «InVenture». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://inventure.com.ua/main/analytics/analysis/ocenka-ekonomicheskogo-effekta-provedeniya-evro-2012-v-ukraine>.
74. Канторович Л. В. Экономический расчёт наилучшего использования ресурсов/ Л. В. Канторович. – М.: АН СССР, 1959. – 350 с.
75. Кива Д.С. Научные основы интегрированного проектирования самолетов транспортной категории [Текст]: монография/ Д.С. Кива, А.Г. Гребеников. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2014. – Ч. 2. – 326 с.
76. Кисельов В. Б. Теоретичні основи та практичні методи визначення швидкостей руху автомобілів при зіткненні [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Кисельов Володимир Борисович. – К., 2009. – 259 с.
77. Кириллова А. Г. Методология организации контейнерных и контрейлерных перевозок в мультимодальных автомобильно-железнодорожных сообщениях [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01 / Кириллова Алевтина Григорьевна. – М., 2010. – 335 с.
78. Кирилов В. Е. Методы и модели текущего прогнозирования пассажирских авиаперевозок в АСУ гражданской авиации: дисс... канд. техн. наук: 05.13.06/ Кирилов Виктор Евгеньевич. – Рига, 1984. – 239 с.
79. Кириченко А. Ненавязчивый сервис// Факты, 20.06.2013. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fakty.ua/166004-v-borispolskom->

terminale-d-rasschitannom-na-obsluzhivanie-treh-tysyach-passazhirov-v-chas-estlish-odin-kofejnyj-avtomat.

80. Класифікація галузей економіки та видів робіт за професійним ризиком виробництва. Додаток із змінами, внесеними згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 527 від 16.05.2001, в редакції Постанови Кабінету Міністрів України № 985 від 27.06.2003. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://bs-staff.com.ua/ids_kd/p_date/1049_1291_3.html.

81. Клепиков В. П. Методология комплексного развития транспортных систем в проектах взаимодействия железнодорожного и морского транспорта [Текст]: дисс... доктора техн. наук: 05.22.01 / Клепиков Владимир Павлович. – М., 2007. – 352 с.

82. Козлюк И. А. Моделирование процессов функционирования авиационного транспорта с целью прогнозирования показателей его деятельности [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.13.06/ Козлюк Ирина Алексеевна. – К., 2007. – 333 л.

83. Колесников В. Л. Структурно-параметрический анализ альтернативных схем компоновок фюзеляжей самолетов большой пассажироместимости: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.07.02/ Колесников Владимир Леонидович. – Москва, 2003. – 163 с.

84. Комаристый Е. Н. Определение объема рынка авиаперевозок/ Е. Н. Комаристый// Маркетинг в России и за рубежом. – 2004. – № 1.

85. Конвенция о международной гражданской авиации. Doc 7300/9 / ICAO. – 9th Ed. – Montreal: ICAO, 2006. – 114 p.

86. Коникова Е. В. Совершенствование методов принятия решений в интерактивном режиме диспетчером системы комплексного оперативного управления наземным обслуживанием воздушных судов [Текст]: дисс... канд. техн. наук: 05.22.01/ Коникова Елена Викторовна. – СПб., 2009. – 252 с.

87. Концепція Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року постанова Кабінету Міністрів України від 30 жовтня

2013 р. N 944. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP130944.html.

88. Концепція Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2020 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 5.03. 2008 р. №506-р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/506-2008-%D1%80/print1361268612000307>.

89. Королев О. К. Внедрение технологии электронного оформления грузовых коммерческих и перевозочных документов (E-Freight) в авиакомпании «Аэрофлот» /О.К. Королёв// Материалы III International Air Cargo Forum – 2012. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/vnedrenie-tehnologii-elektronnogo-oformleniya-gruzovyh-kommercheskih-i-perevozochnyh>.

90. Королькова М. А. Оптимизация сети авиалиний на основе тензорной методологии [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.14 / Королькова Маргарита Анатольевна. – СПб., 2003. – 152 с.

91. Косов А. И. Исследование и выбор оптимальных параметров работы систем обслуживания вылетающих пассажиров в аэропортах гражданской авиации: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.15/ Косов Александр Ильич. – М., 1984. –169 с.

92. Костромина Е. В. Экономика авиакомпании в условиях рынка: 4-е стер. изд./ Е. В. Костромина. – М.: НОУ ВКШ «Авиабизнес», 2002. – 304 с.

93. Кочерга В. Г. Основы функционирования интеллектуальных транспортных систем в организации движения и перевозок [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Кочерга Виктор Григорьевич. – М., 2001. – 345 с.

94. Краткий экономический словарь/ [Абалкин Л. И. и др.]; под ред. Ю. А. Белика и др. – М.: Политиздат, 1987. – 397 с.

95. Кузнецов А. П. Методологические основы управления грузовыми перевозками транспортной системы [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Кузнецов Александр Петрович. – СПб., 2001. – 358 с.

96. Кутах О. П. Математичні моделі та інструментальні засоби інформатизації управління транспортними процесами [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.13.06 / Кутах Олександр Петрович. – К., 2005. – 432 с.: рис., табл. – С. 388–418.

97. Кутыркин А. В. Разработка моделей и алгоритмов решения функциональных задач управления транспортными системами и производством [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Кутыркин Александр Васильевич. – М., 2004. – 383 с.

98. Лаврухін О. В. Формування моделей і методів інтелектуальної технології оперативного управління поїздопотоками [Текст]: дис... доктора техн. наук: 05.22.01/ Лаврухін Олександр Валерійович. – Х., 2012. – 412 с.

99. Лапкин А. И. Организация и управление работой флота в форме последовательных рейсов [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Лапкин Александр Иванович. – О., 2003. – 307 с.

100. Ларин О. Н. Теоретические и методологические основы развития транзитного потенциала автотранспортных систем регионов (на примере Челябинской области) [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Ларин Олег Николаевич. – М., 2008. – 494 с.

101. Лашкевич А. А. Модели управления цепями поставок экспресс-грузовиков: автореф. дисс. ... на соискание ученой степени канд. экономических наук: 08.00.05/ Лашкевич Александр Александрович. – СПб., 2012. – 18 с.

102. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. – СПб.: БХВ- Петербург, 2005. – 736 с.

103. Леонтьев Р. Г. Формирование единой региональной транспортной системы (программно-целевой подход) [Текст]/ Р. Г. Леонтьев. – М.: Наука, 1987. – 151 с.

104. Литвиненко С. Л. Прикладні аспекти реалізації концепції інформатизації вітчизняних вантажних авіаперевізників / С. Л. Литвиненко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 37. – С. 200–202.

105. Лобашов О. О. Теоретичні основи формування транспортних потоків в найзначніших містах [Текст]: дис. ... доктора техн. наук : 05.22.01/ Лобашов Олексій Олегович. – Х., 2011. – 319 с.

106. Лобов И. Г. Совершенствование методов прогнозирования и стратегического планирования пассажиропотоков на воздушном транспорте: на примере Северо-Западного региона РФ: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.00.05/ Лобов Игорь Геннадьевич. – СПб., 2009. – 145 с.

107. Ломотько Д. В. Формування транспортного процесу залізниць України на базі логістичних принципів [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Ломотько Денис Вікторович. – Х., 2008. – 384 с.

108. Лопатников Л. И. Краткий экономико-математический словарь/ Л. И. Лопатников; отв. ред. Н. П. Федоренко. – М.: Наука, 1979. – 358 с.

109. Лыу Тхи Ким Хоа (Luu Thi Kim Hoa). Совершенствование механизмов управления авиакомпаниями в условиях расширения системы национальных перевозок в гражданской авиации [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.01. – СПб., 2005. – 115 с.

110. Мамаев Э. А. Моделирование региональных транспортных систем в условиях конкуренции [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Мамаев Энвер Агапашаевич. – М., 2006. – 348 с.

111. Мариничев В. Б. Организационно-экономические механизмы повышения эффективности управления деятельностью авиапредприятия в условиях кризисного развития [Текст]: дисс. ... канд. та эконом. наук: 08.00.05/ Мариничев Владимир Борисович. – М., 2007. – 199 с.

112. Маринцева К.В. Анализ элементов авиатранспортной системы Украины /К. В. Марінцева// Сб. науч. трудов SWorld. – Вып.3. Том 1. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – ЦИТ:313-0476. – С. 28-33. – ISSN 2224-0187.

113. Маринцева К.В. Долгосрочный прогноз авиационных перевозок в Украине /К. В. Марінцева// Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. Вып. 2. – М.: ВИНТИ РАН, 2014. – С. 9-14.

114. Маринцева К.В. Классификация аэропортов и приоритетность их реконструкции. Наука та прогрес транспорту /К. В. Маринцева// Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2014– №2 (50). – С. 119-129. – ISSN 2307-3489 (Print), ISSN 2307-6666 (Online).

115. Маринцева К.В. Концепция декомпозиции сети авиалиний /К. В. Маринцева// Математическое моделирование, оптимизация и информационные технологии: Materiale Conf.Intern.: Ed. a 4-a, 25-28 mar.2014, Chişinău/ red. resp.: Dumitru Solomon. – Vol.2 – Chişinău: Evrica, 2014. – С. 343-350 – ISBN 978-9975-62-364-3

116. Маринцева К. В. Международная практика внедрения технологии IATAe-Freight / К. В. Маринцева // Транспорт. – 2014. – № 36 (827). – С. 62–67.

117. Маринцева К.В. Методы планирования частоты рейсов на сети маршрутов авиакомпании /К. В. Маринцева// Естественные и технические науки. – 2014. – №3 (71). – С.188-192. – ISSN 1684-2626.

118. Маринцева К.В. Претензионная работа в авиакомпании: оценка ответственности /К. В. Маринцева// Наука і молодь: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2003. – Вип. 3. – С. 6.55-6.58.

119. Маринцева К.В. Стратегии развития региональной сети аэропортов /К. В. Маринцева// Материалы I-й Международной интернет конференции молодых учёных и студентов «Проблемы развития транспортных систем в евразийском регионе», Луганск, 20-21 мая 2013 года: сборник научных трудов / Министерство образования и науки, СВостоchnоукраинский национальный университет имени Владимира Даля. – Луганск: ВНУ им. В.Даля, 2013. – С.145-148. – Режим доступа: <http://www.ts.snu.edu.ua/conf.html>.

120. Маринцева К. В. Текущее прогнозирование в оперативном планировании эксплуатации заданной авиалинии / К. В. Маринцева // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – № 6 (177). – Ч. 2. – С. 81-87.

121. Маринцева К.В. Технологии обслуживания пассажиров в аэропортах Вьетнама /К. В. Маринцева// Вісник ПДТУ – 2013. – Вип. 27. Серія: Технічні науки – С.213-220. – ISSN 2225-6733.

122. Маринцева К.В. Условия внедрения технологии ИАТА e-freight / К. В. Маринцева// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2013. – № 6 (195) Ч.2. – С. 70-74. – ISSN 1998-7927.

123. Маринцева К.В. Актуальні напрямки наукових досліджень авіатранспортних систем /К. В. Маринцева// XXVIII МНПК «Перспективные направления отечественной науки». – Режим доступу: <http://nauka.zinet.info/28/Marintseva.php>

124. Маринцева К.В. Аналіз транспортної та логістичної інфраструктури України /К. В. Маринцева// Перспективні напрямки української науки: Зб. статей учасників дев'ятнадцятої всеукраїнської науково-практичної конференції «Інноваційний потенціал української науки – XXI сторіччя», 2013. – Т.2. Природничі та точні науки. – Видавництво ПГА. – Запоріжжя, 2013. – с. 70-74. Режим доступу: <http://nauka.zinet.info/19/marintseva.php>

125. Маринцева К.В. Багаторівнева ієрархія процесу прийняття рішень суб'єктами авіаційної діяльності /К. В. Маринцева// Проблеми транспорту: зб. наук. праць. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 10. – С. 295-304.

126. Маринцева К.В. Важелі державного регулювання розвитку авіаційної галузі: досвід Китаю /К. В. Маринцева// Проблеми системного підходу в економіці [електронне наукове фахове видання]. – 2011. – Вип. 1. – Режим доступу: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/PSPE/2011_1/Marintseva_111.htm.

127. Маринцева К. В. Засоби автоматизації та механізації технології обслуговування пасажирів в аеропортах / К. В. Маринцева // зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕТУТ, 2013. – Вип. 22. – С. 60–65. – ISBN 978-966-2197-62-4.

128. Маринцева К.В., Калмикова Г.Г. Перспективи розвитку низькотарифних авіап перевезень в Україні /К. В. Маринцева, Г.Г. Калмикова//

Проблеми системного підходу в економіці підприємств [електронне наукове фахове видання]. – 2010. – Том 1, №13. – Режим доступу: <http://jrn1.nau.edu.ua/index.php/EPsAE/article/view/4640/4758>.

129. Марінцева К.В. Класифікація методів державного регулювання міжнародних авіаційних перевезень/ К. В. Марінцева// Зб. наук. праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Економіка і управління». – К.: ДЕТУТ, 2011. – Вип. 17. – С. 230-236.

130. Марінцева К.В. Методи довгострокового прогнозування авіаційних перевезень /К. В. Марінцева// Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ, 2013. – Вип. 28. – С. 324-330. – ISSN 2308-6645

131. Марінцева К.В. Методи оптимізації завантаження авіарейсу за класами бронювання /К.В. Марінцева// Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті». – Дніпропетровськ, 2012. – С.19-20.

132. Марінцева К.В. Методика розрахунку оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту /К.В. Марінцева// Автомобільний транспорт. 2012. – №31. – С.100-104. – ISSN 2219-8342.

133. Марінцева К.В. Методологія аналізу та моделювання авіаційної транспортної системи// Проблеми організації авіаційних перевезень та застосування авіації в галузях економіки: збірник матеріалів II міжнародної науково-практичної конференції. – К.: НАУ, 2013. – С.48-53.

134. Марінцева К.В. Методологія оцінювання ефективності авіатранспортної мереж/ К. В. Марінцева// Наукоємні технології. – 2012. – №4 (16). – С. 107-111. – ISSN 2075-0781.

135. Марінцева К.В. Міждисциплінарний аспект понятійного апарату теорії транспортних систем /К.В. Марінцева// Международная научно-практическая Интернет-конференция: Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте' 2013. Сб. науч. трудов SWorld. –

Вып.4. Том 1. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – ЦИТ:413-1138. – С. 51-56. – ISSN 2224-0187.

136. Марінцева К.В. Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем: монографія/ К.В. Марінцева. – К.: НАУ, 2014. – 504 с.

137. Марінцева К. В. Оптимізація параметрів системи обслуговування пасажирів в аеровокзалах/ К. В. Марінцева// Наукоємні технології. – 2012. – №2 (14). – С. 100–104.

138. Марінцева К. В. Оптимізація технології обслуговування пасажирів в аеропортах / К. В. Марінцева // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2012. – № 4. – С. 65–69.

139. Марінцева К.В. Організаційно-технологічні умови функціонування експрес-авіаперевізника /К. В. Марінцева// Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2013. – № 9 (198) Ч.1. – С. 88-93. – ISSN 1998-7927.

140. Марінцева К.В. Применение пакета LINDO в решении задач распределения воздушных судов по авиалиниям /К.В. Марінцева// Проблемы системного підходу в економіці: зб. наук. праць. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 14. – С. 85-92.

141. Марінцева К.В. Прогноз розвитку авіаційних перевезень в Україні // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2013. – №5 (194). Ч 1. - С. 131-134. – ISSN 1998-7927.

142. Марінцева К.В. Процеси автоматизації технології обслуговування пасажирів в аеропортах /К.В. Марінцева// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4 (приложение). – С.31-32.

143. Марінцева К.В. Стратегії розвитку технологічних процесів обслуговування авіапасажирів /К.В. Марінцева// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2012. – №4 (додаток). – С.35-39. – ISSN 1681-4886.

144. Марінцева К.В. Структура бази даних фактичного попиту на авіаперевезення К.В. Марінцева// Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и на транспорте: сб. науч. трудов. – Д.: НГУ, 2014. – С. 187-196.

145. Марінцева К.В. Теоретичні засади аналізу мережі аеропортів /К.В. Марінцева// Наукоємні технології. – 2013. – №3 (19). – С. 337-340. – ISSN 2075-0781.

146. Марінцева К.В., Юн Г.М. Методологічні аспекти взаємозв'язку розвитку авіаційної транспортної системи та авіабудівної галузі /К.В. Марінцева, Г.М. Юн// Наукоємні технології. – 2014. – № 3(23). – С.341-344. – ISSN 2075-0781.

147. Маслаков В. П. Методы совершенствования системы управления авиатранспортного предприятия гражданской авиации [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук/ Маслаков, Валерий Павлович: 05.22.01. – СПб., 2004. – 314 с.

148. Мироненко В. К. Теоретические основы совершенствования условий перевозок скоропортящихся грузов: автореф. дисс. ... на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.22.08, 05.18.14/ Мироненко Виктор Кимович. – СПб., 1992. – 49 с.

149. Мирошниченко А. В. О. подходе к решению задачи составления расписания использования летного состава в авиакомпании/ А. В. Мирошниченко //ММС, 2010. – №1. – С. 193–197.

150. Митин Н. А. Исследование сетевых свойств Живого журнала / Н. А. Митин, А. В. Подлазов, Д. П. Щетинина // Препринт, РФФИ (проект №12-06-00402), 2014 – 16 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://spkurdyumov.ru/uploads/2013/09/mitpod.pdf>.

151. Михалевич В. С. Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений/ В. С. Михалевич, Н. З. Шор, Л. А. Галустова и др. – К.: Наук. думка, 1977. – 178 с.

152. Международная организация гражданской авиации. Годовой доклад совета. DOC 9916, 2008. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.icao.int/annualreports>.

153. Методичні рекомендації з формування собівартості перевезень (робіт, послуг) на транспорті (затверджені Наказом Міністерства транспорту України від 05.02.2001 за № 65).

154. Методология изучения региональной транспортной инфраструктуры (на примере Мордовии) [Текст]// Известия РАН. Серия географическая. – № 1. – 2009. – С. 48–56.

155. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем: пер. с англ. под ред. И. Ф. Шахнова/ М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1973. – 343 с.

156. Могилевский В. Д. Методология систем: вербальный подход / В.Д. Могилевский. – Отд-ние экон. РАН; науч.-ред. совет изд-ва «Экономика». – М.: ОАО «Издательство «Экономика», 1999. – 251 с.

157. Моргунова О. Н. Методы и алгоритмы исследования эффективности сложных иерархических систем: дисс. ... канд. техн. наук: 05.13.01/ Моргунова Ольга Николаевна. – Красноярск, 2006. – 153 с.

158. Морозов В. Н. Методология организации функционирования международных транспортных коридоров на основе кластерного подхода с применением мультимодальных логистических центров [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01 / Морозов Вадим Николаевич. – М., 2011. – 435 с.

159. Муборакшоева Д. Т. Инновационные стратегии на рынке деловой авиации в условиях системного кризиса : дисс... канд. эконом. наук: 08.00.05/ Муборакшоева Дилоро Толибшоевна. – М., 2009. – 202 с.

160. Мур Дж. Экономическое моделирование в Microsoft Exel/ Дж. Мур. 6-е изд. – М.: Вильямс, 2004. – 1024 с.

161. Наказ Міністерства оборони України 01.07.2013 № 441. Інструкція з експлуатації аеродромів державної авіації України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1229-13>.

162. Наказ №81 від 27.06.1997 р. Про затвердження Методики проведення поглибленого аналізу фінансово-господарського стану підприємств та

організацій. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0288-97>.

163. Наказ № 170 від 14.02.2006. Про затвердження Методики аналізу фінансово-господарської діяльності підприємств державного сектору економіки. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi>.

164. Наказ Міністерства транспорту України «Про затвердження Правил визначення робочого часу та часу відпочинку екіпажів повітряних суден цивільної авіації України», № 219 від 02.04.2002 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uapravo.net/data/base44/ukr44841.htm>.

165. Наказ Міністерства фінансів України «Про затвердження Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби», №92 від 27.04.2000. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0288-00>.

166. Нарахування та відрахування із зарплати з 13.01.2009 р. включно. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dtki.com.ua/show/0sid020.html#6>.

167. Наставление по производству полетов в гражданской авиации СССР: НПП ГА-85. – М.: Воздушный транспорт, 1985. – 254 с.

168. Наумов А. В. Методы и алгоритмы решения задач стохастического линейного программирования с квантильным критерием: дисс. ... доктора физ.-мат. наук: 05.13.01/ Наумов Андрей Викторович; [Место защиты: ГОУВПО "Московский авиационный институт (государственный технический университет)"]. - Москва, 2012. - 221 с.

169. Наумов В. С. Розвиток науково-технологічних основ експедиторського обслуговування на автомобільному транспорті [Текст]: автореф. дис. ... на здобуття наукового ступеня доктора техн. наук: 05.22.01 / Наумов Віталій Сергійович. – Х., 2013. – 40 с.

170. Никифорок О. І. Становлення і функціонування транспортно-логістичної інфраструктури в Україні: дис. ... канд. екон. наук: 08.10.01 / НАН України. – К., 2005. – 224 с.

171. Новікова А. М. Методологічні основи розвитку транзитного потенціалу України [Текст]: дис. ... доктора економ. наук: 08.07.04/ Новікова Алла Михайлівна. – К., 2004. – 494 с.

172. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях: Учебно-методическое пособие/ В.Д. Ногин . – СПб: Изд-о «ЮТАС», 2007. – 104 с.

173. Нынешнее состояние транспортной инфраструктуры тормозит экономический рост. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://competitiveukraine.org/upload/reports/chapter4_rus.pdf.

174. Обработка нечёткой информации в системах принятия решений/ Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьев Г.В. и др. – М.: Радио и связь, 1989. – 304 с.

175. Образцов В. Н. К вопросу комплексной теории транспорта / В. Н. Образцов // Известия АН СССР. Отделение технических наук. – М.: Наука, 1945. – С. 10–11.

176. Обухова А. Л. Удосконалення технології функціонування передавальних залізничних станцій в умовах змішаних та інтермодальних перевезень [Текст]: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.01/ Обухова Анна Леонідівна. – Х., 2010. – 215 с.

177. Омеляненко С. Л. Прогнозування розвитку аеропортів України і оцінка ефективності їх функціонування [Текст]: дис. ... канд. економ. наук: 08.07.04/ Омеляненко Сергій Леонідович. – К., 2004. – 246 с.

178. Определение автомобильных маршрутов между городами Украины. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://vezoo.ru/9130/>.

179. Оптимизация планирования и управления транспортными системами [Текст]/ [Васильева Е. М. и др.]; под ред. В. Н. Лившица. – М.: Транспорт, 1987. – 208 с.

180. Основные моменты в развитии аэропортов и аэронавигационных служб/ конференция по экономике аэропортов и аэронавигационного обслуживания (ANSCConf 2000). – 2002. – С. 40.

181. Офіційний портал ІКАО. ICAODATA+. Pricing Grid. –ІКАО, поточна версія. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.icao.int/dataplus/Pages/Pricing.aspx>.

182. Офіційний портал London Heathrow Airport. About Heathrow Airport. Facts and figures. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.heathrowairport.com/about-us/company-news-and-information/company-information/facts-and-figures>.

183. Офіційний сайт Державної авіаційної служби України. Державна статистична звітність. – К.: Державіаслужба України, 2013. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/formi-zv-dok/derg-stat-zv>.

184. Офіційний сайт «Інтеравіа». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.interavia.ua/ua/story.php>.

185. Офіційний сайт «Українська хендлінгова компанія». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uhc.aero/>

186. Павловский П. А. Морские грузовые перевозки в системе международной торговли и возможность использования зарубежного опыта российскими перевозчиками [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.00.14/ Павловский Павел Александрович. – М., 2008. – 169 с.

187. Падіння ВВП України у 2014 році складе 4,6 %: консенсус-прогноз Мінекономіки. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dt.ua/ECONOMICS/padinnya-vvp-ukrayini-u-2014-roci-sklade-4-6-konsensus-prognoz-minekonomiki-143584_.html.

188. Паламарчук И. В. Инвестиционные потребности транспортной инфраструктуры Украины / И. В. Паламарчук, У. Л. Сторожилова // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – № 8 – 2011. –

[Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/Natural/vcpi/TPtEV/2011_8/stati/82011_12.pdf.

189. Пашинцев В. И. Оценка неизвестных параметров самолёта методом параметрического моделирования/ В. И. Пашинцев, Г. Н. Юн// Техника воздушного флота. – 1974, № 5.

190. Переверзева С. А. Механизм регулирования коммерческой деятельности авиакомпаний Украины [Текст]: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.07.04 / Переверзева Светлана Александровна. – К., 2003. – 207 с.

191. Перелік авіакомпаній, які мають діючий сертифікат експлуатанта. Офіційний сайт Державної авіаційної служби України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/diyalnist/ekspluatant/30124.html>

192. Петрашевский О. Л. Интеллектуализация информационного обеспечения управления эксплуатацией авиационной техники [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.14 / Петрашевский Олег Львович. – К., 1992. – 471 с.

193. Петров М. Б. Методология организации региональной транспортной системы [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Петров Михаил Борисович. – М., 2004. – 322 с.

194. Петров М. П. Проектирование морской транспортной системы для обслуживания нефтяных месторождений Северного Каспия: автореф. дисс. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук [Текст]: 05.08.03/ Петров Максим Петрович. – Астрахань, 2010. – 25 с.

195. Петровська Н. В. Оцінка ефективності використання повітряного простору України та методи її забезпечення [Текст]: автореф. дис. ... на здобуття наукового ступеня канд. економ. наук: 08.06.01 / Петровська Наталія Вікторівна. – К., 2003. – 19 с.

196. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2011 рік. Офіційний сайт Державної авіаційної служби України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/diyalnist/pidsumki%20dijalnosti/>.

197. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2013 рік. Офіційний сайт Державної авіаційної служби України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/uploads/documents/9175.pdf>.

198. Планирование решений в экономике [Электронный ресурс] – Режим доступу: <http://www.ecosyn.ru/page0003.html>.

199. Повітряний кодекс України. Верховна Рада України. Кодекс від 19.05.2011 р. № 3393-VI. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17/page4>. – Загол. з екрану.

200. Подвербный В. А. Принятие решений в многокритериальных недетерминированных задачах проектирования железных дорог: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.06 / Подвербный Вячеслав Анатольевич. – М., 2001. – 420 с.

201. Полищук В. П. Автоматизированное управление движением на автомобильных дорогах [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Полищук Владимир Петрович. – К., 1996. – 459 с.

202. Поліщук К. А. Методи підвищення ефективності системи організації повітряного руху [Текст]: дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01/ Поліщук Кирило Ананійович. – К., 2004. – 176 с.

203. Поспелов Г. С. Программно-целевой подход к планированию и управлению/ Г. С. Поспелов, Г. А. Ириков. – М.: Сов. радио, 1976. – 126 с.

204. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку і правил проведення обов'язкового авіаційного страхування цивільної авіації» від 12 жовтня 2002 р., № 1535. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?Page=1&nreg=1535-2002-%EF>.

205. Правила аэронавигационного обслуживания. Подготовка персонала. Дос 9868: изд. 1. – Офиц. изд. ИКАО, 2006. – 196 с.

206. Правила сертифікації експлуатантів. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.avia.gov.ua/pravila_ce.htm.

207. Приложение 11 к Конвенции о международной гражданской авиации. Обслуживание воздушного движения. Диспетчерское обслуживание

воздушного движения, полетно-информационное обслуживание, служба аварийного оповещения. – Офиц. изд. ИКАО, 2001. – 106 с.

208. Припадчев А. Д. Определение оптимального парка воздушных судов: монография: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 05.22.14 – Эксплуатация воздушного транспорта / А. Д. Припадчев. – М.: Акад. естествознания, 2009. – 240 с.

209. Про затвердження Правил надання експлуатантам дозволів на виліт з аеропортів України та приліт до аеропортів України : Наказ № 897/703 від 28.11.2005 р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1572-05>. – Загол. з екрану.

210. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020. Розпорядження від 20 жовтня 2010 р. № 2174-р. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2174-2010-%D1%80>

211. Проект постанови Кабінету Міністрів України Про схвалення Концепції Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року. [Официальный сайт Министерства инфраструктуры Украины]. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mtu.gov.ua/uk/alias_50/print/30712.html.

212. Прокудін Г. С. Моделі та методи оптимізації вантажних перевезень в транспортних системах [Текст]: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Прокудін Георгій Семенович. – К., 2009. – 299 арк.

213. Пугачев И. Н. Теоретические принципы и методы повышения эффективности функционирования транспортных систем городов [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Пугачев Игорь Николаевич. – Екатеринбург, 2010. – 367 с.

214. Реквізити аеропортів та аеродромів цивільної авіації України. Офіційний сайт Державної авіаційної служби України. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/diyalnist/aeroport/24145.html>.

215. Реквізити аеропортів, аеродромів та ЗПМ України станом на грудень 2013 року. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.avia.gov.ua/documents/diyalnist/aeroport/24145.html>
216. Резер С. М. Взаимодействие транспортных систем/ С. М. Резер; отв. ред. А. Ф. Волков. – М.: Наука, 1985. – 246 с.
217. Резер С. М. Управление транспортным комплексом [Текст]/ С. Резер. – М. : Наука, 1988. – 328 с.
218. Ремезова Е.М. Нечеткие множества второго порядка: понятие, анализ и особенности применения // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5; URL: www.science-education.ru/111-10506.
219. Розен В. В. Математические модели принятия решений в экономике: учеб. пособие / В. Розен, Л. Бессонов. – М.: Высш. шк., 2002. – 288 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://nto.immpu.sgu.ru/sites/default/files/3/___17007.pdf.
220. Руководство по планированию воздушного движения: ДОС ИКАО 9426/924. – 1-е изд. (временное). – Монреаль: ИКАО, 1984.
221. Руководство по полетам и потокам движения: информация для совместного использования воздушного пространства (PP-1CE). Дос 9965 AN/483: изд. 1. – Офиц. изд. – Монреаль: ИКАО, 2012.
222. Руководство по экономическим аспектам аэронавигационного обслуживания. Дос 9161: изд. 4. – Офиц. изд. ИКАО, 2007. – 214 с.
223. Руководство по экономике аэропортов. Дос 9562: изд. 3. – Офиц. изд. ИКАО, 2013. – 174 с.
224. Русинов И. Я. Организация воздушных перевозок: учеб. пособие/ под общ. ред. И. Я. Русинова / И. Я. Русинов, Л. А. Цеханович, В. А. Подшипков. – М.: Транспорт, 1976. – 184 с.
225. Рыков А. С., Исходжанов Р. Р. Многокритериальная оптимизация портфеля инвестиций. Детерминированный случай/ А.С. Рыков, Р.Р. Исходжанов// Проблемы управления. – 2004. – №3 – С.21-24.

226. Рябков В.И., Тиняков Д.В. Метод формирования геометрических параметров несущих поверхностей самолетов транспортной категории на основе частных критериев и интегральных показателей их эффективности // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 52. – Х., 2011. – С. 41-48.

227. Рябченко Т. О. Транспортні рішення аеропорту (на прикладі аеропорту «Бориспіль» м. Київ)/ Т. О. Рябченко// Містобудування та територіальне планування. – К., 2009. – Вип. 34. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://archive.nbuv.gov.ua/portal/natural/MTP/2009_34/pdf/mtp3461.pdf. – Загол. з екрану.

228. Саати Т. Принятие решений. Метод иерархий/ Т. Саати – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

229. Садловська І. П. Формування стратегії економічного розвитку авіатранспортних підприємств [Текст]: дис. ... канд. екон. наук: 08.07.04/ Садловська Ірина Петрівна. – К., 2004. – 179 с.; 145–157.

230. Савицька С. О. Порівняльний аналіз діяльності транснаціональних компаній-перевізників та національних операторів /С.О. Савицька. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.rusnauka.com/4_SND_2009/Economics/40328.doc.htm.

231. Свами М., Тхуласираман К. Графы, сети и алгоритмы/ М. Свами, К.Тхуласираман. – М.: Мир, 1984. – 453 с.

232. Слободян А. В. Взаємодія залізничного і водного видів транспорту на прикладі Білгород-Дністровського морського порту [Текст]: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.01 / Слободян Анатолій Васильович. – К., 2004. – 159 с.

233. Словарь по международной гражданской авиации. Дос 9713: 3 изд. – Офиц. изд. – Монреаль: ИКАО, 2007. – 816 с.

234. Соглашение об «открытом небе» Украины с ЕС могут подписать в следующем году / Подробности, 30.07.2013. –[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://podrobnosti.ua/economy/2013/07/30/920609.html>

235. Соколова О.Є., Марінцева К.В. Методика розрахунку собівартості авіарейсу / О.Є. Соколова, К.В. Марінцева // «Економіка та держава». – 2011. – № 3. – С. 64-67.

236. Соколова О.Є., Марінцева К.В. Огляд розвитку авіаційної галузі Китаю / О.Є. Соколова, К.В. Марінцева // Проблеми системного підходу в економіці [електронне наукове фахове видання]. – 2010. – Вип. 3. – Режим доступу: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/PSPE/2010_3/Marinceva_310.htm.

237. Сокольников А. Н. Разработка метода оптимального проектирования размещения сооружений для средств механизации в аэропортах: дисс... канд. техн. наук : 05.23.11 / Сокольников Александр Николаевич. – М., 2009. – 160 с.

238. Стенбринк П. Оптимизация транспортных сетей [Текст]/ П. Стенбринк; пер. с англ. Е. М. Васильевой, В. В. Космина; под ред. В. Н. Лившица. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.

239. Сторожев В. В. Оптимізація параметрів транспортних засобів в мультимодальних системах доставки вантажів [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Сторожев Володимир Валентинович. – О., 2008. – 20 с.

240. Сулима Л.О. Марінцева К.В. Організаційно-правові основи функціонування навчального центру бортпровідників / Л.О. Сулима, К.В. Марінцева // Матеріали VI Міжнародної науково-технічної конференції “ABIA 2004”. – К.: НАУ. – 2004. – т. V, С.5.130 – 5.133.

241. Сулима Л.О., Марінцева К.В. Попит на підготовку бортпровідників у Росії як потенційних клієнтів міжнародного тренінг-центру/ Л.О. Сулима, К.В. Марінцева // Матеріали VII міжнародної наукової конференції студентів та молодих учених «Політ-2007». – К.: НАУ, 2007. – С. 253.

242. Сухарев О. С. Теория эффективности экономики = The theory of effectiveness of economy / О. С. Сухарев. – М.: Финансы и статистика, 2009. – 367 с.

243. Теория систем и системный анализ в управлении организациями : справочник / под. ред. В. Н. Волковой и А. А. Емельяновой. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 848 с.

244. Товарная структура внешней торговли Украины в 2010 году. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zet.in.ua/economic/statistika/tovarnaya-struktura-vneshnej-torgovli-ukrainy-v-2010-godu/>.

245. Транспорт і зв'язок України – 2011. Статистичний збірник [Текст]/ за ред. Н. С. Власенко. – К.: ТОВ «Август Трейд» – 272 с.

246. Трофимов С. В. Научно-методические основы функционирования и развития промышленных транспортных систем [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Трофимов Сергей Владимирович. – М., 2004. – 245 с.

247. Трубин В.А. О методе решения задач целочисленного программирования специального вида/ В.А. Трубин . – ДАН СССР, 1969. – Т.189, № 5. – с. 552-554.

248. Тсимба Франсуа. Маркетинговая деятельность при обслуживании пассажиров в аэропортах гражданской авиации [Текст]: дисс. канд. эконом. наук: 08.07.04/ Франсуа Тсимба. – К, 1994. –146 с.

249. Україну цього року очікує скорочення потоку зарубіжних туристів. – [Електронний ресурс] // УНІАН. – Режим доступу: <http://www.unian.ua/society/904283-ukrajinu-tsogo-roku-ochikue-skorochennya-potoku-zarubijnih-turistiv-derjturizmkurort.html>.

250. Филимонюк Л. Ю. Модели и методы поддержки принятия решений для компьютерных тренажеров авиационно-транспортных систем [Текст]: автореф. дисс. ... на соискание ученой степени канд. техн. наук: 05.13.01/ Филимонюк Леонид Юрьевич. – Саратов, 2012. – 16 с.

251. Фетисов А. Нематериальный актив / А. Фетисов. // АТО.ru, 2003. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ato.ru/content/nematerialnyy-aktiv>.

252. Форма А. Перевозки коммерческих авиаперевозчиков. Инструкция по заполнению формы. – ИКАО, текущая версия. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.avia.gov.ua/documents/formi-zv-dok/formi-ICAO>.

253. Фридман Г. М. Поиск оптимальной стратегии продаж на основе решения задачи линейного программирования /Г. М. Фридман, С. М. Шебалов// Экономическая кибернетика. Научн. тр. – СПб.: ФинЭка, 2007. – Вып. 16. – С. 81–84.

254. Харченко В.П., Наumenко М.В. Аналіз методів підвищення пропускної здатності аеропортів/ В.П. Харченко, М.В. Наumenко// Наукоємні технології. – 2009. – Вип. 2. – с.39-42.

255. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков [Текст] / Ф. Хейт. – М.: Мир, 1966. – 286 с.

256. Ховрунова О. А. Методика формирования облика пассажирских самолетов с учетом ограничений по воздействию на окружающую среду [Текст]: дисс. ... кандидата техн. наук: 05.07.02/ Ховрунова Ольга Александровна. – М., 2004. – 159 с.

257. Чередніченко Ю. А. Розробка методів аналізу та забезпечення стійкості аеронавігаційної системи України [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01/ Чередніченко Юрій Анатолійович . – К., 2004. – 21 с.

258. Черникова О. Н. Выбор стратегии развития аэропортов гражданской авиации Украины: дисс. ... канд. эконом. наук: 08.07.04/ Черникова Оксана Николаевна [Текст]. – К., 2000. – 265с.

259. Шапкин И. Н. Организация железнодорожных перевозок на основе информационных технологий [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.08/ Шапкин Игорь Николаевич. – М., 2009. – 329 с.

260. Шibaев А. Г. Система управления морскими перевозками грузов и работой флота судоходной компании [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.01/ Шibaев Александр Григорьевич. – О., 2002. – 316 с.

261. Шевченко В. І. Удосконалення технології перевезення вантажів в універсальних контейнерах на залізницях України [Текст]: автореф. дис... на

здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: 05.22.01/ Шевченко Віталій Іванович. – Х., 2009. – 21 с.

262. Шор Н.З., Юн Г.Н., Касьяненко В.Н., Андрусенко С.К. Динамическая модель перспективного планирования парка гражданских самолётов/ Н.З. Шор, Г.Н. Юн, В.Н. Касьяненко, С.К. Андрусенко // Кибернетика. – 1976. – №5, с. 149-150.

263. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB/ Штовба С.Д. – М.: Горячая линия. – Телеком, 2007 – 288 с.

264. Энциклопедия техники. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mirslouvrei.com/content_tehenc/bezopasnost-poljotov-13912.html#ixzz2Pn3DOo7v.

265. Юдин Д. Б. Линейное программирование. Теория, методы и приложения/ Д. Б. Юдин, Е. Г. Гольштейн. – М.: Красанд, 2012. – 425 с.

266. Юн Г.М., Марінцева К.В. Декомпозиція мережі авіамаршрутів/ Г. М. Юн, К. В. Марінцева // Наукоємні технології. – 2014. – № 2(22). – С.219-222. – ISSN 2075-0781.

267. Юн Г. М., Марінцева К. В. Поетапний метод управління розвитком авіатранспортної системи/ Г. М. Юн, К. В. Марінцева// Вісник інженерної академії України. – 2013. – № 3/4 – С. 286–290 .

268. Юн Г. Н. Разработка и исследование методов математического моделирования перспектив развития самолетно-вертолетного парка гражданской авиации [Текст]: дисс. ... доктора техн. наук: 08.00.13/ Юн Геннадий Николаевич. – К., 1982. – 317 с.

269. Юн Г. Н. Внешнее проектирование воздушных судов: системный подход / Г. Н. Юн // Проблеми системного підходу в економіці. – Вип. 9. – К.: НАУ, 2004. – С. 72–77.

270. Юн Г. Н. Об одном подходе к оптимальному проектированию пассажирских самолётов / Г. Н. Юн // В кн.: Известия вузов. Авиационная техника. / Геннадий Юн. – М., 1973. – С. 121-124.

271. Якимов М. Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города: дисс... доктора техн. наук [Текст]: 05.22.01/ Якимов Михаил Ростиславович. – М., 2011. – 418 с.
272. 2011 Boryspil International Airport Annual report. – Available from internet: – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kbp.aero>.
273. 2012 passenger Self-service Survey high lights. – Air Transport World, SITA, 2012 – 13 p.
274. 2013Annual Report – Brussel: EUROCONTROL, 2014. – 38 p.
275. 300 world ‘super routes’ attract 20 % of all air travel, Amadeus reveals in new analysis of global trends. – Amadeus, 2013. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.amadeus.com/web/amadeus/en_US-US/Amadeus-Home/News-and-events/News/041713-300-world-super-routes/-1259071352352-Page-AMAD_DetailPpal?assetid=-1319526535668&assettype=PressRelease_C
276. 747-400 Freighter Main deck cargo arrangements. – Boeing, 2010 – 10 p. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.boeing.com/>.
277. ААСС/IATA. Guidelines for airport capacity/demand management. – Geneva: Airport Associations Coordinating Council : International Air Transport Assoc., 1990. – 20 p.
278. ACI Airport Traffic Forecasting Manual: A practical guide addressing best practices. – Montreal : ACI World, 2011. – 31 с. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.aci.aero/Media/aci/file/Publications/2011/ACI_Airport_Traffic_Forecasting_Manual_2011.pdf.
279. Airport Categories. Federal Aviation Administration web-site. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.faa.gov/airports/planning_capacity/passenger_allcargo_stats/categories/.
280. Airport Cooperative Research Program. Report 55. Passenger level of service and spatial planning for airport terminals // Transportation Research Board, Washington, D.C., 2011.
281. Airport development Reference Manual. Montreal: IATA, 2000. – 320с.

282. Airport Improvement Program. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.faa.gov/airports/aip>.

283. Air transport, registered carrier departures worldwide. Офіційний сайт всесвітнього банку. Розділ статистичні дані. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://search.worldbank.-org/data?qterm=aviation%20traffic&language=EN>.

284. Albers S. Strategic alliances between airlines and airports - theoretical assessment and practical evidence/ S. Albers, B Koch and C. Ruff // Journal of Air Transport Management. – Vol. 11. – P. 48–58.

285. Albert R., Jeong H., and Barabasi A.-L. Error and attack tolerance in complex networks, Nature 406, 378 (2000).

286. Almeida da Rocha Pita J. P. Optimum design of aviation networks the cases of airport congestion and low demand [Text]: doctoral thesis. Doctor of Philosophy in the field of Transport Systems / Joao Pedro Almeida da Rocha Pita. – Coimbra: University of Coimbra, 2012. – 228 p.

287. American Airlines Group Inc. Form 10-K. Year Ended December 31, 2013. – Washington: United States Securities And Exchange Commission, 2013. – 370 p.

288. Annual Report Aena Aeropuertos 2012. – Madrid: Aena Aeropuertos, 2012. – 92 c.

289. Antoniou I. E., Tsompa E. T. Statistical Analysis of Weighted Networks/ I. Antoniou, E. Tsompa // Discrete Dynamics in Nature and Society. – 2008. – [Electronic Resource]. – Mode of access: <http://www.maths.tcd.ie/EMIS/journals/HOA/DDNS/Volume2008/375452.pdf>.

290. Armstrong J. S. Long-range forecasting. From Crystal Ball to Computer / J. S. Armstrong // 2-nd. – New York : John Wiley & Sons, 1985. – 696 p.

291. Arvis J.-F. The Air Connectivity Index: Measuring Integration in the Global Air Transport Network. Policy Research Working Paper 5722 / J.-F. Arvis, B. Shepherd. – The World Bank: Poverty Reduction and Economic Management Network International Trade Department, 2011. – 63 p.

292. A. R. Center. Study on the impact of directive 96/67/ec on ground handling services 1996-2007, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://tvi.ua/new/2014/05/14/yebr_r_prohnozuye_skorochennya_vvp_ukrayiny_na_7.

293. Aviation leasing as part of a broader investment portfolio. Melbourne: Investec Aviation Finance, 2013. – 96 p.

294. Barabási A-L. Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science and everyday life, USA (2002).

295. Barbour B., Fricker J.D.. Estimating an origin-destination table using method based on shortest augmenting path // Transportation research. Part B28.2. – 1994. – pp. 77-89.

296. Barrat A. The architecture of complex weighted networks/ A. Barrat, M. Barthélemy, R. Pastor-Satorras, A. Vespignani // PNAS March, 16, 2004. – Vol. 101 no. 11 3747–3752.

297. Baublys A. Methodology of transport system research/ A. Baublys// Computer Modelling & New Technologies – 2002. – Vol. 6, № 1. – P. 72–81.

298. Belobaba P., Odoni A., Barnhart C. The Global Airline Industry [Text] / Peter Belobaba, Amedeo Odoni, Cynthia Barnhart. – Chippenham, Wiltshire: John Wiley & Sons, Ltd., 2009. – 494 p.

299. Bone de E. Tactics: The Art and Science of Success/ E. de Bone. – London: Hazer Watson and Viney Limited, 1985 – 256 pp.

300. Brunet M. The EREA vision on high priority research axes towards air transport system 2050 / Muriel Brunet, Alte de Boer, Volker Gollnick, Steffen Loth, Graciano Martinez, Dennis Nieuwenhuisen // 28th International Congress Of The Aeronautical Sciences. – Brisbane: ICAS, 2012 – 17 p.

301. Business Requirements Document. NDC 1: Airline Shopping. – IATA, 2013. – 59 c.

302. Bussieck M.R., Winter T., Zimmermann U.T. Discrete optimization in public rail transport [Электронный ресурс]. // Math. Prog. – 1997. – V.79. – pp. 415-444. – Режим доступа: <http://www.gams.com/~bussieck/survey.pdf>

303. Cargo Traffic 2010 FINAL // Airports Council International Data Centre [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.aci.aero/Data-Centre/Annual-Traffic-Data/Cargo/2010-final>

304. CASE STUDY The benefits of 100 % e-AWB and e-freight implementation for airlines. The Case of Cathay Pacific, INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION, 2012. – 25 p.

305. Cheung D. P. A Complex Network Analysis of the United States Air Transportation/ D. P. Cheung, M. H. Gunes// Advances in Social Networks Analysis and Mining (ASONAM), 2012 IEEE/ACM International Conference on 26-29 Aug., 2012. – P. 699–701.

