

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний авіаційний університет

Кафедра Організації авіаційних перевезень

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Юн Г.М.

“ _____ ” _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ
“МАГІСТР”

Тема: Оптимізація мережі авіаліній

Виконавець: Фомін Ігор Васильович

Керівник: д.т.н., професор Юн Геннадій Миколайович

Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:

д.т.н., професор Юн Геннадій Миколайович

Нормоконтролер: Жукова С.О.

Київ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Організації авіаційних перевезень
Спеціальність 275 «Транспортні технології (на повітряному транспорті)», ОПП
«Організація перевезень та управління на транспорті (повітряному)»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Юн Г.М.
« » 2019 р.

ЗАВДАННЯ на виконання дипломної роботи Фоміна Ігора Васильовича

1. Тема дипломної роботи Оптимізація мережі авіаліній _____
затверджена наказом ректора від «11» жовтня 2019 р. № 2401/ст.
2. Термін виконання проекту (роботи): з 14.10.2019 по 29.12.2019 та з 20.01.2020 по 09.02.2020
3. Вихідні дані до роботи (проекту): статистичні дані Державної авіаційної адміністрації КНР, річні звіти авіакомпаній та аеропортів КНР, World Bank data, Всесвітня торгова організація.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз виробничо-фінансової діяльності авіапідприємств КНР, тенденції розвитку авіаційних перевезень авіакомпанії China Southern Airline, розвиток перевезень та мережі маршрутів, методи оптимізації мережі авіаліній, розрахунки за запропонованими методами
5. Перелік обов'язкового графічного(ілюстрованого) матеріалу: аналіз виробничо-фінансової діяльності авіапідприємств КНР, тенденції розвитку авіаційних перевезень в КНР, розвиток перевезень та мережі маршрутів, методи оптимізації мережі авіаліній, результати розрахунки за запропонованими методами.

6. Календарний план графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Збір та обробка статистичної інформації	14.10.2019	
2	Написання аналітичної частини	15.10.2019	
3	Написання проектної частини	15.11.2019	
4	Написання вступу та висновків	15.12.2019	
5	Оформлення пояснювальної записки	20.12.2019	
6	Оформлення графічного матеріалу та презентації	27.01.2019	01.02.2019

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, ПІБ)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Теоретична	Юн Г.М.		
Аналітична	Юн Г.М.		
Проектна	Юн Г.М.		

8. Дата видачі завдання: «14» жовтня 2019 р.

Керівник дипломної роботи (проекту): Юн Геннадій Миколайович

Завдання прийняв до виконання: Фомін Ігор Васильович

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка дипломної роботи " Оптимізація мережі авіаліній", 112 сторінки, 29 рисунків, 9 таблиць, 39 використаних джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: авіаперевезення, оптимізація, ефективність, мережа авіамаршрутів.

Об'єкт дослідження - авіаційні перевезення в Китаї.

Предмет дослідження – методи оптимізації характеристик мережі авіаліній.

Мета дипломної роботи – розробка методів оптимізації мережі авіаліній на прикладі авіакомпанії China Southern Airline.

Методи дослідження: статистичні методи при аналізі динаміки розвитку авіаперевезень КНР, системний підхід при розробці методів оптимізації мережі авіаліній авіакомпанії China Southern Airline.

В роботі розроблені моделі оптимізації параметрів мережі авіаліній. Планування частоти рейсів з врахуванням умов конкуренції між авіакомпаніями може виконуватися з попереднім статистичним дослідженням залежності частки ринку пасажирських перевезень від частки ємності парку ПС заданої авіакомпанії. Наступним кроком є оптимізація даної частки ринку авіакомпанії з подальшим визначенням оптимальної частоти рейсів по авіалініям мережі із відповідним закріпленням типу ПС. Виконано розрахунок для фрагменту мережі маршрутів авіакомпанії China Southern Airlines. Приклад показав, що за допомогою програми LINDO можна не тільки швидко знаходити оптимальні параметри експлуатації мережі маршрутів авіакомпанії, але і виконувати досить повний аналіз отриманого плану для виявлення невикористаних внутрішніх ресурсів і визначення економічного ефекту від реалізації резервів експлуатації мережі авіаліній.

Матеріали дипломної роботи рекомендується використовувати при проведенні наукових досліджень і в практичній діяльності авіапідприємств.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Методичні підходи до аналізу розвитку мережі авіамаршрутів.....	10
1.2 Аналіз методів формування мережі маршрутів авіакомпанії.....	17
2 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	36
2.1. Огляд розвитку авіаційної галузі Китаю.....	37
2.1.1 Географічна та економічна характеристика Китаю.....	37
2.1.2 Аналіз розвитку мережі авіамаршрутів в Китаї.....	41
2.1.3 Характеристика авіакомпаній Китаю.....	49
2.2. Характеристика виробничо-фінансової діяльності авіакомпанії China Southern Airlines	52
3 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА.....	65
3.1. Методи оптимізації мережі транспортних комунікацій.....	66
3.2. Оптимізація частоти польотів на заданій мережі авіаліній... ..	77
3.3. Оптимізація параметрів мережі маршрутів авіакомпанії China Southern Airlines	83
ВИСНОВКИ.....	95
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	98
Додаток А.....	102
Додаток Б.....	104
Додаток В.....	110

ВСТУП

Кафедра Організації авіаційних перевезень				НАУ. 20. 05. 29. 001 ПЗ				
Викон.	Фомін І.В.			ВСТУП	Литера	Арк.	Аркушів	
Керівник	Юн Г.М.					Д	6	2
Н.контр.	Жукова С.О.				ФТМЛ 275.04 ОП-201М			
Зав. каф.	Юн Г.М.							