306. Check-in guide. Choose your preferred option. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.swiss.com/web/EN/services/checkin/Pages/checkin_overview.aspx#.

307. Cheng C. Computer Simulated Passenger Service Levels for Airport Terminals/ C. Cheng, P. Cilmour. – Airport Forum, 1980, 10, №4. – P. 106-107.

308. China Eastern Airlines Corporation Limited Annual Report 2013. – Shanghai: Pudong International Airport, 2013. – 178 p.

309. Chun Hon W. Intelligent Resource Simulation for an Airport Check-In Counter Allocation System / W. Chun Hon, Mak R. Wai Tak // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics — part C: applications and reviews, VOL. 29, NO. 3, 1999 – P. 325–335. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: Available from internet: <http://www.cs.cityu.edu.hk/~hwchun/research/PDF/IEEE99Checkin.pdf>.

310. Clausen T. Airport Ground Staff Scheduling: PhD thesis 2.2011. – Kgs. Lyngby, 2010. – P. 249.

311. Comparison of ATM-related performance: U.S. – Europe. Final report – November 2013 – Washington.: FAA Air Traffic Organization System Operations Services, Brussel: EUROCONTROL, 2013. – 106 p.

312. Cook W.J. Combinatorial optimization / Cook W.J., Cunningham W.H., Pulleyblank W., Schrijver S. – New-York: John Wiley - Sons. INC, 1998 – 355 p.

313. Counting the number of spanning trees in a graph. A spectral approach. – [Електронний ресурс]. – The University of Maryland Center for Bioinformatics and Computational Biology, 2010. – Режим доступу: http://www.cbcb.umd.edu/confcour/CMSC858W-materials/counting_spanning_trees.pdf.

314. Coupland S. Type-2 Fuzzy Control of a Mobile Robot: MPhil/PhD Transfer Report. – United Kingdom, 2003. – 29 с.

315. Current Market Outlook 2013-2032. – Seattle: Boeing Commercial Airplanes, 2013. – 42 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.boeing.com/assets/pdf/commercial/cmo/pdf/Boeing_Current_Market_Outlook_2013.pdf.

316. Data and Statistics. Research and Innovative Technology Administration (RITA). – Washington: U.S. Department of Transportation (US DOT), поточна версія. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.rita.dot.gov/bts/data_and_statistics/index.htm.

317. Department for Transport. UK Aviation Forecasts. 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://assets.dft.gov.uk/publications/uk-aviation-forecasts-2011/uk-aviation-forecasts.pdf>.

318. Discussion Paper 02: Aviation Connectivity and the Economy. [Електронний ресурс]. – London: Airports Commission, 2013. – Режим доступу: www.gov.uk/government/organisations/airports-commission.

319. Discussion Paper 04: Airport Operational Models. – London: Airports Commission, 2013. – 59 р.

320. Doc 9750-AN/963. Глобальный Аэронавигационный план на 2013–2028 гг. – Монреаль: ИКАО, 2013. – 147 с.

321. Drennen H., 2011. Self Service Technology in Airports And the Customer Experience. UNLV Theses/Dissertations/ Professional Papers/Capstones. Paper 1053. – 37 р.

322. E-freight Handbook v4.0. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.iata.org/e-freight.

323. e-Freight international monthly report, June 2013. [Электронный ресурс]. – IATA – 2013. – 18 p. – Режим доступа: <http://www.iata.org/whatwedo/cargo/e/efreight/Documents/r17-ef-monthly-volumes-international.pdf>.

324. E-Freight international monthly report, June 2014. [Электронный ресурс]. – IATA – 2014. – 9 с. – Режим доступа: <http://www.iata.org/whatwedo/cargo/e/eawb/Documents/e-awb-monthly-report-r17.pdf>.

325. European Aviation Safety Agency: Annual Safety Review 2011. – Cologne: EASA, 2011. [Электронный ресурс]. – 76 p. – Режим доступа: <http://www.easa.eu.int/communications/docs/annual-safety-review/2011/EASA-Annual-Safety-Review-2011.pdf>.

326. European Commission. Increasing the sustainability of air transport. Communicating transport research and innovation. [Электронный ресурс]. – EU: Transport Research and Innovation Portal, 2013. – 28 p. – Режим доступа: www.transport-research.info.

327. Eurostat (2013): Database: Overview of the air passenger transport by country and airports (avia_паос) [Электронный ресурс]. – Luxembourg, 2014. – Режим доступа: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Air_transport_statistics.

328. FedEx Annual Report 2012. FedEx Corporation 942 South Shady Grove Road Memphis, Tennessee 38120 fedex.com [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://seaphantom.com/pdf/ANNUAL_REPORT_FEDEX_2012.pdf.

329. Financial forecast. [Электронный ресурс]. – IATA Economics, 2011. – Режим доступа: www.iata.org/economics.

330. Fleet Utilization – Commercial Air Carriers. ICAO [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.icao.int/sta/>

331. Flightpath 2050: Europe's Vision for Aviation, report of the High Level Group on Aviation research, Brussels.

332. Forguison A.F., Dantzing G.B.. The problem of routing aircraft – a mathematical solution. // Aeronaut. Engage. – 1955 – №4. – С. 14-20

333. From Air Transport System 2050 Vision to Planning for Research and Innovation. [Электронный ресурс]. – EU: EREA, 2012. – 44 p. Режим доступа: <http://www.ilaberlin.de/ila2014/konferenzen2012/upload2012/EREA%20From%20Vision%202050%20to%20Research%20planning.pdf>.

334. Fuel and air transport. A report for the European Commission. [Электронный ресурс]. – EU: Air Transport Department, Cranfield University, 2009. – 36 p. – Режим доступа: http://ec.europa.eu/transport/modes/air/doc/fuel_report_final.pdf.

335. Ghobrial A. A Heuristic Model for Frequency Planning and Aircraft Routing in Small Size Airlines/ A. Ghobrial, N. Balakrishnan, A. Kanafani// Transportation planning and technology. – Vol. 16. – 1992. – P. 235–249.

336. Glas M. Application of Agile methods in conceptual aircraft design / M. Glas, A. Seitz // Deutscher Luft – und Raumfahrtkongress, 2012. – P. 1–11. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dglr.de/publikationen/2012/281384.pdf>.

337. Global Market Forecast. Future Journeys 2013–2020 / AIRBUS S.A.S. – Blagnac Cedex: Art & Caractère, 2013. – 125 p. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.airbus.com/company/market/forecast/?eID=dam_frontend_push&docID=33755.

338. Grosand D. Economic Transition in Central and Eastern Europe/ D. Grosand, A. Steinherr // Cambridge University Press, 2004.

339. Gunn W.A. Airline System Simulation. “Oper. Res.”, 2, v.12. – №2–1964. – pp. 206–229.

340. Günther Y. Total Airport Management (Operational Concept & Logical Architecture). Version 1.0 / Yves Günther, Anthony Inard, Bernd Werther, Marc Bonnier, Gunnar Spies, Alan Marsden, Marco Temme, Dietmar Böhme, Roger Lane, Helmut Niederstrasser. – Paris/ Braunschweig: EUROCONTROL, DLR, 2006. – 44 p.

341. Hanouz M. D. The Global Enabling Trade Report 2014 – World Economic Forum / M. D. Hanouz, T. Geiger, S. Doherty, 2014. – 353 p.

342. Hirst M. The air transport system [Text] / Mike Hirst. – Cambridge : Woodhead Publishing Limited, 2008. – 341 p.
343. IATA. Airline Industry Forecast. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iata.org/publications/Pages/airline-industry-forecast.aspx>.
344. ICAO. Air Carrier Statistics – Traffic Data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://portal.icao.int>.
345. ICAO. 2011. Doc 9956. — Global and Regional 20-year Forecasts. — Pilots, Maintenance Personnel, Air Traffic Controllers. – 66 p.
346. ICAO, 3.2bn passengers used air transport in 2014. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aviatime.com/en/airports/airports-news>.
347. ICAO. Manual on Air Traffic Forecasting. Third Edition. Doc 8991 AT/722/3 – ICAO, 2006. – 82 p.
348. Index of Economic Freedom – 2014. Country Rankings. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.heritage.org/index/ranking>.
349. Introduction to Type-2 Fuzzy Sets and Systems/ Mendel J.//IEEE computational intelligence magazine.[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fuzz-ieee2009>.
350. James H. W. Research Methods For Communication Science. / H. James. Watt and Sjef van den Berg. [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа: <http://www.cios.org/readbook/rmcs/rmcs.htm>.
351. Janić M. Air transport system analysis and modeling: Capacity, Quality of Services and Economics [Text]/ Janić Milan. – Malaysia: Gordon and Breach Science Publishers, 2000. – 301 p.
352. Joustra Paul E. 2001. Simulation of check-in at airports. Winter Simulation Conference: 1023–1028 . [Электронный ресурс] / Paul E. Joustra. 2001 – Режим доступа: <http://www.informs-sim.org/wsc01papers/137.pdf>.
353. Richardson K. L. Airport rescue and fire fighting standards: do the benefits justify the costs? MSc thesis [Электронный ресурс]/ Kay Lesontha Richardson – EU: Cranfield University, 2003. Режим доступа: <http://www.aviationfirejournal.com/aviation/library/KayRichardson%20Thesis.pdf>.

354. Kohl N. Airline crew rostering: Problem types, modeling, and optimization/ N. Kohl, S. E. Karisch //Annals of Operations Research, 2004. – N127(1). – P. 223–257.

355. Kumar B. An Illustrated Dictionary of Aviation [Электронный ресурс]/ B. Kumar, D. DeRemer, D. Marshall. – New York: McGraw Hill Professional, 2005. – 752 p. – Режим доступа: <http://www.answers.com/topic/airport-classification>. – Загол. з екрану.

356. Landan Z. H. Interurban transportation system analysis/ Z. H. Landan, R. A. Margulies. “AIAAPaper”. – № 1037. – 1969. – 6 p.

357. Lasdon Leon S. [Reprint of the 1970 Macmillan]. Optimization theory for large systems. Mineola, New York: Dover Publications, Inc., 2002. – P. xiii+523.

358. Leder K. Probabilistically Optimized Airline overbooking strategies or "Anyone willing to take a later flight" / K. Leder, S. Spagniole // UMAP Journal 23.3. – 2002. – P. 317-338.

359. Liehr M. Understanding Business Cycles in the Airline Market. [Электронный ресурс] / M. Liehr, A. Größler, M. Klein // The 17th International Conference of The System Dynamics Society and the 5th Australian & New Zealand Systems Conference. –Wellington: Victoria University of Wellington's Graduate School of Business & Government Management, 1999. – Режим доступа: <http://www.-systemdynamics.org/-conferences/1999/PAPERS/PARA15.pdf>.

360. Litman T. Understanding Transport Demands and Elasticities. – Victoria: Victoria Transport Policy Institute, 2013. – 76 p.

361. List of the 100 busiest airports in Europe. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_the_busiest_airports_in_Europe.

362. Liu X. A Survey of Continuous Karnik–Mendel Algorithms and Their Generalizations// Advances in Type-2 Fuzzy Sets and Systems Theory and Applications. – New York: Springer, 2013. – p.19-31.

363. Malighetti P. Airport classification and functionality within the European network / P. Malighetti, S. Paleari, R. Redondi // Problems and Perspectives in Management. – 2009. – Vol. 7, № 1. – P. 183–196.

364. Marintseva K.V. Analysis of air transport network of Ukraine /K.V. Marintseva // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. Вип.12. – К.: НТУ, 2013. – С. 97-109.

365. Marintseva K. V. Comparative analysis of check-in technologies at the airport / K. V. Marintseva // Proceeding of the National Aviation University. – 2014. – N2 (59). – С. 97–104.

366. Marintseva K.V. The strategies of the airports regional network development / K. V. Marintseva// Science-based technologies. – 2013. – №2 (18). – С. 228-231. – ISSN 2075-0781.

367. Marintseva K.V., Sharifov F. Achun-Ogly, Yun G.N. A problem of airport capacity definition / K.V. Marintseva, F. Achun-Ogly Sharifov, G.N. Yun // Aeronautica [Electronic journal] – 2013. – Vol. 3, No1, Issue 5. – Режим доступу: <http://www104.griffith.edu.au/index.php/aviation/issue/current>

368. Marintseva K., Yun G., Kachur S. Resource allocation improvement in the tasks of airport ground handling operations/ K. Marintseva, G. Yun, S. Kachur// Aviation. – 2015. – Volume 19, Issue 1. – С.7-13. – ISSN 1648-7788.

369. Market Outlook 2012-31/ Rolls-Royce. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.rolls-royce.com/civil/customers/market_outlook.jsp.

370. Ministry of Transport and Communications. Drafting of the air transport strategy continues // Press release 18.12.2013 16.12. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.lvm.fi/pressreleases/4375598/drafting-of-the-air-transport-strategy-continues>.

371. Ministry of Transport, Construction and Maritime Economy. Transport development strategy by 2020 (with perspective by 2030). – Warsaw: Ministry of Transport, Construction and Maritime Economy, 2013. – 90 p.

372. Nachane D. M. Optimization methods in multilevel systems: a methodological survey / D. M. Nachane // Eur. J. Oper. Res., 1985, N1. – P. 25–38.

373. Naseer Khan. Analysis of Airport and Airline Relationship / Khan Naseer. – Мумбаї : Chhatrapati Shivaji International Airport, 2012. – 15 с.

374. Navigating the Airport of Tomorrow. TRAVEL TECH CONCULTING. Amadeus. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.amadeus.com/airlineIT/navigating-the-airport-of-tomorrow/index.html?OADS=29>.

375. Nita Parekh Analysis of Airport Network of India. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.-academia.edu/745461/Analysis_of_Airport_Network_of_India.

376. Nombela G. Capacity Models for Transport Project Evaluation. Working paper. [Text] – Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) Ministerio de Fomento, 2009. – 82 p.

377. Ortúzar J. de D. Modelling Transport, Fourth Edition / J. de D. Ortúzar, L. G. Willumsen. – Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd, 2011. – 586 p.

378. Oxford Economics, Aviation: The Real World Wide Web, 2009. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://web.oxfordeconomics.com/FREE/PDFS/OEAVIATIONREPORT09EN.pdf>.

379. Patoskie J. D. System Wide Capacity Enhancement for the Future U.S. Airport Network: A New Generation of Hub and Route Optimisation Model, PhD Thesis. – Texas : Texas Tech. University, 1990. – 120 p.

380. Petersen J. Air Freight Industry – White Paper. [Электронный ресурс] / J. Petersen. – Georgia Institute of Technology, 2007. – 46 p. – Режим доступа: <http://www.scl.gatech.edu/industry/industry-studies/AirFreight.pdf>.

381. Predictive AnalyticsSoftWare, Statistics. View Pricing and Buy. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www-112.ibm.com/software/howtobuy/buyingtools/paexpress/Express?P0=E1&part_number=D0EKZLL,D0EEMLL,D0EK0LL,D0EEJLL&catalogLocale=en_US&locale=en_US&country=USA&PT=html.

382. Research and Innovative Technology Administration Bureau of Transportation Statistics // офіційний сайт. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.transtats.bts.gov/>.

383. Richardson A. J. Survey Methods for Transport Planning [Електронний ресурс]/ A. J. Richardson, E. S. Ampt, A. H. Meyburg. – 1st Edition. – Eucalyptus Press, 1995. – Режим доступу: <http://www.transportsurveymethods.com.au>.

384. Rikteris E. Development of Baltic functional airspace block/ E.Rikteris // Aviation Tehcnologies, 2013. – Vol. 1№2. – P. 47–49.

385. Rose Mark H. The best transportation system in the world: railroads, trucks, airlines, and American public policy in the twentieth century / Mark H. Rose, Bruce E. Seely, and Paul F. Barrett. – Columbus: The Ohio State University, 2006. – 132 p.

386. Rodrigue J.-P. The geography of transport systems / Jean-Paul Rodrigue, Claude Comtois, and Brian Slack. – London and New York: Routledge Taylor & Francis Group, 2006. – 297 p.

387. Rohacs J. Evaluation of the air transport efficiency definitions and their impact on the European Personal Air Transportation System development// Transactions of the institute of aviation. – № 3 (205). – 2010. – С. 14–32.

388. Sadeghian A., Mendel J., Tahayori H. (Eds) Advances in Type-2 Fuzzy Sets and Systems Theory and Applications. – New York: Springer, 2013. – 262 p.

389. Schonland A. The New Distribution Capability [Електронний ресурс] / A. Schonland // AirInsight. A Commercial Aviation Consultancy, 2012. – Режим доступу: <http://airinsight.com/2012/11/12/the-new-distribution-capability/#.U7E6U6zIhK8>.

390. Shady G. Abdelaziz, Abdelfatah A. Hegazy, Ahmed Elabbassy Study of Airport Self-service Technology within Experimental Research of Check-in Techniques. Case. Study and Concept. // International Journal of Computer Science. – Issues, №1, Vol. 7, Issue 3. – 2010. – pp. 17–26.

391. Sherali H.D., Sivanandan R., Hobeika A.G.. A linear programming approach for synthesizing origin-destination trip tables from link traffic volumes // Transportation research. Part B 28.3. – 1994. – pp. 213-233.

392. Spot Prices for Crude Oil and Petroleum Products. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_spt_s1_a.htm.

393. Teodorovic D. Multicriteria Model to Determine Flight Frequencies on an Airline Network Under Competitive Conditions / D. Teodorovic, E. Kremar-Nozic // Transportation Science 1989. – N 24. – P. 14-27.

394. The Statistics Portal. Worldwide aircraft deliveries by type in 2012. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.statista.com/statistics/282216/worldwide-aircraft-deliveries-by-type/>

395. Trabelsi S. F. An operational approach for ground handling management at airports with imperfect information [Электронный ресурс]/ S. F. Trabelsi, C. A. N. Cosenza, L. G. Z. Cruz, F.Mora-Camino // ICIEOM 2013, 19th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Valladolid: Spain (2013). – Режим доступа: http://hal-enac.archives-ouvertes.fr/docs/00/92/50/45/PDF/Fitouri-Trabelsi_ICIEOM2013.pdf.

396. Transportation Geography and Network Science [Электронный ресурс]/Centrality. – Режим доступа: http://en.wikibooks.org/wiki/Transportation_Geography_and_Network_Science.

397. Trade Logistics in the Global Economy – The International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank, 2014. – 72 с.

398. Transportation Research Board [Электронный ресурс]/ National Research Council. Aviation Demand Forecasting. A Survey of Methodologies. E-Circular, E-C040. Washington, 2002. – Режим доступа: <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec040.pdf>.

399. Tyler T. International Air Transport Association Annual Review 2013. 69th Annual General Meeting / T. Tyler. – Cape Town, 2013. – 60 с.

400. US Airline Aircraft Operating Cost Report. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.airliners.net/aviation-forums/general_aviation/read.main/5820735/.

401. U.S. department of transportation office of the undersecretary for policy economic and strategic analysis division. Transportation for a New Generation. Fiscal Year 2014–2018. Draft copy for public comment. – U.S.: Department of Transportation, 2013. – 94 p.

402. US DOT Form 41 Airline Operational Cost Analysis Report. – IATA, 2011. – 22 p.

403. Vicente de S. S. Ground Handling Simulation with CAST/ de S. S. Vicente// Master Thesis–Hamburg, 2010. – 84 p.

404. Weatherford L. R. Better unconstraining of airline demand data in revenue management systems for improved forecast accuracy and greater revenues/ L. R. Weatherford, S. Polt // Journal of Revenue and Pricing Management. – 2002. – № 3. – Vol. 1.

405. Wells A.T. Airport Planning and Management/Alexander T. Wells, Seth B. Young. – New York: McGraw Hill, 2004. – p. 593.

406. Wisconsin State Airport System Plan – Airport Classification Review and Update. Technical Report 2010. Wilbur Smith Associates. – Bangalore, 2010. – 88p.

407. World bank data. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://data.worldbank.org/indicator/IS.AIR.DPRT>.

408. World Crisis Analysis. OAG Market Intelligence, August 2011.

409. World's largest airline. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://en.wikipedia.org/wiki/World's_largest_airlines.

410. Yang E. A design methodology for evolutionary airtransportation networks / Eunsuk Yang; [Georgia Institute of Technology]. – Atlanta, 2009. – 244 p.

411. Yeong H. L. Airport designand development. [Электронный ресурс]/ Yeong Heok Lee, Kwang Eui Yoo, Chang-HoPark // Transportation engineering and planning. – Vol. I. – Режим доступа: <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C05/E6-40-02-07.pdf>.

ДОДАТОК А

КОРОТКИЙ ОГЛЯД ОСНОВНОГО ПОНЯТІЙНОГО АПАРАТУ В НАУКОВИХ РОБОТАХ З НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ «ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ»

Понятійний апарат напрямку досліджень «Транспортні системи»:

1. Загальні поняття, які розглядаються в наукових роботах [1, 8, 10, 15, 16, 17, 19, 20, 27, 30, 35, 37, 42, 44, 51, 54, 56, 58, 63, 64, 68, 76, 77, 81, 86, 90, 91, 94, 95-100, 105, 107, 109-111, 147, 148, 157-159, 169, 170, 175, 176, 179, 186, 193, 194, 201, 202, 208, 212, 213, 216, 217, 232, 237, 239, 246, 250, 257, 259, 260, 268, 271, 342, 350, 351, 385, 386, 410]: системний підхід; складна система; математичні моделі; кластери; прогнозування; ефективність функціонування; критерії ефективності; оптимізація; інформаційні технології; транспортні системи; логістичні системи; транспортна інфраструктура; транспортний потік; транспортна мережа; транспортний вузол; пропускна спроможність; провізна спроможність; транспортний засіб; пасажирські та вантажні перевезення; пасажиропотік; вантажообіг; транспортна доступність; маршрут; максимальний потік в мережі; стратегія розвитку транспортної системи; попит на послуги транспорту; доставка вантажу «точно в термін»; цілісність вантажів; безпека перевезень; екологічність транспортних процесів; тарифна політика; технологія перевезень.

2. Поняття, які були уточнені залежно від виду перевезень

2.1. Залізничні транспортні системи

2.1.1. Закордонні наукові роботи:

[15]: системно-синергетичний підхід; магістральний та внутрішньорайонний транспорт; регіональне управління;

[64]: транспортно-технологічні ланцюги постачання вантажу; норми керованості об'єктами кожного рівня управління; коефіцієнт завантаження оператора;

[95]: комплексність обслуговування; ритмічність; топологія транспортної мережі; синтез стратегій управління; агрегування транспортної мережі;

динамічна транспортна карта; топологічна стійкість; парк транспортних засобів;

[97]: інформатизація залізничного транспорту; системологічний підхід; декомпозиція графа транспортної мережі; матриці вагоно- та поїздопотоків; станції; агрегований граф мережі залізниць; ієрархічна структура управління; маршрут прямування транспортних потоків; навантажувальні ресурси; витрати на переробку вагонопотоків;

[110]: моделі транспортних систем; сортувальна станція; транспортні витрати; конкуренція; конкурентоспроможність; просторово-розосереджена система; якість транспортного обслуговування; інтегральна транспортна доступність;

[193]: регіональна транспортна система; структурні, динамічні та інформаційні властивості транспортної системи; регіональні транспортні потреби; транспортний ресурс; продуктивна сила транспорту; міжгалузева спряженість вантажоутворюючих виробництв; управління витратами по вагонному парку; функціональне районування території; транспортний вузол; інфраструктура транспорту;

[246]: промислові транспортні системи; транспортний пристрій; пропускна спроможність пристроїв; статичні резерви; канал; бункер; матеріальний потік; адаптаційні рішення;

[259]: «тверді нитки» графіка руху поїздів; логістичні методи управління; суміщений варіантний графік руху; диспетчерське управління перевізним процесом; регулярні замовлення; нерегулярні замовлення;

2.1.2. Вітчизняні наукові роботи:

[10]: стан макро- та мікрорівнів ТС міжнародних вантажних залізничних перевезень; інформаційно-керуючі системи транспорту; вагонний та контейнерний парк; митно-тарифне та нетарифне регулювання;

[42]: маневрові роботи на станції; критерії ефективності ресурсозберігаючих залізничних технологій; верифікація перевізного процесу; поїздоутворення в

залізничному вузлі; моделі корегування вагонопотоків на основі нечіткої логіки; концепція автоматизованої системи управління локомотивом;

[98]: план виконання місцевої роботи на диспетчерській дільниці; мінімізація вагоно-годин простою на проміжних та вантажних станціях; план пропуску поїздів;

[107]: велика динамічна логістична система; логістичні центри залізниць; виробничо-транспортні логістичні ланцюги; метод перерозподілу синергетичного ефекту від функціонування виробничо-транспортних логістичних ланцюгів;

[148]: холодотранспорт; швидкопсувний вантаж; ізотермічний рухомий склад (ІРС); коефіцієнт надмірності парку ІРС; вартість вагоно-години; доступність та надійність транспортного обслуговування; процес тепломасопереносу у вантажному приміщенні і штабелю вантажу.

2.2. Автомобільні транспортні системи

2.2.1. Закордонні наукові роботи:

[56]: життєвий цикл локального проекту інтелектуальної транспортної системи; непряме управління транспортними потоками на вулично-дорожній мережі;

[93]: інтелектуальні транспортні системи організації дорожнього руху та перевезень; системи управління рухом на швидкісних автомобільних дорогах; системи виявлення дорожньо-транспортних пригод; системи інформування водіїв; інтегровані системи транзитних повідомлень; автомобільні навігаційні системи; інтеграція баз даних; кінетична теорія транспортного потоку;

[100]: транзитний потенціал автотранспортних систем; транзитні провізні спроможності та транзитний потенціал автотранспортних систем; принцип функціонального розмежування транспортних систем на рівні; конфігурація транспортної мережі; таксон; таксономічна категорія; коефіцієнт інтеграції;

[213]: вантажопереробні комплекси, міська транспортно-розподільча система; мережа міських доріг; транспортні системи великих міст; автотранспортні системи міст; транзитний вантажопотік; ціль розвитку

транспортної системи; організація дорожнього руху; безпека дорожнього руху; автомобільна дорога; класифікація міських доріг; цільові та ресурсні показники ефективності функціонування транспортної системи; соціальні нормативи стосовно транспортних систем міста; магістраль; транспортний потік між вузлами i та j ; інтенсивність потоку; потік, що надходить на магістраль; потік, що надходить у вузол; транзитний потік руху по магістралі; транзитний потік, що надходить у вузол; внутрішній потік вузла; навантаження вузлів; пропускна спроможність дороги; паркування транспортних засобів; транспортне планування території міста;

[271]: модель міської структури; картограми просторового розподілу базової інформації, яка визначає обсяги та структуру транспортного попиту; транспортна залежність території; транспортна забезпеченість території; транспортна забезпеченість доступу до території; транспортна забезпеченість транзиту через територію; інтегральний показник якості транспортної системи.

2.2.2. Вітчизняні наукові роботи:

[8]: інформаційний розвиток транспортних систем; інтелектуалізація транспортних систем і технологій; комп'ютерні ресурси; мобільні транспортні лабораторії універсального призначення; засоби пересування; інформаційно-логічні моделі транспортно-експлуатаційних параметрів;

[37]: маршрутний пасажирський транспорт; пасажирські кореспонденції; привабливість шляху прямування міським пасажирським транспортом; матриця кореспонденцій;

[44]: система «людина–техніка–середовище»; технології міських автомобільних перевезень; стан організму водія; розподіл транспортних потоків по вулично-дорожній мережі; монотонність роботи водія; активність регуляторних систем організму водія;

[76]: швидкість руху автомобілів у момент зіткнення; модель процесу зіткнення транспортних засобів при дорожньо-транспортних пригодах; деформування та руйнування елементів конструкції транспортних засобів;

[105]: методи організації паркування; рівень автомобілізації;

[169]: сфери ефективного використання варіантів логістичних ланцюгів доставки вантажів; ризики суб'єктів процесу доставки;

[201]: організація руху; вузол автомобільних доріг; система «дорожні умови–транспортні потоки» як основа створення автоматизованих систем керування рухом на автомобільних дорогах; просторово-часова дискретизація характеристик транспортного потоку; мультимодальний принцип побудови автоматизованого управління рухом;

[212]: оптимальна маршрутизація вантажних перевезень; комплексні вантажні перевезення; нестандартні транспортні задачі; автоматизовані склади.

2.3. Морські транспортні системи

2.3.1. Закордонні наукові роботи:

[186]: конкурентоспроможність морських портів; компетентність перевізника; вантажопошкодження; процедура претензії;

[194]: морська транспортна система; флот танкерів; дедвейт; несамохідний флот; оптимізація елементів барж; технічні операції барж; мережа транспортних трубопроводів;

2.3.2. Вітчизняні наукові роботи:

[99]: послідовні рейси; комерційні умови роботи флоту; лінійне плавання; рейсове плавання; регулярне і нерегулярне плавання; генеральний контракт; генеральний агент; оптимізація ставки агентської винагороди; судновласник; показник ефективності роботи флоту послідовними рейсами;

[260]: морські перевезення; флот судноплавної компанії; порт; автоматизовані системи управління морським транспортом; концептуальна модель системи управління морськими перевезеннями вантажів і роботою флоту; оптимізаційна й імітаційна моделі формування схем руху, варіантів роботи і маршрутів суден у каботажі і закордонному плаванні; раціональна тарифна і фрахтова політика в регіоні діяльності судноплавного підприємства; навантажувальні, розвантажувальні і ходові операції у портах.

2.4. Авіаційні транспортні системи

2.4.1. Закордонні наукові роботи:

[17]: парк повітряних суден (ПС); параметричний ряд ПС; раціональна кількість аеропортів; структура органів ЦА;

[86]: система наземного обслуговування ПС; аеропорт; добове планування польотів; авіаційна наземна техніка;

[109]: система управління авіап перевезеннями; авіакомпанія; структура повітряних ліній;

[147]: система управління авіакомпанією; модель функціонування авіакомпанії; авіатransпортна продукція; система повітряного транспорту; лібералізація; організаційно-технічна система повітряних перевезень; ефективність комерційної експлуатації парку ПС авіакомпанії; синтез системи оптимального управління авіакомпанією; мережа авіаліній (авіамаршрутів); коефіцієнт використання крісел.

2.4.2. Вітчизняні наукові роботи:

[69]: логістичний ланцюг авіап перевезень; партнерські відносини; модель максимізації сукупного економічного ефекту партнерської взаємодії; синергізм партнерської взаємодії;

[82]: раціоналізація пасажирських сполучень; авіаційна транспортна система; узагальнений показник ефективності використання ПС; раціональна кількість приписних ПС; прогресивні інформаційні технології обслуговування та ремонту функціональних систем ПС; авіаційний національний перевізник; втрати, пов'язані із затримкою рейсу в транзитному аеропорту; втрати, пов'язані із затримкою рейсу в базовому аеропорту; обмінний фонд;

[192]: класифікація інформаційного забезпечення управління експлуатацією авіаційної техніки; інтелектуалізація; ієрархічність суб'єктивних процедур прийняття рішень; композиція контурів управління (технічний стан та надійність авіаційного транспорту, виробнича діяльність з ремонту і технічного обслуговування, використання літаків за призначенням, управління засобами ремонту і технічного обслуговування, матеріально-технічним забезпеченням, трудовими ресурсами); функціональні компоненти і функціональні процедури

управління експлуатацією авіаційної техніки; функціонально-структурна організація розв'язання проблемної ситуації процесу прийняття рішення під час управління експлуатацією авіаційної техніки; електронна бібліотека на борту літака;

[202]: аеронавігаційна система; повітряний простір; управління повітряним рухом; повітряні траси; аеропорт; аеродромна зона; безпека польотів; траєкторія польотів ПС; маршрут польоту; ешелонування ПС у польоті; авіадиспетчер; екіпаж ПС; безпека, регулярність, безперервність, економічність повітряного руху; авіаційна пригода;

[257]: стійкість та сталість функціонування, ефективність аеронавігаційної системи; авіарейс; мінімально допустимі рівні безпеки повітряного руху; економічна стійкість аеронавігаційної системи; інтенсивність потоку ПС; інтенсивність обслуговування ПС.

2.5. Мультиmodalьні (змішані) транспортні системи

2.5.1. Закордонні наукові роботи:

[16] транспортний логістичний ланцюг; транспортна логістика; класифікація логістичних центрів; функції перевізників; регіональні транспортно-логістичні центри; план формування потягів; матриця календарного плану завантаження та підведення вагонів; класифікація компаній операторів;

[27] структурна, функціональна, структурно-функціональна взаємодія; взаємодія «канал–бункер–канал», «канал–канал», «бункер–бункер»; динамічні та статичні резерви; ефективна ємність транспортно-складської системи; пропускна спроможність та простої вагонів;

[30] системна інтеграція транспортних і логістичних активностей; парадигма логістики на основі «дисциплінарної» матриці; логістичні технології; електронний логістичний паспорт;

[54] зовнішньоторговельні перевезення; суміжні види транспорту; транспортно-логістичні системи; інформаційна інтеграція підприємств; міжнародні транспортні коридори; суміщений графік пропускної та провізної спроможності; централізована система логістичних центрів; складська мережа;

[58] комплексна система управління, змішані перевезення; авіаційна транспортна система; синергетичні зв'язки при кооперативних діях незалежних

(різних видів) транспортних систем; трьохмірна матриця (види перевезень, транспортні компанії, маршрути різних видів транспорту); економічний показник надійності; продуктивність ресурсів; тримірна матрична структура авіатransпортного підприємства; генеральна цільова функція транспортного підприємства, транспортної системи, єдиної транспортної системи; матрична організаційно-технічна структура;

[77] контейнерні й контрейлерні перевезення; експедиторське автотransпортне підприємство; система «Шосе, яке котиться»;

[81] зовнішньоекономічні вантажі; транспортна інфраструктура стикових пунктів; перевантажувальні портові комплекси; організаційно-технологічний процес мультимодальних перевезень;

[96]: управління як функція прийняття рішень та концептуальних підходів до дослідження й вимірювання характеристик динамічних ситуацій; властивість обмеженості структурних зв'язків у транспортно-перевантажувальних системах;

[158] мультимодальний логістичний центр; логістичний ризик; технологічний кластер; транспортний кластер; кластерний підхід, аналіз; система кластерів міжнародних транспортних коридорів; кластерна організація транзитних перевезень.

2.5.2. Вітчизняні наукові роботи:

[171] транзитний потенціал; транспортна безпека; логіко-імовірнісна модель реалізації загроз втрати транзитних потоків; мережа транспортних коридорів; технології перетину кордону; експортно-імпортні та транзитні вантажопотоки; державний протекціонізм щодо національного перевізника;

[176] прикордонна передавальна станція; взаємодія припортової станції і порту; інтермодальні перевезення; технологія обробки матеріальних та інформаційних потоків на прикордонній передавальній станції в умовах різної ширини колії;

[230]: мультимодальні системи;

[232]: системи «море–залізниця»; критерії ефективності; технічний комплекс, вузол (морські порти).

ДОДАТОК Б

ПРИКЛАДИ ВСТАНОВЛЕНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

1 Закономірність цілісності (емерджентності)

1.1 Властивості системи (цілого) не є простою сумою властивостей елементів (компонентів, підсистем), які становлять дану систему (див. (1.3))

У джерелі [100] зазначено, що для ТС характерна тенденція до адитивності (в теорії систем доводиться, що при $Q_s = \sum_{i=1}^n q_i$ ступінь цілісності дорівнює 0), яка практично завжди відзначається проявом конкуренції між різними видами транспорту. Об'єднання елементів у систему (1.1) забезпечує їм додаткові можливості, що є стимулом до формування і збереження цілісності системи. Взаємодія елементів ТС (1.1) через узгодження сфери діяльності і концентрації ресурсів забезпечує можливість знижувати витрати і підвищувати ефективність діяльності як елементів, так і ТС в цілому. Доведенням цього є численні розрахунки проведені в наукових роботах, присвячених мультимодальним (змішаним) перевезенням [16, 27, 30, 55, 59, 77, 81, 158, 176, 231, 239].

а. Властивості системи залежать від властивостей елементів, що її утворюють (див. (1.4)).

У роботі [212] вивчено вплив технології митного терміналу на скорочення часу обслуговування міжнародних вантажних автомобільних перевезень. Запропонована методика раціональної організації, що забезпечує мінімальні витрати часу обслуговування та збільшує пропускну здатність системи, дала змогу скоротити час обслуговування автомобілів на митному терміналі до 14%. Використання оптимізаційних моделей в роботі [100] дало можливість оцінити вплив удосконалення елементів системи (мережі регіональних доріг, обходів і транзитного терміналу) на розвиток транзитного потенціалу автотранспортної системи Челябінської області. Реалізація даних заходів може забезпечити, згідно з розрахунками, проведеними в [100], розвиток транзитного потенціалу

досліджуваної ТС до 10337,1 т/добу, що, за оцінкою автора [100], є позитивним соціально-економічним ефектом.

Ще одним прикладом закономірності (1.4) можуть бути дослідження, проведені в роботі [375], де визначено, що основними властивостями елементів, які впливають на пропускну спроможність інфраструктури ТС для кожного виду транспорту є такі:

- а) елемент *дороги*: дорожнє покриття, кількість і ширина смуг руху;
- б) елемент *аеропорти*: кількість та довжина ЗПС, системи приземлення (правила візуальних польотів (VFR), правила польотів за приладами (IFR), система «сліпе приземлення»);
- в) елемент *порти*: довжина причалів, кількість точок швартування, складські приміщення;
- г) елемент *залізниці*: тип залізничної колії (кількість колій, електрифікація, фізичні характеристики), системи сигналізації.

На концептуальному рівні встановлено, що загальною рисою усіх видів транспорту є існування експоненціальної залежності ступеня використання пропускну спроможності від часу перевезень та обслуговування рухомого складу і кінцевих користувачів (пасажирів, вантажів).

Крім того, в роботі [375] оцінена залежність середнього часу затримок в аеропорту Малага (Іспанія) t_{delay} від кількості операцій Q , що в ньому виконувалися протягом дня:

$$\ln t_{delay} = -3,955 + 0,0134Q, \\ R^2 = 0,986. \quad (Б.1)$$

Залежність (Б.1) показує, що така характеристика аеропорту, як середній час затримки, швидко зростає, коли обсяг перевезень близький до максимальної проектної пропускну спроможності.

б. Об'єднані в систему елементи, як правило, втрачають частину своїх властивостей, але, з іншого боку, елементи, потрапивши в систему, можуть набутися нових властивостей.

Прикладом даної закономірності може бути процес інтеграції авіакомпанії (як елемента) в альянс (як систему) з метою ефективного та легітимного способу розширення присутності на ринку перевезень. В дослідженні Н.А. Абрамочкиної [1] зазначається: практика підтверджує, що цей процес сприяє зниженню конкуренції, більшій узгодженості взаємних інтересів експлуатантів, розширенню мережі авіамаршрутів окремої авіакомпанії. Але вступ у міжнародні стратегічні альянси вимагає від авіаперевізника виконання низки вимог, які, в свою чергу, потребують додаткових ресурсів. Ці вимоги можуть стосуватися як стандартів обслуговування пасажирів, рівня експлуатаційної безпеки, технологічної сумісності, так і багатьох інших аспектів роботи авіакомпанії.

2 Закономірності формулювання цілей

2.1 Залежність уявлення про ціль і формулювання цілі від стадії пізнання об'єкта (процесу) і від часу.

Наприклад, формалізованим чином ціль авіакомпанії може бути записана у вигляді вектора завдань, елементами якого є кількісні показники, виконання яких у сукупності може трактуватися як реалізація місії чи стратегії [147, с. 114–117]. Але в середньостроковому періоді планування за різних умов можлива зміна типу стратегії, а отже, і вектора завдань цілі авіакомпанії.

2.2 Залежність цілі від зовнішніх і внутрішніх факторів

Прикладом підтвердження даної закономірності можуть бути дослідження, проведені в роботах [111, 407]. Аналіз розвитку світової ЦА свідчить про її нерозривний зв'язок з еволюцією людства, культурою, політикою та економікою.

У джерелі [407] проведено класифікацію подій різного масштабу, які позначилися на авіаційних перевезеннях протягом останніх 30 років (табл. Б.1).

Таблиця Б.1 – Визначення масштабів фінансових і енергетичних криз [408]

Фінансові та енергетичні події	Масштаб події	Період відновлення
Війна в Перській Затоці 1990 р.	Низький	До 3 місяців
Азіатська фінансова криза 1997 р.	Низький	До 3 місяців
Каліфорнійська енергетична криза 2000 р.	Низький	До 3 місяців
Атака на ВТЦ у США в 2001 р.	Високий	12–36 місяців
Війна в Перській затоці 2003 р.	Низький	До 3 місяців
Ураган Катаріна в США, 2005 р.	Низький	До 3 місяців
Банківська криза 2009 р.	Високий	12–36 місяців

Отже, на зростанні перевезень протягом останніх 20 років суттєво позначилися події в США в 2001 р., коли була проведена атака на Всесвітній торговий центр (ВТЦ). Після відомих подій вересня 2001 р. світовий авіаційний транспорт пережив глибоку кризу, багато провідних авіакомпаній світу кілька років поспіль зазнавали експлуатаційних збитків. Реактивне пальне було і залишається основним фактором, що впливає на діяльність авіакомпаній, адже на цю статтю припадає приблизно 30 % загальних витрат. Висока ціна на пальне протягом останніх 10 років вплинула на обсяг авіаперевезень, темпи якого скоротилися з щорічного 3,1% протягом останніх 30 років, до 2,6% за останні 10 років. Однак у глобальному масштабі, це не справило істотного впливу. А от банківська криза в 2008–2009 рр. справила значний вплив на світовий ВВП і, як наслідок, на обсяг авіаційних перевезень.

У роботі [111] зазначається, що сучасні умови ведення авіабізнесу припускають постійну готовність до змін. Авіапідприємства повинні мати здатність до адекватного та своєчасного коригування намічених цілей з урахуванням змін зовнішнього середовища. Далі в роботі [111] пропонується проводити стратегічні та оперативні зміни за допомогою різних видів реструктуризації підприємства, які передбачають досягнення відповідних цілей.

2.3 *Можливість і необхідність зведення завдання формулювання загальної (глобальної) цілі до завдання її структуризації*

Метод структуризації цілей, який передбачає кількісний і якісний опис, строки досягнення й аналіз ієрархічно-розподілених взаємопов'язаних і взаємообумовлених цілей системи, дає змогу оцінити ймовірність і необхідні ресурси досягнення глобальної цілі. Структуровані цілі часто наводять графічно у вигляді «дерева» цілей. Структура цілей може бути наведена також у мережевій формі – декомпозиція у часі; у вигляді страт чи ешелонів – декомпозиція у просторі. В структурі цілей має проявлятися закономірність цілісності системи. Цілі нижчого рівня ієрархії цілей можна розглядати як засіб досягнення цілей вищого рівня; нижчий рівень структури можна формулювати у виді очікуваних результатів конкретної роботи з зазначенням критеріїв оцінювання її виконання; ознака декомпозиції на одному рівні має бути спільна; кількість рівнів ієрархії і кількість компонентів у кожному вузлі, за гіпотезою Міллера чи числа Колмагорова, має бути не більше ніж $K=7\pm 2$. Окреме «дерево цілей» має бути сформульовано однією «мовою» чи то «політичною», чи то «економічною», «технологічною» тощо, тобто є необхідність здійснювати стратифікацію представлення структури цілей.

Автором [147, с. 120–122] розроблено та запропоновано дерево цілей для реалізації варіантів стратегій: динамічного зростання ВАТ «Міжнародний аеропорт Самара» (ВАТ «МАС») і стратегії виживання (відновлення платоспроможності без застосування процедур банкрутства) ВАТ «Авіакомпанія Самара». Так, наприклад, засобами досягнення генеральної цілі «зростання конкурентної переваги ВАТ «МАС» при збереженні досягнутого рівня прибутковості», за доведенням В. П. Маслакова, є досягнення таких підцілей:

1. Частка ВАТ «МАС» у відправленнях аеропортів РФ не менше 4,1 %.
2. Ефективність управління не менше 13 %.
3. Продуктивність праці не менш 3450WLU (1 WLU дорівнює 1 пасажиру чи 100 кг вантажу).

4. Культура обслуговування – на рівні стандартів IATA.
5. Середньорічна затримка відправлень ПС за розкладом не більше 2,74 хв.
6. Регулярність відправлень рейсів за розкладом не нижче 90,99 %.

Далі автор [147] продовжує структуризацію зазначених вище підцілей з описом конкретних результатів діяльності, які дадуть змогу їх досягнути.

3 Закономірність історичності

У практиці проектування та управління ТС на необхідність урахування закономірності історичності починають звертати все більш уваги. Зокрема, в роботі [359] досліджено циклічність авіаційної промисловості і зазначено, що з 1970 по 1999 р. ринок авіаперевезень мав два повні цикли розвитку, які включали кризи на початку 1980-х років і на початку 1990-х років, що зачепили практично всіх перевізників (рис. Б.1). Але причиною криз, автори [359] вважають не стільки вплив ВВП на розвиток авіаційного бізнесу, скільки циклічну природу самого авіаринку, створену переважно ендегенними факторами (одним із яких є фази затримок між замовленням та постачанням літаків). Подальші тенденції прибутковості авіаперевезень підтверджують наявність циклічності з періодом спаду через 10–11 років (рис. Б.2).

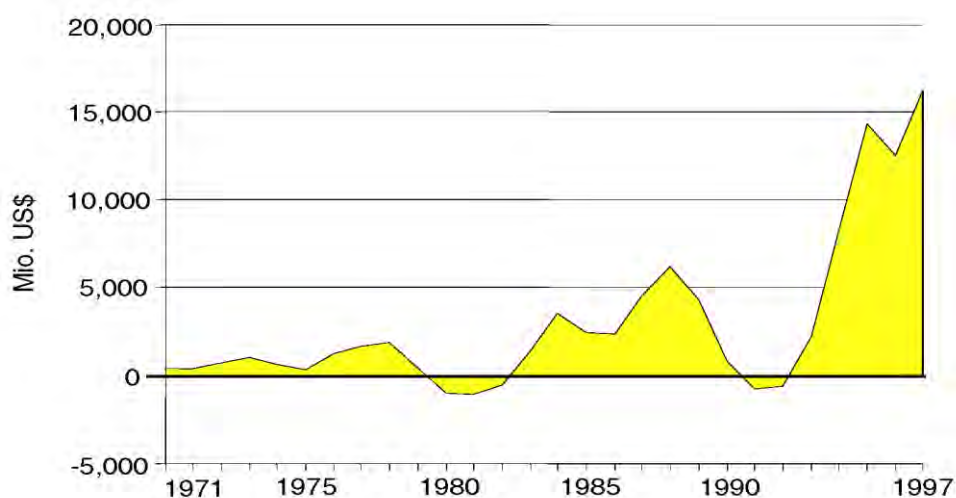
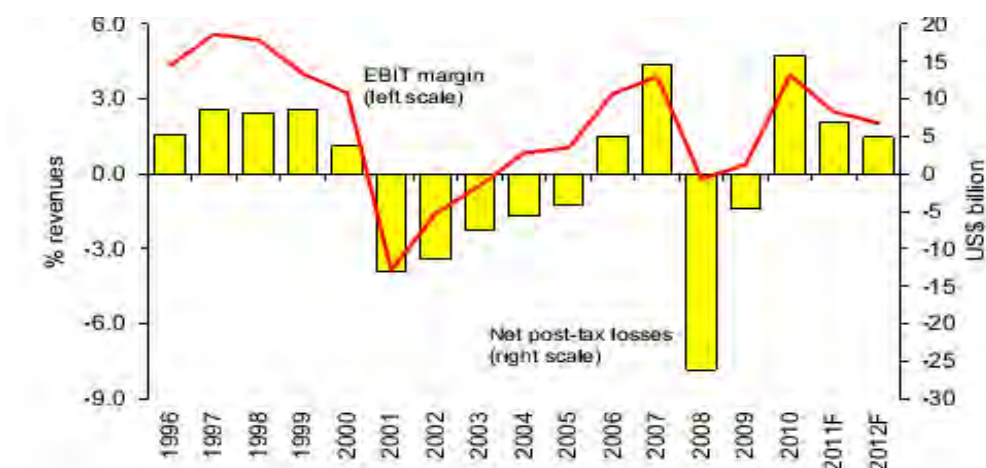


Рисунок Б.1 – Загальний прибуток всіх авіакомпаній протягом 1970–1997 [359]



% revenues – % прибутковості; EBIT margin – маржа прибутку до сплати податків і відсотків (ліва шкала); net post-tax losses – чисті збитки після оподаткування (права шкала); US\$ Billion – млн дол. США

Рисунок Б. 2 – Циклічність прибутковості авіаперевезень [329]

Закономірність історичності можна враховувати не лише пасивно фіксуючи етап старіння, але й використовувати для попередження «смерті» системи, розроблюючи «механізми» реконструкції, реорганізації системи для розробки чи зберігання її в новій якості (наприклад, у роботі [111] доводиться ефективність методів реорганізації авіакомпаній в умовах кризи).

4 Закономірність комунікативності

Дослідження фахівців у галузі транспортних систем [1, 8, 10, 15, 16, 17, 19, 20, 27, 30, 35, 37, 43, 44, 51, 54, 56, 58, 63, 64, 68, 76, 77, 81, 86, 90, 91, 94, 95-100, 105, 107, 109-111, 147, 148, 157-159, 169, 170, 175, 176, 179, 186, 193, 194, 201, 202, 208, 212, 213, 216, 217, 232, 236, 237, 239, 246, 250, 257, 259, 260, 268, 271, 342, 350, 351, 385, 386, 410] доводять залежність ефективності функціонування транспортної галузі як єдиної системи від низки зв'язків, що, по суті, забезпечують реалізацію потенціалу як окремого виду транспорту, так і взаємодії видів транспорту. Традиційно виділяють економічні, технічні, технологічні, організаційні та правові сфери взаємодії підсистем ТС [81].

Крім того, останнім часом велика увага приділяється обміну інформаційного потоку як між підсистемами всередині ТС, так і між ТС і

зовнішнім середовищем. За висновком О. М. Ларіна [100, с. 315] : «інформація та процес обміну нею відіграють ключову роль в ефективній організації та оперативному регулюванні процесу транспортування...». Інформаційна складова зв'язків ТС на сьогодні є визначальним ресурсом, здатним забезпечити найбільшу ефективність функціонування даної системи.

В [212] також зазначено, що до розробки та реалізації транспортної стратегії мають бути залучені фахівці, які мають не лише загальнотранспортну підготовку, але й глибокі знання у галузі сучасних інформаційних технологій.

5 Закономірність потенційної ефективності

Потенційна ефективність при створенні ТС чи зміні її складу і структури, як правило, змінюється [100]. При цьому слід враховувати, що ТС досягає нового рівня потенційної ефективності X'_p не одразу, а через певний період самоорганізації, протягом якого елементи системи накопичують досвід взаємодії. Процес накопичення досвіду характеризується кривими накопичення досвіду (або зростання продуктивності). На рис. Б. 3 показано криву скорочення тривалості виконання технологічної операції (процесу).

При виконанні операції вперше N_1 тривалість часу t_1 найвища. Стійке зростання продуктивності системи відзначається до рівня t_z , при досягненні якого система починає працювати у відповідності із запланованою потужністю або швидкодією: $X_z = X'_p$. Новий рівень потенційної ефективності X'_p ТС характеризується, насамперед, вищою продуктивністю роботи U' , яка збільшується за рахунок скорочення тривалості t' виконання одиниці обсягу транспортних послуг:

$$U' = \frac{X'_p}{t'}.$$

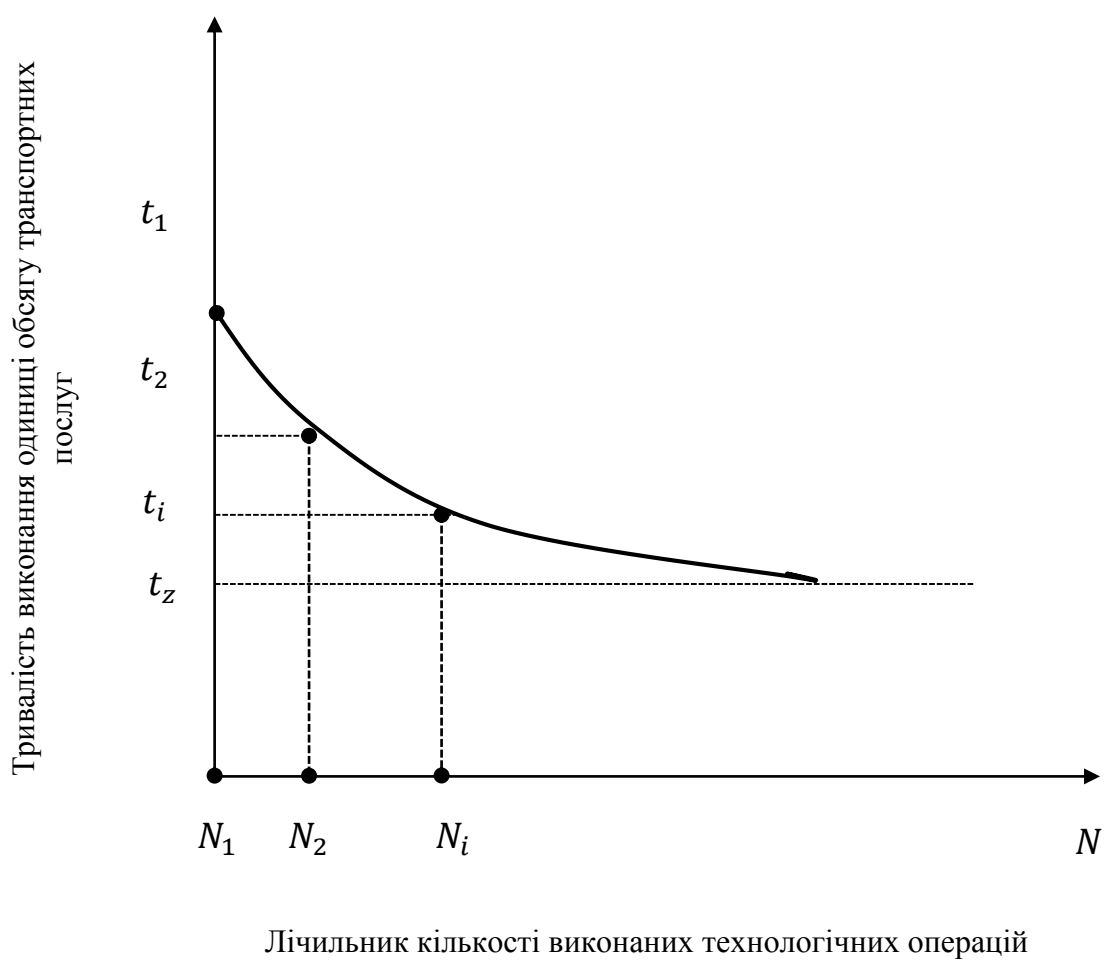


Рисунок Б. 3 – Крива зростання продуктивності [100, с. 295]

ДОДАТОК В

ІНІЦІАТИВИ ГЛОБАЛЬНОГО АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ПЛАНУ ІСАО

23 ініціативи Глобального аеронавігаційного плану ІСАО, які підлягають реалізації незалежно від компонент, використовуваних в національній системі ОрПР [320]:

- гнучке використання повітряного простору;
- скорочені мінімуми вертикального ешелонування;
- гармонізація систем ешелонів польоту;
- приведення у відповідність класифікацій верхнього повітряного простору;
- RNAV і RNP (навігація на основі характеристик);
- організація потоків повітряного руху;
- динамічна та гнучка організація маршрутів ОРП;
- спільне планування і організація повітряного простору;
- ситуативна обізнаність;
- планування та організація зон аеродромів;
- SID і STAR, засновані на використанні RNP і RNAV;
- функціональна інтеграція наземних і бортових систем;
- планування та організація аеродромів;
- операції на ЗПС;
- вирівнювання експлуатаційних можливостей виконання операцій в приладових метеорологічних умовах і візуальних метеорологічних умовах;
- системи забезпечення прийняття рішень і системи оповіщення;
- види застосування ліній передачі даних;
- аеронавігаційна інформація;
- метеорологічні системи;
- WGS-84;
- навігаційні системи;
- інфраструктура мережі зв'язку;
- авіаційний спектр радіочастот.

ДОДАТОК Г

ПРИКЛАД СТРУКТУРИ БАЗИ ДАНИХ ПОПИТУ НА АВІАПЕРЕВЕЗЕННЯ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ТЕОРІЙ

Базу даних для проведення досліджень ефективності функціонування АТС пропонується структурувати виходячи із її формалізованого трактування (1.8), матричної форми ієрархічної структури (рис. 2.12), сфер формування критеріїв ефективності (рис. 2.6) та розробленої методології дослідження таким чином:

1. Фактичні дані, які можуть бути отримані в реальному часі.

1.1. Аеропорти заданої мережі.

1.1.1. Пропускна спроможність:

- 1) типи ПС, які можуть обслуговуватися (перелік);
- 2) пропускна спроможність ЗПС (зльотів–посадок на одиницю часу);
- 3) пропускна спроможність терміналів (пас. (т) на одиницю часу);
- 4) пропускна спроможність перонів (кількість місць стоянок (МС)):
 - розміри яких дають змогу здійснювати стоянку та обслуговування ПС будь-якого типу;
 - розміри яких дають змогу здійснювати стоянку та обслуговування ПС певних типів;
 - розміри яких дають змогу здійснювати стоянку та обслуговування ПС тільки певного типу.

1.1.2. Мережа маршрутів

- 1) загальна кількість напрямків;
- 2) кількість регулярних напрямків;
- 3) географія прямих рейсів;
- 4) кількість трансферних рейсів:
 - аеропорт x – початковий пункт;
 - аеропорт x – пункт трансферу;
- 5) географія трансферних рейсів:

- аеропорт x – початковий пункт;
- аеропорт x – пункт трансферу.

1.1.3. Внутрішні пасажиропотоки авіакомпаній, зареєстрованих у державі, АТС якої досліджується:

- 1) пасажиропотік на прямих рейсах (кількість пасажирів на одиницю часу);
- 2) трансферний пасажиропотік (аеропорт x – початковий пункт);
- 3) трансферний пасажиропотік (аеропорт x – пункт трансферу);
- 4) пасажиропотік регулярних рейсів;
- 5) пасажиропотік нерегулярних рейсів;
- 6) пасажиропотік рейсів ділової авіації.

1.1.4. Внутрішні пасажиропотоки, які забезпечуються іноземними авіакомпаніями (за пунктами 1)-6) п. 1.1.3).

1.1.5. Міжнародні пасажиропотоки авіакомпаній, зареєстрованих у державі, АТС якої досліджується (за пунктами 1)-6) п. 1.1.3).

1.1.6. Міжнародні пасажиропотоки, які забезпечуються іноземними авіакомпаніями (за пунктами 1)-6) п. 1.1.3).

1.1.7. Внутрішні пасажиропотоки, які забезпечуються ЛСС (за пунктами 1)-5) п. 1.1.3).

1.1.8. Міжнародні пасажиропотоки, які забезпечуються ЛСС (за пунктами 1)-5) п. 1.1.3).

1.1.9. Кількість місць та обсяг багажу (m) за рейсами.

1.1.10. Вантажні та поштові потоки авіакомпаній, зареєстрованих в державі, АТС якої досліджується:

- 1) потоки (тон на одиницю часу) на прямих рейсах;
- 2) трансферний потік (аеропорт x – початковий пункт);
- 3) трансферний потік (аеропорт x – пункт трансферу);
- 4) потік регулярних рейсів;
- 5) потік нерегулярних рейсів.

1.1.11. Авіаційні доходи (грошова одиниця на одиницю часу).

1.1.12. Неавіаційні доходи (грошова одиниця на одиницю часу).

1.1.13. Видатки аеропорту на виконання авіаційної діяльності (грошова одиниця на одиницю часу).

1.1.14. Видатки аеропорту на виконання неавіаційної діяльності (грошова одиниця на одиницю часу).

1.1.15. Відсоток регулярності польотів.

1.1.16. Кількість затримок за класифікатором затримок.

1.1.17. Загальна кількість пасажирів на одиницю часу, зареєстрованих:

- 1) на стійках реєстрації;
- 2) на стійках самореєстрації;
- 3) через веб-сайти;
- 4) інше.

1.1.18. Кількість пасажирів за рейсами, зареєстрованих:

- 1) на стійках реєстрації;
- 2) стійках самореєстрації;
- 3) через веб-сайти;
- 4) інше.

1.2. Авіакомпанії мережі G.

1.2.1. Парк ПС:

- 1) кількість ПС за типами;
- 2) місткість ПС за типами;
- 3) виробничий наліт ПС (годин на одиницю часу);

1.2.2. Мережа маршрутів:

- 1) географія прямих рейсів;
- 2) кількість прямих рейсів;
- 3) географія трансферних рейсів (де авіакомпанія, що звітує, є фактичним перевізником);
- 4) кількість трансферних рейсів (де авіакомпанія, що звітує, є фактичним перевізником) за етапами польоту.

1.2.3. Обсяги перевезень (пасажирів, вантаж пошта):

- 1) обсяг потоків на регулярних рейсах:
 - обсяг пасажиропотоку із розподілом за класами обслуговування;
 - відсоток трансферного пасажиропотоку із розподілом за класами обслуговування;
 - обсяг перевезень БВП за рейсами, відсоток трансферних потоків;
- 2) обсяг потоків на нерегулярних рейсах:
 - обсяг пасажиропотоку із розподілом за класами обслуговування;
 - відсоток трансферного пасажиропотоку із розподілом за класами обслуговування;
 - обсяг перевезень БВП за рейсами, відсоток трансферних потоків;
- 3) обсяг потоків на рейсах ділової авіації;
- 4) обсяг послуг із застосування авіації в народному господарстві.

1.2.4. Тарифна політика:

- 1) середні тарифи за класами обслуговування та за напрямками «прямі рейси»;
- 2) середні тарифи за класами обслуговування та за напрямками із трансфером (де авіакомпанія, що звітує, є фактичним перевізником).

1.2.5. Доходи авіакомпанії від виробничої діяльності (грошових одиниць за звітний період).

1.2.6. Витрати авіакомпанії на виробничу діяльність (грошових одиниць за звітний період).

1.2.7. Відсоток регулярності польотів.

1.2.8. Кількість затримок за класифікатором затримок.

1.3. ОрПР.

1.3.1. Кількість польотів авіакомпаній, зареєстрованих у державі, АТС якої досліджується.

1.3.2. Кількість польотів іноземних авіакомпаній.

1.3.3. Кількість внутрішніх польотів.

1.3.4. Кількість міжнародних польотів.

1.3.5. Кількість транзитних польотів.

1.3.6. Аеронавігаційні збори.

1.4. Дані щодо зовнішнього середовища, наприклад, економічні показники розвитку держави (регіону), АТС якої досліджується.

1.4.1. ВВП, ВВП на душу населення.

1.4.2. Функція розподілу доходу.

1.4.3. Чисельність та структура населення.

1.4.4. Чисельність діаспор за регіонами.

1.4.5. Середній дохід на душу населення.

1.4.6. Середня заробітна плата.

1.4.7. Рівень безробіття.

1.4.8. Обсяги інвестицій.

1.4.9. Обсяги інвестицій в інфраструктуру транспорту.

1.4.10. Географія та обсяги туристичних потоків.

2. Дані, які можуть бути отримані *із зовнішніх джерел із деяким запізненням у часі* (структура може бути ідентичною п. 1.1–1.4 чи формуватися згідно із завданням дослідження і обмеженням щодо фінансування).

ДОДАТОК Д

СТАНДАРТИ ІАТА ЩОДО НАЗЕМНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПС ТА ПАРАМЕТРІВ ЗОН ОБСЛУГОВУВАННЯ ПАСАЖИРІВ В АЕРОПОРТАХ

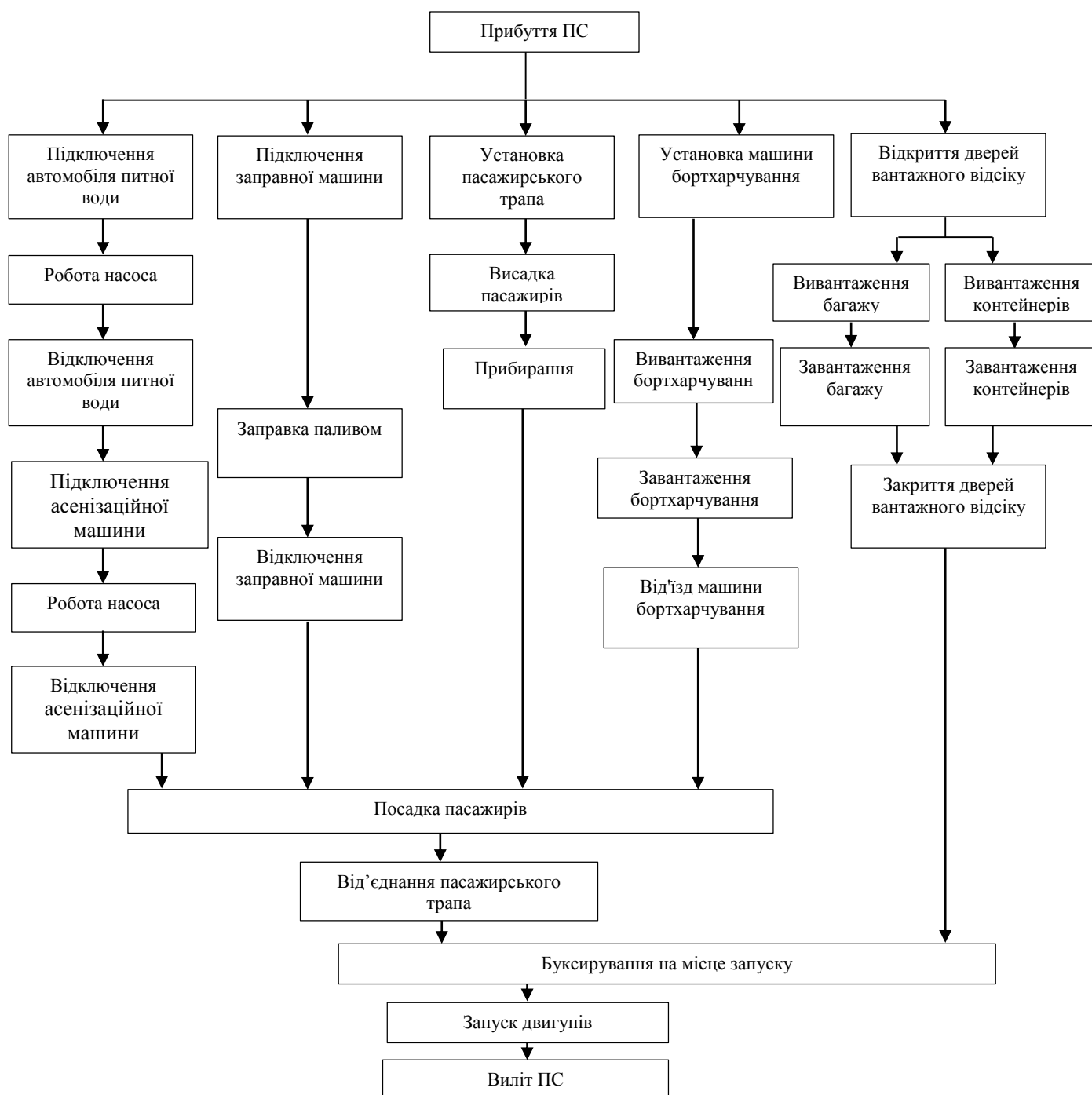


Рисунок Д. 1 – Приклад послідовності технології наземного обслуговування оборотного рейсу

Таблиця Д. 1 – Рівень стандарту обслуговування (м² на одного пасажирів)

Зони аеровокзалу	A	B	C	D	E	F
Зона черги на реєстрацію	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	Система в аварійному стані
Очікування / циркуляція	2,7	2,3	1,9	1,5	1,0	
Приміщення для очікування	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	
Зона видачі багажу (за винятком устаткування для видачі)	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	
Зони контролю	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	

Примітка до табл. Д.1

A – найвищий рівень обслуговування; умови вільного руху потоків; найвищий рівень комфорту.

B – високий рівень обслуговування; умови стабільного руху потоків; нечисленні затримки; високий рівень комфорту.

C – хороший рівень обслуговування; умови стабільного руху потоків; прийнятні затримки; хороший рівень комфорту.

D – достатній рівень обслуговування; умови нестабільного руху потоків; прийнятні затримки на короткий період часу; адекватний рівень комфорту.

E – недостатній рівень обслуговування; умови нестабільного руху потоків; неприйнятні затримки; неадекватний рівень комфорту.

F – неприйнятний рівень обслуговування; перехрещування потоків, вихід з ладу систем обслуговування і неприйнятні затримки; неприйнятний рівень комфорту.

Рівень обслуговування C рекомендовано як мінімальний рівень проектування, оскільки він забезпечує хороший рівень обслуговування за прийнятну ціну. Більш високого рівня обслуговування, ніж рівень A, не існує.

Таблиця Д.2 – Рекомендації ІАТА щодо параметрів зони «очікування / циркуляція»

Розташування	Візки	Площа м ² /пас	Швидкість м/сек
Між паспортним і митним контролем	Немає	1,5	1,3
Після реєстрації	Небагато	1,8	1,1
Зона вильоту	Багато	2,3	0,9

Таблиця Д.3 – Рекомендації ІАТА щодо параметрів зони «реєстрація»

Ширина між рядами	м ² /пас					
	Візки	А	В	С	Д	Е
1,2 м	Небагато	1,7	1,4	1,2	1,1	0,9
	Багато	1,8	1,5	1,3	1,2	1,1
1,4 м	Досить багато	2,3	1,9	1,7	1,6	1,5
	Дуже багато	2,6	2,3	2,0	1,9	1,8

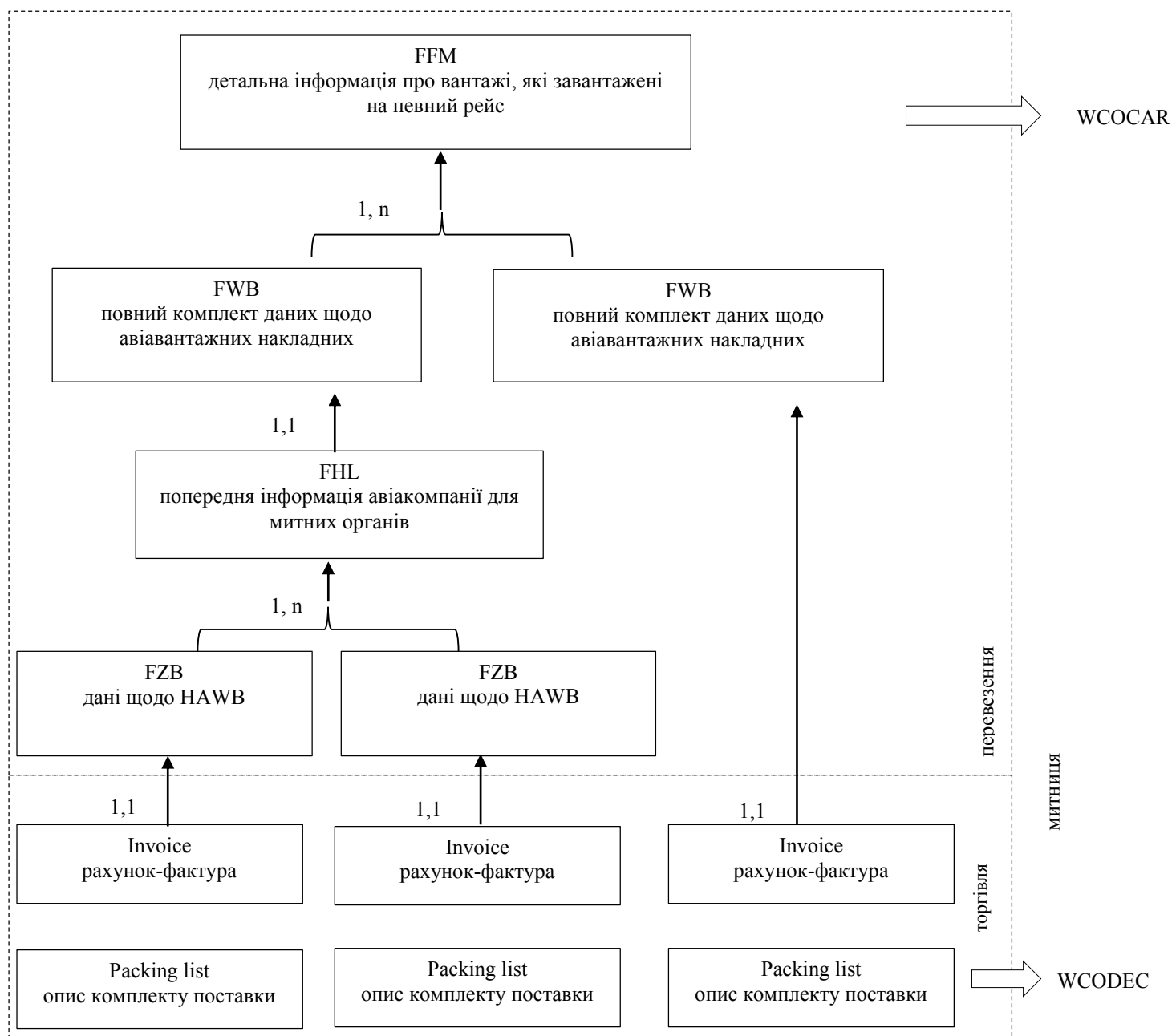


Рисунок Д.2 – Формування електронних повідомлень за основними документами для організації вантажних перевезень¹ (за рекомендаціями IATA [322])

¹WCO (World Customs Organization) – Всесвітня митна організація

• DEC – інформація митної декларації (експорт та імпорт)

• CAR – інформація митної вантажної декларації (експорт та імпорт)

ДОДАТОК Е

СТАТИСТИЧНІ ДАНІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДСИСТЕМ АТС

Таблиця Е.1 – Структура парку провідних авіакомпаній світу

(а) Структура парку American Airlines

Типи ПС	Середня пасажиромісткість	Власні	Фінансовий лізинг	Оперативний лізинг	Усього	Середній вік (років)
Airbus A319	125	3	—	105	108	11
Airbus A320	150	11	—	59	70	15
Airbus A321	183	72	—	24	96	5
Airbus A330-200	258	9	—	3	12	3
Airbus A330-300	291	4	—	5	9	13
Boeing 737-400	144	—	—	14	14	24
Boeing 737-800	150	86	—	140	226	6
Boeing 757-200	181	71	2	44	117	19
Boeing 767-200 ER	186	1	8	11	20	26
Boeing 767-300 ER	218	45	—	13	58	20
Boeing 777-200 ER	247	44	3	—	47	13
Boeing 777-300 ER	310	5	—	5	10	1
Embraer ERJ 190	99	20	—	—	20	6
McDonnell Douglas MD-80	140	104	15	44	163	22
Всього		475	28	467	970	13

(б) Структура парку регіональних перевізників American Airlines

Тип ПС	Середня пасажиромісткість	Власні	Фінансовий лізинг	Оперативний лізинг	Усього	Середній вік (років)
Bombardier CRJ 200	50	12	—	23	35	10
Bombardier CRJ 700	65	54	—	7	61	8
DeHavilland Dash 8-100	37	29	—	—	29	24
De Havilland Dash 8-300	50	—	—	11	11	22
Embraer ERJ 140	44	59	—	—	59	12
Embraer ERJ 145	50	118	—	—	118	12
Saab 340B	34					
Всього		272	—	41	313	12

Таблиця Е.2 – Структура парку China Eastern Airlines

№	Тип ПС	Власні та у фін. лізингу	Оперативний лізинг	Усього	Середній вік (років)
Всього пасажирських літаків		302	149	451	6,72
Широкофюзеляжні		44	11	55	7,8
1	A340-600	5	-	5	9,99
2	A330-300	8	7	15	6,73
3	A330-200	18	3	21	2,53
4	A300-600R	7	-	7	19,03
5	B767	6	1	7	13,15
Вузькофюзеляжні		258	138	396	6,57
6	A321	33	-	33	4,11
7	A320	101	44	145	6,41
8	A319	15	8	23	6,41
9	B757-200	5	3	8	12,26
10	B737-800	28	66	94	4,33
11	B737-700	42	17	59	7,38
12	B737-300	16	-	16	17,55
13	CRJ-200	8	-	8	12,16
14	EMB-145LR	10	-	10	7,26
Загальна кількість вантажних літаків		3	11	14	11,16
15	A300-600R	1	-	1	23,49
16	B747-400ER	2	3	5	12,91
17	B757-200F	-	2	2	24,4
18	B777F	-	6	6	3,24
Загальна кількість літаків		305	160	465	6,86

Таблиця Е.3 – Перша десятка аеропортів Європи за обсягом пасажиропотоку у 2013 р. (джерело: [361])

Рейтинг	Аеропорт	Перевезено пасажирів, млн осіб
1	Лондон - Хітроу	72,3
2	Париж - Шарль-де-Голль	62,2
3	Франкфурт	58,0
4	Амстердам	52,5
5	Стамбул	51,3
6	Мадрид - Барахас	39,7
7	Мюнхен	38,6
8	Рим - Фьюмічіно	36,1
9	Лондон - Гатвік	35,4
10	Барселона - Ель Прат	35,2

Таблиця Е.4 – Провідні аеропорти світу (пункти відправлення) з впровадження електронної авіавантажної накладної (е-AWB) [324]

Рейтинг (попередній)	Місто (код ISO країни), аеропорт (код IATA)	Використання е-AWB при відправленні вантажу, червень 2014 р.
1 (1)	Сянган (HK), Hong Kong Int'l (HKG)	49,4%
2 (2)	Дубаї (AE), Dubai (DXB)	85,5%
3 (3)	Сінгапур (SG), Changi (SIN)	49,7%
4 (4)	Сеул (KR), Incheon International (ICN)	22,2%
5 (6)	Тайбей (TW), Chiang Kai Shek (TPE)	21,3%
6 (5)	Амстердам (NL), Schiphol Airport (AMS)	20,3%
7 (7)	Лондон (GB), Heathrow (LHR)	11,6%
8 (8)	Париж (FR), Charles De Gaulle (CDG)	17,1%
9 (9)	Каїр (EG), Cairo Int'l (CAI)	52,9%
10 (10)	Атланта (US), William B Hartsfield (ATL)	24,3%

Таблиця Е.5 – Провідні авіакомпанії світу з впровадження е-AWB [324]

Рейтинг (попередній)	Авіакомпанія (код IATA)	Використання е-AWB, червень 2014 р
1 (1)	Cathay Pacific Group (CXG)	46,6%
2 (2)	Emirates (EK)	31,4%
3 (4)	SIA Cargo (SQ)	31,3%
4 (3)	Korean Air (KE)	19,2%
5 (5)	KLM (KL)	20,8%
6 (6)	International Airline Group (IAG)	17,8%
7 (7)	Delta Air Lines (DL)	30,0%
8 (8)	Air France (AF)	21,5%
9 (10)	China Airlines (CI)	17,6%
10 (9)	Lufthansa Cargo (LH)	8,9%

Таблиця Е.6 – Ключові показники системи ОрПР США/Європа (2012)
[311]

Станом на 2012 р.	Європа	США	США у порівнянні з Європою
Географічна територія (млн. км ²)	11,5	10,4	~ -10%
Кількість цивільних постачальників аеронавігаційного обслуговування маршрутів	37	1	
Кількість авіадиспетчерів	~17200	~13300	~ -23%
Всього персоналу	~58000	~35500	~ -39%
Кількість контрольованих диспетчерською службою польотів FIR, (млн.)	9,5	15,2	~ +59%
Кількість контрольованих диспетчерською службою годин польотів (млн.)	14,2	22,4	~ +59%
Відносна щільність (льотних годин на км ²)	1,2	2,2	~ в 1,8 р.
Частка польотів з або в провідні 34 аеропорти світу	67%	66%	
Частка авіації загального призначення	3,9%	21%	
Середня тривалість польоту (в межах відповідного повітряного простору)	559 NM (1035,27 км)	511 NM (946,37 км)	~-11%
Кількість районних центрів управління польотами	63	20	-42
Кількість одиниць підходів (Європа) і термінальних комплексів (США)	260	162	-98
Кількість аеропортів зі службами управління повітряним рухом	~ 433	~ 514	+81
З них слот-координовані	>90	4	

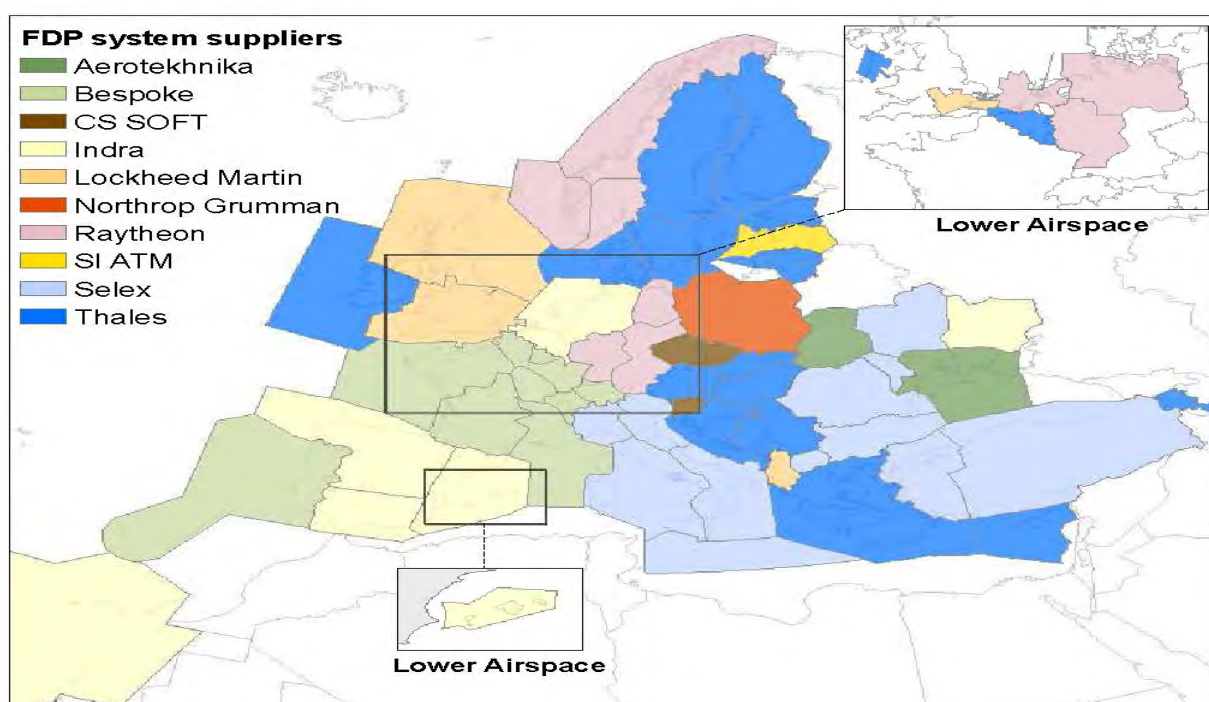


Рисунок Е.1 – Системи FDP постачальників аеронавігаційного обслуговування у Європі [311]

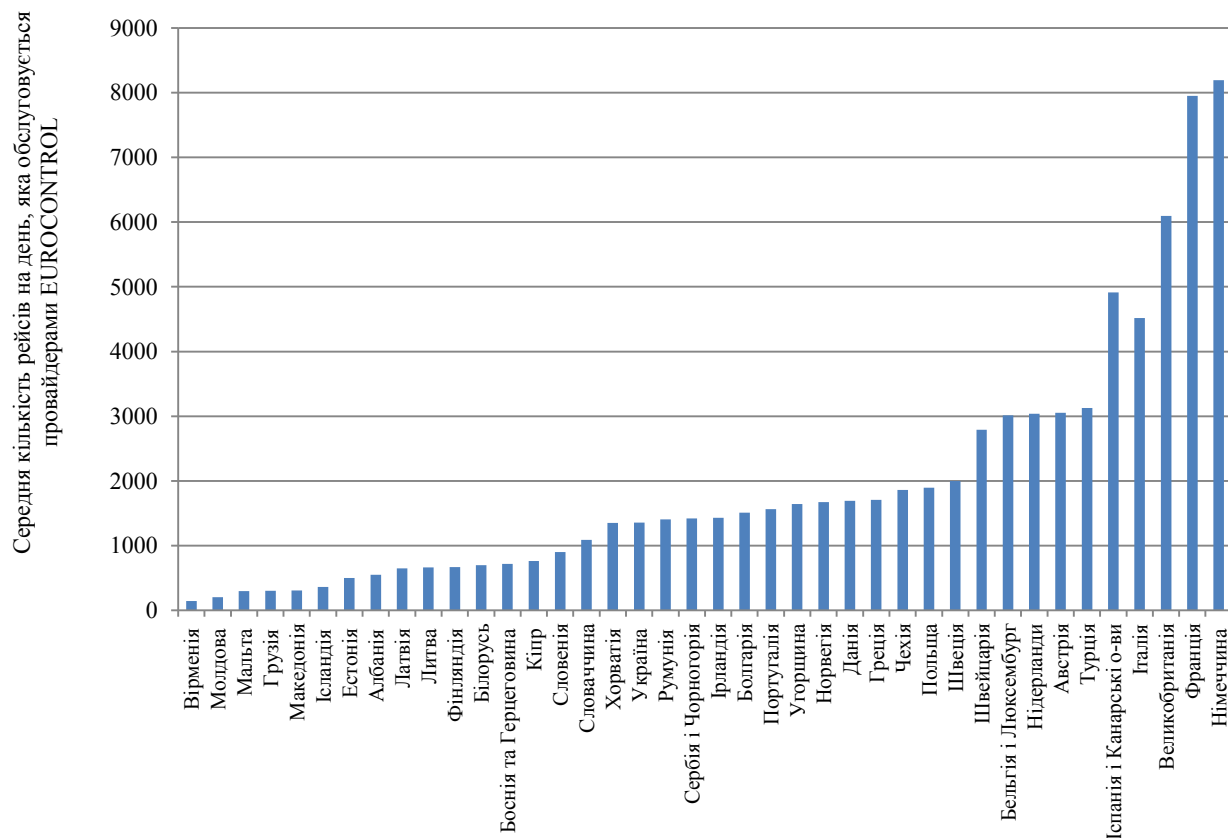


Рисунок Е.2 – Обсяг повітряного руху в країнах, які входять до організації Євроконтроль (складено за даними [274])

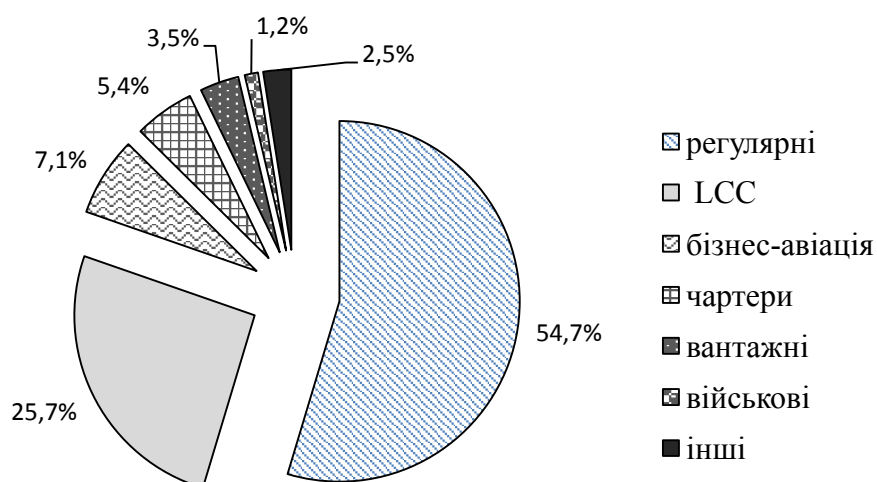


Рисунок Е.3 – Розподіл попиту на авіаційне обслуговування за сегментами ринку (% від загальної кількості рейсів), 2013 р.