Згідно маркетинговим дослідженням [1] Китай стане найбільшим світовим авіаційним ринком у найближчі три-шість років . Очікується, що пасажиропотік Китаю до 2022 року досягне 980 мільйонів, тоді як цифра в США впаде від 950 до 960 мільйонів. Із часом глобальний авіаційний ринок буде активно розвиватися у Азіатсько-Тихоокеанському регіоні, де показник розміру ринку Індії підніметься до третього місця з сьомого у світі, а Індонезії - до п'ятого з десятого.

У наступні 20 років половина приросту світового ринку авіації відбудуватиметься з Азіатсько-Тихоокеанського регіону, на який припадає 55 %, в той час частка Китаю складе 28 % в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні.

Швидко зростаючий авіаційний ринок додасть тиск на інфраструктуру аеропорту. Серед перших 100 найбільших аеропортів у світі лише чотири мають інфраструктуру для задоволення зростання кількості пасажирів.

Більше того, традиційні авіаперевізники також будуть кидати виклик деяким неавіаційним компаніям, таким як Інтернет-технічні фірми та логістичні компанії. Аеропорт стане безпаперовим сервісом, використовуючи великі дані для спрощення перевірки безпеки безризикових пасажирів та автоматичне сортування багажу за допомогою технології штучного інтелекту.

Через зміни в політиці "відкриття" на авіаційному ринку Китаю до 2016 року міжнародні повітряні маршрути та міста з міжнародними авіаційними аеропортами в Китаї зросли з 133 та 22 в 2000 році до 739 і 77 до 2016 року.

З 1990 по 2013 роки міста з міжнародними поїздками до Китаю та з Китаю розташовувалися здебільшого в Азії (понад 50%), а потім у Європі (23% -35%). Тим часом у Японії було найбільше міст, які мали міжнародні авіасполучення з Китаєм, тоді як більшість міст, на які вплинуло припинення міжнародних авіаперельотів Китаю у 2013 році, були розташовані переважно у Західній Азії та Європі.

Після 2000 року Китай розпочав експлуатувати міжнародні повітряні маршрути з Африкою та Південною Америкою, і до 2013 року темпи відкриття міжнародних авіамаршрутів на цих двох континентах складали відповідно 3,6% та 1%. До 2013 року розвиток маршрутів Китаю фокусувався переважно в

Японії, Кореї та Таїланді. Коефіцієнт відкриття нових маршрутів між Китаєм та Кореєю та Таїландом склав понад 60%, що було вище, ніж у будь-якій іншій країні. Далі слідують Японія, Росія та Австралія. Частка нових маршрутів у даних країнах становила більше 35%.

Отже, в даній роботі розглянемо досвід еволюції та формування мережі маршрутів на прикладі китайської авіакомпанії. Незважаючи на скорочення кредитів у сфері авіаперевезень, китайські авіакомпанії демонструють успіх. Зростання добробуту місцевого населення сприяє зростанню попиту на авіаперевезення, як для ділових, так і для розважальних цілей.

Китайські авіакомпанії стають все більш орієнтованими на ринок, тому все більше малопробиткових компаній йдуть з китайського ринку. Як, наприклад, East Star Airlines, яка була ліквідована в березні 2009 року. Багато інших компаній, щоб уникнути долі East Star Airlines, звернулися до місцевих урядів за підтримкою. Наприклад, United Eagle Airlines, колись приватна компанія в Ченду, зараз належить Commercial Aircraft Corp. of China (COMAC), Sichuan Airlines і Chengdu Communication Investment Group, які мають тісні зв'язки з центральним і місцевими урядами. Okay Airways чекає подібна доля. В даний час компанія веде переговори з адміністрацією міста Тяньцзіня щодо підтримки в умовах фінансової кризи. Місцеві уряди часто стають першим колом для «спасіння потопаючих» приватних авіакомпаній, так як за державної підтримки вони мають більше шансів на виживання.

Ринок цивільних авіаперевезень в Китаї знаходиться в процесі формування під впливом сукупності суперечливих факторів, які загострюють проблему дослідження даного ринку. Тому є цікавим тестування методології обґрунтування розвитку мережі маршрутів в складних умовах державно-приватного регулювання, подібних до українських реалій.