(складено за даними [274])

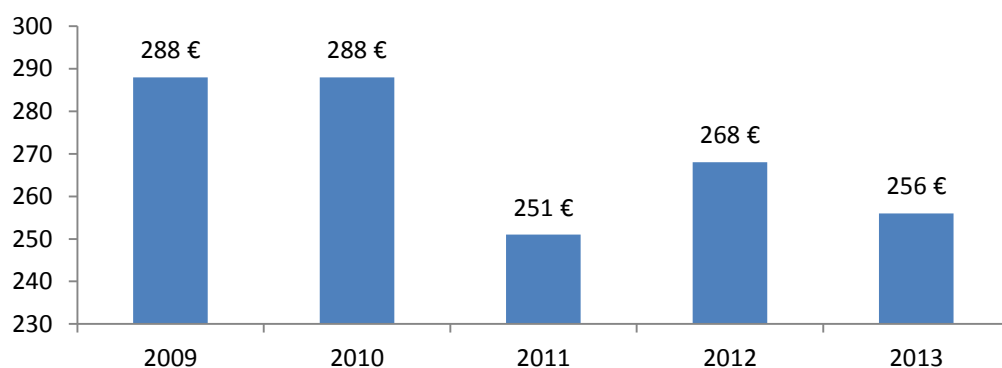


Рисунок Е.4 – Динаміка витрат на контрольовану годину польоту в РДЦ в Маастрихті (складено за даними [274])

Таблиця Е.7 – Структура витрат РДЦ в Маастрихті (джерело [274])

Статті витрат	2009	2010	2011	2012	2013	Порівняння 2012/2013
Витрати на персонал	113,4	118,7	110,5	121,1	114,7	-5,3%
Операційні витрати за винятком персоналу	16,2	13,5	13,3	13,1	12,8	-2,3%
Амортизаційні відрахування	15,3	16,7	11,1	9,9	9,0	-8,8%
Вартість капіталу	1,9	1,1	1,3	0,7	0,6	-17,7%
Всього витрати (млн євро)	146,8	150,0	136,1	144,9	137,2	-5,3%

ДОДАТОК Ж

ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ПОПИТУ НА АВІАЦІЙНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ

Таблиця Ж.1 – Торговий профіль України (за даними Світової організації торгівлі)

Дані на березень 2014

Україна

Основні показники				
Населення (тис., 2012)	45 593	Позиція в рейтингу світової торгівлі, 2012	експорт	імпорт
ВВП (млн поточний US\$, 2011)	176 309	Товари	51	37
ВВП (млн поточний PPP US\$, 2011)	332 744	без урахування торгівлі з країнами ЄС	36	25
Поточний баланс (млн US\$, 2008)	-12 763	Комерційні послуги	41	50
Торгівлі на душу населення (US\$, 2009–2012)	3 788	без урахування торгівлі з країнами ЄС	24	34
Відношення зовнішньої торгівлі до ВВП (2009–2012)	109,1			
	2012	Річна зміна у відсотках 2005–2012	2011	2012
Реальний ВВП (2005=100)	111	1	5	0
Експорт товарів і послуг (обсяг, 2005=100)	81	-3	4	-8
Імпорт товарів і послуг (обсяг, 2005=100)	122	3	18	2
ТОРГОВА ПОЛІТИКА				
Вступ до СОТ	16 травня 2008	Внесок до бюджету СОТ (% , 2014)		0,414
		Імпортні мита (% , 2009–2011) в загальній сумі податкових надходжень		3,4
ТОРГІВЛЯ ТОВАРАМИ		Річна зміна у відсотках 2005–2012	2011	2012
	Обсяг			
	2011	10	33	0
Експорт товарів, f.o.b. (млн US\$)	68 532	13	36	2
Імпорт товарів, c.i.f. (млн US\$)	84 639			
	2012			2012
Частка у світовому обсязі експорту	0,37	Частка у світовому обсязі імпорту		0,33
Розподіл загального обсягу експорту		Розподіл загального обсягу імпорту		
За основними товарними групами (ITS)		За основними товарними групами (ITS)		
Сільськогосподарська продукція	20,0	Сільськогосподарська продукція		8,4
Паливо і продукція гірничодобувної промисловості	12,7	Паливо і продукція гірничодобувної промисловості		37,5
Виробництво	59,7	Виробництво		52,8
За основним призначенням		За основним походженням		
1. Російська Федерація	25,7	1. Російська Федерація		32,4
2. Європейський Союз (27)	24,9	2. Європейський Союз (27)		30,9
3. Туреччина	5,4	Китай		9,3
4. Єгипет	4,2	4. Білорусь		6,0
5. Казахстан	3,6	5. США		3,4

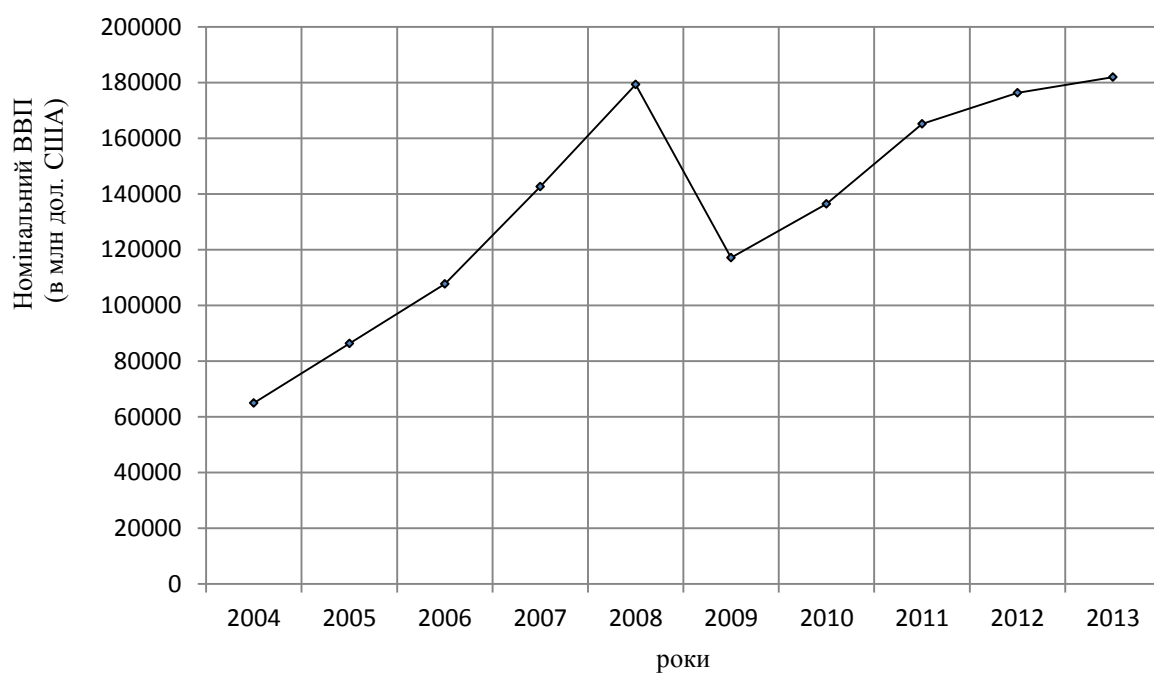


Рисунок Ж.1 – Динаміка обсягів номінального ВВП України

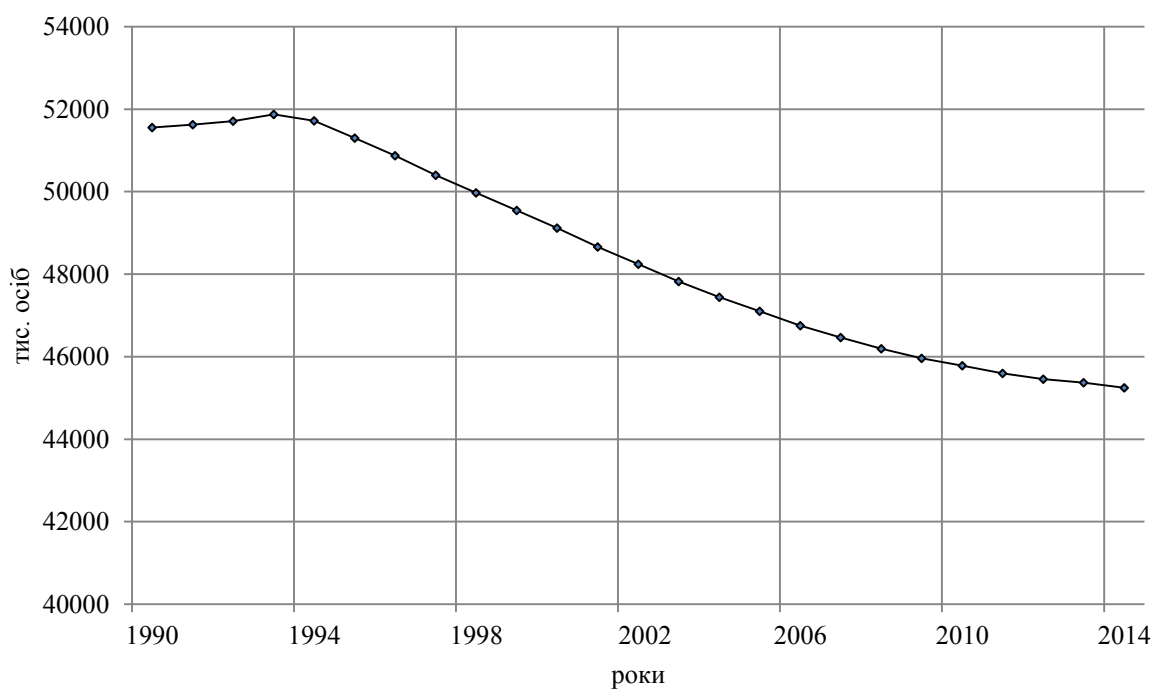


Рисунок Ж.2 – Чисельність постійного населення України
(за даними Державного комітету статистики України)

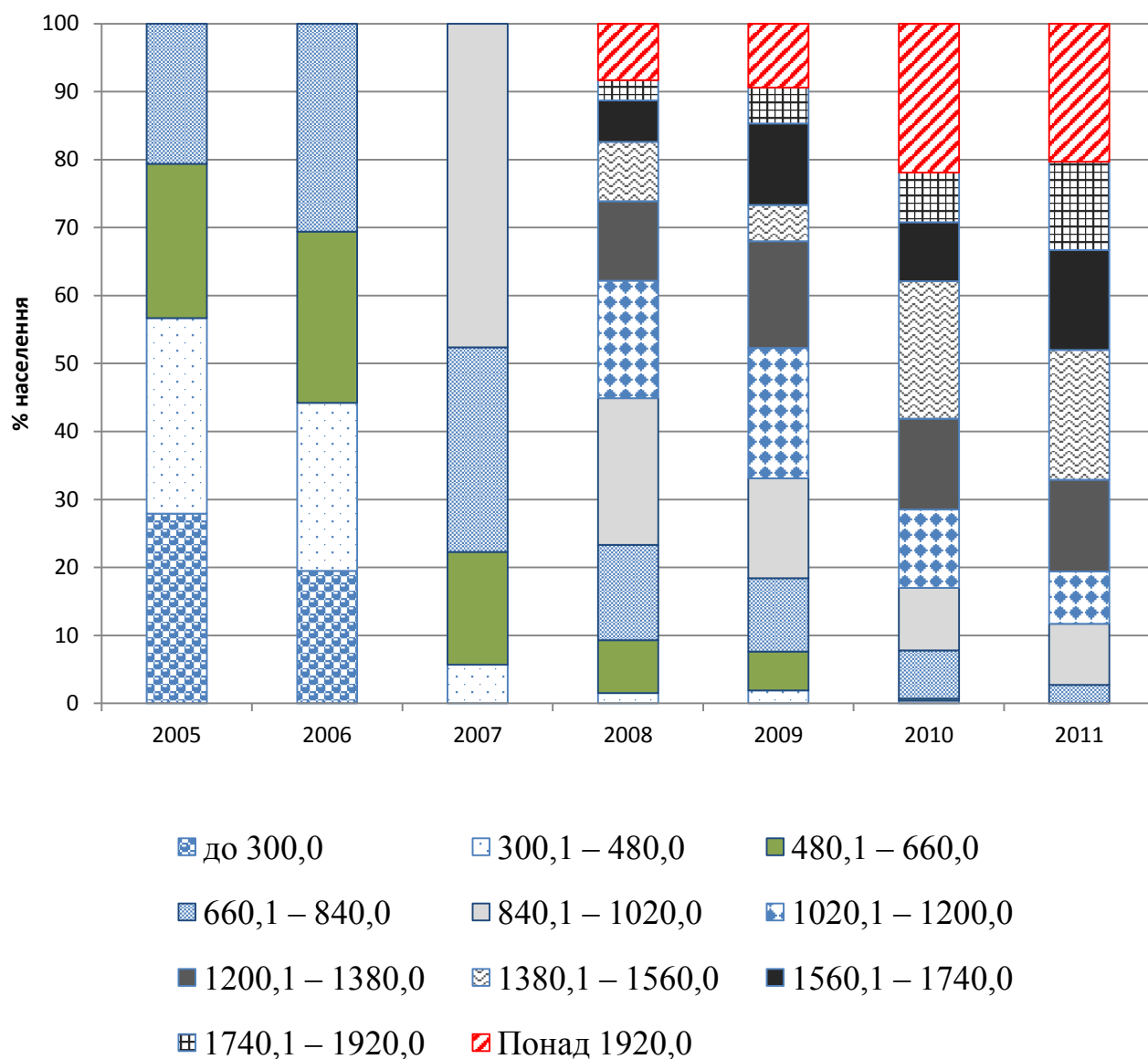


Рисунок Ж. 3 – Розподіл населення (%) за рівнем середньодушових еквівалентних загальних доходів на місяць, грн²

² http://www.ck.ukrstat.gov.ua/source/arch/2013/rozp_sukup_11_2.pd

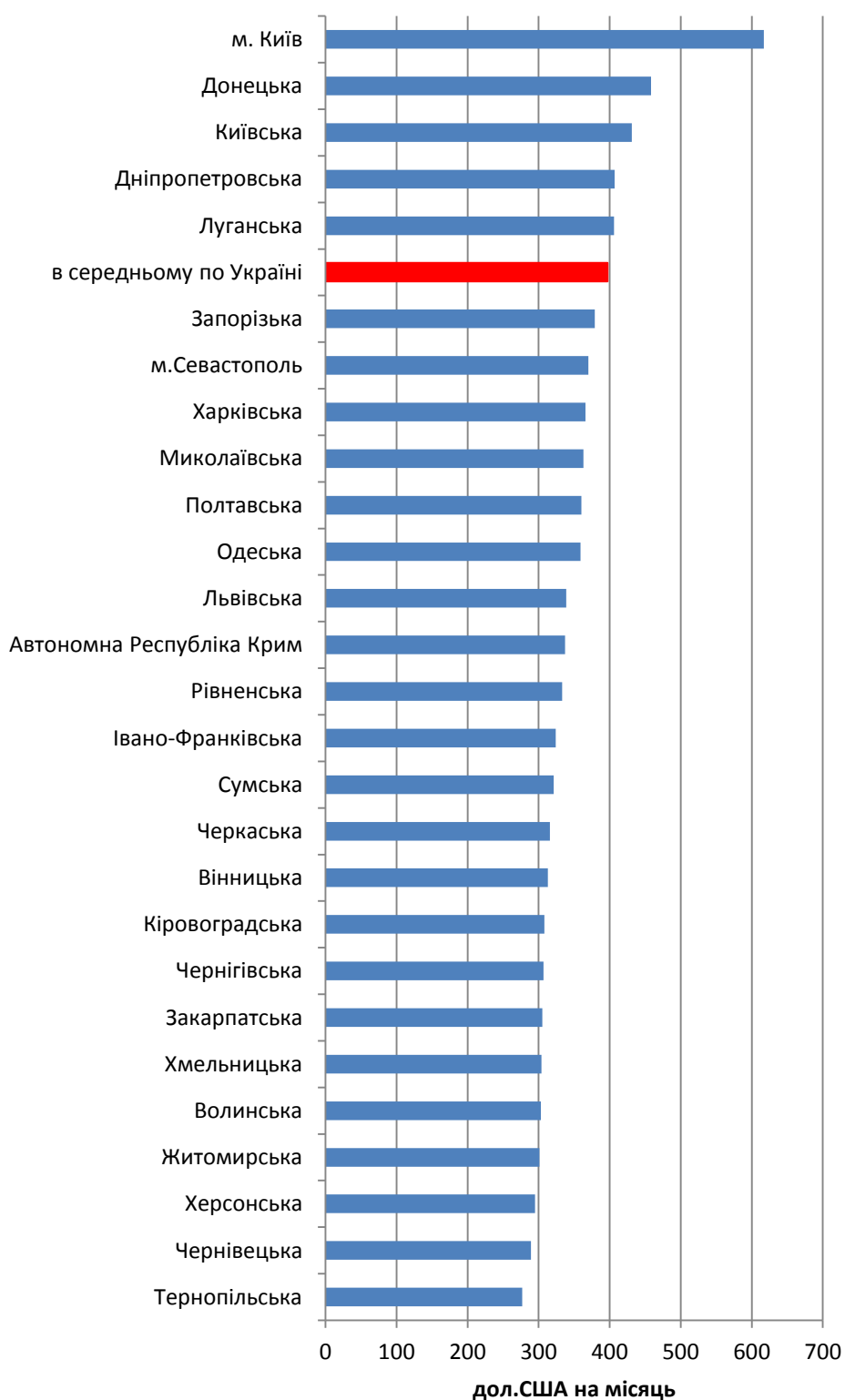
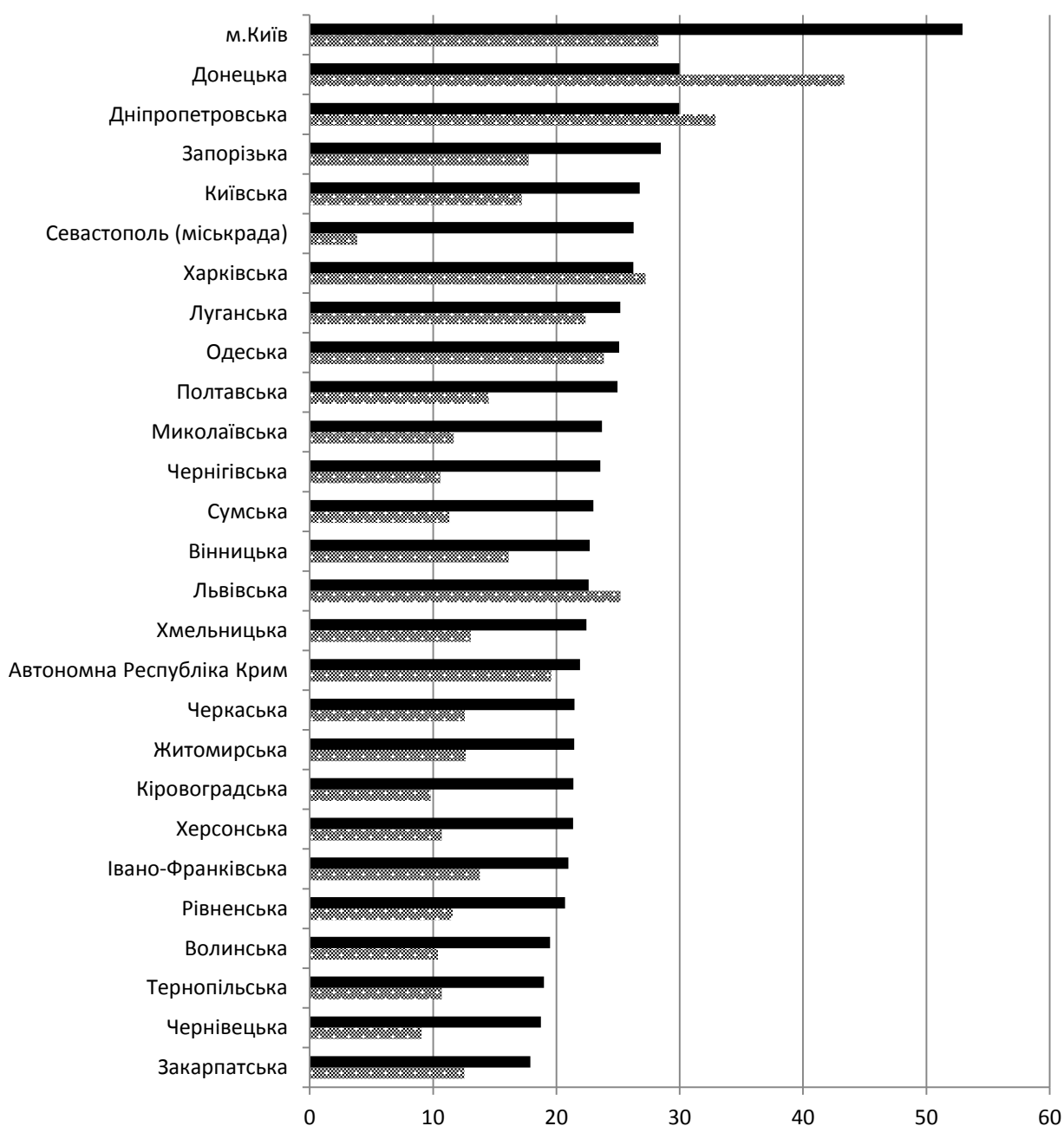


Рисунок Ж.4 – Середня заробітна плата за регіонами за березень у 2013 р.
(в розрахунку на одного штатного працівника)



■ Наявний дохід у розрахунку на одну особу, тис. грн.

▨ Постійне населення, 100 тис. осіб

Рисунок Ж.5 – Порівняльна характеристика регіонів України за кількістю населення і наявним доходом на одну особу (складено за даними 2013 р. [45])



Рисунок Ж.6 – Умовні макрорегіони України³

³ З метою дослідження ефективності розвитку мережі аеропортів та авіамаршрутів України пропонується дещо скоригувати регіональний розподіл, представлений на рис. Ж.6, а саме віднести:

- до *центрального регіону*: Київ, Київську, Полтавську, Кіровоградську, Житомирську, Вінницьку, Сумську, Черкаську, Чернігівську області;
- до *південного регіону*: Автономну Республіку Крим, Севастополь, Миколаївську, Одеську, Херсонську області;
- до *східного регіону*: Дніпропетровську, Донецьку, Луганську, Харківську, Запорізьку області;
- до *західного регіону*: Волинську, Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську, Рівненську, Тернопільську, Чернівецьку, Хмельницьку області.

ДОДАТОК И

ПОКАЗНИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ

АВІАТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

Таблиця И.1 – Статистичні дані щодо експлуатації маршруту
Київ–Москва⁴ (773 км)

Тип ПС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро- місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)	Загальне комерційне завантаження	Комерційні перевезення	
						Пошта	Вантаж
						тонни	
1994 р.							
перевізнак: AIR UKRAINE (6U) (Україна)							
ANTONOV AN24	16	832	437	52,5	88	0	0
TUPOLEV TU134	278	16841	16267	96,6	2237	0	11
TUPOLEV TU154	375	45706	44147	96,6	7543	0	36
Загалом: 6U	669	63379	60851	96,0	9868	0	47
перевізнак: EGYPT AIR (MS) (Єгипет)							
AIRBUS A300	1	242	70	28,9	35	0	5
BOEING 737	1	122	35	28,7	15	0	2
Загалом: MS	2	364	105	28,8	50	0	7
Загалом: 1994	671	63743	60956	95,6	9918	0	54
2000 р.							
перевізнак: AIR UKRAINE (6U) (Україна)							
ANTONOV AN24	14	660	191	28,9	78	0	0
TUPOLEV TU134	485	36879	11959	32,4	3637	5	5
TUPOLEV TU154	4	612	200	32,7	75	0	0
YAKOVLEV YAK42	8	869	284	32,7	113	0	0
Загалом: 6U	511	39020	12634	32,4	3903	5	5
перевізнак: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
BOEING 737	528	61475	20844	33,9	6148	36	68
TUPOLEV TU134	1	52	18	34,6	5	0	0
Загалом: VV	529	61527	20862	33,9	6153	36	68
перевізнак: LVOV AIRLINES (5V) (Україна)							
ANTONOV AN24	51	2299	662	28,8	249	0	0
YAKOVLEV YAK42	29	3017	868	28,8	355	0	0
Загалом: 5V	80	5316	1530	28,8	604	0	0
Загалом: 2000	1120	105863	35026	33,1	10660	41	73
2011 р.							
перевізнак: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
AIRBUS A320	40	6966	4219	60,6	701	0	0
AIRBUS A321	5	985	503	51,1	105	0	0
ANTONOV AN148	3	204	184	90,2	27	0	0
BOEING 737	1521	203476	146486	72,0	23944	278	470
BOEING 767 300	46	9954	6464	64,9	1856	0	0
EMBRAER EMB145	1	49	37	75,5	5	0	0
EMBRAER ERJ195	100	11800	7768	65,8	1300	0	8
Загалом: VV	1716	233434	165661	71,0	27939	278	478
перевізнак: DONBASSAERO (7D) (Україна)							
AIRBUS A320	11	1917	1306	68,1	191	0	0
AIRBUS A321	1	189	110	58,2	21	0	0
BOEING 737 300	6	852	660	77,5	92	0	0
BOEING 737 400	25	3894	3002	77,1	429	0	0

⁴Джерело: статистичні збірники ICAO

Закінчення табл. И.1

Тип ПС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро- місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)	Загальне комерційне завантаження	Комерційні перевезення	
						Пошта	Вантаж
						тонни	
BOEING 737 500	8	966	734	76,0	116	0	0
BOEING 767 300	1	193	120	62,2	42	0	0
Загалом: 7D	52	8011	5932	74,0	890	0	0
<i>перевізнак: UKRAINE INTL AIRLINES (PS) (Україна)</i>							
BOEING 737	329	39605	24784	62,6	3607	0	15
Загалом: PS	329	39605	24784	62,6	3607	0	15
<i>перевізнак: WIND ROSE (7W) (Україна)</i>							
BOEING 737 300	4	528	235	44,5	56	0	0
BOEING 737 400	28	4314	1821	42,2	455	0	0
BOEING 737 500	13	1412	862	61,0	156	0	0
BOEING 767	2	410	199	48,5	42	0	0
EMBRAER ERJ195	5	590	329	55,8	63	0	0
Загалом: 7W	52	7254	3446	47,5	772	0	0
Загалом: 2011	2149	288304	199823	69,3	33208	278	493

Таблиця И.2 – Визначення показника MS за формулою (2.15) (на прикладі статистичних даних авіакомпанії «МАУ»)

Тип ПС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро-місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)
1	2	3	4	5
Київ – Париж (2001 км), 2008 р.				
авіаперевізник: Air France (Франція)				
A319	552	59600	43066	72,3
A320	85	12217	7238	59,2
A321	1	180	56	31,1
B 737 100	365	13561	11761	86,7
Загалом: Air France	1003	85558	62121	72,6
авіаперевізник: Ukraine Intl Airlines (PS) (Україна)				
B 737	404	55024	40116	72,9
Загалом: PS	404	55024	40116	72,9
Загалом: 2008	1407	140582	102237	72,7
Частка ринку PS	0,391401			
MS	0,392382			
Київ – Париж (2001 км), 2009 р.				
авіаперевізник: Air France (Франція)				
A318	212	24520	14669	59,8
A319	295	38756	24836	64,1
A320	212	33354	17047	51,1
A321	3	572	256	44,8
Загалом: Air France	722	97202	56808	58,4
авіаперевізник: Ukraine Intl Airlines (PS) (Україна)				
B 737	365	46390	32472	70,0
Загалом: PS	365	46390	32472	70,0
Загалом: 2009	1087	143592	89280	62,2
Частка ринку PS	0,323068			
MS	0,363710			
Київ – Париж (2001 км), 2010 р.				
авіаперевізник: Air France (Франція)				
A318	210	24544	18428	75,1
A319	394	51780	32944	63,6
A320	74	11676	6283	53,8
A321	2	378	133	35,2
Загалом: Air France	680	88378	57788	65,4
авіаперевізник: Ukraine Intl Airlines (PS) (Україна)				

Продовження табл. И.2

Тип ПС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро-місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)
1	2	3	4	5
В 737	359	47872	34327	71,7
Загалом: PS	359	47872	34327	71,7
Загалом: 2010	1039	136250	92115	67,6
Частка ринку PS				0,351354
MS				0,372654
Київ – Париж (2001 км), 2011 р.				
<i>авіаперевізник: Air France (Франція)</i>				
A318	1	126	125	99,2
A319	552	72312	51365	71,0
A320	133	20792	10710	51,5
A321	2	380	92	24,2
Загалом: Air France	688	93610	62292	66,5
<i>авіаперевізник: Ukraine Intl Airlines (PS) (Україна)</i>				
В 737	364	53336	40656	76,2
Загалом: PS	364	53336	40656	76,2
Загалом: 2011	1052	146946	102948	70,1
Частка ринку PS				0,362963
MS				0,394918
Київ – Тель-Авів (2076 км), 2010 р.				
<i>авіаперевізник: Aerosvit Airlines (VV) (Україна)</i>				
A320	252	45360	29608	65,3
В 737	124	16120	12564	77,9
Загалом: VV	376	61480	42172	68,6
<i>авіаперевізник: Donbassaero (7D) (Україна)</i>				
A320	120	19008	9374	49,3
В 737 300	5	650	452	69,5
В 737 400	35	5565	3264	58,7
В 737 500	13	1443	821	56,9
В 767 300	1	233	29	12,4
Загалом: 7D	174	26899	13940	51,8
<i>авіаперевізник: EL AL (Ізраїль)</i>				
В 737 700	18	1936	1450	74,9
В 737 800	244	34982	22764	65,1
В 747 400	5	2045	1562	76,4
В 757 200	21	3655	2035	55,7
В 767 200ER	4	764	456	59,7
В 767 300ER	7	1637	1197	73,1
В 777 200	2	558	66	11,8
Загалом: EL AL	301	45577	29530	64,8
<i>авіаперевізник: Ukraine Intl Airlines (PS) (Україна)</i>				
В 737	163	19619	9193	46,9
Загалом: PS	163	19619	9193	46,9
Загалом: 2010	1014	153575	94835	61,8
Частка ринку PS				0,127749
MS				0,096937
Київ – Москва (773 км), 2011 р.				
<i>авіаперевізник: Aerosvit Airlines (VV) (Україна)</i>				
A320	40	6966	4219	60,6
A321	5	985	503	51,1
AN148	3	204	184	90,2
В 737	1521	203476	146486	72
В 767 300	46	9954	6464	64,9
EMB145	1	49	37	75,5
ERJ195	100	11800	7768	65,8
Загалом: VV	1716	233434	165661	71
<i>авіаперевізник: Donbassaero (7D) (Україна)</i>				
A320	11	1917	1306	68,1
A321	1	189	110	58,2
В 737 300	6	852	660	77,5
В 737 400	25	3894	3002	77,1

Закінчення табл. И.2

Тип ПС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро-місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)
1	2	3	4	5
В 737 500	8	966	734	76
В 767 300	1	193	120	62,2
Загалом: 7D	52	8011	5932	74
<i>авіанперевізник: Wind Rose (Україна)</i>				
В 737 300	4	528	235	44,5
В 737 400	28	4314	1821	42,2
В 737 500	13	1412	862	61
В 767	2	410	199	48,5
ERJ195	5	590	329	55,8
Загалом: 7W	52	7254	3446	47,5
<i>авіанперевізник: Ukraine Intl Airlines (PS) (Україна)</i>				
В 737	329	39605	24784	62,6
Загалом: PS	329	39605	24784	62,6
Загалом: 201	2149	288304	199823	69,3
Частка ринку PS				0,137372
MS				0,124030

Таблиця И.3 – Використання парку ПС провідними авіакомпаніями України (складено за даними ІКАО, 2010–2012 рр.)

Тип ПС	Наліт, тис. км		Загалом відправок		Наліт, год.		Середній коефіцієнт використання, год. / день
	Комерційні рейси	Усі рейси	Комерційні рейси	Усі рейси	Комерційні рейси	Усі рейси	
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Авіанперевізник: Aerosvit Airlines</i>							
<i>2010 р.</i>							
В 737 300	3210	3210	2000	2000	5262	5262	Немає даних
В 737 400	7406	7406	4912	4912	12245	12245	Немає даних
В 737 500	7080	7080	6957	6957	13167	13167	Немає даних
В 767 300		10883		1460		13859	Немає даних
<i>2011 р.</i>							
A320	7697	7697	3623	3623	11503	11503	Немає даних
A321	2828	2828	1249	1249	4205	4205	Немає даних
AN148	133	133	1161	1161	2411	2411	Немає даних
ATR ATR42	171	171	232	232	387	387	Немає даних
В 737 300	5554	5554	3817	3817	9407	9407	9,5
В 737 400	4348	4348	3505	3505	7443	7443	5,6
В 737 500	8237	8237	7073	7073	14321	14321	7,0
В 767 200	15875	15875	2471	2471	20617	20617	15,4
EMB145	8955	8955	8906	8906	15576	15576	Немає даних
ERJ195	2968	2968	2313	2313	5116	5116	Немає даних
DC9 82	220	220	152	152	365	365	Немає даних

Продовження табл. И.3

Тип ПС	Наліт, тис. км		Загалом відправок		Наліт, год.		Середній коефіцієнт використання, год. / день
	Комерційні рейси	Усі рейси	Комерційні рейси	Усі рейси	Комерційні рейси	Усі рейси	
1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Авіап перевізннк: DNEPROAVIA</i>							
<i>2011 р.</i>							
A320	54	54	27	27	400	400	Немає даних
BELL 205	4	8	18	32	19	39	0,1
B 737 300	37	39	61	63	82	85	0,7
B 737 400	310	313	225	228	504	509	2,0
B 737 500	60	63	93	95	129	133	0,5
EMB145	3864	4015	7314	7552	8747	34675	1,6
<i>2012 р.</i>							
A320	4	4	4	4	11	11	Немає даних
A321	17	17	24	24	36	36	Немає даних
B 737 300	52	52	87	87	121	121	Немає даних
B 737 400	24	24	41	41	54	54	Немає даних
B 737 500	163	163	254	254	370	370	Немає даних
EMB145	720	782	1360	1513	1712	1873	0,5
ERJ190	39	50	58	75	87	112	0,2
DC9 82	3	3	2	2	5	5	Немає даних
<i>Авіап перевізннк: DONBASSAERO</i>							
<i>2011 р.</i>							
A320	1096	1096	595	595	1633	1633	0,7
A321	94	94	42	42	140	140	0,4
B 737 300	15	15	16	16	29	29	Немає даних
B 737 400	75	75	66	66	139	139	Немає даних
B 737 500	25	25	26	26	49	49	Немає даних
B 767 200	2	2	2	2	4	4	Немає даних
ERJ195	4	4	4	4	8	8	Немає даних
<i>Авіап перевізннк: WIND ROSE</i>							
<i>2010 р.</i>							
AN24	69	72	107	117	214	225	0,8
ERJ190	1642	7643	1021	2508	2702	6248	8,1
DC9 82	3368	3504	1101	1238	3228	3478	10,1
<i>2011 р.</i>							
AN148	70	70	56	56	112	112	0,9
B 737 300	6343	6343	3573	3573	10320	10320	28,3
B 737 300	994	994	988	988	1800	1800	4,9
B 737 400	9216	9216	5550	5550	14707	14707	40,3
B 737 500	9956	9956	6922	6922	16217	16217	44,4
B 737 800	10592	10592	5053	5053	16798	16798	46,0
FOKKER F27 MARK0050	610	610	693	693	995	995	4,6
<i>2012 р.</i>							
A320	5932	5932	3138	3138	8196	8196	
A321	4873	4873	2290	2290	6962	6962	19,6
B 737 300	7	7	6	6	10	10	Немає даних
B 737 400	55	55	32	32	80	80	Немає даних
B 737 500	27	27	22	22	36	36	Немає даних
B 737 800	3	3	2	2	5	5	Немає даних

Закінчення табл. И.3

1	2	3	4	5	6	7	8
Тип ПС	Наліт, тис. км		Загалом відправок		Наліт, год.		Середній коефіцієнт використання, год. / день
	Комерційні рейси	Усі рейси	Комерційні рейси	Усі рейси	Комерційні рейси	Усі рейси	
1	2	3	4	5	6	7	8
B 767 200	51	51	30	30	80	80	Немає даних
EMB145	3	3	4	4	7	7	Немає даних
ERJ195	19	19	12	12	32	32	0,2
DC9 82	83	83	40	40	144	144	3,1
<i>Авіаперевізник: UKRAINE INTL AIRLINES</i>							
<i>2010 р.</i>							
B 737 300	5979	5979	3327	3327	9315	9315	25,5
B 737 300	978	978	957	967	1729	1729	4,7
B 737 400	8496	8496	5084	5084	13257	13257	36,3
B 737 500	9599	9699	5894	5894	14985	14985	41,1
B 737 800	8613	8613	4266	4266	13442	13442	36,8
<i>2011 р.</i>							
A320	3210	3210	1677	1677	4898	4898	Немає даних
A321	2843	2843	1469	1469	4363	4363	13,5
B 737 300	9	9	8	8	14	14	Немає даних
B 737 400	1541	1541	851	851	2373	2373	Немає даних
B 737 500	62	62	48	48	91	91	Немає даних
B 767 200	40	40	27	27	65	65	Немає даних
EMB145	14	14	10	10	22	22	Немає даних
ERJ195	141	141	71	71	237	237	0,7
DC9 82	959	959	592	592	1588	1588	4,8
<i>2012 р.</i>							
AN148	1349	1349	1723	1723	2357	2357	19,3
B 737 300	7037	7037	4896	4896	12316	12316	33,7
B 737 300	1011	1011	1003	1003	1855	1855	5,1
B 737 400	8579	8579	5810	5810	18525	18525	10,2
B 737 500	9270	9270	7204	7204	16246	16246	7,4
B 737 800	10551	10551	5486	5486	17672	17672	12,1
<i>Авіаперевізник: WIZZ AIR UKRAINE</i>							
<i>2011 р.</i>							
A320	5219	5223	3562	3562	7977	7977	11,0
<i>2012 р.</i>							
A320	3007	3007	3562	3562	8840	8840	12,1

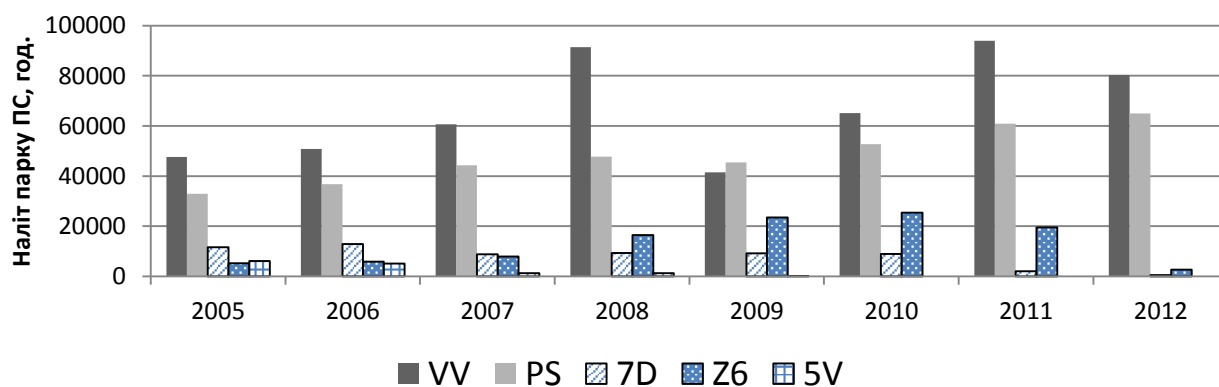


Рисунок И.1 – Порівняння обсягів нальоту парку ПС провідних авіакомпаній України

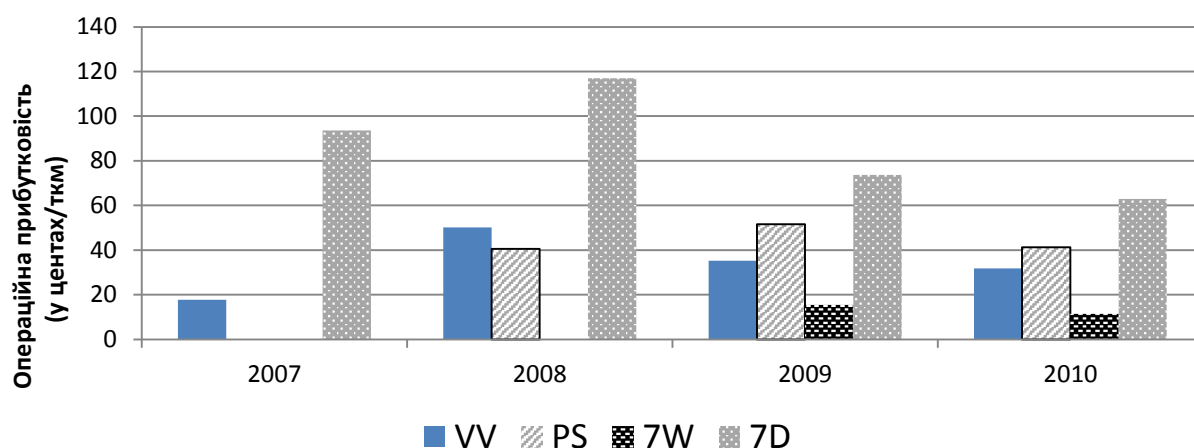


Рисунок И.2 – Порівняння авіакомпаній України за показником питомої прибутковості

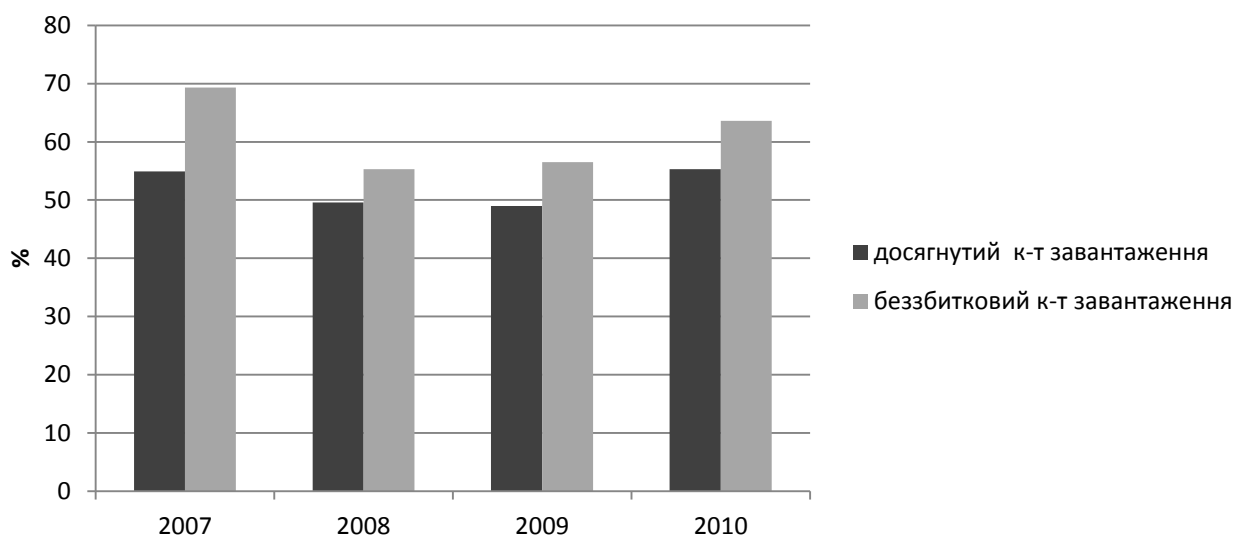


Рисунок И.3 – Порівняння фактичного коефіцієнту комерційного завантаження з точкою беззбитковості, авіакомпанія VV

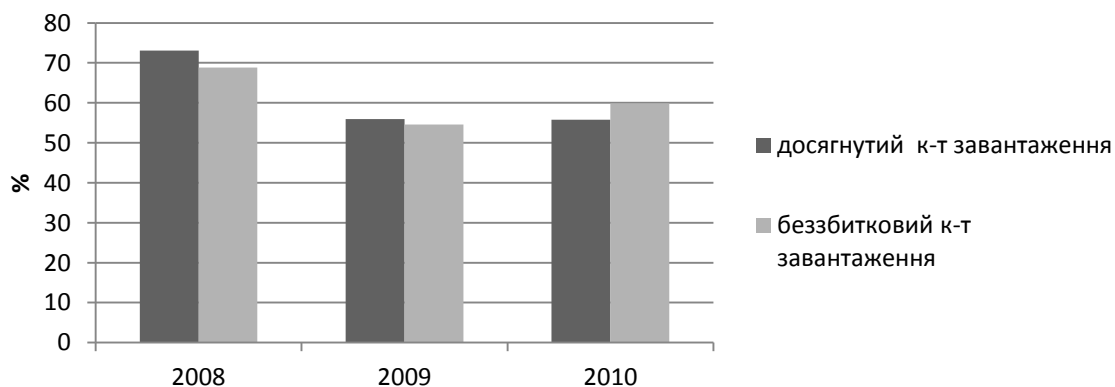


Рисунок И.4 – Порівняння фактичного коефіцієнту комерційного завантаження з точкою беззбитковості, авіакомпанія PS

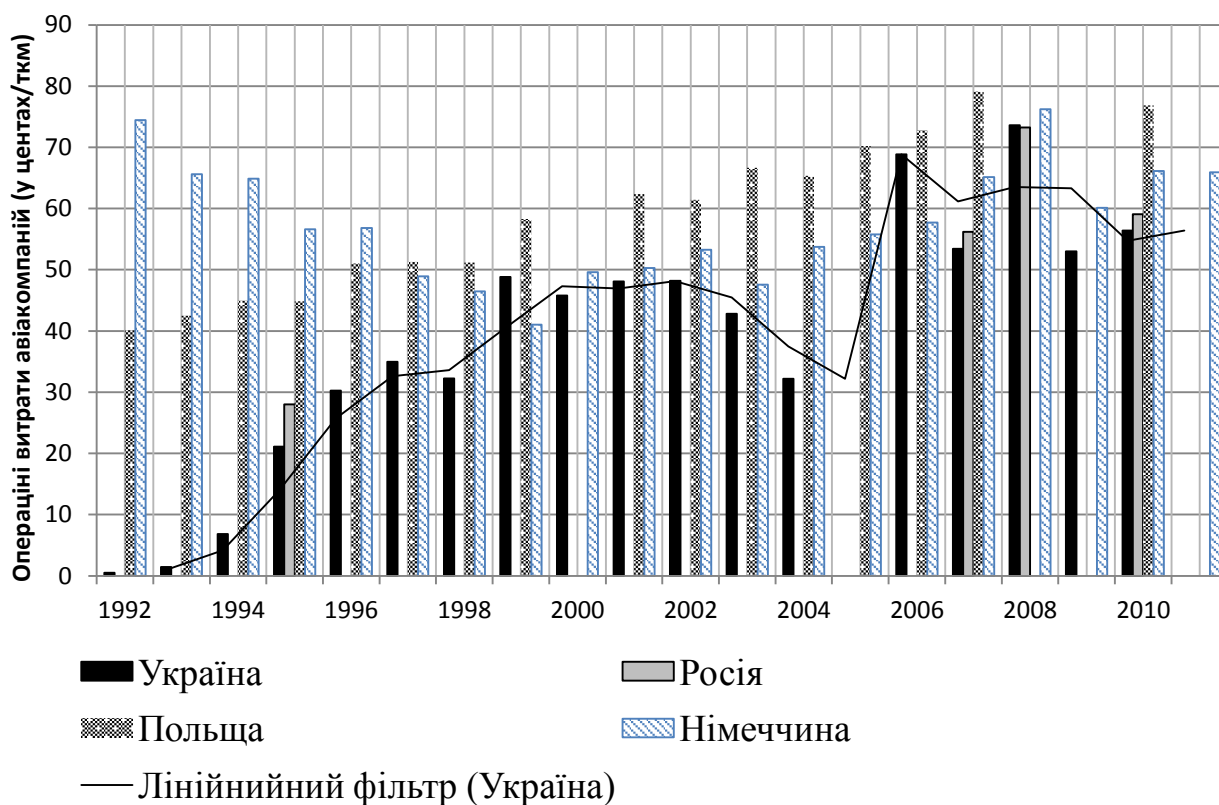


Рисунок И.5. Порівняння динаміки витрат на одиницю авіаперевезень за країнами (складено за даними ICAO)

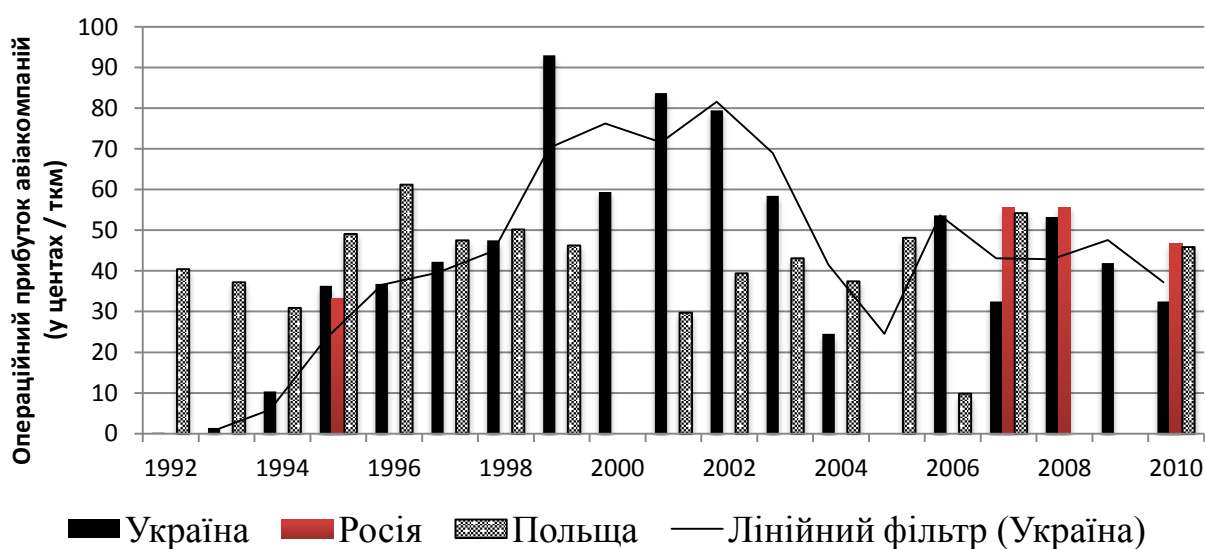


Рисунок И.6 – Порівняння динаміки прибутковості одиниці авіаперевезень за країнами (складено за даними ICAO)

Таблиця И.4 – Доходність і собівартість одиниці авіап перевезень

Рік	Загалом операційний дохід	Витрати на од.	Досягнутий к-т завантаження	Точка беззбитковості
	(у центрах / ткм)	(у центрах / ткм)	(%)	(%)
Україна				
1992	0,76	0,53	58,3	70,3
1993	2,84	1,47	47,8	51,9
1994	17,2	6,82	42,8	40,1
1995	57,44	21,12	38,3	36,8
1996	67,05	30,26	43,7	45,1
1997	77,23	34,97	42,2	45,3
1998	79,75	32,25	39,3	40,4
1999	141,82	48,82	33,6	34,4
2000	105,19	45,77	42,4	43,5
2001	131,78	48,07	37,8	36,5
2002	127,65	48,18	38,2	37,7
2003	101,26	42,81	43,1	42,3
2004	56,73	32,19	56,5	56,7
2005	н/д	н/д	н/д	н/д
2006	122,53	68,87	54,8	56,2
2007	85,93	53,42	57,6	62,2
2008	126,85	73,59	55,8	58,0
2009	94,92	53,00	52,5	55,8
2010	88,91	56,43	57,1	63,5

Таблиця И.5 – Умовний розподіл аеропортів за регіонами України

Область	Аеропорт	Пасажиропотік, 2012 р.			Перелік ДАСУ ⁵	Форма власності
		Загалом, тис. пас.	Міжнар., тис. пас.	Внутр., тис. пас.		
1	2	3	4	5	6	7
Центральний регіон						
Київ	Міжнародний аеропорт «Київ» (Жуляни)*	861,9	590,5	271,4	+	КП
Київська область	Аеродром Київ/Антонов*	н/д	н/д	н/д	+	ДП
	«Міжнародний аеропорт Бориспіль»	8468,9	7432	1036,9	+	ДП ⁶

⁵ ДАСУ – Державна авіаційна служба України⁶ Державне підприємство – підприємство, засноване на державній власності, в тому числі казенне підприємство.

Продовження табл. И.5

Область	Аеропорт	Пасажиропотік, 2012 р.			Перелік ДАСУ ⁷	Форма власності
		Загалом, тис. пас.	Міжнар., тис. пас.	Внутр., тис. пас.		
1	2	3	4	5	6	7
Кіровоградська область	Аеродром «Кіровоград», «Кіровоградська льотна академія НАУ»*	0	0	0	-	ДП
Полтавська область	Аеродром «Кременчук», Національний авіаційний університет*	0	0	0	-	ДП
	Аеропорт Миргород	0	0	0	-	н/д
	Аеропорт – Полтава (Супрунівка)*	1,4	0	1,4	+	ОКП
Житомирська область	Аеропорт Житомир «Озерне»*	0	0	0	-	н/д
Вінницька область	Аеропорт «Вінниця» (Гавришівка)*	10,2	10	0,2	+	ОКП ⁸
Сумська область	«Аеропорт Суми»*	0,5	0,2	0,3	+	ОКП
Черкаська область	«Аеропорт Черкаси»*	0	0	0	+	КП
Чернігівська область	Аеропорт Чернігів	0	0	0	-	н/д
Південний регіон						
Автономна Республіка Крим	«Міжнародний аеропорт «Сімферополь»*	1113,9	755,9	358	+	ПАТ ⁹
	Аеропорт «Керч» не сертифікований	0	0	0	-	н/д
Севастополь	Аеропорт «Бельбек» (Севастополь)*	2,4	0,6	1,8	+	ТОВ ¹⁰
Миколаївська область	«Міжнародний аеропорт Миколаїв»*	22,9	21,5	1,4	+	КП
Одеська область	Міжнародний Аеропорт «Ізмаїл» не сертифікований	0	0	0	-	н/д
	«Міжнародний аеропорт Одеса»*	907,6	724,3	183,3	+	КП
	«Міжнародний аеропорт Лиманське» не сертифікований	0	0	0	+	ТОВ

⁷ ДАСУ – Державна авіаційна служба України⁸ Комунальним підприємством є самостійний господарюючий статутний суб'єкт, який може здійснювати виробничу, науково-дослідницьку і комерційну діяльність з метою одержання відповідного прибутку (доходу).⁹ Публічне акціонерне товариство – це відкрите акціонерне товариство, в якому можуть взяти участь будь-які представники населення. Зазвичай такі товариства організовуються для вирішення муніципальних господарських проблем; може здійснювати публічне та приватне розміщення акцій.¹⁰ Товариство з обмеженою відповідальністю може бути засноване однією або кількома особами, статутний капітал його розділений на частини, розмір яких встановлюється статутом.

Закінчення табл. И.5

Область	Аеропорт	Пасажиропотік, 2012 р.			Перелік ДАСУ ¹²	Форма власності
		Загалом, тис. пас.	Міжнар., тис. пас.	Внутр., тис. пас.		
1	2	3	4	5	6	7
Херсонська область	Аеропорт «Херсон» *	0	0	0	+	КП
Східний регіон						
Дніпропетровська область	«Міжнародний аеропорт «Дніпропетровськ»*	444,2	293,7	150,5	+	ТОВ
	«Міжнародний аеропорт Кривий Ріг»*	9,0	7,3	1,7	+	КП
Донецька область	«Міжнародний аеропорт Донецьк імені С.С. Прокоф'єва»*	1000,0	688,9	311,1	+	КП
	Аеропорт «Маріуполь»*	4,0	2,2	1,8	+	ПАТ «Азовзагальмаш»
Луганська область	«Міжнародний аеропорт Луганськ»*	51,1	32,0	19,1	+	ОКП
	Аеропорт «Сєвєродонецьк» не сертифікований	0	0	0	-	НАК «Нафтогаз України»
Харківська область	«Міжнародний аеропорт Харків»*	501,4	395,2	106,2	+	ТОВ «Нью Системс АМ»
Запорізька область	Аеропорт «Бердянськ» не сертифікований	0	0	0	-	н/д
	«Міжнародний аеропорт Запоріжжя»*	56,7	43,9	12,8	+	КП
Західний регіон						
Волинська область	Аеропорт Луцьк (Крупа)	0	0	0	-	н/д
Закарпатська область	«Міжнародний аеропорт Ужгород»*	10,0	1,8	8,2	+	ОКП
Івано-Франківська область	Філія «Міжнародний аеропорт «Івано-Франківськ»*	31,7	2,6	29,1	+	ТОВ И «Скорзонера»
Львівська область	«Міжнародний аеропорт «Львів» імені Данила Галицького»*	576,0	447,2	128,8	+	ДП
Рівненська область	«Міжнародний аеропорт Рівне»*	0	0	0	+	ОКП
Тернопільська область	«Аеропорт Тернопіль»*	0	0	0	+	ОКП
Чернівецька область	«Міжнародний аеропорт Чернівці»*	27,3	23,8	3,5	+	КП
Хмельницька область	Аеропорт Хмельницький не сертифікований	0	0	0	-	н/д

*Аеродроми, що внесені до Державного реєстру цивільних аеродромів України (станом на 16.12.2013)

¹¹ Лиманське – міжнародний (з 2008 р.) аеропорт на північному заході Одеської області.¹² ДАСУ – Державна авіаційна служба України



■ іноземні а/к, 2011 р. ■ українські а/к, 2011 р.

Рисунок И.7 – Обсяги поштових та вантажних потоків в аеропортах України
(за даними ДАС України)

Таблиця И.6 – Статистичні дані щодо експлуатації далекомагістральних маршрутів (складено за даними ICAO, 2011 р.)

Тип ПС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро-місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)	Загальне комерційне завантаження	Комерційні перевезення	
						Пошта	Вантаж
						тонни	
Київ – Бангкок (7417 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
BOEING 767 300	303	66236	50409	76,1	12322	6	173
Загалом	303	66236	50409	76,1	12322	6	173
Бангкок – Київ (7417 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
BOEING 767 300	303	66213	52226	78,9	12320	0	2101
Загалом	303	66213	52226	78,9	12320	0	2101
Київ – Пекін (6459 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
BOEING 767 300	198	44808	37169	83,0	8039	22	252
Загалом	198	44808	37169	83,0	8039	22	252
Пекін – Київ (6459 км)							
BOEING 767 300	198	44808	34079	76,1	8039	0	1227
Загалом	198	44808	34079	76,1	8039	0	1227
Київ – Коломбо (6614 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
BOEING 767 300	27	5838	4452	76,3	1090	0	1
Перевізник: UKRAINE INTL AIRLINES (PS) (Україна)							
BOEING 737	39	7371	2862	38,8	2249	0	0
Загалом	66	13209	7314	55,4	3339	0	1
Коломбо – Київ (6614 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
BOEING 767 300	27	5838	3450	59,1	1090	0	138
Перевізник: UKRAINE INTL AIRLINES (PS) (Україна)							
BOEING 737	39	7371	3036	41,2	2249	0	0
Загалом	66	13209	6486	49,1	3339	0	138
Київ – Делі (4578 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
AIRBUS A321	4	777	720	92,7	84	0	0
BOEING 767 300	100	21396	15763	73,7	4043	2	37
Загалом	104	22173	16483	74,3	4127	2	37
Делі – Київ (4578 км)							
Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)							
AIRBUS A321	4	777	599	77,1	84	0	0

Закінчення табл. И.6

Тип ІС	Кількість польотів	Наявна кількість пасажиро-місць	Кількість перевезених пасажирів	КЗ (%)	Загальне комерційне завантаження	Комерційні перевезення	
						Пошта	Вантаж
BOEING 767 300	100	21396	15374	71,9	4043	0	863
Загалом	104	22173	15973	72,0	4127	0	863
Київ – Хошимін (8106 км)							
<i>Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)</i>							
BOEING 767 300	3	650	619	95,2	122	0	2
Загалом	3	650	619	95,2	122	0	2
Хошимін – Київ (8106 км)							
<i>Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)</i>							
BOEING 767 300	3	650	71	10,9	122	0	22
Загалом	3	650	71	10,9	122	0	22
Київ – Торонто (7569 км)							
<i>Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)</i>							
BOEING 767 300	101	22254	17824	80,1	4087	14	178
Загалом	101	22254	17824	80,1	4087	14	178
Торонто – Київ (7569 км)							
<i>Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)</i>							
BOEING 767 300	101	22254	14952	67,2	3807	0	682
Загалом	101	22254	14952	67,2	3807	0	682
Київ – Нью-Йорк (7506 км)							
<i>Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)</i>							
BOEING 767 300	259	62612	55288	88,3	10575	519	561
Загалом	259	62612	55288	88,3	10575	519	561
Нью-Йорк – Київ (7506 км)							
<i>Перевізник: AEROSVIT AIRLINES (VV) (Україна)</i>							
BOEING 767 300	259	62612	52597	84,0	10575	194	1268
Загалом	259	62612	52597	84,0	10575	194	1268

ДОДАТОК К

ВХІДНІ ДАНІ ТА РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ ЗАДАЧ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАКОМПАНІЙ

К.1 Моделювання функціонування авіакомпаній на мережі авіамаршрутів (модель (5.32)-(5.36))

Таблиця К.1.1 – Коефіцієнт зайнятості крісел η_{ij}

$r = 0$						
Тип ПС	Харків – Київ	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк		
B767-300	0,38	0,95	0,69	0,85		
B737-300	0,74	-	0,95	-		
B737-800	0,54	-	0,95	0,95		
ERJ-190	0,96	-	0,95	-		
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	0,38	0,36	0,85	0,95	0,69	0,85
B737-300	0,74	0,7	-	-	0,95	-
B737-800	0,54	0,51	-	-	0,95	0,95
ERJ-190	0,96	0,91	-	-	0,95	-

Таблиця К.1.2 – Витрати в дол. США на кожні 100 пас.-км, ζ_{ij} (приклад¹³)

$r = 0$						
Тип ПС	Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк		Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	34,23		5,47		11,02	7,71
B737-300	25,07		-		9,55	-
B737-800	23,79		-		8,09	5,84
ERJ-190	19,16		-		6,49	-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	34,23	10,27	6,3	5,47	11,02	7,71
B737-300	25,07	8,98	-	-	9,55	-
B737-800	23,79	7,52	-	-	8,09	5,84
ERJ-190	19,16	6,02	-	-	6,49	-

¹³ Розрахунки проведено за методикою [136, додаток Г]

Таблиця К.1.3 – Максимальний місячний наліт годин ПС, h_{ij}

Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	300	300	300	300	300	300
B737-300	300	300	-	-	300	-
B737-800	300	300	-	-	300	300
ERJ-190	285	285	-	-	285	-

Таблиця К.1.4 – Витрати у зв'язку із затримкою ПС i -го типу (c_{Dij}), дол. США на год. (приклад)

$r = 0$						
Тип ПС	Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон		Лондон – Нью-Йорк
B767-300	150,00		150,00	150,00		150,00
B737-300	100,00		-	100,00		-
B737-800	100,00		-	100,00		100,00
ERJ-190	80,00		-	80,00		-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
B737-300	100,00	100,00	-	-	100,00	-
B737-800	100,00	100,00	-	-	100,00	100,00
ERJ-190	80,00	80,00	-	-	80,00	-

Таблиця К.1.5 – Середній час затримки на етапах маршрутів j (D_j^a), год. (приклад)

$r = 0$						
Тип ПС	Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон		Лондон – Нью-Йорк
B767-300	0,08		0,25	0,25		0,25
B737-300	0,08		-	0,25		-
B737-800	0,08		-	0,25		0,25
ERJ-190	0,08		-	0,25		-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	0,08	0,08	0,08	0,17	0,25	0,25
B737-300	0,08	0,08	-	-	0,25	-
B737-800	0,08	0,08	-	-	0,25	0,25
ERJ-190	0,08	0,08	-	-	0,25	-

Таблиця К.1.6 – Ймовірність затримки рейсу на етапах маршрутів j, ξ_j^a
(приклад)

$r = 0$						
Тип ПС		Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300		0,01		0,10	0,10	0,10
B737-300		0,01		-	0,10	-
B737-800		0,01		-	0,10	0,10
ERJ-190		0,01		-	0,10	-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	0,01	0,01	0,01	0,02	0,10	0,10
B737-300	0,01	0,01	-	-	0,10	-
B737-800	0,01	0,01	-	-	0,10	0,10
ERJ-190	0,01	0,01	-	-	0,10	-

Таблиця К.1.7 – Час затримки пасажирів в аеропорту на етапах маршрутів $j (D_j^{pax})$, год. (приклад¹⁴)

$r = 0$							
Тип ПС		Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк		Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300		-		2,00		2,00	2,00
B737-300		-		-		2,00	-
B737-800		-		-		2,00	2,00
ERJ-190		-		-		2,00	-
$r = 1$							
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк	
B767-300	-	-	-	2	2	2	
B737-300	-	-	-	-	2	-	
B737-800	-	-	-	-	2	2	
ERJ-190	-	-	-	-	2	-	

¹⁴ В розрахунках приймається не менше, ніж мінімальний час стиковки

Таблиця К.1.8 – Витрати пасажира у зв'язку із затримкою в аеропорту на етапах маршрутів j ($c_{D_{pax}j}$), дол. США на год. (приклад)

$r = 0$						
Тип ПС		Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300		-		10,00	15,00	15,00
B737-300		-		-	15,00	-
B737-800		-		-	15,00	15,00
ERJ-190		-		-	15,00	-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	-	-	-	10,00	15,00	15,00
B737-300	-	-	-	-	15,00	-
B737-800	-	-	-	-	15,00	15,00
ERJ-190	-	-	-	-	15,00	-

Таблиця К.1.9 – Середньостатистична частка трансферних пасажирів на етапах маршрутів j (ϑ_{jt}^{pax}) (приклад)

$r = 0$						
Тип ПС		Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300		0,00		0,30	0,30	0,30
B737-300		0,00		-	0,30	-
B737-800		0,00		-	0,30	0,30
ERJ-190		0,00		-	0,30	-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	0,00	0,00	0,00	0,30	0,30	0,30
B737-300	0,00	0,00	-	-	0,30	-
B737-800	0,00	0,00	-	-	0,30	0,30
ERJ-190	0,00	0,00	-	-	0,30	-

Таблиця К.1.10 – Кількість слотів в аеропортах на етапах маршрутів j (S_j) (приклад¹⁵)

Етапи маршрутів	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
Кількість слотів	120,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

¹⁵ Враховується наявність координованих та некоординованих аеропортів на етапах маршруту, визначається мінімальним значенням одного з аеропортів етапу маршруту.

Таблиця К.1.11 – Можливості авіаперевезень і витрати

Продуктивність ПС на маршрутах (p_{ij}), 100 пас. (5.37)						
$r = 0$						
Тип ПС	Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк		Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	0,38		0,95		0,69	0,85
B737-300	0,74		-		0,95	-
B737-800	0,54		-		0,95	0,95
ERJ-190	0,96		-		0,95	-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	311	46	36	41	106	50
B737-300	324	48	-	-	78	-
B737-800	348	52	-	-	116	44
ERJ-190	311	47	-	-	58	-
Витрати з експлуатації ПС на місяць (c_{ij}), тис. дол. (5.38)						
$r = 0$						
Тип ПС	Харків – Київ		Київ – Нью-Йорк		Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	4322		1688		2507	2148
B737-300	3297		-		1599	-
B737-800	3361		-		2014	1431
ERJ-190	2419		-		808	-
$r = 1$						
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк
B767-300	4322	1204	1781	1688	2507	2148
B737-300	3297	1098	-	-	1599	-
B737-800	3361	996	-	-	2014	1431
ERJ-190	2419	721	-	-	808	-

Запис та розв'язання задачі (5.32)-(5.36) в ППП LINDO:

1) Розв'язання задачі при $c_{D_{ij}} = 0$, $c_{D_{max j}} = 0$:

- Існуюча мережа:

Max

-1834q11-705q21-577q31+69q41+34q12-281q13+39q23+422q33+410q43-398q14+109q34

St

311q11+324q21+348q31+311q41>=10

41q12>=58

106q13+78q23+116q33+58q43>=118

50q14+44q34>=159

q11+q12+q13+q14<=3

q21+q23<=5

q31+q33+q34<=8

q41+q43<=5

$q_{11}+q_{21}+q_{31}+q_{41}\leq 120$
 $q_{12}\leq 10$
 $q_{13}+q_{23}+q_{33}+q_{43}\leq 10$
 $q_{14}+q_{34}\leq 10$

end
 gin 11

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 14
 OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 4013.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
q11	0.000000	1834.000000	2)	301.000000	0.000000
q21	0.000000	705.000000	3)	65.000000	0.000000
q31	0.000000	577.000000	4)	734.000000	0.000000
q41	1.000000	-69.000000	5)	17.000000	0.000000
q12	3.000000	-34.000000	6)	0.000000	0.000000
q13	0.000000	281.000000	7)	3.000000	0.000000
q23	2.000000	-39.000000	8)	0.000000	0.000000
q33	4.000000	-422.000000	9)	0.000000	0.000000
q43	4.000000	-410.000000	10)	119.000000	0.000000
q14	0.000000	398.000000	11)	7.000000	0.000000
q34	4.000000	-109.000000	12)	0.000000	0.000000
			13)	6.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 16

- Розширена мережа:

Max

$-1834q_{11}-705q_{21}-577q_{31}+69q_{41}-284q_{12}-138q_{22}+44q_{32}+219q_{42}+19q_{13}+34q_{14}-$
 $281q_{15}+39q_{25}+422q_{35}+410q_{45}-398q_{16}+109q_{36}$

St

$311q_{11}+324q_{21}+348q_{31}+311q_{41}\geq 10$

$46q_{12}+48q_{22}+52q_{32}+47q_{42}\geq 18$

$36q_{13}\geq 9$

$41q_{14}\geq 49$

$106q_{15}+78q_{25}+116q_{35}+58q_{45}\geq 100$

$50q_{16}+44q_{36}\geq 150$

$q_{11}+q_{12}+q_{13}+q_{14}+q_{15}+q_{16}\leq 3$

$q_{21}+q_{22}+q_{25}\leq 5$

$q_{31}+q_{32}+q_{35}+q_{36}\leq 8$

$q_{41}+q_{42}+q_{45}\leq 5$

$q_{11}+q_{21}+q_{31}+q_{41}\leq 120$

```

q12+q22+q32+q42<=10
q13<=10
q14<=10
q15+q25+q35+q45<=10
q16+q36<=10
end
gin 16

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 23
OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 3860.000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
q11	0.000000	1834.000000	2)	301.000000	0.000000
q21	0.000000	705.000000	3)	30.000000	0.000000
q31	0.000000	577.000000	4)	27.000000	0.000000
q41	1.000000	-69.000000	5)	33.000000	0.000000
q12	0.000000	284.000000	6)	752.000000	0.000000
q22	1.000000	138.000000	7)	26.000000	0.000000
q32	0.000000	-44.000000	8)	0.000000	0.000000
q42	0.000000	-219.000000	9)	2.000000	0.000000
q13	1.000000	-19.000000	10)	0.000000	0.000000
q14	2.000000	-34.000000	11)	0.000000	0.000000
q15	0.000000	281.000000	12)	119.000000	0.000000
q25	2.000000	-39.000000	13)	9.000000	0.000000
q35	4.000000	-422.000000	14)	9.000000	0.000000
q45	4.000000	-410.000000	15)	8.000000	0.000000
q16	0.000000	398.000000	16)	0.000000	0.000000
q36	4.000000	-109.000000	17)	6.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 28

1) Розв'язання задачі при заданих $c_{D_{ij}}$, та $c_{D_{maxj}}$:

- Існуюча мережа:

Max

-1834q11-705q21-577q31+69q41+34q12-281q13+39q23+422q33+410q43-398q14+109q34-0.13q11-
0.09q21-0.09q31-0.07q41-3.75q12-3.75q13-2.5q23-2.5q33-2q43-3.75q14-2.5q34-246q12-954q13-450q14-
702q23-1044q33-522q43-396q34

St

311q11+324q21+348q31+311q41>=10

41q12>=58

106q13+78q23+116q33+58q43>=118

50q14+44q34>=159

q11+q12+q13+q14<=3

q21+q23<=5

q31+q33+q34<=8

q41+q43<=5

```

q11+q21+q31+q41<=120
q12<=10
q13+q23+q33+q43<=10
q14+q34<=10
end
gin 11

```

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 12 OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) -1793.640

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
q11	0.000000	1834.130005	2)	612.000000	0.000000
q21	0.000000	705.090027	3)	24.000000	0.000000
q31	0.000000	577.090027	4)	56.000000	0.000000
q41	2.000000	-68.930000	5)	17.000000	0.000000
q12	2.000000	215.750000	6)	1.000000	0.000000
q13	0.000000	1238.750000	7)	5.000000	0.000000
q23	0.000000	665.500000	8)	4.000000	0.000000
q33	0.000000	624.500000	9)	0.000000	0.000000
q43	3.000000	114.000000	10)	118.000000	0.000000
q14	0.000000	851.750000	11)	8.000000	0.000000
q34	4.000000	289.500000	12)	7.000000	0.000000
			13)	6.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 16

- Розширена мережа:

Max

-1834q11-705q21-577q31+69q41-284q12-138q22+44q32+219q42+19q13+34q14-
281q15+39q25+422q35+410q45-398q16+109q36-0.13q11-0.09q21-0.09q31-0.07q41-0.13q12-0.09q22-
0.09q32-0.07q42-0.12q13-0.5q14-3.75q15-2.5q25-2.5q35-2q45-3.75q16-2.5q36-246q14-954q15-450q16-
702q25-1044q35-522q45-450q16-396q36

St

311q11+324q21+348q31+311q41>=10

46q12+48q22+52q32+47q42>=18

36q13>=9

41q14>=49

106q15+78q25+116q35+58q45>=100

50q16+44q36>=150

q11+q12+q13+q14+q15+q16<=3

q21+q22+q25<=5

q31+q32+q35+q36<=8

q41+q42+q45<=5

q11+q21+q31+q41<=120

q12+q22+q32+q42<=10

q13<=10

q14<=10

q15+q25+q35+q45<=10

q16+q36<=10

end

gin 16

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 7
OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) -1109.690

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST	ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
q11	0.000000	1834.130005	2)	301.000000	0.000000
q21	0.000000	705.090027	3)	284.000000	0.000000
q31	0.000000	577.090027	4)	27.000000	0.000000
q41	1.000000	-68.930000	5)	33.000000	0.000000
q12	0.000000	284.130005	6)	16.000000	0.000000
q22	0.000000	138.089996	7)	26.000000	0.000000
q32	4.000000	-43.910000	8)	0.000000	0.000000
q42	2.000000	-218.929993	9)	5.000000	0.000000
q13	1.000000	-18.879999	10)	0.000000	0.000000
q14	2.000000	212.500000	11)	0.000000	0.000000
q15	0.000000	1238.750000	12)	119.000000	0.000000
q25	0.000000	665.500000	13)	4.000000	0.000000
q35	0.000000	624.500000	14)	9.000000	0.000000
q45	2.000000	114.000000	15)	8.000000	0.000000
q16	0.000000	1301.750000	16)	8.000000	0.000000
q36	4.000000	289.500000	17)	6.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 16

Таблиця К.1.12 – Результати розрахунків за моделлю (5.32)-(5.36)

Умова завдання							
Варіант декомпозиції мережі та складу парку ПС							
Тип ПС	авіамаршрути						Всього за типами ПС
<i>Розподіл парку ПС за маршрутами без врахування витрат на затримку в АТС</i>							
$r=0$							
Тип ПС	Харків – Київ	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк	Всього за типами ПС		
B767-300	0	3	0	0	3		
B737-300	0	-	2	-	2		
B737-800	0	-	4	4	8		
ERJ-190	1	-	4	-	5		
Всього за етапами маршрутів	1	3	10	4	18		
Очікуваний прибуток, тис. дол.США/місяць						4013,00	
$r = 1$							
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк	Всього за типами ПС
B767-300	0	0	1	2	0	0	3
B737-300	0	1	-	-	2	-	3
B737-800	0	0	-	-	4	4	8
ERJ-190	1	0	-	-	4	-	5
Всього за етапами маршрутів	1	6	1	2	2	4	19
Очікуваний прибуток, тис. дол.США/місяць						3860,00	

Закінчення табл. К.1.12

Умова завдання							
Варіант декомпозиції мережі та складу парку ПС							
Тип ПС	авіамаршрути				Всього за типами ПС		
Розподіл парку ПС за етапами маршрутів з врахуванням витрат на затримку в АТС							
r = 0							
Тип ПС	Харків – Київ	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк	Всього за типами ПС		
B767-300	0	2	0	0	2		
B737-300	0	-	0	-	0		
B737-800	0	-	0	4	4		
ERJ-190	2	-	3	-	5		
Всього за етапами маршрутів	2	2	3	4	11		
Очікуваний прибуток, тис. дол.США/місяць					-1793,64		
r = 1							
Тип ПС	Харків – Київ	Харків – Лондон	Харків – Нью-Йорк	Київ – Нью-Йорк	Київ – Лондон	Лондон – Нью-Йорк	Всього за типами ПС
B767-300	0	0	1	2	0	0	3
B737-300	0	0	-	-	0	-	0
B737-800	0	4	-	-	0	4	8
ERJ-190	1	2	-	-	2	-	5
Всього за етапами маршрутів	1	6	1	2	2	4	16
Очікуваний прибуток, тис. дол.США/місяць							-1109,69

К.2 Планування частоти рейсів на мережі маршрутів авіакомпанії ((модель (5.43)-(5.48))

Запис та розв'язання задачі (5.43)-(5.48) в ППП LINDO

Max

1530v11+1530v12+810v13+1000v14+660v15+400v16+700v17+855v18+1530v21+1530v22+810v23+1000v24+660v25+400v26+700v27+855v28+2065v31+2065v32+1093v33+1350v34+891v35+540v36+945v37+1154v38+1683v41+1683v42+891v43+1100v44+726v45+440v46+770v47+940v48+1989v51+1989v52+1053v53+1300v54+858v55+520v56+910v57+1111v58+1989v61+1989v62+1053v63+1300v64+858v65+520v66+910v67+1111v68+1143v71+1143v72+603v73+747v74+495v75+306v76+531v77+643v78+7469v81+7469v82+3947v83+4876v84+3250v85+1973v86+3444v87+4179v88+4752v91+4752v92+2511v93+3105v94+2052v95+2187v97+2659v98+4432v101+4432v102+2340v103+2913v104+1917v105+1170v106+2041v107+2490v108+7476v111+7476v112+3948v113+4872v114+3234v115+1974v116+3444v117+4200v118+5317v121+5317v122+2803v123+3468v124+2312v125+1416v126+2456v127+2976v128+3468v131+3468v132+1836v133+2269v134+1504v135+918v136+1606v137+1950v138+3037v141+3037v142+1593v143+1967v144+1319v145+796v146+1394v147+1693v148+3276v151+3276v152+1722v153+2142v154+1407v155+861v156+1512v157+1837v158+9765v168+3809v171+3809v172+2016v173+2490v174+1643v175+996v176+1743v177+2128v178+4275v181+4275v182+2250v183+2800v184+1850v185+1125v186+1975v187+2400v188+3543v191+3543v192+1869v193+2315v1

94+1534v195+920v196+1618v197+1980v198+4575v201+4575v202+2425v203+3000v204+1975v205+1200v206+2100
 v207+2562v208+4368v211+4368v212+2296v213+2856v214+1876v215+1148v216+2016v217+2450v218+4577v221+4
 577v222+2415v223+2990v224+2001v225+1219v226+2116v227+2576v228+5370v231+5370v232+2850v233+3510v23
 4+2340v235+1410v236+2490v237+3015v238+5325v241+5325v242+2800v243+3475v244+2300v245+1400v246+2450
 v247+2987v248+4176v251+4176v252+2208v253+2736v254+1824v255+1104v256+1920v257+2352v258+284816v271
 +4816v272+2548v273+3164v274+2100v275+1288v276+2240v277+2702v278+3525v281+3525v282+1850v283+2300v
 284+1525v285+925v286+1625v287+1975v288+2506v291+2506v292+1316v293+1638v294+1092v295+658v296+1148
 v297+1407v298+3439v301+3439v302+1825v303+2246v304+1497v305+912v306+1591v307+1930v308+3555v311+35
 55v312+1867v313+2317v314+1552v315+1642v317+1991v318+3397v321+3397v322+1800v323+2227v324+1462v325
 +1575v327+1901v328+3588v331+3588v332+1886v333+2346v334+1564v335+943v336+1656v337+2012v338+2928v3
 41+2928v342+1536v343+1920v344+1272v345+768v346+1344v347+1644v348+2385v351+2385v352+1260v353+1560
 v354+1035v355+630v356+1095v357+1342v358+3519v361+3519v362+1863v363+2300v364+1518v365+920v366+161
 0v367+1966v368+6405v371+6405v372+3395v373+4200v374+2800v375+2975v377+3605v378+3978v381+3978v382+
 2106v383+2600v384+1716v385+1040v386+1820v387+2223v388+6068v391+6068v392+3219v393+3959v394+2627v3
 95+2812v397+3404v398+3978v401+3978v402+2106v403+2600v404+1716v405+1040v406+1820v407+2223v408+363
 3v411+3633v412+1911v413+2373v414+1575v415+966v416+1680v417+2037v418+5320v421+5320v422+2796v423+3
 465v424+2310v425+1398v426+2462v427+2979v428+5642v431+5642v432+2976v433+3689v434+2449v435+1488v43
 6+2604v437+3162v438+4628v441+4628v442+2444v443+3016v444+2002v445+1222v446+2132v447+2600v448+3476
 v451+3476v452+1826v453+2266v454+1518v455+924v456+1606v457+1947v458+3025v461+3025v462+1600v463+19
 75v464+1300v465+800v466+1400v467+1687v468+4576v471+4576v472+2400v473+2976v474+1984v475+2112v477+
 2560v478+2631v481+2631v482+1378v483+1718v484+1145v485+698v486+1217v487+1476v488+2176v491+2176v49
 2+1152v493+1424v494+944v495+576v496+1008v497+1224v498+3508v501+3508v502+1861v503+2291v504+1521v5
 05+930v506+1611v507+1969v508+3192v511+3192v512+1691v513+2090v514+1387v515+855v516+1482v517+1795v
 518+3230v521+3230v522+1710v523+2109v524+1406v525+855v526+1482v527+1805v528+2821v531+2821v532+148
 5v533+1848v534+1221v535+742v536+1303v537+1584v538+3097v541+3097v542+1634v543+2033v544+1349v545+8
 17v546+1425v547+1738v548+4631v551+4631v552+2448v553+3009v554+2006v555+1209v556+2124v557+2596v558
 +5312v561+5312v562+2784v563+3456v564+2304v565+1408v566+2432v567+2976v568+5528v571+5528v572+2907v
 573+3625v574+2405v575+1471v576+2548v577+3105v578+4958v581+4958v582+2627v583+3256v584+2146v585+12
 95v586+2294v587+2775v588+5355v591+5355v592+2835v593+3500v594+2310v595+2450v597+2992v598+5328v601
 +5328v602+2817v603+3487v604+2315v605+1422v606+2455v607+2985v608+6930v611+6930v612+3675v613+4515v
 614+3010v615+3185v617+3885v618

ST

153v11+153v12+81v13+100v14+66v15+40v16+70v17+171v18<=400
 153v21+153v22+81v23+100v24+66v25+40v26+70v27+171v28<=600
 153v31+153v32+81v33+100v34+66v35+40v36+70v37+171v38<=600
 153v41+153v42+81v43+100v44+66v45+40v46+70v47+171v48<=600
 153v51+153v52+81v53+100v54+66v55+40v56+70v57+171v58<=600
 153v61+153v62+81v63+100v64+66v65+40v66+70v67+171v68<=600
 127v71+127v72+67v73+83v74+55v75+34v76+59v77+143v78<=600
 193v81+193v82+102v83+126v84+84v85+51v86+89v87+216v88<=2100
 176v91+176v92+93v93+115v94+76v95+81v97+197v98<=2200
 178v101+178v102+94v103+117v104+77v105+47v106+82v107+200v108<=2000
 178v111+178v112+94v113+116v114+77v115+47v116+82v117+200v118<=2000
 184v121+184v122+97v123+120v124+80v125+49v126+85v127+206v128<=300
 136v131+136v132+72v133+89v134+59v135+36v136+63v137+153v138<=400
 122v141+122v142+64v143+79v144+53v145+32v146+56v147+136v148<=200
 156v151+156v152+82v153+102v154+67v155+41v156+72v157+175v158<=600
 217v168<=1000
 153v171+153v172+81v173+100v174+66v175+40v176+70v177+171v178<=350
 171v181+171v182+90v183+112v184+74v185+45v186+79v187+192v188<=450
 127v191+127v192+67v193+83v194+55v195+33v196+58v197+142v198<=400
 183v201+183v202+97v203+120v204+79v205+48v206+84v207+205v208<=500
 156v211+156v212+82v213+102v214+67v215+41v216+72v217+175v218<=400

199v221+199v222+105v223+130v224+87v225+53v226+92v227+224v228<=1200
 179v231+179v232+95v233+117v234+78v235+47v236+83v237+201v238<=2600
 213v241+213v242+112v243+139v244+92v245+56v246+98v247+239v248<=600
 174v251+174v252+92v253+114v254+76v255+46v256+80v257+196v258<=1600

159v261+159v262+84v263+104v264+69v265+42v266+73v267+178v268<=500

172v271+172v272+91v273+113v274+75v275+46v276+80v277+193v278<=600
 141v281+141v282+74v283+92v284+61v285+37v286+65v287+158v288<=300
 179v291+179v292+94v293+117v294+78v295+47v296+82v297+201v298<=300
 178v301+178v302+94v303+116v304+77v305+47v306+82v307+200v308<=2000
 158v311+158v312+83v313+103v314+69v315+73v317+177v318<=750
 151v321+151v322+80v323+99v324+65v325+70v327+169v328<=1200
 156v331+156v332+82v333+102v334+68v335+41v336+72v337+175v338<=800
 122v341+122v342+64v343+80v344+53v345+32v346+56v347+137v348<=200
 204v351+204v352+108v353+133v354+88v355+54v356+94v357+228v358<=4000
 153v361+153v362+81v363+100v364+66v365+40v366+70v367+171v368<=500
 183v371+183v372+97v373+120v374+80v375+85v377+206v378<=300
 153v381+153v382+81v383+100v384+66v385+40v386+70v387+171v388<=300
 164v391+164v392+87v393+107v394+71v395+76v397+184v398<=300
 153v401+153v402+81v403+100v404+66v405+40v406+70v407+171v408<=300
 173v411+173v412+91v413+113v414+75v415+46v416+80v417+194v418<=600
 175v421+175v422+92v423+114v424+76v425+46v426+81v427+196v428<=800
 182v431+182v432+96v433+119v434+79v435+48v436+84v437+204v438<=300
 178v441+178v442+94v443+116v444+77v445+47v446+82v447+200v448<=300
 158v451+158v452+83v453+103v454+69v455+42v456+73v457+177v458<=400
 121v461+121v462+64v463+79v464+52v465+32v466+56v467+135v468<=200
 143v471+143v472+75v473+93v474+62v475+66v477+160v478<=300

147v481+147v482+77v483+96v484+64v485+39v486+68v487+165v488<=700
 136v491+136v492+72v493+89v494+59v495+36v496+63v497+153v498<=600
 196v501+196v502+104v503+128v504+85v505+52v506+90v507+220v508<=3500
 168v511+168v512+89v513+110v514+73v515+45v516+78v517+189v518<=300
 170v521+170v522+90v523+111v524+74v525+45v526+78v527+190v528<=300
 171v531+171v532+90v533+112v534+74v535+45v536+79v537+192v538<=200
 163v541+163v542+86v543+107v544+71v545+43v546+75v547+183v548<=300
 157v551+157v552+83v553+102v554+68v555+41v556+72v557+176v558<=1000
 166v561+166v562+87v563+108v564+72v565+44v566+76v567+186v568<=1500
 154v571+154v572+81v573+101v574+67v575+41v576+71v577+173v578<=450
 134v581+134v582+71v583+88v584+58v585+35v586+62v587+150v588<=1700
 153v591+153v592+81v593+100v594+66v595+70v597+171v598<=600
 191v601+191v602+101v603+125v604+83v605+51v606+88v607+214v608<=300
 198v611+198v612+105v613+129v614+86v615+91v617+222v618<=600
 v11+v12+v13+v14+v15+v16+v17+v18>=2 v21+v22+v23+v24+v25+v26+v27+v28>=4
 v31+v32+v33+v34+v35+v36+v37+v38>=4 v41+v42+v43+v44+v45+v46+v47+v48>=4
 v51+v52+v53+v54+v55+v56+v57+v58>=4 v61+v62+v63+v64+v65+v66+v67+v68>=2
 v71+v72+v73+v74+v75+v76+v77+v78>=2 v81+v82+v83+v84+v85+v86+v87+v88>=2
 v91+v92+v93+v94+v95+v97+v98>=2 v101+v102+v103+v104+v105+v106+v107+v108>=4
 v111+v112+v113+v114+v115+v116+v117+v118>=2 v121+v122+v123+v124+v125+v126+v127+v128>=2
 v131+v132+v133+v134+v135+v136+v137+v138>=2 v141+v142+v143+v144+v145+v146+v147+v148>=2
 v151+v152+v153+v154+v155+v156+v157+v158>=2 v168>=2
 v171+v172+v173+v174+v175+v176+v177+v178>=2 v181+v182+v183+v184+v185+v186+v187+v188>=2
 v191+v192+v193+v194+v195+v196+v197+v198>=2 v201+v202+v203+v204+v205+v206+v207+v208>=2

$v_{211}+v_{212}+v_{213}+v_{214}+v_{215}+v_{216}+v_{217}+v_{218} \geq 2$ $v_{221}+v_{222}+v_{223}+v_{224}+v_{225}+v_{226}+v_{227}+v_{228} \geq 2$
 $v_{231}+v_{232}+v_{233}+v_{234}+v_{235}+v_{236}+v_{237}+v_{238} \geq 2$ $v_{241}+v_{242}+v_{243}+v_{244}+v_{245}+v_{246}+v_{247}+v_{248} \geq 2$
 $v_{251}+v_{252}+v_{253}+v_{254}+v_{255}+v_{256}+v_{257}+v_{258} \geq 2$ $v_{261}+v_{262}+v_{263}+v_{264}+v_{265}+v_{266}+v_{267}+v_{268} \geq 2$
 $v_{271}+v_{272}+v_{273}+v_{274}+v_{275}+v_{276}+v_{277}+v_{278} \geq 2$ $v_{281}+v_{282}+v_{283}+v_{284}+v_{285}+v_{286}+v_{287}+v_{288} \geq 2$
 $v_{291}+v_{292}+v_{293}+v_{294}+v_{295}+v_{296}+v_{297}+v_{298} \geq 2$ $v_{301}+v_{302}+v_{303}+v_{304}+v_{305}+v_{306}+v_{307}+v_{308} \geq 2$
 $v_{311}+v_{312}+v_{313}+v_{314}+v_{315}+v_{317}+v_{318} \geq 2$ $v_{321}+v_{322}+v_{323}+v_{324}+v_{325}+v_{327}+v_{328} \geq 2$
 $v_{331}+v_{332}+v_{333}+v_{334}+v_{335}+v_{336}+v_{337}+v_{338} \geq 2$ $v_{341}+v_{342}+v_{343}+v_{344}+v_{345}+v_{346}+v_{347}+v_{348} \geq 2$
 $v_{351}+v_{352}+v_{353}+v_{354}+v_{355}+v_{356}+v_{357}+v_{358} \geq 4$ $v_{361}+v_{362}+v_{363}+v_{364}+v_{365}+v_{366}+v_{367}+v_{368} \geq 2$
 $v_{371}+v_{372}+v_{373}+v_{374}+v_{375}+v_{377}+v_{378} \geq 2$ $v_{381}+v_{382}+v_{383}+v_{384}+v_{385}+v_{386}+v_{387}+v_{388} \geq 2$
 $v_{391}+v_{392}+v_{393}+v_{394}+v_{395}+v_{397}+v_{398} \geq 2$ $v_{401}+v_{402}+v_{403}+v_{404}+v_{405}+v_{406}+v_{407}+v_{408} \geq 2$
 $v_{411}+v_{412}+v_{413}+v_{414}+v_{415}+v_{416}+v_{417}+v_{418} \geq 2$ $v_{421}+v_{422}+v_{423}+v_{424}+v_{425}+v_{426}+v_{427}+v_{428} \geq 2$
 $v_{431}+v_{432}+v_{433}+v_{434}+v_{435}+v_{436}+v_{437}+v_{438} \geq 2$ $v_{441}+v_{442}+v_{443}+v_{444}+v_{445}+v_{446}+v_{447}+v_{448} \geq 2$
 $v_{451}+v_{452}+v_{453}+v_{454}+v_{455}+v_{456}+v_{457}+v_{458} \geq 2$ $v_{461}+v_{462}+v_{463}+v_{464}+v_{465}+v_{466}+v_{467}+v_{468} \geq 2$
 $v_{471}+v_{472}+v_{473}+v_{474}+v_{475}+v_{477}+v_{478} \geq 2$ $v_{481}+v_{482}+v_{483}+v_{484}+v_{485}+v_{486}+v_{487}+v_{488} \geq 2$
 $v_{491}+v_{492}+v_{493}+v_{494}+v_{495}+v_{496}+v_{497}+v_{498} \geq 2$ $v_{501}+v_{502}+v_{503}+v_{504}+v_{505}+v_{506}+v_{507}+v_{508} \geq 2$
 $v_{511}+v_{512}+v_{513}+v_{514}+v_{515}+v_{516}+v_{517}+v_{518} \geq 2$ $v_{521}+v_{522}+v_{523}+v_{524}+v_{525}+v_{526}+v_{527}+v_{528} \geq 2$
 $v_{531}+v_{532}+v_{533}+v_{534}+v_{535}+v_{536}+v_{537}+v_{538} \geq 2$ $v_{541}+v_{542}+v_{543}+v_{544}+v_{545}+v_{546}+v_{547}+v_{548} \geq 2$
 $v_{551}+v_{552}+v_{553}+v_{554}+v_{555}+v_{556}+v_{557}+v_{558} \geq 2$ $v_{561}+v_{562}+v_{563}+v_{564}+v_{565}+v_{566}+v_{567}+v_{568} \geq 2$
 $v_{571}+v_{572}+v_{573}+v_{574}+v_{575}+v_{576}+v_{577}+v_{578} \geq 2$ $v_{581}+v_{582}+v_{583}+v_{584}+v_{585}+v_{586}+v_{587}+v_{588} \geq 2$
 $v_{591}+v_{592}+v_{593}+v_{594}+v_{595}+v_{597}+v_{598} \geq 2$ $v_{601}+v_{602}+v_{603}+v_{604}+v_{605}+v_{606}+v_{607}+v_{608} \geq 2$
 $v_{611}+v_{612}+v_{613}+v_{614}+v_{615}+v_{617}+v_{618} \geq 2$
 $1v_{11}+1.008v_{21}+1.16v_{31}+1.008v_{41}+1.4v_{51}+1v_{61}+1v_{71}+3v_{81}+3.4v_{91}+3.4v_{101}+7v_{111}+3.16v_{121}+3v_{131}+2.0$
 $08v_{141}+1.33v_{151}+2.91v_{171}+2.33v_{191}+2.91v_{201}+2.83v_{211}+5v_{221}+2.83v_{231}+3.16v_{241}+2.58v_{251}+2.25v_{26}$
 $1+2.83v_{271}+3v_{281}+2.33v_{291}+2.41v_{301}+4.33v_{311}+5v_{321}+2.08v_{331}+2.5v_{341}+1.41v_{351}+3.41v_{361}+5v_{371}+$
 $1.58v_{381}+4.5+8v_{391}+1.91v_{401}+1.58v_{411}+3v_{421}+2.75v_{431}+2.25v_{441}+2.75v_{451}+v_{461}+5v_{471}+2v_{481}+1.5v_{4}$
 $91+3.16v_{501}+3.25v_{511}+2.83v_{521}+2.66v_{531}+2.83v_{541}+1.66v_{551}+2.16v_{561}+2v_{571}+2v_{581}+4.66v_{591}+5.08v$
 $601+3.75v_{611} \leq 296$

$1v_{12}+1.008v_{22}+1.16v_{32}+1.008v_{42}+1.4v_{52}+1v_{62}+1v_{72}+3v_{82}+3.4v_{92}+3.4v_{102}+7v_{112}+3.16v_{122}+3v_{132}+2.0$
 $08v_{142}+1.33v_{152}+2.91v_{172}+2.33v_{192}+2.91v_{202}+2.83v_{212}+5v_{222}+2.83v_{232}+3.16v_{242}+2.58v_{252}+2.25v_{26}$
 $2+2.83v_{272}+3v_{282}+2.33v_{292}+2.41v_{302}+4.33v_{312}+5v_{322}+2.08v_{332}+2.5v_{342}+1.41v_{352}+3.41v_{362}+5v_{372}+$
 $1.58v_{382}+4.58v_{392}+1.91v_{402}+1.58v_{412}+3v_{422}+2.75v_{432}+2.25v_{442}+2.75v_{452}+v_{462}+5v_{472}+2v_{482}+1.5v_{4}$
 $92+3.16v_{502}+3.25v_{512}+2.83v_{522}+2.66v_{532}+2.83v_{542}+1.66v_{552}+2.16v_{562}+2v_{572}+2v_{582}+4.66v_{592}+5.08v$
 $602+3.75v_{612} \leq 593$

$1v_{13}+1.008v_{23}+1.16v_{33}+1.008v_{43}+1.4v_{53}+1v_{63}+1v_{73}+3v_{83}+3.4v_{93}+3.4v_{103}+7v_{113}+3.16v_{123}+3v_{133}+2.0$
 $08v_{143}+1.33v_{153}+2.91v_{173}+2.33v_{193}+2.91v_{203}+2.83v_{213}+5v_{223}+2.83v_{233}+3.16v_{243}+2.58v_{253}+2.25v_{26}$
 $3+2.83v_{273}+3v_{283}+2.33v_{293}+2.41v_{303}+4.33v_{313}+5v_{323}+2.08v_{333}+2.5v_{343}+1.41v_{353}+3.41v_{363}+5v_{373}+$
 $1.58v_{383}+4.58v_{393}+1.91v_{403}+1.58v_{413}+3v_{423}+2.75v_{433}+2.25v_{443}+2.75v_{453}+v_{463}+5v_{473}+2v_{483}+1.5v_{4}$
 $93+3.16v_{503}+3.25v_{513}+2.83v_{523}+2.66v_{533}+2.83v_{543}+1.66v_{553}+2.16v_{563}+2v_{573}+2v_{583}+4.66v_{593}+5.08v$
 $603+3.75v_{613} \leq 249$

$1v_{14}+1.008v_{24}+1.16v_{34}+1.008v_{44}+1.4v_{54}+1v_{64}+1v_{74}+3v_{84}+3.4v_{94}+3.4v_{104}+7v_{114}+3.16v_{124}+3v_{134}+2.0$
 $08v_{144}+1.33v_{154}+2.91v_{174}+2.33v_{194}+2.91v_{204}+2.83v_{214}+5v_{224}+2.83v_{234}+3.16v_{244}+2.58v_{254}+2.25v_{26}$
 $4+2.83v_{274}+3v_{284}+2.33v_{294}+2.41v_{304}+4.33v_{314}+5v_{324}+2.08v_{334}+2.5v_{344}+1.41v_{354}+3.41v_{364}+5v_{374}+$
 $1.58v_{384}+4.58v_{394}+1.91v_{404}+1.58v_{414}+3v_{424}+2.75v_{434}+2.25v_{444}+2.75v_{454}+v_{464}+5v_{474}+2v_{484}+1.5v_{4}$
 $94+3.16v_{504}+3.25v_{514}+2.83v_{524}+2.66v_{534}+2.83v_{544}+1.66v_{554}+2.16v_{564}+2v_{574}+2v_{584}+4.66v_{594}+5.08v$
 $604+3.75v_{614} \leq 235$

$1v_{15}+1.008v_{25}+1.16v_{35}+1.008v_{45}+1.4v_{55}+1v_{65}+1v_{75}+3v_{85}+3.4v_{95}+3.4v_{105}+7v_{115}+3.16v_{125}+3v_{135}+2.0$
 $08v_{145}+1.33v_{155}+2.91v_{175}+2.33v_{195}+2.91v_{205}+2.83v_{215}+5v_{225}+2.83v_{235}+3.16v_{245}+2.58v_{255}+2.25v_{26}$
 $5+2.83v_{275}+3v_{285}+2.33v_{295}+2.41v_{305}+4.33v_{315}+5v_{325}+2.08v_{335}+2.5v_{345}+1.41v_{355}+3.41v_{365}+5v_{375}+$

1.58v385+4.58v395+1.91v405+1.58v415+3v425+2.75v435+2.25v445+2.75v455+v465+5v475+2v485+1.5v495+3.16v505+3.25v515+2.83v525+2.66v535+2.83v545+1.66v555+2.16v565+2v575+2v585+4.66v595+5.08v605+3.75v615<=518

1v16+1.008v26+1.16v36+1.008v46+1.4v56+1v66+1v76+3v86+3.4v106+7v116+3.16v126+3v136+2.008v146+1.33v156+2.91v176+2.33v196+2.91v206+2.83v216+5v226+2.83v236+3.16v246+2.58v256+2.25v266+2.83v276+3v286+2.33v296+2.41v306+2.08v336+2.5v346+1.41v356+3.41v366+1.58v386+1.91v406+1.58v416+3v426+2.75v436+2.25v446+2.75v456+v466+2v486+1.5v496+3.16v506+3.25v516+2.83v526+2.66v536+2.83v546+1.66v556+2.16v566+2v576+2v586+5.08v606<=134

1v17+1.008v27+1.16v37+1.008v47+1.4v57+1v67+1v77+3v87+3.4v97+3.4v107+7v117+3.16v127+3v137+2.008v147+1.33v157+2.91v177+2.33v197+2.91v207+2.83v217+5v227+2.83v237+3.16v247+2.58v257+2.25v267+2.83v277+3v287+2.33v297+2.41v307+4.33v317+5v327+2.08v337+2.5v347+1.41v357+3.41v367+5v377+1.58v387+4.58v397+1.91v407+1.58v417+3v427+2.75v437+2.25v447+2.75v457+v467+5v477+2v487+1.5v497+3.16v507+3.25v517+2.83v527+2.66v537+2.83v547+1.66v557+2.16v567+2v577+2v587+4.66v597+5.08v607+3.75v617<=332

1v18+1.008v28+1.16v38+1.008v48+1.4v58+1v68+1v78+3v88+3.4v98+3.4v108+7v118+3.16v128+3v138+2.008v148+1.33v158+9.66v168+2.91v178+2.33v198+2.91v208+2.83v218+5v228+2.83v238+3.16v248+2.58v258+2.25v268+2.83v278+3v288+2.33v298+2.41v308+4.33v318+5v328+2.08v338+2.5v348+1.41v358+3.41v368+5v378+1.58v388+4.58v398+1.91v408+1.58v418+3v428+2.75v438+2.25v448+2.75v458+v468+5v478+2v488+1.5v498+3.16v508+3.25v518+2.83v528+2.66v538+2.83v548+1.66v558+2.16v568+2v578+2v588+4.66v598+5.08v608+3.75v618<=182

Таблиця К.2.1 – Результати розв'язання завдання планування частоти рейсів на мережі маршрутів авіакомпанії

Маршрут		Оптимальний розподіл частоти рейсів за типами ПС							Разом	Фактична частота на тиждень ¹⁶	Різниця
		B737-900 ER	B737-800	B737-300	B737-400	B737-500	An-148-100	EMB-190			
KBP	HRK						10		10	5	-5
KBP	LWO						15		15	7	-8
KBP	DOK						15		15	10	-5
KBP	ODS		4			1			5	10	5
KBP	SIP				6				6	10	4
KBP	DNK						15		15	7	-8
KBP	IFO				8				8	7	-1
KBP	AMS		10						10	7	-3
KBP	LGW		13						13	7	-6
KBP	CDG		12						12	10	-2
KBP	TCI							4	4	5	1
KBP	NCE					4			4	4	0
KBP	BRU	3							3	7	4
KBP	HEL				3				3	2	-1
KBP	VNO					9			9	7	-2
KBP	BKK							4	4	6	2
KBP	FCO						7	2	9	7	-2
KBP	MIL				4				4	5	1
LWO	FCO	4							4	6	2

¹⁶ За даними «МАУ» на 2013 рік

Закінчення табл. К.2.1

Маршрут		Оптимальний розподіл частоти рейсів за типами ПС								Разом	Фактична частота на тиждень ¹⁷	Різниця
		B737-900 ER	B737-800	B737-300	B737-400	B737-500	An-148-100	EMB-190	B767			
KBP	LCA		3							3	7	4
KBP	ATH				4					4	7	3
KBP	DXB		5				2			7	9	2
KBP	FRA				22					22	7	-15
SIP	FRA			5						5	6	1
KBP	MUC		9							9	7	-2
KBP	BER							2		2	7	5
KBP	ZRH	3								3	7	4
KBP	GVA							4		4	7	3
KBP	BUS					4				4	4	0
KBP	TBS					25				25	14	-11
KBP	TSE		4							4	7	3
KBP	ALA							17		17	7	-10
KBP	LED				8					8	7	-1
KBP	KUF			3						3	4	1
KBP	SVO					45				45	14	-31
KBP	SVX				5					5	4	-1
KBP	OVV							3		3	3	0
KBP	ROV		2							2	7	5
KBP	NJC	2								2	12	10
KBP	AER				3					3	2	-1
KBP	KGD						13			13	7	-6
KBP	BAK		4							4	7	3
ODS	BAK							3		3	5	2
DOK	BAK		2							2	5	3
KBP	EVN				4					4	3	-1
DOK	EVN						6			6	1	-5
KBP	FRU							4		4	3	-1
KBP	IST	5								5	7	2
ODS	IST			8						8	7	-1
KBP	TLV							39		39	7	-32
DOK	TLV							4		4	3	-1
ODS	TLV						6			6	4	-2
SIP	TLV					2				2	2	0
DNK	TLV			3						3	3	0
KBP	WAW					14				14	7	-7
KBP	PRG				14					14	7	-7
ODS	VIE		3							3	7	4
KBP	VIE				19					19	10	-9
KBP	MAD							7		7	6	-1
KBP	LIS							3		3	3	0
KBP	BCN					7				7	7	0
Всього		17	71	19	100	111	89	90	6	503	389	-114

¹⁷ За даними «МАУ» на 2013 рік

К.3 Побудова оптимальної стратегії продажів авіаквитків (модель (5.57)-(5.59))

Таблиця К.3.1 – Вихідні дані щодо завантаження заданого рейсу (умовні дані, тип повітряного судна – B767-300, ємність: 241 крісло)

Номер спостереження	Рівні тарифу			Номер спостереження	Рівні тарифу		
	\$ 1500	\$ 900	\$ 600		\$ 1500	\$ 900	\$ 600
	Кількість проданих місць				Кількість проданих місць		
1	20	94	136	16	23	70	126
2	35	80	134	17	24	66	130
3	34	76	109	18	23	65	131
4	25	54	141	19	17	76	123
5	16	84	115	20	20	72	134
6	20	75	140	21	29	62	137
7	20	72	142	22	20	78	135
8	31	72	129	23	27	64	145
9	22	69	132	24	28	73	127
10	29	74	108	25	23	78	128
11	18	78	110	26	21	76	134
12	20	71	128	27	20	76	136
13	19	62	136	28	20	72	133
14	32	74	110	29	38	68	137
15	28	69	126	30	17	62	129
Mean (μ_b)	24,0	72,1	129,4				
st.div (σ_b)	5,8	7,6	10,0				

ДОДАТОК Л

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ НЕОБХІДНИХ
ПРОПУСКНИХ СПРОМОЖНОСТЕЙ АВІАМАРШРУТІВ
НА ЗАДАНІЙ МЕРЕЖІ АЕРОПОРТІВ УКРАЇНИ

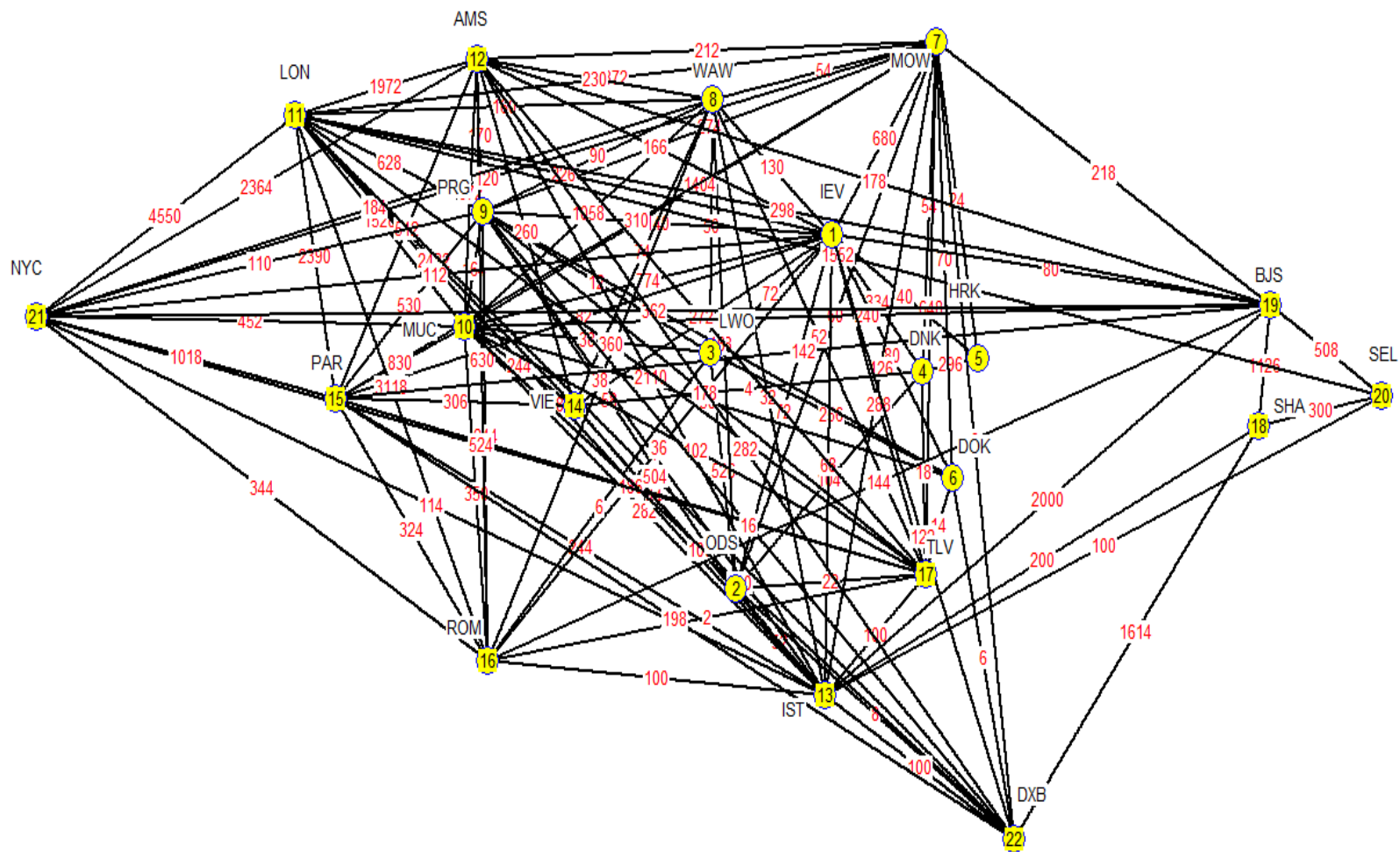


Рисунок Л.1 – Отримані оптимальна мережа авіамаршрутів та значення необхідних пропускних спроможностей ребер (z_e) на заданій мережі G (розв'язок моделі (6.22)-(6.24))

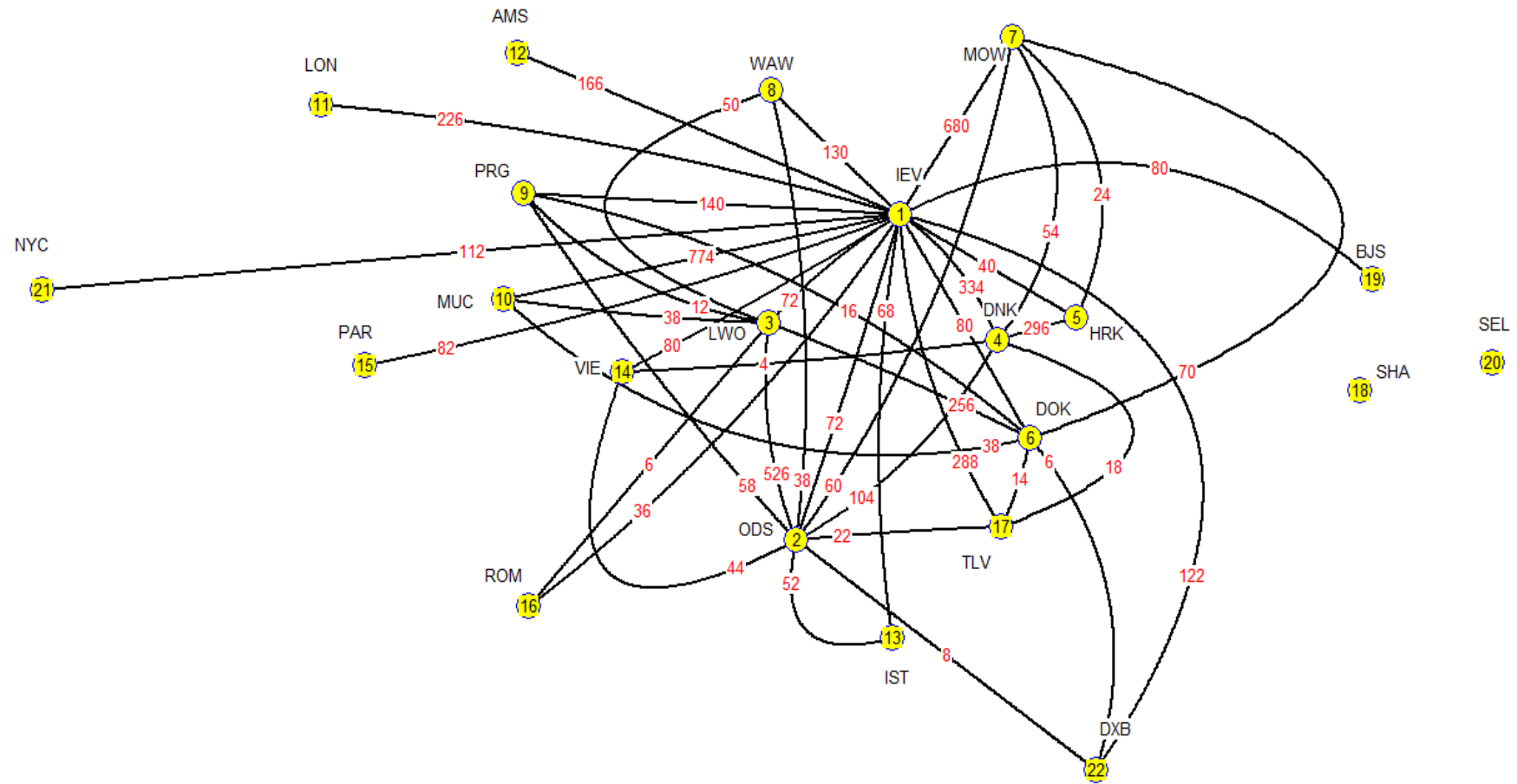


Рисунок Л.2 – Отримані оптимальна мережа авіамаршрутів та значення необхідних пропускних спроможностей ребер (z_e) на заданій мережі аеропортів України

ДОДАТОК М

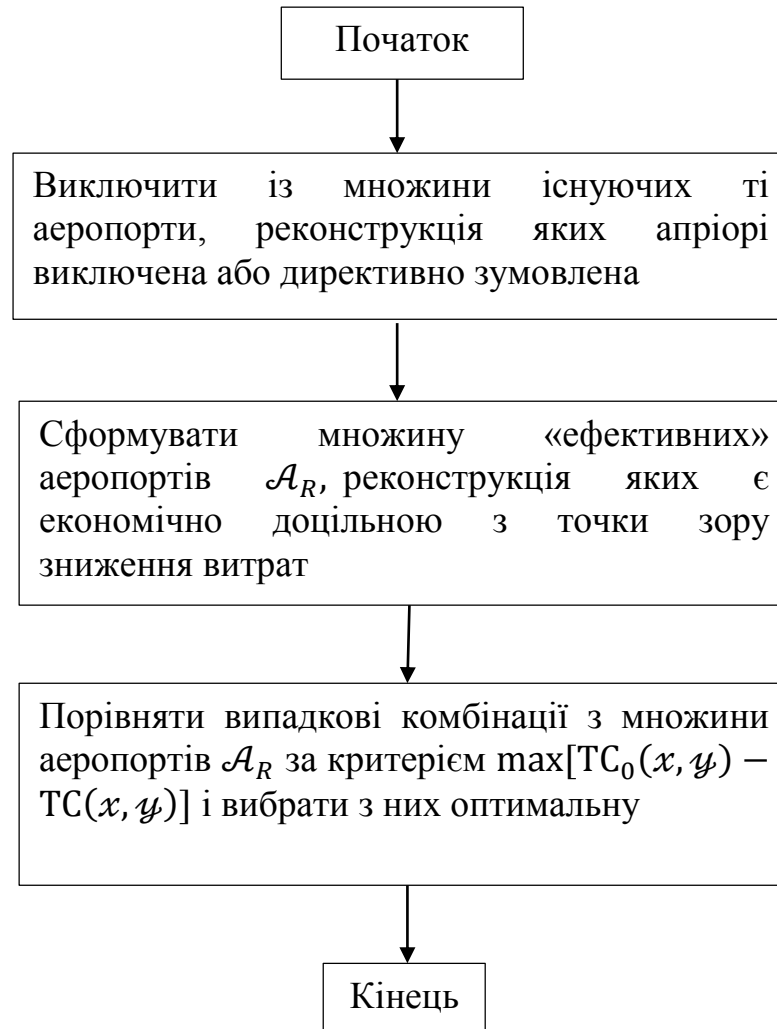
М.1 Принципова схема роботи поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів

Рисунок М.1 – Принципова схема поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів

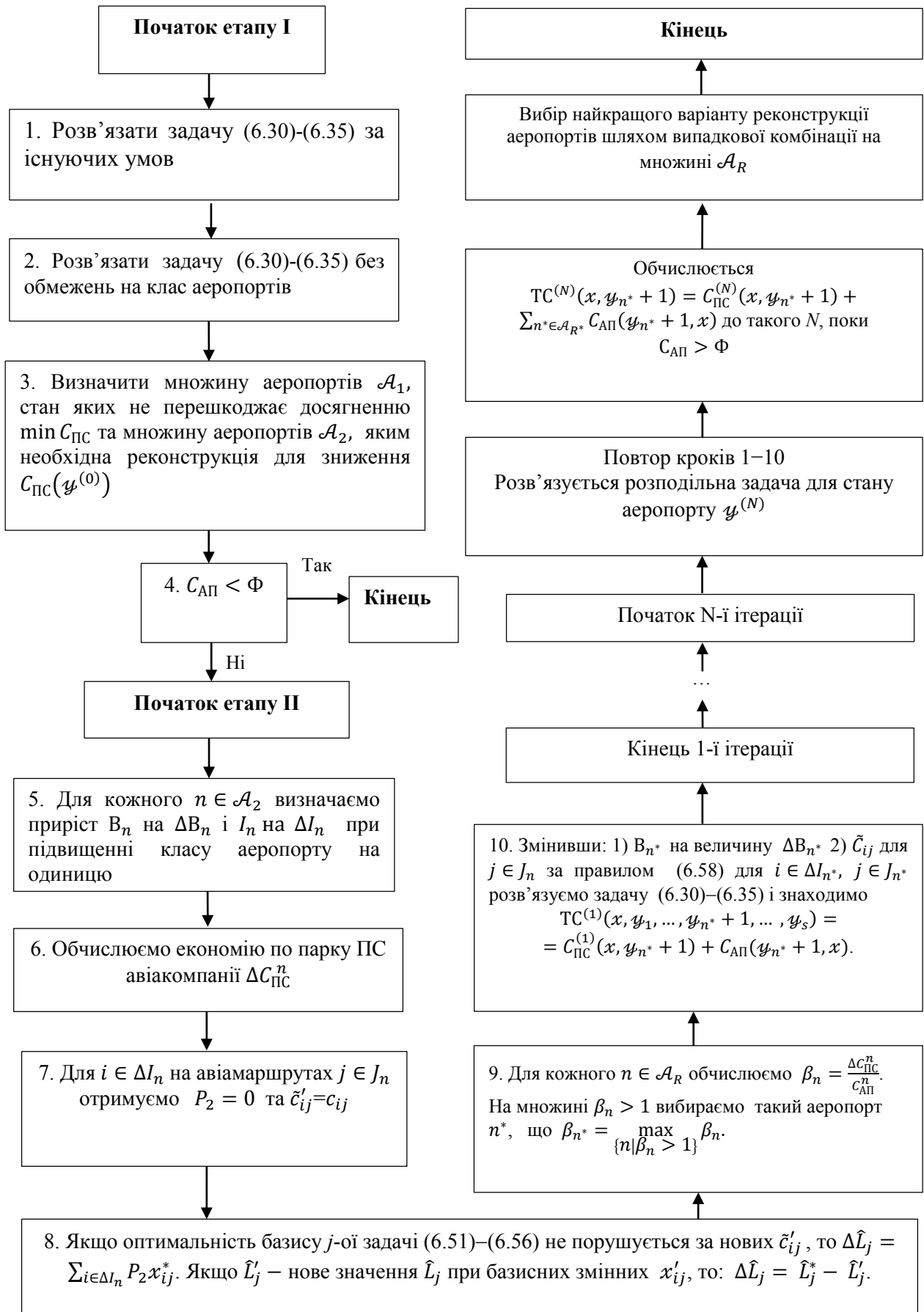


Рисунок М.2 – Схема алгоритму поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів

Таблиця М.1 – Вхідні дані (6.30)-(6.35) щодо парку ПС

№	Тип ПС	Рекомендована довжина ЗПС, м	Розмах крил	RFF	Категорія за ICAO	Собівартість, дол.США/крісло-км	Дальність, км	Швидкість	Кількість місць	Річний наліт ПС, год	приблизна кількість ПС	проектна кількість ПС
1	737-400	2550	28,9	6	4C	0,0394	5 000	807	168	3500	15	50
2	737-900/-900ER/MAX 9*	2240	34,3	7	4C	0,03	5 925	852	215	3500	15	50
3	747-400, 400ER	2890	64,9	9	4E	0,02	14 205	908	524	3500	15	50
4	747-8	3190	68,45	10	4F	0,02	14 815	908	581	3500	15	50
5	767-400ER	3130	51,9	9	4D	0,03	10 450	850	350	3500	15	50
6	767-300/-300W	2540	47,6	8	4D	0,03	9 700	850	300	3500	15	50
7	787-8	3100	60,1	9	4F/4E	0,03	15 699	903	230	3500	15	50
8	A320	2480	33,9	6	4C	0,033	5 350	840	180	3500	15	50
9	A330-200	2300	60,3	7	4E	0,029	12 100	870	400	3500	15	50
10	A380	3350	79,8	10	4F	0,045	15 200	900	480	3500	15	50
11	Embraer 190	1598	28,72	6	3C	0,012	3 200	890	100	2500	15	50
12	Ан-148-100В	1800	28,91	6	4C	0,012	3 500	800	75	2500	5	10

Таблиця М.2 – Вхідні дані (6.30)-(6.35) щодо маршрутів (всі інші дані наведені у файлі роетар_method.xlsx)

№	маршрут	Протяжність, км	Довжина ЗПС, м	RFF	Попит, пас.	Мінімальна частота	Пропускна спроможність а/п, В _п
1	LWO-BCN	1939	3305	8	10000	12	100000
2	LWO-ICN	13516	3305	8	8000	12	100000
3	LWO-DXB	3836	3305	8	8000	12	100000
4	LWO-SVO	1126	3305	8	6000	12	100000
5	LWO-PRG	689	3305	8	14000	12	100000
6	LWO-IST	1065	3305	8	6000	12	100000
7	LWO-WAW	335	3305	8	50000	12	100000
8	LWO-MUC	899	3305	8	40000	12	100000
9	LWO-PEK	6900	3305	8	6000	12	100000
10	LWO-JFK	7183	3305	8	6000	12	100000
11	KBP-BCN	2397	4000	8	50000	12	100000
12	KBP-ICN	7300	4000	8	20000	12	100000
13	KBP-DXB	3520	4000	8	130000	12	100000
14	KBP-SVO	757	4000	8	400000	12	100000
15	KBP-CMB	6645	4000	8	20000	12	100000
16	KBP-IST	1057	4000	8	40000	12	100000
17	KBP-WAW	690	4000	8	100000	12	100000
18	KBP-MUC	1396	4000	8	50000	12	100000
19	KBP-YYZ	7565	4000	8	50000	12	100000
20	KBP-LHR	2136	4000	8	200000	12	100000
21	KBP-DEL	4583	4000	8	250000	12	100000
22	KBP-NRT	8209	4000	8	50000	12	100000
23	KBP-SGN	8109	4000	8	100000	12	100000
24	KBP-JFK	7520	4000	8	50000	12	100000
25	ODS-TBS	1243	2800	7	5000	12	30000
26	ODS-ICN	7515	2800	7	6000	12	30000
27	ODS-DXB	3217	2800	7	30000	12	30000
28	ODS-SVO	1137	2800	7	100000	12	30000
29	ODS-PRG	1268	2800	7	30000	12	30000
30	ODS-IST	625	2800	7	100000	12	30000
31	ODS-WAW	950	2800	7	20000	12	30000
32	ODS-MUC	1452	2800	7	70000	12	30000
33	ODS-DEL	4479	2800	7	60000	12	30000
34	ODS-CDG	2130	2800	7	30000	12	30000
35	ODS-PEK	6642	2800	7	30000	12	30000
36	ODS-SGN	8070	2800	7	3000	12	30000
37	ODS-JFK	7804	2800	7	10000	12	30000

Запис моделі (6.30)-(6.35) для пакету LINDO

! THE PART OF REAL UA AVIATION MARKET CONDITIONS

Min

10IBC1+1000IIC1+10IDXB1+10ISVO1+10IPRG1+10IIST1+10IWAW1+10IMUC1+1000IPEK1+1000IJFK1+10kBCN1+1000kICN1+10kDXB1+10kSVO1+1000kCMB1+10kIST1+10kWAW1+10kMUC1+1000kYYZ1+10kLHR1+10kDEL1+1000kNRT1+1000kSGN1+1000kJFK1+10oTBS1+1000oICN1+10oDXB1+10oSVO1+10oPRG1+10oIST1+10oWAW1+10oMUC1+10oDEL1+10oCDG1+1000oPEK1+1000oSGN1+1000oJFK1+10IBC2+1000IIC2+10IDXB2+10ISVO2+10IPRG2+10IIST2+10IWAW2+10IMUC2+1000IPEK2+1000IJFK2+10kBCN2+1000kICN2+10kDXB2+10kSVO2+1000kCMB2+10kIST2+10kWAW2+10kMUC2+1000kYYZ2+10kLHR2+10kDEL2+1000kNRT2+1000kSGN2+1000kJFK2+10oTBS2+1000oICN2+10oDXB2+10oSVO2+10oPRG2+10oIST2+10oWAW2+10oMUC2+10oDEL2+10oCDG2+1000oPEK2+1000oSGN2+1000oJFK2+170000IBC3+170000IIC3+170000IDXB3+170000ISVO3+170000IPRG3+170000IIST3+170000IWAW3+170000IMUC3+170000IPEK3+170000IJFK3+170000kBCN3+170000kICN3+170000kDXB3+170000kSVO3+170000kCMB3+170000kIST3+170000kWAW3+170000kMUC3+170000kYYZ3+170000kLHR3+170000kDEL3+170000kNRT3+170000kSGN3+170000kJFK3+170000oTBS3+170000oICN3+170000oDXB3+170000oSVO3+170000oPRG3+170000oIST3+170000oWAW3+170000oMUC3+170000oDEL3+170000oCDG3+170000oPEK3+170000oSGN3+170000oJFK3+190000IBC4+190000IIC4+190000IDXB4+190000ISVO4+190000IPRG4+190000IIST4+190000IWAW4+190000IMUC4+190000IPEK4+190000IJFK4+190000kBCN4+190000kICN4+190000kDXB4+190000kSVO4+190000kCMB4+190000kIST4+190000kWAW4+190000kMUC4+190000kYYZ4+190000kLHR4+190000kDEL4+190000kNRT4+190000kSGN4+190000kJFK4+190000oTBS4+190000oICN4+190000oDXB4+190000oSVO4+190000oPRG4+190000oIST4+190000oWAW4+190000oMUC4+190000oDEL4+190000oCDG4+190000oPEK4+190000oSGN4+190000oJFK4+160000IBC5+160000IIC5+160000IDXB5+160000ISVO5+160000IPRG5+160000IIST5+160000IWAW5+160000IMUC5+160000IPEK5+160000IJFK5+160000kBCN5+160000kICN5+160000kDXB5+160000kSVO5+160000kCMB5+160000kIST5+160000kWAW5+160000kMUC5+160000kYYZ5+160000kLHR5+160000kDEL5+160000kNRT5+160000kSGN5+160000kJFK5+160000oTBS5+160000oICN5+160000oDXB5+160000oSVO5+160000oPRG5+160000oIST5+160000oWAW5+160000oMUC5+160000oDEL5+160000oCDG5+160000oPEK5+160000oSGN5+160000oJFK5+14IBC6+1400IIC6+14IDXB6+14ISVO6+14IPRG6+14IIST6+14IWAW6+14IMUC6+14IPEK6+14IJFK6+14kBCN6+14kICN6+14kDXB6+14kSVO6+14kCMB6+14kIST6+14kWAW6+14kMUC6+14kYYZ6+14kLHR6+14kDEL6+14kNRT6+14kSGN6+14kJFK6+140000oTBS6+140000oICN6+140000oDXB6+140000oSVO6+140000oPRG6+140000oIST6+140000oWAW6+140000oMUC6+140000oDEL6+140000oCDG6+140000oPEK6+140000oSGN6+140000oJFK6+110000IBC7+110000IIC7+110000IDXB7+110000ISVO7+110000IPRG7+110000IIST7+110000IWAW7+110000IMUC7+110000IPEK7+110000IJFK7+110000kBCN7+110000kICN7+110000kDXB7+110000kSVO7+110000kCMB7+110000kIST7+110000kWAW7+110000kMUC7+110000kYYZ7+110000kLHR7+110000kDEL7+110000kNRT7+110000kSGN7+110000kJFK7+110000oTBS7+110000oICN7+110000oDXB7+110000oSVO7+110000oPRG7+110000oIST7+110000oWAW7+110000oMUC7+110000oDEL7+110000oCDG7+110000oPEK7+110000oSGN7+110000oJFK7+9IBC8+900IIC8+9IDXB8+9ISVO8+9IPRG8+9IIST8+9IWAW8+9IMUC8+900IPEK8+900IJFK8+9kBCN8+900kICN8+9kDXB8+9kSVO8+900kCMB8+9kIST8+9kWAW8+9kMUC8+900kYYZ8+9kLHR8+9kDEL8+900kNRT8+900kSGN8+900kJFK8+9oTBS8+900oICN8+9oDXB8+9oSVO8+9oPRG8+9oIST8+9oWAW8+9oMUC8+9oDEL8+9oCDG8+900oPEK8+900oSGN8+900oJFK8+18IBC9+1800IIC9+18IDXB9+18ISVO9+18IPRG9+18IIST9+18IWAW9+18IMUC9+18IPEK9+18IJFK9+18kBCN9+18kICN9+18kDXB9+18kSVO9+18kCMB9+18kIST9+18kWAW9+18kMUC9+18kYYZ9+18kLHR9+18kDEL9+18kNRT9+18kSGN9+18kJFK9+180000oTBS9+180000oICN9+180000oDXB9+180000oSVO9+180000oPRG9+180000oIST9+180000oWAW9+180000oMUC9+180000oDEL9+180000oCDG9+180000oPEK9+180000oSGN9+180000oJFK9+350000IBC10+350000IIC10+350000IDXB10+350000ISVO10+350000IPRG10+350000IIST10+350000IWAW10+350000IMUC10+350000IPEK10+350000IJFK10+350000kBCN10+350000kICN10+350000kDXB10+350000kSVO10+350000kCMB10+350000kIST10+350000kWAW10+350000kMUC10+350000kYYZ10+350000kLHR10+350000kDEL10+350000kNRT10+350000kSGN10+350000kJFK10+350000oTBS10+350000oICN10+350000oDXB10+350000oSVO10+350000oPRG10+350000oIST10+350000oWAW10+350000oMUC10+350000oDEL10+350000oCDG10+350000oPEK10+350000oSGN10+350000oJFK10+2IBC

N11+200IICN11+200IDXB11+2ISVO11+2IPRG11+2IIST11+2IWAW11+2IMUC11+200IPEK11+200IJFK11+2kBCN11+200kICN11+200kDXB11+2kSVO11+200kCMB11+2kIST11+2kWAW11+2kMUC11+200kYYZ11+2kLHR11+200kDEL11+200kNRT11+200kSGN11+200kJFK11+2oTBS11+200oICN11+200oDXB11+2oSVO11+2oPRG11+2oIST11+2oWAW11+2oMUC11+200oDEL11+2oCDG11+200oPEK11+200oSGN11+200oJFK11+1IBCN12+100IICN12+100IDXB12+1ISVO12+1IPRG12+1IIST12+1IWAW12+1IMUC12+100IPEK12+100IJFK12+1kBCN12+100kICN12+100kDXB12+1kSVO12+100kCMB12+1kIST12+1kWAW12+1kMUC12+100kYYZ12+1kLHR12+100kDEL12+100kNRT12+100kSGN12+100kJFK12+1oTBS12+100oICN12+1oDXB12+1oSVO12+1oPRG12+1oIST12+1oWAW12+1oMUC12+100oDEL12+1oCDG12+100oPEK12+100oSGN12+100oJFK12

St

Demand)

122362IBCN1+165325IBCN2+429420IBCN3+476132IBCN4+268502IBCN5+230145IBCN6+187446IBCN7+136463IBCN8+314080IBCN9+389892IBCN10+57375IBCN11+38680IBCN12>=10000

17554IICN1+23718IICN2+61605IICN3+68306IICN4+38520IICN5+33017IICN6+26891IICN7+19577IICN8+45058IICN9+55934IICN10+8231IICN11+5549IICN12>=8000

61851IDXB1+83568IDXB2+217061IDXB3+240673IDXB4+135721IDXB5+116333IDXB6+94750IDXB7+68979IDXB8+158760IDXB9+197081IDXB10+29002IDXB11+19552IDXB12>=8000

210709ISVO1+284694ISVO2+739472ISVO3+819911ISVO4+462367ISVO5+396315ISVO6+322787ISVO7+234992ISVO8+540853ISVO9+671404ISVO10+98802ISVO11+66608ISVO12>=6000

344352IPRG1+465262IPRG2+1208484IPRG3+1339941IPRG4+755625IPRG5+647678IPRG6+527515IPRG7+384035IPRG8+883890IPRG9+1097243IPRG10+161466IPRG11+108854IPRG12>=14000

222778IIST1+301000IIST2+781827IIST3+866873IIST4+488850IIST5+419015IIST6+341275IIST7+248451IIST8+571831IIST9+709860IIST10+104461IIST11+70423IIST12>=6000

708233IWAW1+956911IWAW2+2485508IWAW3+2755879IWAW4+1554105IWAW5+1332090IWAW6+1084948IWAW7+789851IWAW8+1817911IWAW9+2256717IWAW10+332090IWAW11+223881IWAW12>=50000

263914IMUC1+356580IMUC2+926191IMUC3+1026941IMUC4+579116IMUC5+496385IMUC6+404291IMUC7+294328IMUC8+677420IMUC9+840935IMUC10+123749IMUC11+83427IMUC12>=40000

34386IPEK1+46459IPEK2+120674IPEK3+133800IPEK4+75453IPEK5+64674IPEK6+52675IPEK7+38348IPEK8+88261IPEK9+109566IPEK10+16124IPEK11+10870IPEK12>=6000

33031IJFK1+44629IJFK2+115919IJFK3+128529IJFK4+72481IJFK5+62126IJFK6+50600IJFK7+36837IJFK8+84784IJFK9+105249IJFK10+15488IJFK11+10442IJFK12>=6000

98982kBCN1+133736kBCN2+347370kBCN3+385157kBCN4+217199kBCN5+186171kBCN6+151631kBCN7+110388kBCN8+254068kBCN9+315395kBCN10+46413kBCN11+31290kBCN12>=50000

32502kICN1+43914kICN2+114061kICN3+126469kICN4+71319kICN5+61131kICN6+49789kICN7+36247kICN8+83425kICN9+103562kICN10+15240kICN11+10274kICN12>=20000

67403kDXB1+91070kDXB2+236547kDXB3+262279kDXB4+147905kDXB5+126776kDXB6+103255kDXB7+75171kDXB8+173012kDXB9+214773kDXB10+31606kDXB11+21307kDXB12>=130000

313419kSVO1+423468kSVO2+1099928kSVO3+1219577kSVO4+687748kSVO5+589499kSVO6+480129kSVO7+349538kSVO8+804492kSVO9+998679kSVO10+1469
 62kSVO11+99076kSVO12>=400000
 35705kCMB1+48242kCMB2+125305kCMB3+138935kCMB4+78349kCMB5+67156kCMB6+54697kCMB7+39820kCMB8+91648kCMB9+113770kCMB10+16742kC
 MB11+11287kCMB12>=20000
 224464kIST1+303279kIST2+787744kIST3+873434kIST4+492550kIST5+422186kIST6+343858kIST7+250332kIST8+576159kIST9+715232kIST10+105251kIST11+709
 56kIST12>=40000
 343853kWAW1+464587kWAW2+1206733kWAW3+1337999kWAW4+754529kWAW5+646740kWAW6+526750kWAW7+383479kWAW8+882609kWAW9+10956
 53kWAW10+161232kWAW11+108696kWAW12>=100000
 169956kMUC1+229632kMUC2+596451kMUC3+661332kMUC4+372941kMUC5+319664kMUC6+260357kMUC7+189542kMUC8+436247kMUC9+541548kMUC10
 +79692kMUC11+53725kMUC12>=50000
 31363kYYZ1+42375kYYZ2+110066kYYZ3+122039kYYZ4+68821kYYZ5+58989kYYZ6+48045kYYZ7+34977kYYZ8+80503kYYZ9+99934kYYZ10+14706kYYZ11+9915kYY
 Z12>=50000
 111076kLHR1+150078kLHR2+389816kLHR3+432219kLHR4+243739kLHR5+208919kLHR6+170159kLHR7+123877kLHR8+285113kLHR9+353933kLHR10+52084kLH
 R11+35113kLHR12>=200000
 51770kDEL1+69947kDEL2+181682kDEL3+201445kDEL4+113600kDEL5+97371kDEL6+79306kDEL7+57736kDEL8+132883kDEL9+164958kDEL10+24275kDEL11+16
 365kDEL12>=250000
 28903kNRT1+39051kNRT2+101431kNRT3+112465kNRT4+63422kNRT5+54362kNRT6+44276kNRT7+32233kNRT8+74187kNRT9+92095kNRT10+13553kNRT11+91
 37kNRT12>=50000
 29259kSGN1+39533kSGN2+102682kSGN3+113852kSGN4+64204kSGN5+55032kSGN6+44822kSGN7+32631kSGN8+75102kSGN9+93230kSGN10+13720kSGN11+9
 249kSGN12>=100000
 31551kJFK1+42629kJFK2+110725kJFK3+122769kJFK4+69233kJFK5+59342kJFK6+48333kJFK7+35187kJFK8+80985kJFK9+100532kJFK10+14794kJFK11+9974kJFK12
 >=50000
 190876oTBS1+257897oTBS2+669868oTBS3+742735oTBS4+418846oTBS5+359011oTBS6+292404oTBS7+212873oTBS8+489944oTBS9+608206oTBS10+89502oTB
 S11+60338oTBS12>=5000
 31572oICN1+42657oICN2+110798oICN3+122851oICN4+69279oICN5+59382oICN6+48365oICN7+35210oICN8+81038oICN9+100599oICN10+14804oICN11+9981o
 ICN12>=6000
 73752oDXB1+99648oDXB2+258827oDXB3+286982oDXB4+161836oDXB5+138717oDXB6+112981oDXB7+82251oDXB8+189307oDXB9+235002oDXB10+34582oD
 XB11+23314oDXB12>=30000
 208671oSVO1+281940oSVO2+732318oSVO3+811979oSVO4+457894oSVO5+392481oSVO6+319664oSVO7+232718oSVO8+535621oSVO9+664908oSVO10+9784
 6oSVO11+65964oSVO12>=100000
 187112oPRG1+252812oPRG2+656661oPRG3+728091oPRG4+410588oPRG5+351933oPRG6+286639oPRG7+208676oPRG8+480284oPRG9+596215oPRG10+8773
 7oPRG11+59149oPRG12>=30000
 379613oIST1+512904oIST2+1332233oIST3+1477151oIST4+833000oIST5+714000oIST6+581532oIST7+423360oIST8+974400oIST9+1209600oIST10+178000oIST11
 +120000oIST12>=100000

249746oWAW1+337437oWAW2+876469oWAW3+971810oWAW4+548027oWAW5+469737oWAW6+382587oWAW7+278527oWAW8+641053oWAW9+795790oWAW10+117106oWAW11+78948oWAW12>=20000

163401oMUC1+220775oMUC2+573448oMUC3+635826oMUC4+358558oMUC5+307335oMUC6+250316oMUC7+182232oMUC8+419422oMUC9+520662oMUC10+76619oMUC11+51653oMUC12>=70000

52972oDEL1+71571oDEL2+185900oDEL3+206122oDEL4+116237oDEL5+99632oDEL6+81148oDEL7+59076oDEL8+135968oDEL9+168788oDEL10+24839oDEL11+16745oDEL12>=60000

111389oCDG1+150500oCDG2+390914oCDG3+433437oCDG4+244425oCDG5+209508oCDG6+170638oCDG7+124226oCDG8+285916oCDG9+354930oCDG10+52231oCDG11+35212oCDG12>=30000

35721oPEK1+48264oPEK2+125361oPEK3+138998oPEK4+78384oPEK5+67187oPEK6+54722oPEK7+39838oPEK8+91690oPEK9+113822oPEK10+16750oPEK11+11292oPEK12>=30000

29400oSGN1+39724oSGN2+103178oSGN3+114402oSGN4+64514oSGN5+55298oSGN6+45039oSGN7+32789oSGN8+75465oSGN9+93681oSGN10+13786oSGN11+9294oSGN12>=3000

30403oJFK1+41078oJFK2+106695oJFK3+118301oJFK4+66713oJFK5+57183oJFK6+46574oJFK7+33906oJFK8+78037oJFK9+96874oJFK10+14256oJFK11+9611oJFK12>=10000

Aircraft)

IBC1+IICN1+IDXB1+ISVO1+IPRG1+IIST1+IWAW1+IMUC1+IPEK1+IJFK1+kBCN1+kICN1+kDXB1+kSVO1+kCMB1+kIST1+kWAW1+kMUC1+kYYZ1+kLHR1+kDEL1+kNRT1+kSGN1+kJFK1+oTBS1+oICN1+oDXB1+oSVO1+oPRG1+oIST1+oWAW1+oMUC1+oDEL1+oCDG1+oPEK1+oSGN1+oJFK1<=15

IBC2+IICN2+IDXB2+ISVO2+IPRG2+IIST2+IWAW2+IMUC2+IPEK2+IJFK2+kBCN2+kICN2+kDXB2+kSVO2+kCMB2+kIST2+kWAW2+kMUC2+kYYZ2+kLHR2+kDEL2+kNRT2+kSGN2+kJFK2+oTBS2+oICN2+oDXB2+oSVO2+oPRG2+oIST2+oWAW2+oMUC2+oDEL2+oCDG2+oPEK2+oSGN2+oJFK2<=15

IBC3+IICN3+IDXB3+ISVO3+IPRG3+IIST3+IWAW3+IMUC3+IPEK3+IJFK3+kBCN3+kICN3+kDXB3+kSVO3+kCMB3+kIST3+kWAW3+kMUC3+kYYZ3+kLHR3+kDEL3+kNRT3+kSGN3+kJFK3+oTBS3+oICN3+oDXB3+oSVO3+oPRG3+oIST3+oWAW3+oMUC3+oDEL3+oCDG3+oPEK3+oSGN3+oJFK3<=15

IBC4+IICN4+IDXB4+ISVO4+IPRG4+IIST4+IWAW4+IMUC4+IPEK4+IJFK4+kBCN4+kICN4+kDXB4+kSVO4+kCMB4+kIST4+kWAW4+kMUC4+kYYZ4+kLHR4+kDEL4+kNRT4+kSGN4+kJFK4+oTBS4+oICN4+oDXB4+oSVO4+oPRG4+oIST4+oWAW4+oMUC4+oDEL4+oCDG4+oPEK4+oSGN4+oJFK4<=15

IBC5+IICN5+IDXB5+ISVO5+IPRG5+IIST5+IWAW5+IMUC5+IPEK5+IJFK5+kBCN5+kICN5+kDXB5+kSVO5+kCMB5+kIST5+kWAW5+kMUC5+kYYZ5+kLHR5+kDEL5+kNRT5+kSGN5+kJFK5+oTBS5+oICN5+oDXB5+oSVO5+oPRG5+oIST5+oWAW5+oMUC5+oDEL5+oCDG5+oPEK5+oSGN5+oJFK5<=15

IBC6+IICN6+IDXB6+ISVO6+IPRG6+IIST6+IWAW6+IMUC6+IPEK6+IJFK6+kBCN6+kICN6+kDXB6+kSVO6+kCMB6+kIST6+kWAW6+kMUC6+kYYZ6+kLHR6+kDEL6+kNRT6+kSGN6+kJFK6+oTBS6+oICN6+oDXB6+oSVO6+oPRG6+oIST6+oWAW6+oMUC6+oDEL6+oCDG6+oPEK6+oSGN6+oJFK6<=15

IBC7+IICN7+IDXB7+ISVO7+IPRG7+IIST7+IWAW7+IMUC7+IPEK7+IJFK7+kBCN7+kICN7+kDXB7+kSVO7+kCMB7+kIST7+kWAW7+kMUC7+kYYZ7+kLHR7+kDEL7+kNRT7+kSGN7+kJFK7+oTBS7+oICN7+oDXB7+oSVO7+oPRG7+oIST7+oWAW7+oMUC7+oDEL7+oCDG7+oPEK7+oSGN7+oJFK7<=15

IBC8+IICN8+IDXB8+ISVO8+IPRG8+IIST8+IWAW8+IMUC8+IPEK8+IJFK8+kBCN8+kICN8+kDXB8+kSVO8+kCMB8+kIST8+kWAW8+kMUC8+kYYZ8+kLHR8+kDEL8+kNRT8+kSGN8+kJFK8+oTBS8+oICN8+oDXB8+oSVO8+oPRG8+oIST8+oWAW8+oMUC8+oDEL8+oCDG8+oPEK8+oSGN8+oJFK8<=15

IBC9+IICN9+IDXB9+ISVO9+IPRG9+IIST9+IWAW9+IMUC9+IPEK9+IJFK9+kBCN9+kICN9+kDXB9+kSVO9+kCMB9+kIST9+kWAW9+kMUC9+kYYZ9+kLHR9+kDEL9+kNRT9+kSGN9+kJFK9+oTBS9+oICN9+oDXB9+oSVO9+oPRG9+oIST9+oWAW9+oMUC9+oDEL9+oCDG9+oPEK9+oSGN9+oJFK9<=15

IBCN10+IICN10+IDXB10+ISVO10+IPRG10+IIST10+IWAW10+IMUC10+IPEK10+IJFK10+kBCN10+kiCN10+kDXB10+kSVO10+kCMB10+kIST10+kWAW10+kMUC10+kYYZ10+kLHR10+kDEL10+kNRT10+kSGN10+kJFK10+oTBS10+oICN10+oDXB10+oSVO10+oPRG10+oIST10+oWAW10+oMUC10+oDEL10+oCDG10+oPEK10+oSGN10+oJFK10<=15
 IBCN11+IICN11+IDXB11+ISVO11+IPRG11+IIST11+IWAW11+IMUC11+IPEK11+IJFK11+kBCN11+kiCN11+kDXB11+kSVO11+kCMB11+kIST11+kWAW11+kMUC11+kYYZ11+kLHR11+kDEL11+kNRT11+kSGN11+kJFK11+oTBS11+oICN11+oDXB11+oSVO11+oPRG11+oIST11+oWAW11+oMUC11+oDEL11+oCDG11+oPEK11+oSGN11+oJFK11<=15
 IBCN12+IICN12+IDXB12+ISVO12+IPRG12+IIST12+IWAW12+IMUC12+IPEK12+IJFK12+kBCN12+kiCN12+kDXB12+kSVO12+kCMB12+kIST12+kWAW12+kMUC12+kYYZ12+kLHR12+kDEL12+kNRT12+kSGN12+kJFK12+oTBS12+oICN12+oDXB12+oSVO12+oPRG12+oIST12+oWAW12+oMUC12+oDEL12+oCDG12+oPEK12+oSGN12+oJFK12<=5

frequency)

60IBCN1+47IBCN2+20IBCN3+18IBCN4+29IBCN5+34IBCN6+44IBCN7+56IBCN8+25IBCN9+21IBCN10+100IBCN11+134IBCN12>=12
 48IICN1+38IICN2+16IICN3+14IICN4+23IICN5+27IICN6+35IICN7+45IICN8+20IICN9+17IICN10+80IICN11+107IICN12>=12
 48IDXB1+38IDXB2+16IDXB3+14IDXB4+23IDXB5+27IDXB6+35IDXB7+45IDXB8+20IDXB9+17IDXB10+80IDXB11+107IDXB12>=12
 36ISVO1+28ISVO2+12ISVO3+11ISVO4+18ISVO5+20ISVO6+27ISVO7+34ISVO8+15ISVO9+13ISVO10+60ISVO11+80ISVO12>=12
 84IPRG1+66IPRG2+27IPRG3+25IPRG4+40IPRG5+47IPRG6+61IPRG7+78IPRG8+35IPRG9+30IPRG10+140IPRG11+187IPRG12>=12
 36IIST1+28IIST2+12IIST3+11IIST4+18IIST5+20IIST6+27IIST7+34IIST8+15IIST9+13IIST10+60IIST11+80IIST12>=12
 298IWAW1+233IWAW2+96IWAW3+87IWAW4+143IWAW5+167IWAW6+218IWAW7+278IWAW8+125IWAW9+105IWAW10+500IWAW11+667IWAW12>=12
 239IMUC1+187IMUC2+77IMUC3+69IMUC4+115IMUC5+134IMUC6+174IMUC7+223IMUC8+100IMUC9+84IMUC10+400IMUC11+534IMUC12>=12
 36IPEK1+28IPEK2+12IPEK3+11IPEK4+18IPEK5+20IPEK6+27IPEK7+34IPEK8+15IPEK9+13IPEK10+60IPEK11+80IPEK12>=12
 36IJFK1+28IJFK2+12IJFK3+11IJFK4+18IJFK5+20IJFK6+27IJFK7+34IJFK8+15IJFK9+13IJFK10+60IJFK11+80IJFK12>=12
 298kBCN1+233kBCN2+96kBCN3+87kBCN4+143kBCN5+167kBCN6+218kBCN7+278kBCN8+125kBCN9+105kBCN10+500kBCN11+667kBCN12>=12
 120kiCN1+94kiCN2+39kiCN3+35kiCN4+58kiCN5+67kiCN6+87kiCN7+112kiCN8+50kiCN9+42kiCN10+200kiCN11+267kiCN12>=12
 774kDXB1+605kDXB2+249kDXB3+224kDXB4+372kDXB5+434kDXB6+566kDXB7+723kDXB8+325kDXB9+271kDXB10+1300kDXB11+1734kDXB12>=12
 2381kSVO1+1861kSVO2+764kSVO3+689kSVO4+1143kSVO5+1334kSVO6+1740kSVO7+2223kSVO8+1000kSVO9+834kSVO10+4000kSVO11+5334kSVO12>=12
 120kCMB1+94kCMB2+39kCMB3+35kCMB4+58kCMB5+67kCMB6+87kCMB7+112kCMB8+50kCMB9+42kCMB10+200kCMB11+267kCMB12>=12
 239kIST1+187kIST2+77kIST3+69kIST4+115kIST5+134kIST6+174kIST7+223kIST8+100kIST9+84kIST10+400kIST11+534kIST12>=12
 596kWAW1+466kWAW2+191kWAW3+173kWAW4+286kWAW5+334kWAW6+435kWAW7+556kWAW8+250kWAW9+209kWAW10+1000kWAW11+1334kWAW12>=12

298kMUC1+233kMUC2+96kMUC3+87kMUC4+143kMUC5+167kMUC6+218kMUC7+278kMUC8+125kMUC9+105kMUC10+500kMUC11+667kMUC12>=12
 298kYYZ1+233kYYZ2+96kYYZ3+87kYYZ4+143kYYZ5+167kYYZ6+218kYYZ7+278kYYZ8+125kYYZ9+105kYYZ10+500kYYZ11+667kYYZ12>=12
 1191kLHR1+931kLHR2+382kLHR3+345kLHR4+572kLHR5+667kLHR6+870kLHR7+1112kLHR8+500kLHR9+417kLHR10+2000kLHR11+2667kLHR12>=12
 1489kDEL1+1163kDEL2+478kDEL3+431kDEL4+715kDEL5+834kDEL6+1087kDEL7+1389kDEL8+625kDEL9+521kDEL10+2500kDEL11+3334kDEL12>=12
 298kNRT1+233kNRT2+96kNRT3+87kNRT4+143kNRT5+167kNRT6+218kNRT7+278kNRT8+125kNRT9+105kNRT10+500kNRT11+667kNRT12>=12
 596kSGN1+466kSGN2+191kSGN3+173kSGN4+286kSGN5+334kSGN6+435kSGN7+556kSGN8+250kSGN9+209kSGN10+1000kSGN11+1334kSGN12>=12
 298kJFK1+233kJFK2+96kJFK3+87kJFK4+143kJFK5+167kJFK6+218kJFK7+278kJFK8+125kJFK9+105kJFK10+500kJFK11+667kJFK12>=12
 30oTBS1+24oTBS2+10oTBS3+9oTBS4+15oTBS5+17oTBS6+22oTBS7+28oTBS8+13oTBS9+11oTBS10+50oTBS11+67oTBS12>=12
 36oICN1+28oICN2+12oICN3+11oICN4+18oICN5+20oICN6+27oICN7+34oICN8+15oICN9+13oICN10+60oICN11+80oICN12>=12

179oDXB1+140oDXB2+58oDXB3+52oDXB4+86oDXB5+100oDXB6+131oDXB7+167oDXB8+75oDXB9+63oDXB10+300oDXB11+400oDXB12>=12
 596oSVO1+466oSVO2+191oSVO3+173oSVO4+286oSVO5+334oSVO6+435oSVO7+556oSVO8+250oSVO9+209oSVO10+1000oSVO11+1334oSVO12>=12
 179oPRG1+140oPRG2+58oPRG3+52oPRG4+86oPRG5+100oPRG6+131oPRG7+167oPRG8+75oPRG9+63oPRG10+300oPRG11+400oPRG12>=12
 596oIST1+466oIST2+191oIST3+173oIST4+286oIST5+334oIST6+435oIST7+556oIST8+250oIST9+209oIST10+1000oIST11+1334oIST12>=12
 120oWAW1+94oWAW2+39oWAW3+35oWAW4+58oWAW5+67oWAW6+87oWAW7+112oWAW8+50oWAW9+42oWAW10+200oWAW11+267oWAW12>=12
 417oMUC1+326oMUC2+134oMUC3+121oMUC4+200oMUC5+234oMUC6+305oMUC7+389oMUC8+175oMUC9+146oMUC10+700oMUC11+934oMUC12>=12
 358oDEL1+280oDEL2+115oDEL3+104oDEL4+172oDEL5+200oDEL6+261oDEL7+334oDEL8+150oDEL9+125oDEL10+600oDEL11+800oDEL12>=12
 179oCDG1+140oCDG2+58oCDG3+52oCDG4+86oCDG5+100oCDG6+131oCDG7+167oCDG8+75oCDG9+63oCDG10+300oCDG11+400oCDG12>=12
 179oPEK1+140oPEK2+58oPEK3+52oPEK4+86oPEK5+100oPEK6+131oPEK7+167oPEK8+75oPEK9+63oPEK10+300oPEK11+400oPEK12>=12
 18oSGN1+14oSGN2+6oSGN3+6oSGN4+9oSGN5+10oSGN6+14oSGN7+17oSGN8+8oSGN9+7oSGN10+30oSGN11+40oSGN12>=12
 60oJFK1+47oJFK2+20oJFK3+18oJFK4+29oJFK5+34oJFK6+44oJFK7+56oJFK8+25oJFK9+21oJFK10+100oJFK11+134oJFK12>=12

Airport capacity)

60IBC1+47IBC2+20IBC3+18IBC4+29IBC5+34IBC6+44IBC7+56IBC8+25IBC9+21IBC10+100IBC11+134IBC12+48IIC1+38IIC2+16IIC3+14IIC4+23IIC5
 +27IIC6+35IIC7+45IIC8+20IIC9+17IIC10+80IIC11+107IIC12+48IDXB1+38IDXB2+16IDXB3+14IDXB4+23IDXB5+27IDXB6+35IDXB7+45IDXB8+20IDXB9+17IDXB10+
 80IDXB11+107IDXB12+36ISVO1+28ISVO2+12ISVO3+11ISVO4+18ISVO5+20ISVO6+27ISVO7+34ISVO8+15ISVO9+13ISVO10+60ISVO11+80ISVO12+84IPRG1+66IPRG2+27IP
 RG3+25IPRG4+40IPRG5+47IPRG6+61IPRG7+78IPRG8+35IPRG9+30IPRG10+140IPRG11+187IPRG12+36IIST1+28IIST2+12IIST3+11IIST4+18IIST5+20IIST6+27IIST7+34IIST8+1
 5IIST9+13IIST10+60IIST11+80IIST12+298IWAW1+233IWAW2+96IWAW3+87IWAW4+143IWAW5+167IWAW6+218IWAW7+278IWAW8+125IWAW9+105IWAW10+500IW
 AW11+667IWAW12+239IMUC1+187IMUC2+77IMUC3+69IMUC4+115IMUC5+134IMUC6+174IMUC7+223IMUC8+100IMUC9+84IMUC10+400IMUC11+534IMUC12+36IPE
 K1+28IPEK2+12IPEK3+11IPEK4+18IPEK5+20IPEK6+27IPEK7+34IPEK8+15IPEK9+13IPEK10+60IPEK11+80IPEK12+36IJFK1+28IJFK2+12IJFK3+11IJFK4+18IJFK5+20IJFK6+27IJF
 K7+34IJFK8+15IJFK9+13IJFK10+60IJFK11+80IJFK12<=100000

298kBCN1+233kBCN2+96kBCN3+87kBCN4+143kBCN5+167kBCN6+218kBCN7+278kBCN8+125kBCN9+105kBCN10+500kBCN11+667kBCN12+120kICN1+94kICN2+39kICN
 3+35kICN4+58kICN5+67kICN6+87kICN7+112kICN8+50kICN9+42kICN10+200kICN11+267kICN12+774kDXB1+605kDXB2+249kDXB3+224kDXB4+372kDXB5+434kDXB6+56
 6kDXB7+723kDXB8+325kDXB9+271kDXB10+1300kDXB11+1734kDXB12+2381kSVO1+1861kSVO2+764kSVO3+689kSVO4+1143kSVO5+1334kSVO6+1740kSVO7+2223kSV
 O8+1000kSVO9+834kSVO10+4000kSVO11+5334kSVO12+120kCMB1+94kCMB2+39kCMB3+35kCMB4+58kCMB5+67kCMB6+87kCMB7+112kCMB8+50kCMB9+42kCMB1
 0+200kCMB11+267kCMB12+239kIST1+187kIST2+77kIST3+69kIST4+115kIST5+134kIST6+174kIST7+223kIST8+100kIST9+84kIST10+400kIST11+534kIST12+596kWAW1+4
 66kWAW2+191kWAW3+173kWAW4+286kWAW5+334kWAW6+435kWAW7+556kWAW8+250kWAW9+209kWAW10+1000kWAW11+1334kWAW12+298kMUC1+233k
 MUC2+96kMUC3+87kMUC4+143kMUC5+167kMUC6+218kMUC7+278kMUC8+125kMUC9+105kMUC10+500kMUC11+667kMUC12+298kYYZ1+233kYYZ2+96kYYZ3+87k
 YYZ4+143kYYZ5+167kYYZ6+218kYYZ7+278kYYZ8+125kYYZ9+105kYYZ10+500kYYZ11+667kYYZ12+1191kLHR1+931kLHR2+382kLHR3+345kLHR4+572kLHR5+667kLHR6+87
 0kLHR7+1112kLHR8+500kLHR9+417kLHR10+2000kLHR11+2667kLHR12+1489kDEL1+1163kDEL2+478kDEL3+431kDEL4+715kDEL5+834kDEL6+1087kDEL7+1389kDEL8+6
 25kDEL9+521kDEL10+2500kDEL11+3334kDEL12+298kNRT1+233kNRT2+96kNRT3+87kNRT4+143kNRT5+167kNRT6+218kNRT7+278kNRT8+125kNRT9+105kNRT10+500k
 NRT11+667kNRT12+596kSGN1+466kSGN2+191kSGN3+173kSGN4+286kSGN5+334kSGN6+435kSGN7+556kSGN8+250kSGN9+209kSGN10+1000kSGN11+1334kSGN12+2
 98kJFK1+233kJFK2+96kJFK3+87kJFK4+143kJFK5+167kJFK6+218kJFK7+278kJFK8+125kJFK9+105kJFK10+500kJFK11+667kJFK12<=100000

30oTBS1+24oTBS2+10oTBS3+9oTBS4+15oTBS5+17oTBS6+22oTBS7+28oTBS8+13oTBS9+11oTBS10+50oTBS11+67oTBS12+36oICN1+28oICN2+12oICN3+11oICN4+18oICN5+20oICN6+27oICN7+34oICN8+15oICN9+13oICN10+60oICN11+80oICN12+179oDXB1+140oDXB2+58oDXB3+52oDXB4+86oDXB5+100oDXB6+131oDXB7+167oDXB8+75oDXB9+63oDXB10+300oDXB11+400oDXB12+596oSVO1+466oSVO2+191oSVO3+173oSVO4+286oSVO5+334oSVO6+435oSVO7+556oSVO8+250oSVO9+209oSVO10+1000oSVO11+1334oSVO12+179oPRG1+140oPRG2+58oPRG3+52oPRG4+86oPRG5+100oPRG6+131oPRG7+167oPRG8+75oPRG9+63oPRG10+300oPRG11+400oPRG12+596oIST1+466oIST2+191oIST3+173oIST4+286oIST5+334oIST6+435oIST7+556oIST8+250oIST9+209oIST10+1000oIST11+1334oIST12+120oWAW1+94oWAW2+39oWAW3+35oWAW4+58oWAW5+67oWAW6+87oWAW7+112oWAW8+50oWAW9+42oWAW10+200oWAW11+267oWAW12+417oMUC1+326oMUC2+134oMUC3+121oMUC4+200oMUC5+234oMUC6+305oMUC7+389oMUC8+175oMUC9+146oMUC10+700oMUC11+934oMUC12+358oDEL1+280oDEL2+115oDEL3+104oDEL4+172oDEL5+200oDEL6+261oDEL7+334oDEL8+150oDEL9+125oDEL10+600oDEL11+800oDEL12+179oCDG1+140oCDG2+58oCDG3+52oCDG4+86oCDG5+100oCDG6+131oCDG7+167oCDG8+75oCDG9+63oCDG10+300oCDG11+400oCDG12+179oPEK1+140oPEK2+58oPEK3+52oPEK4+86oPEK5+100oPEK6+131oPEK7+167oPEK8+75oPEK9+63oPEK10+300oPEK11+400oPEK12+18oSGN1+14oSGN2+6oSGN3+6oSGN4+9oSGN5+10oSGN6+14oSGN7+17oSGN8+8oSGN9+7oSGN10+30oSGN11+40oSGN12+60oJFK1+47oJFK2+20oJFK3+18oJFK4+29oJFK5+34oJFK6+44oJFK7+56oJFK8+25oJFK9+21oJFK10+100oJFK11+134oJFK12<=30000

end
gin 444

! WITHOUT RESTRICTIONS OF AIRPORTS ON UA AVIATION MARKET

Min

10IBCN1+1000IICN1+10IDXB1+10ISVO1+10IPRG1+10IIST1+10IWAW1+10IMUC1+1000IPEK1+1000IJFK1+10kBCN1+1000kICN1+10kDXB1+10kSVO1+1000kCMB1+10kIST1+10kWAW1+10kMUC1+1000kYYZ1+10kLHR1+10kDEL1+1000kNRT1+1000kSGN1+1000kJFK1+10oTBS1+1000oICN1+10oDXB1+10oSVO1+10oPRG1+10oIST1+10oWAW1+10oMUC1+10oDEL1+10oCDG1+1000oPEK1+1000oSGN1+1000oJFK1+10IBCN2+1000IICN2+10IDXB2+10ISVO2+10IPRG2+10IIST2+10IWAW2+10IMUC2+1000IPEK2+1000IJFK2+10kBCN2+1000kICN2+10kDXB2+10kSVO2+1000kCMB2+10kIST2+10kWAW2+10kMUC2+1000kYYZ2+10kLHR2+10kDEL2+1000kNRT2+1000kSGN2+1000kJFK2+10oTBS2+1000oICN2+10oDXB2+10oSVO2+10oPRG2+10oIST2+10oWAW2+10oMUC2+10oDEL2+10oCDG2+1000oPEK2+1000oSGN2+1000oJFK2+17IBCN3+17IICN3+17IDXB3+17ISVO3+17IPRG3+17IIST3+17IWAW3+17IMUC3+17IPEK3+17IJFK3+17kBCN3+17kICN3+17kDXB3+17kSVO3+17kCMB3+17kIST3+17kWAW3+17kMUC3+17kYYZ3+17kLHR3+17kDEL3+17kNRT3+17kSGN3+17kJFK3+17oTBS3+17oICN3+17oDXB3+17oSVO3+17oPRG3+17oIST3+17oWAW3+17oMUC3+17oDEL3+17oCDG3+17oPEK3+17oSGN3+17oJFK3+19IBCN4+19IICN4+19IDXB4+19ISVO4+19IPRG4+19IIST4+19IWAW4+19IMUC4+19IPEK4+19IJFK4+19kBCN4+19kICN4+19kDXB4+19kSVO4+19kCMB4+19kIST4+19kWAW4+19kMUC4+19kYYZ4+19kLHR4+19kDEL4+19kNRT4+19kSGN4+19kJFK4+19oTBS4+19oICN4+19oDXB4+19oSVO4+19oPRG4+19oIST4+19oWAW4+19oMUC4+19oDEL4+19oCDG4+19oPEK4+19oSGN4+19oJFK4+16IBCN5+16IICN5+16IDXB5+16ISVO5+16IPRG5+16IIST5+16IWAW5+16IMUC5+16IPEK5+16IJFK5+16kBCN5+16kICN5+16kDXB5+16kSVO5+16kCMB5+16kIST5+16kWAW5+16kMUC5+16kYYZ5+16kLHR5+16kDEL5+16kNRT5+16kSGN5+16kJFK5+16oTBS5+16oICN5+16oDXB5+16oSVO5+16oPRG5+16oIST5+16oWAW5+16oMUC5+16oDEL5+16oCDG5+16oPEK5+16oSGN5+16oJFK5+14IBCN6+1400IICN6+14IDXB6+14ISVO6+14IPRG6+14IIST6+14IWAW6+14IMUC6+14IPEK6+14IJFK6+14kBCN6+14kICN6+14kDXB6+14kSVO6+14kCMB6+14kIST6+14kWAW6+14kMUC6+14kYYZ6+14kLHR6+14kDEL6+14kNRT6+14kSGN6+14kJFK6+14oTBS6+14oICN6+14oDXB6+14oSVO6+14oPRG6+14oIST6+14oWAW6+14oMUC6+14oDEL6+14oCDG6+14oPEK6+14oSGN6+14oJFK6+11IBCN7+11IICN7+11IDXB7+11ISVO7+11IPRG7+11IIST

7+11IWAW7+11IMUC7+11IPEK7+11IJFK7+11kBCN7+11kICN7+11kDXB7+11kSVO7+11kCMB7+11kIST7+11kWAW7+11kMUC7+11kYYZ7+11kLHR7+11kDEL7+11kNRT7+11kSGN7+11kJFK7+11oTBS7+11oICN7+11oDXB7+11oSVO7+11oPRG7+11oIST7+11oWAW7+11oMUC7+11oDEL7+11oCDG7+11oPEK7+11oSGN7+11oJFK7+9IBC8+900IICN8+9IDXB8+9ISVO8+9IPRG8+9IIST8+9IWAW8+9IMUC8+900IPEK8+900IJFK8+9kBCN8+900kICN8+9kDXB8+9kSVO8+900kCMB8+9kIST8+9kWAW8+9kMUC8+900kYYZ8+9kLHR8+9kDEL8+900kNRT8+900kSGN8+900kJFK8+9oTBS8+900oICN8+9oDXB8+9oSVO8+9oPRG8+9oIST8+9oWAW8+9oMUC8+9oDEL8+9oCDG8+900oPEK8+900oSGN8+900oJFK8+18IBC9+1800IICN9+18IDXB9+18ISVO9+18IPRG9+18IIST9+18IWAW9+18IMUC9+18IPEK9+18IJFK9+18kBCN9+18kICN9+18kDXB9+18kSVO9+18kCMB9+18kIST9+18kWAW9+18kMUC9+18kYYZ9+18kLHR9+18kDEL9+18kNRT9+18kSGN9+18kJFK9+18oTBS9+18oICN9+18oDXB9+18oSVO9+18oPRG9+18oIST9+18oWAW9+18oMUC9+18oDEL9+18oCDG9+18oPEK9+18oSGN9+18oJFK9+35IBC10+35IICN10+35IDXB10+35ISVO10+35IPRG10+35IIST10+35IWAW10+35IMUC10+35IPEK10+35IJFK10+35kBCN10+35kICN10+35kDXB10+35kSVO10+35kCMB10+35kIST10+35kWAW10+35kMUC10+35kYYZ10+35kLHR10+35kDEL10+35kNRT10+35kSGN10+35kJFK10+35oTBS10+35oICN10+35oDXB10+35oSVO10+35oPRG10+35oIST10+35oWAW10+35oMUC10+35oDEL10+35oCDG10+35oPEK10+35oSGN10+35oJFK10+2IBC11+200IICN11+200IDXB11+2ISVO11+2IPRG11+2IIST11+2IWAW11+2IMUC11+200IPEK11+200IJFK11+2kBCN11+200kICN11+200kDXB11+2kSVO11+200kCMB11+2kIST11+2kWAW11+2kMUC11+200kYYZ11+2kLHR11+200kDEL11+200kNRT11+200kSGN11+200kJFK11+2oTBS11+200oICN11+200oDXB11+2oSVO11+2oPRG11+2oIST11+2oWAW11+2oMUC11+200oDEL11+2oCDG11+200oPEK11+200oSGN11+200oJFK11+1IBC12+100IICN12+100IDXB12+1ISVO12+1IPRG12+1IIST12+1IWAW12+1IMUC12+100IPEK12+100IJFK12+1kBCN12+100kICN12+100kDXB12+1kSVO12+100kCMB12+1kIST12+1kWAW12+1kMUC12+100kYYZ12+1kLHR12+100kDEL12+100kNRT12+100kSGN12+100kJFK12+1oTBS12+100oICN12+1oDXB12+1oSVO12+1oPRG12+1oIST12+1oWAW12+1oMUC12+100oDEL12+1oCDG12+100oPEK12+100oSGN12+100oJFK12

St

Demand)

122362IBC1+165325IBC2+429420IBC3+476132IBC4+268502IBC5+230145IBC6+187446IBC7+136463IBC8+314080IBC9+389892IBC10+57375IBC11+38680IBC12>=10000
 17554IICN1+23718IICN2+61605IICN3+68306IICN4+38520IICN5+33017IICN6+26891IICN7+19577IICN8+45058IICN9+55934IICN10+8231IICN11+5549IICN12>=8000
 61851IDXB1+83568IDXB2+217061IDXB3+240673IDXB4+135721IDXB5+116333IDXB6+94750IDXB7+68979IDXB8+158760IDXB9+197081IDXB10+29002IDXB11+19552IDXB12>=8000
 210709ISVO1+284694ISVO2+739472ISVO3+819911ISVO4+462367ISVO5+396315ISVO6+322787ISVO7+234992ISVO8+540853ISVO9+671404ISVO10+98802ISVO11+66608ISVO12>=6000
 344352IPRG1+465262IPRG2+1208484IPRG3+1339941IPRG4+755625IPRG5+647678IPRG6+527515IPRG7+384035IPRG8+883890IPRG9+1097243IPRG10+161466IPRG11+108854IPRG12>=14000
 222778IIST1+301000IIST2+781827IIST3+866873IIST4+488850IIST5+419015IIST6+341275IIST7+248451IIST8+571831IIST9+709860IIST10+104461IIST11+70423IIST12>=6000
 708233IWAW1+956911IWAW2+2485508IWAW3+2755879IWAW4+1554105IWAW5+1332090IWAW6+1084948IWAW7+789851IWAW8+1817911IWAW9+2256717IWAW10+332090IWAW11+223881IWAW12>=50000
 263914IMUC1+356580IMUC2+926191IMUC3+1026941IMUC4+579116IMUC5+496385IMUC6+404291IMUC7+294328IMUC8+677420IMUC9+840935IMUC10+123749IMUC11+83427IMUC12>=40000
 34386IPEK1+46459IPEK2+120674IPEK3+133800IPEK4+75453IPEK5+64674IPEK6+52675IPEK7+38348IPEK8+88261IPEK9+109566IPEK10+16124IPEK11+10870IPEK12>=6000

33031IJFK1+44629IJFK2+115919IJFK3+128529IJFK4+72481IJFK5+62126IJFK6+50600IJFK7+36837IJFK8+84784IJFK9+105249IJFK10+15488IJFK11+10442IJFK12>=60
 00
 98982kBCN1+133736kBCN2+347370kBCN3+385157kBCN4+217199kBCN5+186171kBCN6+151631kBCN7+110388kBCN8+254068kBCN9+315395kBCN10+46413k
 BCN11+31290kBCN12>=50000
 32502kICN1+43914kICN2+114061kICN3+126469kICN4+71319kICN5+61131kICN6+49789kICN7+36247kICN8+83425kICN9+103562kICN10+15240kICN11+10274kI
 CN12>=20000
 67403kDXB1+91070kDXB2+236547kDXB3+262279kDXB4+147905kDXB5+126776kDXB6+103255kDXB7+75171kDXB8+173012kDXB9+214773kDXB10+31606kDXB
 11+21307kDXB12>=130000
 313419kSVO1+423468kSVO2+1099928kSVO3+1219577kSVO4+687748kSVO5+589499kSVO6+480129kSVO7+349538kSVO8+804492kSVO9+998679kSVO10+1469
 62kSVO11+99076kSVO12>=400000
 35705kCMB1+48242kCMB2+125305kCMB3+138935kCMB4+78349kCMB5+67156kCMB6+54697kCMB7+39820kCMB8+91648kCMB9+113770kCMB10+16742kC
 MB11+11287kCMB12>=20000
 224464kIST1+303279kIST2+787744kIST3+873434kIST4+492550kIST5+422186kIST6+343858kIST7+250332kIST8+576159kIST9+715232kIST10+105251kIST11+709
 56kIST12>=40000
 343853kWAW1+464587kWAW2+1206733kWAW3+1337999kWAW4+754529kWAW5+646740kWAW6+526750kWAW7+383479kWAW8+882609kWAW9+10956
 53kWAW10+161232kWAW11+108696kWAW12>=100000
 169956kMUC1+229632kMUC2+596451kMUC3+661332kMUC4+372941kMUC5+319664kMUC6+260357kMUC7+189542kMUC8+436247kMUC9+541548kMUC10
 +79692kMUC11+53725kMUC12>=50000
 31363kYYZ1+42375kYYZ2+110066kYYZ3+122039kYYZ4+68821kYYZ5+58989kYYZ6+48045kYYZ7+34977kYYZ8+80503kYYZ9+99934kYYZ10+14706kYYZ11+9915kYY
 Z12>=50000
 111076kLHR1+150078kLHR2+389816kLHR3+432219kLHR4+243739kLHR5+208919kLHR6+170159kLHR7+123877kLHR8+285113kLHR9+353933kLHR10+52084kLH
 R11+35113kLHR12>=200000
 51770kDEL1+69947kDEL2+181682kDEL3+201445kDEL4+113600kDEL5+97371kDEL6+79306kDEL7+57736kDEL8+132883kDEL9+164958kDEL10+24275kDEL11+16
 365kDEL12>=250000
 28903kNRT1+39051kNRT2+101431kNRT3+112465kNRT4+63422kNRT5+54362kNRT6+44276kNRT7+32233kNRT8+74187kNRT9+92095kNRT10+13553kNRT11+91
 37kNRT12>=50000
 29259kSGN1+39533kSGN2+102682kSGN3+113852kSGN4+64204kSGN5+55032kSGN6+44822kSGN7+32631kSGN8+75102kSGN9+93230kSGN10+13720kSGN11+9
 249kSGN12>=100000
 31551kJFK1+42629kJFK2+110725kJFK3+122769kJFK4+69233kJFK5+59342kJFK6+48333kJFK7+35187kJFK8+80985kJFK9+100532kJFK10+14794kJFK11+9974kJFK12
 >=50000
 190876oTBS1+257897oTBS2+669868oTBS3+742735oTBS4+418846oTBS5+359011oTBS6+292404oTBS7+212873oTBS8+489944oTBS9+608206oTBS10+89502oTB
 S11+60338oTBS12>=5000
 31572oICN1+42657oICN2+110798oICN3+122851oICN4+69279oICN5+59382oICN6+48365oICN7+35210oICN8+81038oICN9+100599oICN10+14804oICN11+9981o
 ICN12>=6000

73752oDXB1+99648oDXB2+258827oDXB3+286982oDXB4+161836oDXB5+138717oDXB6+112981oDXB7+82251oDXB8+189307oDXB9+235002oDXB10+34582oDXB11+23314oDXB12>=30000
 208671oSVO1+281940oSVO2+732318oSVO3+811979oSVO4+457894oSVO5+392481oSVO6+319664oSVO7+232718oSVO8+535621oSVO9+664908oSVO10+97846oSVO11+65964oSVO12>=100000
 187112oPRG1+252812oPRG2+656661oPRG3+728091oPRG4+410588oPRG5+351933oPRG6+286639oPRG7+208676oPRG8+480284oPRG9+596215oPRG10+87737oPRG11+59149oPRG12>=30000
 379613oIST1+512904oIST2+1332233oIST3+1477151oIST4+833000oIST5+714000oIST6+581532oIST7+423360oIST8+974400oIST9+1209600oIST10+178000oIST11+120000oIST12>=100000
 249746oWAW1+337437oWAW2+876469oWAW3+971810oWAW4+548027oWAW5+469737oWAW6+382587oWAW7+278527oWAW8+641053oWAW9+795790oWAW10+117106oWAW11+78948oWAW12>=20000
 163401oMUC1+220775oMUC2+573448oMUC3+635826oMUC4+358558oMUC5+307335oMUC6+250316oMUC7+182232oMUC8+419422oMUC9+520662oMUC10+76619oMUC11+51653oMUC12>=70000

 52972oDEL1+71571oDEL2+185900oDEL3+206122oDEL4+116237oDEL5+99632oDEL6+81148oDEL7+59076oDEL8+135968oDEL9+168788oDEL10+24839oDEL11+16745oDEL12>=60000
 111389oCDG1+150500oCDG2+390914oCDG3+433437oCDG4+244425oCDG5+209508oCDG6+170638oCDG7+124226oCDG8+285916oCDG9+354930oCDG10+52231oCDG11+35212oCDG12>=30000
 35721oPEK1+48264oPEK2+125361oPEK3+138998oPEK4+78384oPEK5+67187oPEK6+54722oPEK7+39838oPEK8+91690oPEK9+113822oPEK10+16750oPEK11+11292oPEK12>=30000
 29400oSGN1+39724oSGN2+103178oSGN3+114402oSGN4+64514oSGN5+55298oSGN6+45039oSGN7+32789oSGN8+75465oSGN9+93681oSGN10+13786oSGN11+9294oSGN12>=3000
 30403oJFK1+41078oJFK2+106695oJFK3+118301oJFK4+66713oJFK5+57183oJFK6+46574oJFK7+33906oJFK8+78037oJFK9+96874oJFK10+14256oJFK11+9611oJFK12>=10000

Aircraft)

IBCN1+IICN1>IDXB1+ISVO1+IPRG1+IIST1+IWAW1+IMUC1+IPEK1+IJFK1+kBCN1+kICN1+kDXB1+kSVO1+kCMB1+kIST1+kWAW1+kMUC1+kYYZ1+kLHR1+kDEL1+kNRT1+kSGN1+kJFK1+oTBS1+oICN1+oDXB1+oSVO1+oPRG1+oIST1+oWAW1+oMUC1+oDEL1+oCDG1+oPEK1+oSGN1+oJFK1<=15

IBCN2+IICN2>IDXB2+ISVO2+IPRG2+IIST2+IWAW2+IMUC2+IPEK2+IJFK2+kBCN2+kICN2+kDXB2+kSVO2+kCMB2+kIST2+kWAW2+kMUC2+kYYZ2+kLHR2+kDEL2+kNRT2+kSGN2+kJFK2+oTBS2+oICN2+oDXB2+oSVO2+oPRG2+oIST2+oWAW2+oMUC2+oDEL2+oCDG2+oPEK2+oSGN2+oJFK2<=15

IBCN3+IICN3>IDXB3+ISVO3+IPRG3+IIST3+IWAW3+IMUC3+IPEK3+IJFK3+kBCN3+kICN3+kDXB3+kSVO3+kCMB3+kIST3+kWAW3+kMUC3+kYYZ3+kLHR3+kDEL3+kNRT3+kSGN3+kJFK3+oTBS3+oICN3+oDXB3+oSVO3+oPRG3+oIST3+oWAW3+oMUC3+oDEL3+oCDG3+oPEK3+oSGN3+oJFK3<=15

IBC4+IIC4+IDXB4+ISVO4+IPRG4+IIST4+IWAW4+IMUC4+IPEK4+IJFK4+kBCN4+kICN4+kDXB4+kSVO4+kCMB4+kIST4+kWAW4+kMUC4+kYYZ4+kLHR4+kDEL4+kNRT4+kSGN4+kJFK4+oTBS4+oICN4+oDXB4+oSVO4+oPRG4+oIST4+oWAW4+oMUC4+oDEL4+oCDG4+oPEK4+oSGN4+oJFK4<=15

IBC5+IIC5+IDXB5+ISVO5+IPRG5+IIST5+IWAW5+IMUC5+IPEK5+IJFK5+kBCN5+kICN5+kDXB5+kSVO5+kCMB5+kIST5+kWAW5+kMUC5+kYYZ5+kLHR5+kDEL5+kNRT5+kSGN5+kJFK5+oTBS5+oICN5+oDXB5+oSVO5+oPRG5+oIST5+oWAW5+oMUC5+oDEL5+oCDG5+oPEK5+oSGN5+oJFK5<=15

IBC6+IIC6+IDXB6+ISVO6+IPRG6+IIST6+IWAW6+IMUC6+IPEK6+IJFK6+kBCN6+kICN6+kDXB6+kSVO6+kCMB6+kIST6+kWAW6+kMUC6+kYYZ6+kLHR6+kDEL6+kNRT6+kSGN6+kJFK6+oTBS6+oICN6+oDXB6+oSVO6+oPRG6+oIST6+oWAW6+oMUC6+oDEL6+oCDG6+oPEK6+oSGN6+oJFK6<=15

IBC7+IIC7+IDXB7+ISVO7+IPRG7+IIST7+IWAW7+IMUC7+IPEK7+IJFK7+kBCN7+kICN7+kDXB7+kSVO7+kCMB7+kIST7+kWAW7+kMUC7+kYYZ7+kLHR7+kDEL7+kNRT7+kSGN7+kJFK7+oTBS7+oICN7+oDXB7+oSVO7+oPRG7+oIST7+oWAW7+oMUC7+oDEL7+oCDG7+oPEK7+oSGN7+oJFK7<=15

IBC8+IIC8+IDXB8+ISVO8+IPRG8+IIST8+IWAW8+IMUC8+IPEK8+IJFK8+kBCN8+kICN8+kDXB8+kSVO8+kCMB8+kIST8+kWAW8+kMUC8+kYYZ8+kLHR8+kDEL8+kNRT8+kSGN8+kJFK8+oTBS8+oICN8+oDXB8+oSVO8+oPRG8+oIST8+oWAW8+oMUC8+oDEL8+oCDG8+oPEK8+oSGN8+oJFK8<=15

IBC9+IIC9+IDXB9+ISVO9+IPRG9+IIST9+IWAW9+IMUC9+IPEK9+IJFK9+kBCN9+kICN9+kDXB9+kSVO9+kCMB9+kIST9+kWAW9+kMUC9+kYYZ9+kLHR9+kDEL9+kNRT9+kSGN9+kJFK9+oTBS9+oICN9+oDXB9+oSVO9+oPRG9+oIST9+oWAW9+oMUC9+oDEL9+oCDG9+oPEK9+oSGN9+oJFK9<=15

IBC10+IIC10+IDXB10+ISVO10+IPRG10+IIST10+IWAW10+IMUC10+IPEK10+IJFK10+kBCN10+kICN10+kDXB10+kSVO10+kCMB10+kIST10+kWAW10+kMUC10+kYYZ10+kLHR10+kDEL10+kNRT10+kSGN10+kJFK10+oTBS10+oICN10+oDXB10+oSVO10+oPRG10+oIST10+oWAW10+oMUC10+oDEL10+oCDG10+oPEK10+oSGN10+oJFK10<=15

IBC11+IIC11+IDXB11+ISVO11+IPRG11+IIST11+IWAW11+IMUC11+IPEK11+IJFK11+kBCN11+kICN11+kDXB11+kSVO11+kCMB11+kIST11+kWAW11+kMUC11+kYYZ11+kLHR11+kDEL11+kNRT11+kSGN11+kJFK11+oTBS11+oICN11+oDXB11+oSVO11+oPRG11+oIST11+oWAW11+oMUC11+oDEL11+oCDG11+oPEK11+oSGN11+oJFK11<=15

IBC12+IIC12+IDXB12+ISVO12+IPRG12+IIST12+IWAW12+IMUC12+IPEK12+IJFK12+kBCN12+kICN12+kDXB12+kSVO12+kCMB12+kIST12+kWAW12+kMUC12+kYYZ12+kLHR12+kDEL12+kNRT12+kSGN12+kJFK12+oTBS12+oICN12+oDXB12+oSVO12+oPRG12+oIST12+oWAW12+oMUC12+oDEL12+oCDG12+oPEK12+oSGN12+oJFK12<=5

end
gin 444

Результати розрахунків завдання (6.30)-(6.35)

1. За існуючих умов (виконано без умови на цілочисельність (gin) у зв'язку із обмеженнями ресурсу пам'яті наявної комп'ютерної техніки дослідника)

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 816.4044

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST			
ODXB2	0.301060	0.000000	13)	0.000000	-0.000200
ODEL2	0.838328	0.000000	14)	0.000000	-0.000104
LPEK6	0.600000	0.000000	15)	0.000000	-0.000014
LJFK6	0.600000	0.000000	16)	0.000000	-0.000182
KICN6	0.000434	0.000000	17)	0.000000	-0.000019
KCMB6	0.035857	0.000000	18)	0.000000	-0.000012
LDXB8	0.266667	0.000000	19)	0.000000	-0.000025
KICN9	0.239418	0.000000	20)	0.000000	-0.000224
KDXB9	0.751393	0.000000	21)	0.000000	-0.000038
KCMB9	0.191952	0.000000	22)	0.000000	-0.000135
KYYZ9	0.621095	0.000000	23)	0.000000	-0.000243
KDEL9	1.881354	0.000000	24)	0.000000	-0.000240
KNRT9	0.673973	0.000000	25)	0.000000	-0.000222
KSGN9	1.331522	0.000000	27)	0.000000	-0.013509
KJFK9	0.617398	0.000000	28)	0.000000	-0.000100
LBCN11	0.174292	0.000000	29)	0.000000	-0.000020
LSVO11	0.200000	0.000000	30)	0.000000	-0.000023
LPRG11	0.086706	0.000000	31)	0.000000	-0.000011
LIST11	0.200000	0.000000	32)	0.000000	-0.000017
LWAW11	0.150562	0.000000	33)	0.000000	-0.000026
LMUC11	0.323235	0.000000	34)	0.000000	-0.000140
KBCN11	1.077284	0.000000	35)	0.000000	-0.000038
KSV011	2.721792	0.000000	36)	0.000000	-0.011940
KIST11	0.380044	0.000000	37)	0.000000	-0.014507
KWAW11	0.620224	0.000000	38)	0.000000	-0.014029
KMUC11	0.627416	0.000000	50)	0.000000	34.829849
KLHR11	3.839951	0.000000	53)	0.000000	-0.200000
OTBS11	0.240000	0.000000	54)	0.000000	-0.033333
OSVO11	1.022014	0.000000	56)	0.000000	-0.033333
OPRG11	0.341931	0.000000	59)	0.000000	-0.700000
OIST11	0.561798	0.000000	60)	0.000000	-0.700000
OWAW11	0.170785	0.000000	62)	0.000000	-0.026685
OMUC11	0.913612	0.000000	65)	0.000000	-0.026689
OCDG11	0.574372	0.000000	75)	0.000000	-0.040000
OPEK11	0.716523	0.000000			
LICN12	1.441701	0.000000			
OICN12	0.601142	0.000000			
OPEK12	1.593893	0.000000			
OSGN12	0.322789	0.000000			
OJFK12	1.040474	0.000000			

NO. ITERATIONS= 74

ROW SLACK OR SURPLUS DUAL
PRICES

DEMAND)	0.000000	-0.000035
3)	0.000000	-0.024298
6)	0.000000	-0.000012
8)	0.000000	-0.000006
9)	0.000000	-0.000016
12)	0.000000	-0.000043

2.Без обмежень за класом аеропорту

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 284.0000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
KSV02	1.000000	10.000000
KLHR2	1.000000	10.000000
KDEL2	1.000000	10.000000
ODEL2	1.000000	10.000000
KDEL3	1.000000	17.000000
KSGN3	1.000000	17.000000
KDXB5	1.000000	16.000000
KYYZ6	1.000000	14.000000
KNRT6	1.000000	14.000000
KJFK6	1.000000	14.000000
LICN7	1.000000	11.000000
LPEK7	1.000000	11.000000
LJFK7	1.000000	11.000000
KICN7	1.000000	11.000000
KCMB7	1.000000	11.000000
OICN7	1.000000	11.000000
OPEK7	1.000000	11.000000
OSGN7	1.000000	11.000000
OJFK7	1.000000	11.000000
LDXB8	1.000000	9.000000
ODXB8	1.000000	9.000000
LBCN11	1.000000	2.000000
LSVO11	1.000000	2.000000
LPRG11	1.000000	2.000000
LIST11	1.000000	2.000000
LWAW11	1.000000	2.000000
LMUC11	1.000000	2.000000
KIST11	1.000000	2.000000
KWAW11	1.000000	2.000000
KMUC11	1.000000	2.000000
KLHR11	1.000000	2.000000
OTBS11	1.000000	2.000000
OPRG11	1.000000	2.000000
OIST11	1.000000	2.000000
OMUC11	1.000000	2.000000
OCDG11	1.000000	2.000000
KBCN12	2.000000	1.000000
OSVO12	2.000000	1.000000
OWAW12	1.000000	1.000000

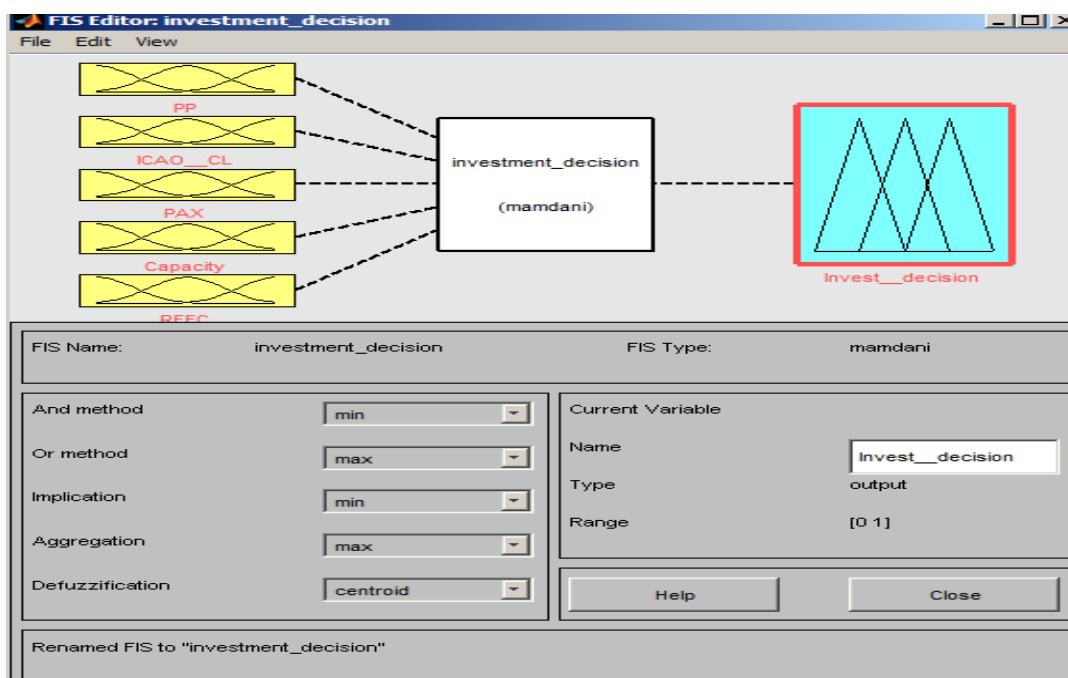
ROW SLACK OR SURPLUS DUAL PRICES

NO. ITERATIONS= 3180

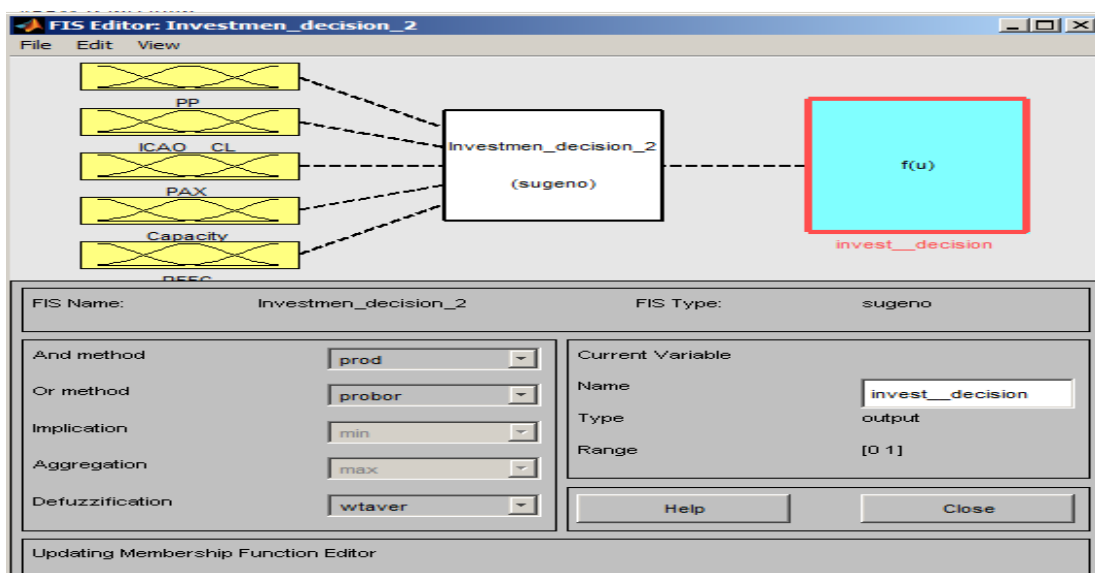
BRANCHES= 394 DETERM.= 1.000E 0

ДОДАТОК Н

МОДЕЛЮВАННЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ВИБОРУ ІНВЕСТИЦІЙНО ПРИВАБЛИВОГО АЕРОПОРТУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ППП MATLAB



a)



б)

Рисунок Н.1 – FIS Editor завдання вибору інвестиційно привабливого аеропорту з нечітким висновком Мамдані (а) та Сугено (б)

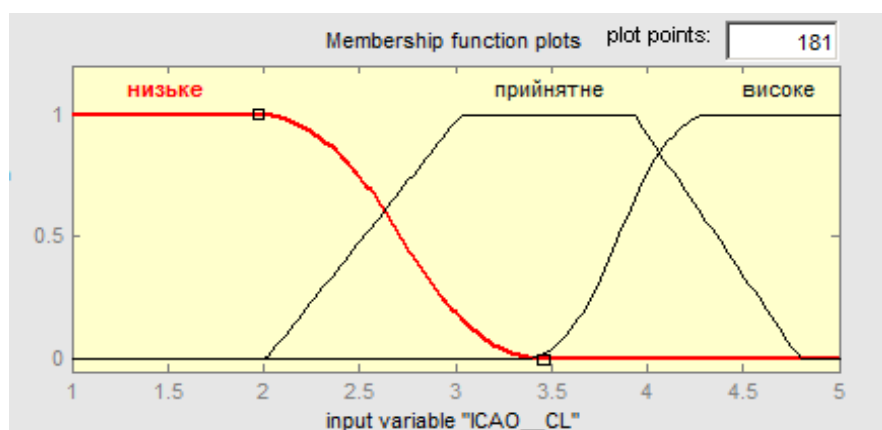
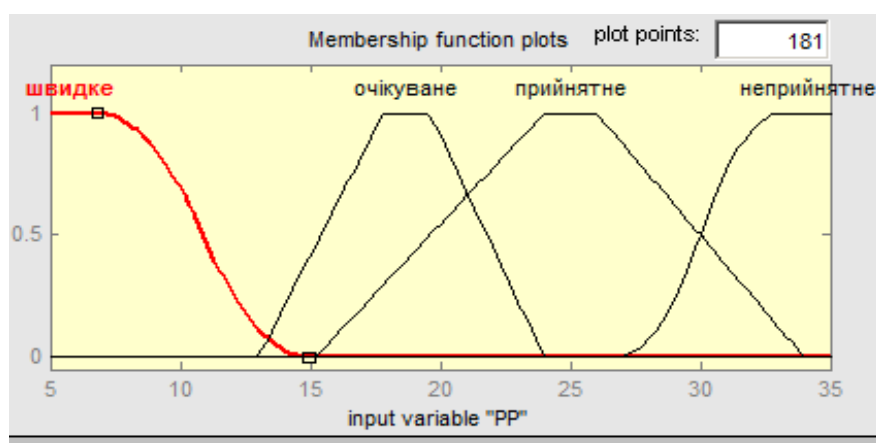
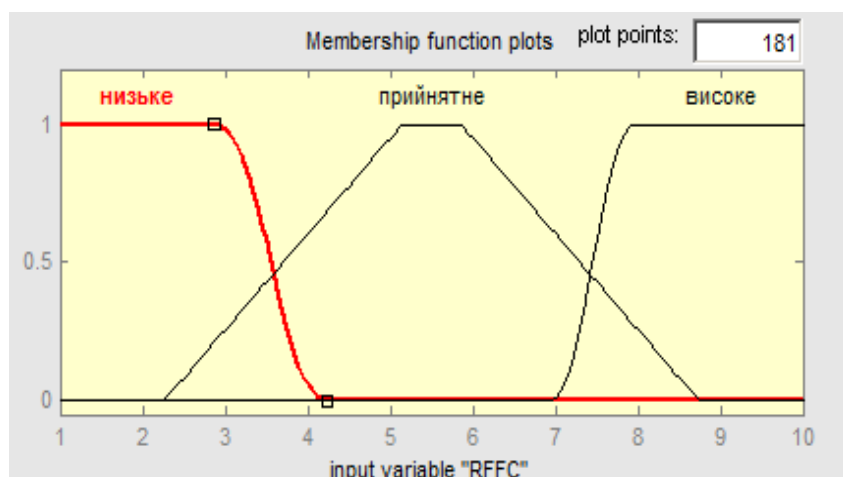


Рисунок Н.2 – Приклад побудованих ФП вхідних змінних в Membership Function Editor

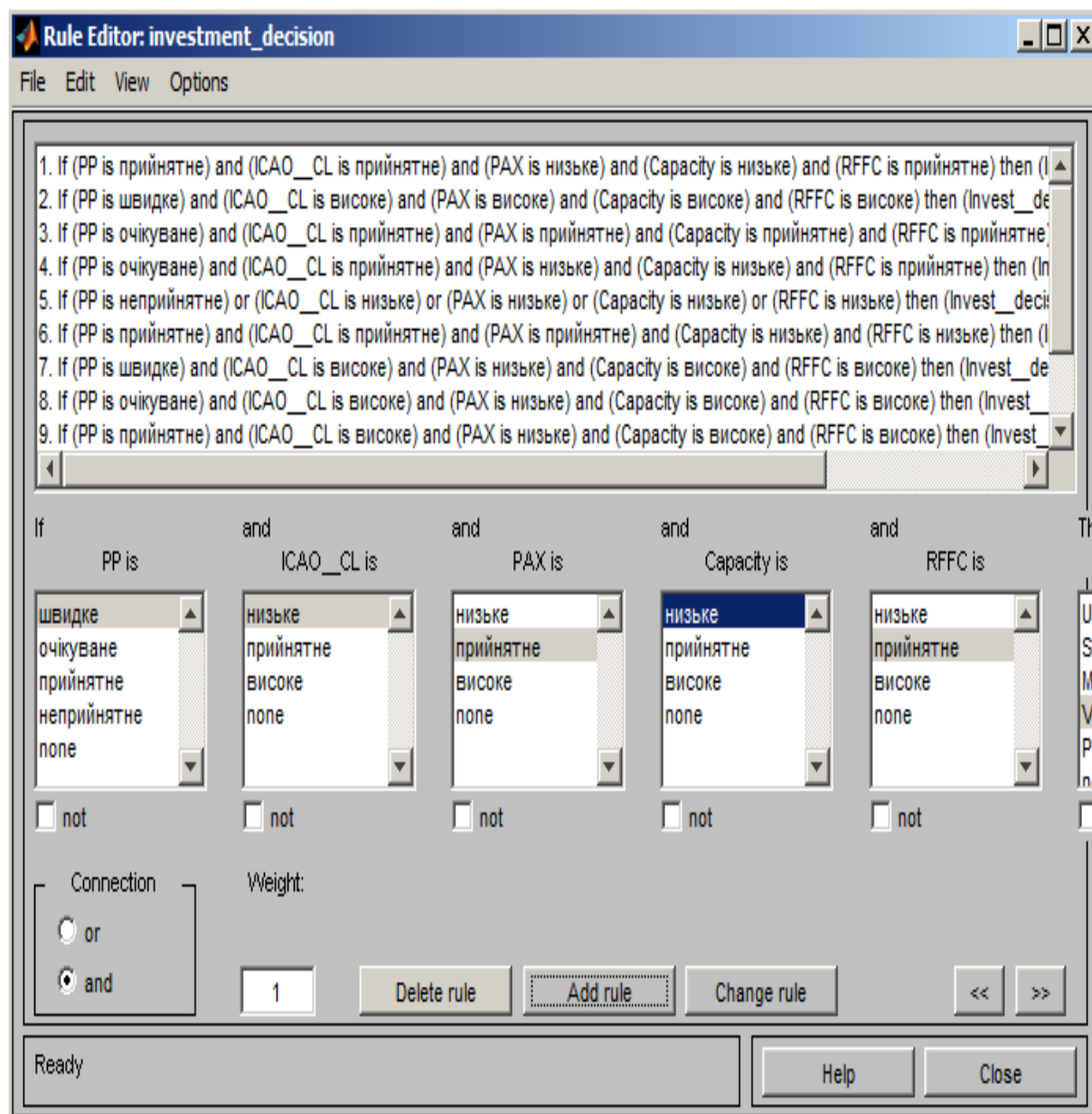
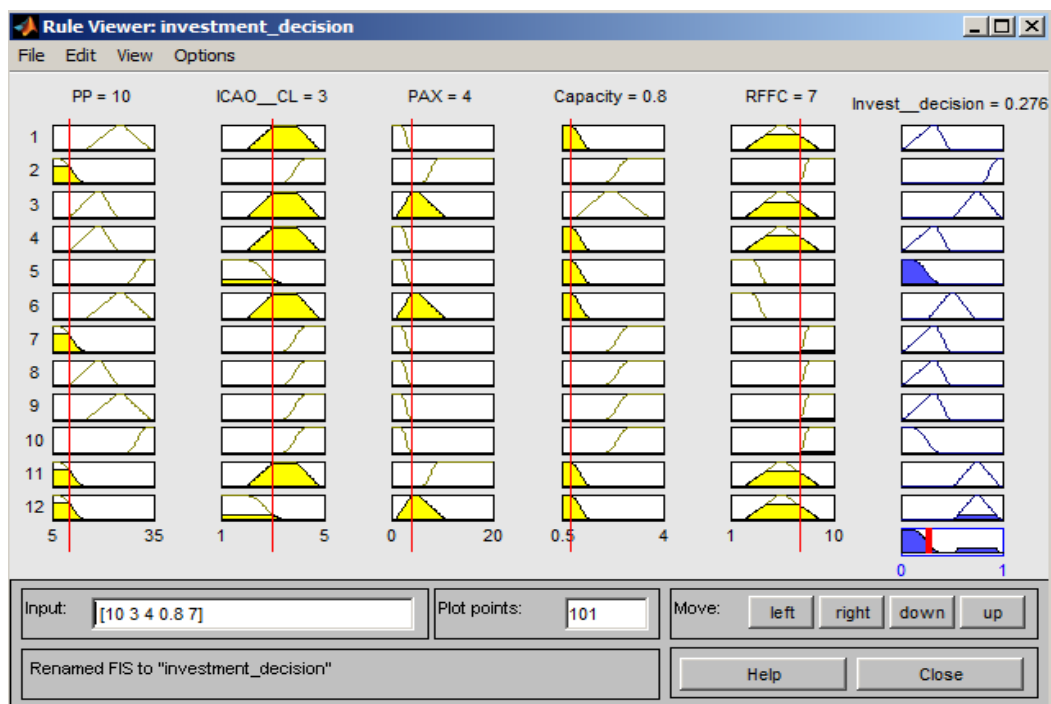
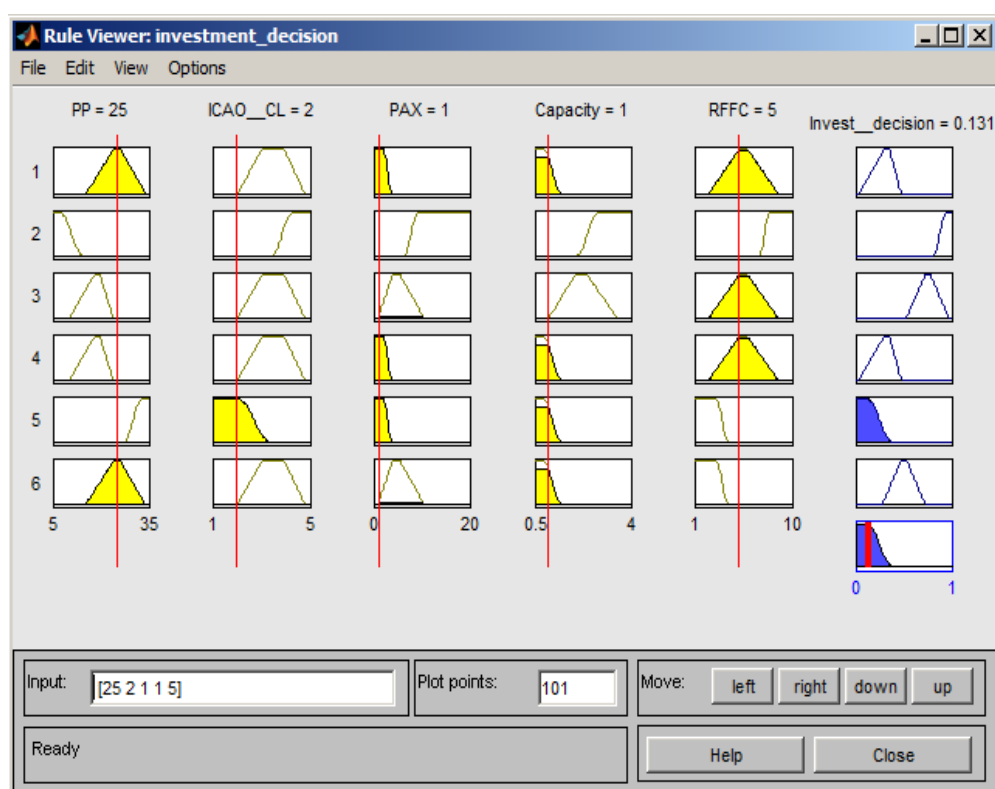


Рисунок Н.3 – Приклад конструювання нечіткої бази знань в Rule Editor

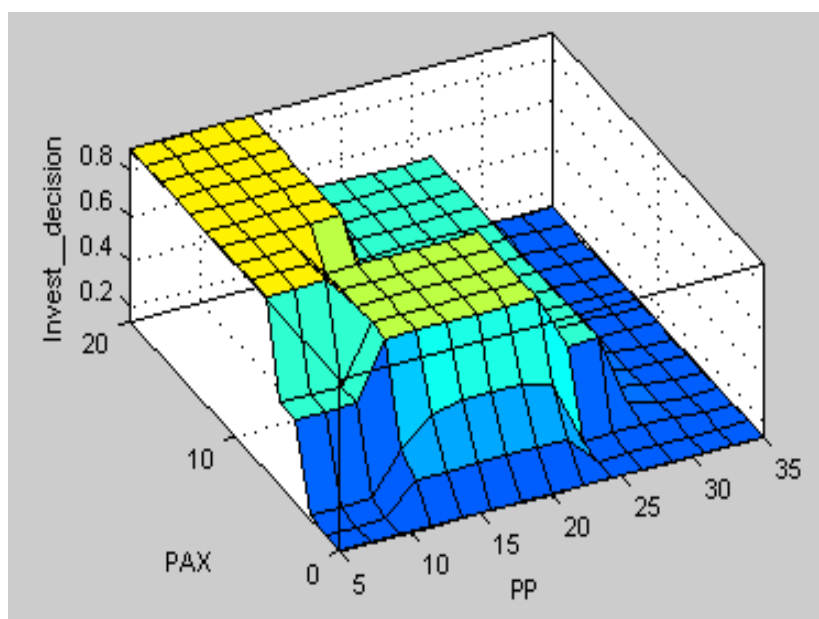


a)

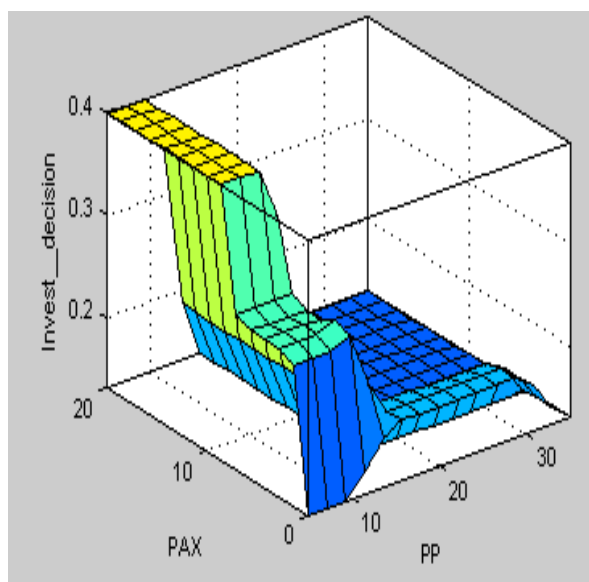


б)

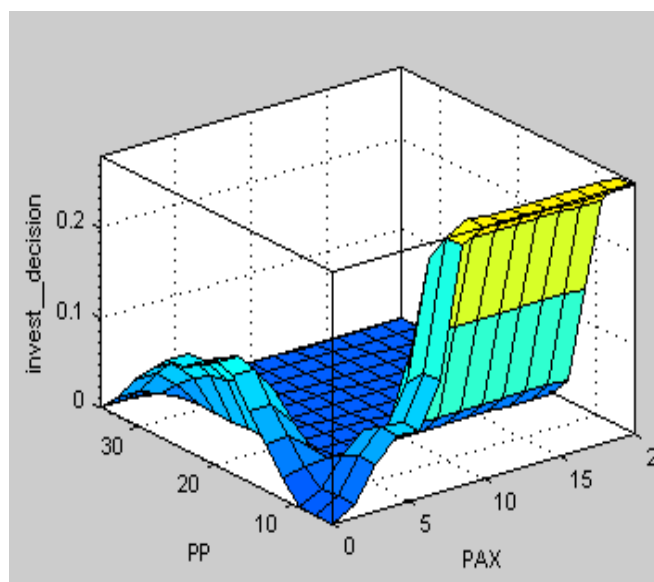
Рисунок Н.4 – Приклад перегляду правил нечіткого висновку в Rule Viewer для даних аеропортів «Донецьк» (а), «Одеса» (б)



а)



б)



в)

Рисунок Н.5 – Вид поверхні Y для аеропортів: а – «Харків»; б – «Одеса» (за базою знань Мамдані); в – «Одеса» (за базою знань Сугено)



Рисунок Н.6 – Алгоритм нечіткого висновку для НМ-2

ДОДАТОК П

ЩОДО МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО

ФУНКЦІОНУВАННЯ НАВАНТАЖУВАЛЬНО-

РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ ПУНКТІВ

ВАНТАЖНОГО СКЛАДУ АЕРОПОРТУ

Таблиця П.1 – Вхідні статистичні дані (методика (6.87)-(6.93))

№	Назва показника	Позначення	Значення
1	Розрахунковий вантажопотік, т/год	G	33,3
2	Кількість типів автомобілів	I	3
3	Частка автомобілів 1-го типу	β_1	0,81
4	Частка автомобілів 2-го типу	β_2	0,10
5	Частка автомобілів 3-го типу	β_3	0,08
6	Середнє завантаження автомобілів 1-го типу, т	g_1	4
7	Середнє завантаження автомобілів 2-го типу, т	g_2	4
8	Середнє завантаження автомобілів 3-го типу, т	g_3	2,5
9	Дисперсія завантаження автомобілів 1-го типу, т ²	D_1	0,18
10	Дисперсія завантаження автомобілів 2-го типу, т ²	D_2	0,16
11	Дисперсія завантаження автомобілів 3-го типу, т ²	D_3	0,64
12	Середня маса одного місця вантажу автомобіля 1-го типу, т	m_1	0,03
13	Середня маса одного місця вантажу автомобіля 2-го типу, т	m_2	0,3
14	Середня маса одного місця вантажу автомобіля 3-го типу, т	m_3	0,03
15	Дисперсія маси одного місця вантажу автомобіля 1-го типу, т ²	V_1	0,0006
16	Дисперсія маси одного місця вантажу автомобіля 2-го типу, т ²	V_2	0,062
17	Дисперсія маси одного місця вантажу автомобіля 3-го типу, т ²	V_3	0,0004
18	Частка місць вантажу масою більше ніж δ на автомобілі 1-го типу	α_1	0,05
19	Частка місць вантажу масою більше ніж δ на автомобілі 2-го типу	α_2	1
20	Частка місць вантажу масою більше ніж δ на автомобілі 3-го типу	α_3	0,01
21	Час розвантаження одного місця вручну, хв	t_p	0,083
22	Час розвантаження одного місця краном, хв	t_k	1,5
23	Час розвантаження одного місця засобами механізації, хв	t_m	0,16
24	Кількість робочих днів у році, дні	N_d	312
25	Кількість робочих годин на день, год	T	8
26	Експлуатаційні витрати на одну розвантажувальну ділянку за рік, ум. гр. од.	$C_{рд}$	5000,00
26	Витрати, пов'язані з 1 год простою автомобілю, ум. грош. од.	q	35,00
28	Ринковий коефіцієнт ефективності	E_0	0,12
29	Коефіцієнт, що враховує вартість монтажу	k_s	1,15
30	Капітальні витрати на одну ділянку розвантаження, ум. грош. од.	K	8030,00

Прийнято, що автомобілі 2-го типу мають спеціальну механізацію.

Таблиця П.2 – Проміжні результати розрахунків характеристик експлуатації НРП у експериментальному аеропорту

Формула	Характеристика системи	Значення	Одиниці виміру
(6.87)	Інтенсивність прибуття автомобілів, λ	8,67	авто/год.
(6.88)	Середній час навантажування/розвантаження одного місця вантажу із автомобіля кожного типу:		
	t_1	0,15	хв.
	t_2	0,08	
	t_3	0,10	
(6.89)	Середній час навантажування/розвантаження автомобілів кожного типу		
	$\bar{t}_1$	20,51	хв.
	$\bar{t}_2$	1,11	
	$\bar{t}_3$	8,10	
(6.90)	Дисперсія часу навантажування/розвантаження автомобілів кожного типу		
	σ_1^2	285,27	хв ² .
	σ_2^2	0,86	
	σ_3^2	35,86	
(6.91)	Середній час навантажування/розвантаження одного автомобіля, $\bar{t}$	17,37	хв.
(6.92)	Кількість НРП	3	пункти

Скориставшись моделлю черги з декількома сервісами обслуговування, розраховуємо параметри заданої системи¹⁸ (табл. 6.22).

Таблиця П.3 – Перелік додаткових документів, які оформлюються у випадку, якщо вантаж прибув у аеропорт «Бориспіль» без товаросупровідних документів

Обов'язкові листи	Інші документи
1. Лист від компанії відправника (за HAWB) вантажу з проханням прийняти на роботу інвойс висланий по електронній пошті (експрес-поштою і т.п.) 2. Переклад листа компанії-відправника із зазначенням прізвища перекладача і номера його диплома. 3. Лист від компанії одержувача вантажу (за HAWB) з описом даної проблеми і проханням прийняти до оформлення надані копії документів. 4. Лист від експедитора (одержувача MAWB)	1. Копія MAWB, пропечатані авіакомпанією 2. Копія HAWB, пропечатані експедитором 3. Інвойс - оригінал або копія, завірена печаткою, підписами директора і головного бухгалтера (якщо він є у штаті) підприємства одержувача вантажу. 4. Зовнішньоекономічний контракт та специфікація з даного вантажу між компанією відправником і компанією одержувачем.

¹⁸ Розрахунки виконані за допомогою програми Microsoft Excel.

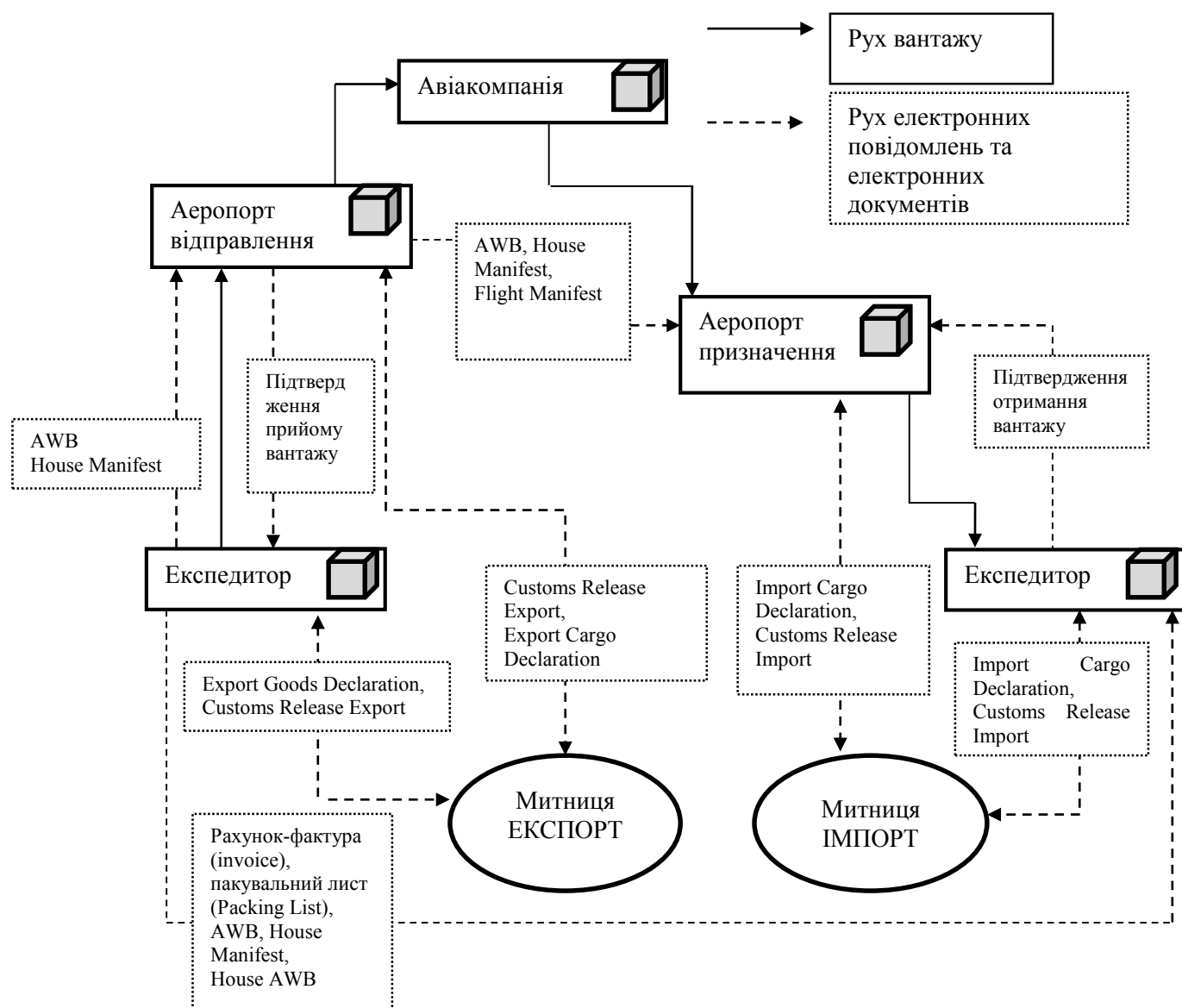


Рисунок П.1 – Проектна схема впровадження електронних потоків інформації між учасниками авіавантажних перевезень

ДОДАТОК Р

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

В.о. генерального директора

ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль»

С. Г. Дихне

“ 17 ” “ 02 ” 2015р.

АКТ

про впровадження наукових та практичних результатів дисертаційного дослідження Марінцевої Крістіни Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем»

Даним актом посвідчується, що результати дисертаційного дослідження К.В. Марінцевої, які стосуються розробки методів забезпечення ефективного функціонування підсистем авіатранспортної системи України, становлять практичний інтерес і були використані в технологічних роботах підприємства ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль».

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження та досягнутий практичний ефект
1. Узагальнена схема механізму впливу інформаційних технологій на ефективність підсистем авіатранспортних систем.	Використана при підготовці техніко-економічного обґрунтування впровадження сучасних IT-рішень, зокрема технології IATA e-freight.
2. Методика розрахунку оптимальної кількості навантажувально-розвантажувальних пунктів вантажного складу аеропорту.	Використана при оперативній оптимізації технологічних процесів взаємодії авіаційного і автомобільного видів транспорту.
3. Модель імітаційного моделювання змін параметрів зон обслуговування пасажирів та обробки багажу в аеропортах.	Практичний ефект досягнуто за рахунок підвищення якості технологічного процесу обслуговування в пасажирському терміналі за критерієм часу. Впровадження динамічного підходу до відкриття та закриття стійок реєстрації дав змогу скоротити максимальний час перебування пасажирів у зоні реєстрації з 1 год. 11 хв. до 10 хв. (в умовах проведеного експерименту).
4. Модель динамічного підходу до відкриття та закриття стійок реєстрації.	

Адміністративний директор



Трибой О.В.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Генеральний директор
КП Міжнародний аеропорт «Київ»
(Жуляни)


Нестеренко О.М.
2014 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
докторанта Марінцевої Крістини Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення ефективного
функціонування авіатранспортних систем»

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційного дослідження
К.В. Марінцевої на тему: «Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем» використані в
практичній діяльності КП Міжнародний аеропорт «Київ» (Жуляни).

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий практичний ефект
1. Концепція декомпозиції мережі маршрутів. Математична модель руху пасажиропотоків на існуючій і у варіантах розширеної мережі авіамаршрутів, парку існуючих і у варіантах оновленого парку літаків.	Використано для підготовки прогнозних рішень щодо можливих сценаріїв розвитку аеропорту «Київ» (Жуляни) з урахуванням розвитку всієї мережі аеропортів України.
2. Методика оптимізації параметрів зон реєстрації та контролю пасажирів в аеровокзалах. Досліджено вплив зміни законів розподілу вхідного пасажиропотоку та продуктивності обслуговування на кількісні показники системи.	Визначено розподіл ймовірності надходження пасажирів у систему обслуговування, реалізовано методику в програмі імітаційного моделювання. Дозволяє оперативно приймати рішення щодо визначення оптимальних параметрів роботи системи обслуговування пасажирів в аеропорту в реальному масштабі часу.

ЗГД з виробничих питань



Рум'янцев А.В.



ЗАТВЕРДЖУЮ
Генеральний директор
ТОВ «ІНТЕРАВІА»
Сураєв О.В.
«03» жовтня 2014 р.

АКТ

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Марінцевої Крістини Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем»**

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційного дослідження К.В. Марінцевої на тему: «Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем» є актуальними, становлять практичний інтерес і можуть бути використані в організаційно-технологічних роботах ТОВ «ІНТЕРАВІА».

Найменування впровадженого результату: математична модель оптимального розподілу ресурсів авіахендлінгової компанії з використанням теорії двоїстості.

Форма впровадження: підготовка стратегічних рішень щодо розподілу ресурсів між структурними підрозділами компанії.

Досягнутий практичний ефект: чисельна реалізація моделі дозволить отримати рішення щодо можливих варіантів підвищення місячного прибутку компанії за рахунок оптимізації первісного плану робіт і перерозподілу ресурсів між підрозділами.

Директор СПВ

О. Р. Ахметшина

ЗАТВЕРДЖУЮ



Генеральний директор

КП «Міжнародний аеропорт Одеса»

Крайтман М.С.

2014 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
докторанта Марінцевої Крістини Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення ефективного
функціонування авіатранспортних систем»

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційного дослідження
К.В. Марінцевої на тему: «Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем» використані в
практичній діяльності КП «Міжнародний аеропорт Одеса».

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий практичний ефект
1. Комплексний підхід до аналізу функціонування авіатранспортної системи України з використанням методів регресійного аналізу, теорії графів і складних мереж.	Використано для кількісної оцінки проблем пропускнуї спроможності аеропорту з врахуванням розвитку всієї мережі аеропортів України. Дозволяє обґрунтувати заходи щодо підвищення конкурентоспроможності аеропорту.
2. Апробація технології динамічного відкриття та закриття стійок реєстрації (визначення із застосуванням теорії масового обслуговування оптимальної кількості стійок на певні моменти часу до відправлення рейсу, в залежності від кількості пасажирів, що прибули на реєстрацію).	Використано для удосконалення технології обслуговування пасажирів в аеровокзалі. Дозволяє скоротити час перебування пасажирів у зоні реєстрації.

Заступник Генерального директора
з виробничої діяльності

В.І. Літвінов

МІНІСТЕРСТВО ІНФРАСТРУКТУРИ УКРАЇНИ
 ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
 „ДЕРЖАВНИЙ АВТОТРАНСПОРТНИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ І ПРОЕКТНИЙ ІНСТИТУТ”
 (ДП „ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ”)

пр.Перемоги, 57, м.Київ, 03113, тел./ факс (044) 455-6791, тел.456-3030
 E-mail: info@insat.org.ua http://www.insat.org.ua Код ЄДРПОУ 01527695

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор
 ДП „ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ”
 А.М. Редзюк
 2014 р.

А К Т

впровадження матеріалів докторської дисертаційної роботи
 Марінцевої Крістини Валеріївни
 на тему: «Наукові основи та методи забезпечення ефективного
 функціонування авіатранспортних систем»

Матеріали і результати, що містяться в докторській дисертації К.В. Марінцевої на тему: «Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем» знайшли своє застосування при розробці тематики ДП „ДЕРЖАВТОТРАНСНДІПРОЕКТ” «Проведення дослідження основних проблем функціонування галузі транспорту та розробка прогнозу її розвитку на період до 2020 року» (далі – НДР) за договором з Міністерством інфраструктури України від 30 жовтня 2013 р. №1/1054 (№ДР0113U007345) в частині проведення аналізу обсягів перевезень авіаційним транспортом та розробці прогнозу на період до 2020 року.

Розроблені К.В. Марінцевою результати довгострокового прогнозування обсягів авіаційних перевезень та відповідні висновки щодо шляхів підвищення ефективності функціонування аеропортів України було використано при розробці заходів щодо вирішення проблем функціонування галузі транспорту.

Зокрема, були використані:

- результати аналізу тенденції розвитку авіаційних перевезень в Україні, які базувалися на сучасній теорії складних мереж;
- кількісні моделі довгострокового прогнозування;
- результати песимістичного та оптимістичного варіантів прогнозу обсягів авіаційних перевезень авіакомпаній та пасажиропотоків аеропортів України, отриманих із застосуванням зазначених вище моделей.

Включення матеріалів і результатів докторської дисертаційної роботи К.В.Марінцевої посприяли науковому обґрунтуванню розвитку авіаційного транспорту.

Заст.директора з наукової роботи



А.М. Новікова



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор

ТОВ «Аеропорт Хендлінг»

Голохвастов О.О.

АКТ

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Марінцевої Крістини Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем»**

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційного дослідження К.В. Марінцевої на тему: «Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем» є актуальними, становлять практичний інтерес і були використані в організаційно-технологічних роботах ТОВ «Аеропорт Хендлінг».

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження	Досягнутий практичний ефект
1. Положення методології дослідження функціонування авіатранспортних систем щодо багаторівневої ієрархії процесу прийняття рішень.	Обґрунтування прогнозних сценаріїв розвитку діяльності компанії.	Координація опису функцій підрозділів компанії, декомпозиція задач прийняття рішень та оцінки їх впровадження.
2. Математична модель оптимального розподілу ресурсів хендлінгової компанії з використанням теорії двоїстості.	Планування розподілу ресурсів між структурними підрозділами компанії.	Чисельна реалізація моделі дозволяє отримати варіанти рішень оптимізації первісного плану робіт і перерозподілу ресурсів між підрозділами, що сприяє підвищенню прибутку компанії.

Менеджер з персоналу

В.А. Андрєєва

ЗАТВЕРДЖУЮ
Генеральний Директор
ТОВ «Челендж Аеропорт»

С.В. Нікіфоров



АКТ

про впровадження наукових та практичних результатів дисертаційного дослідження Марінцевої Крістини Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем»

Даним актом посвідчується, що результати дисертаційного дослідження К.В. Марінцевої, які стосуються концептуальних підходів до аналізу та удосконаленню функціонування аеропортів та авіахендлінгових компаній, становлять практичний інтерес і були використані при плануванні технологічних робіт підприємства ТОВ «Челендж Аеропорт».

Найменування впровадженого результату:

1. Схема аналізу етапів формування попиту на авіаперевезення.
2. Модель оптимального розподілу ресурсів хендлінгової компанії.

Форма впровадження та досягнутий практичний ефект:

1. Підвищення ефективності технології взаємодії з підструктурами авіакомпаній та аеропортів.
2. Можливість удосконалення первісного плану хендлінгових робіт за рахунок перерозподілу ресурсів між підрозділами компанії, що може сприяти підвищенню прибутку.

Заступник генерального директора
з розвитку

 **Вознюк В.В.**

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Виконавчий віце-президент з комерції
ПАТ "Авіакомпанія
"Міжнародні Авіалінії України"


С.В. Фоменко
« » 2014 р.


АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Марінцевої Крістини Валеріївни на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем»

Цим актом підтверджуємо, що результати дисертаційного дослідження к.е.н., доцента К.В.Марінцевої на тему: «Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем» є актуальними, становлять практичний інтерес і були використані в планово-організаційних роботах ПАТ "Авіакомпанія "Міжнародні Авіалінії України" .

Найменування впроваджених результатів:

- 1) математичні моделі визначення оптимальної частоти рейсів;
- 2) модель визначення межі бронювання для кожного типу тарифів з метою максимізації прибутку (з врахуванням ємності ПС, призначених на рейси згідно розкладу польотів).

Форма впровадження: підготовка рішень щодо оптимізації оперативно-виробничого планування.

Досягнутий практичний ефект: чисельна реалізація моделей дозволила отримати рішення щодо варіантів підвищення прибутку компанії за рахунок оптимізації планів робіт на мережі авіамаршрутів авіакомпанії, перерозподілу ресурсів та визначення оптимальної кількості місць для бронювання у різних цінових класах тарифів.

Регіональний менеджер з продажу
Кандидат економічних наук



Т.М. Бражник

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Національного
авіаційного університету

М.С. Кулик

«02» 02 2015 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів науково-дослідної роботи

Цей акт складено про те, що результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи к.е.н., доцента Марінцевої Крістини Валеріївни «Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатransпортних систем» використовуються в навчальному процесі Національного авіаційного університету на кафедрі організації авіаційних перевезень.

Найменування впровадженого результату	Форма впровадження і досягнутий практичний ефект
1. Теоретичні основи застосування теорії графів та лінійного програмування у розв'язанні завдання обґрунтування необхідної пропускної спроможності аеропортів. 2. Стратифікований підхід до побудови методології багаторівневого аналізу і синтезу цілей і функцій кожної страти авіатransпортної системи. 3. Принципова схема і алгоритм поетапного методу управління розвитком мережі аеропортів. 4. Моделі імітаційного моделювання змін параметрів зон обслуговування пасажирів та обробки багажу в аеропортах. 5. Методологія єдиного дворівневого підходу до взаємозв'язку розвитку авіатransпортної системи та авіабудівної галузі.	Матеріали дисертаційної роботи впроваджені у вигляді конспектів лекцій, методичних рекомендацій до курсових проектів, тестових завдань та виробничих вправ для викладання навчальних дисциплін: «Авіаційні пасажирські перевезення», «Вантажні перевезення», «Методи наукових досліджень» для студентів спеціальностей «Організація перевезень і управління на транспорті (повітряному)» і «Транспортні системи»

Директор ІЕМ

В. Матвеев

Завідувач кафедри організації
авіаційних перевезень

Г. Юн

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Голова Державної авіаційної

служби України

ДЮ. Антонюк

” 2015 р.



А К Т

про впровадження матеріалів дисертаційного дослідження на тему:
«Наукові основи та методи забезпечення
ефективного функціонування авіатранспортних систем»
к.е.н. Марінцевої Крістіни Валеріївни

Матеріали і результати, що містяться в докторській дисертації К.В. Марінцевої «Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем» знайшли своє застосування при розробці пропозицій Державіаслужби щодо формування державної політики у сфері цивільної авіації України.

Зокрема, були використані:

- методика аналізу показників функціонування мережі аеропортів з використанням теорії складних мереж;
- підходи до обґрунтування класифікації аеропортів з метою подальшого визначення у пріоритетності їх фінансування;
- математична модель задачі прийняття рішення про вибір стратегії розвитку аеропортів в умовах невизначеності;
- схема організації статистичної бази даних для аналізу та прогнозування обсягів попиту на авіаперевезення;

Впровадження вищезазначених результатів докторської дисертаційної роботи докторанта К.В. Марінцевої посприяли науковому обґрунтуванню пропозицій з питань організації та контролю виконання авіаційних перевезень.

Начальник відділу правового забезпечення

К.М. Капляр