1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Організація авіаційних перевезень				НАУ. 20.05. 29. 100 ПЗ				
Викон.	Фомін І.В.			1.ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	Литера	Арк.	Аркушів	
Керивник	Юн Г.М.					Д	9	25
Н.контр.	Жукова С.О.				ФТМЛ 275.04 ОП-201М			
Зав. каф.	Юн Г.М.							

1.1. Методичні підходи до аналізу розвитку мережі авіамаршрутів

Незважаючи на значну кількість досліджень в області економіки та географії транспорту, питання розвитку та раціонального функціонування авіатранспортної системи залишаються невирішеними. Нині не існує фундаментальних досліджень, які б закладали методикку визначення перспективної мережі авіасполучень у країні, масштабів необхідного розвитку інфраструктури авіаційної галузі. Все ще є труднощі об'єктивної оцінки ступеня розвитку існуючої мережі авіаперевезень як у географічному, так і в економічному, технічному та технологічному аспектах.

Авіатранспортна система — це складна система, і з цим поняттям тісно пов'язане поняття «транспортна мережа» — мережа шляхів сполучення (в даному випадку авіасполучення). Наприкінці 1990 р. для вивчення складних систем розвивається новий ефективний інструмент дослідження — теорія складних мереж. Вузли в таких мережах являють собою елементи цих складних систем, а зв'язки між вузлами — взаємодію між елементами [1]. Такі мережі утворюють своєрідний каркас відповідних складних систем, а дослідження властивостей цих мереж дає змістовну інформацію про властивості складних систем у цілому, що дозволяє подолати деякі недоліки, властиві редуccionізму. У дослідженні [2] аналізується топологія і структура мережі аеропортів Індії за допомогою показників аналізу складних мереж. Розрахунки показали, що даний аналіз корисний не тільки при плануванні інфраструктури та розширенні мережі авіаліній, але також в управлінні потоком перевезень у надзвичайних ситуаціях, таких як випадкові відмови аеропорту, закриття аеропорту через несподівану зміну клімату, терористичних атак та ін. У статті [3] також відзначено, що щільно з'єднані мережі авіаперевезень відігравали головну роль у поширенні інфекційних захворювань, а саме: пташиного грипу, свинячого грипу та ін., переходячи від епідемії в пандемію. За висновками авторів дослідження [3], розробка шаблону

прийняття рішень для скорочення рейсів на деяких маршрутах може сприяти зменшенню поширення хвороби.

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 англійській науковій літературі з теорії мереж оцінка *важливості вузла* визначається показником «центральне розташування» (centrality). 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 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:

$$k_x = \sum_{y \in Y} a_{xy} \text{ для } \forall x \in X. \quad (1.1)$$

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. 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 [15].

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 її 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. 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 [16].

Мережі авіамаршрутів деяких АТС мають вузли з дуже високим ступенем (хаби), 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

$$C_x = \frac{2q_x}{k_x(k_x-1)}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (1.2)$$

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

$$\langle C \rangle = \frac{\sum_x C_x}{n}. \quad (1.3)$$

Усереднений кластерний коефіцієнт вузлів (1.3) називається *кластерним коефіцієнтом мережі*. Для більшості складних мереж він істотно більший, ніж кластерний коефіцієнт випадкового графа таких самих розмірів. У роботі [1] зазначається, що чим вище кластерний коефіцієнт, тим краща зв'язність вузлів мережі.

У роботі [2] для визначення важливості вузла (аеропорту) вводиться поняття *сили вершини вузла x* (strength of node x), яку можна визначити за формулою:

$$s_x = \sum_{y=1}^m a_{xy} w_{xy}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (1.4)$$

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*:

$$c_x^w = \frac{1}{s_x(k_i-1)} \sum_{h,t} \frac{(w_{xh}+w_{xt})}{2} a_{xh} a_{xt} a_{ht}, \quad (1.5)$$

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

замкнених 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

$$Cl_x = \frac{N}{\sum_y \varrho_{xy}}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (1.6)$$

де N – загальне число вузлів в мережі,

ϱ_{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 [17] 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 [18], 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:

$$B_x = \sum_{h,t} \frac{\sigma_{ht}(x)}{\sigma_{ht}}, \quad x = \overline{1, n}, \quad (1.7)$$

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* [19]. 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 . Її значення для вершини i для зв'язків різного типу обчислюється за формулою:

$$k_{nn}^x = \frac{1}{k_x} \sum_{y=1}^m a_{xy} k_y, \quad (1.8)$$

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, можна розглянути зважену середню ступінь найближчих сусідів:

$$k_{nn,w}^x = \frac{1}{s_x} \sum_{y=1}^m a_{xy} w_{xy} k_y. \quad (1.9)$$

Порівняння показників (1.8) та (1.9) 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:

$$r_{xy} = \frac{a \sum_{j=1}^a k_{xj} k_{yj} - \left[\sum_{j=1}^a k_{xj} \right]^2}{a \sum_{j=1}^a k_{xj}^2 - \left[\sum_{j=1}^a k_{xj} \right]^2}, \quad (1.10)$$

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 [17] 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 [20].

Ще одна характеристика мережі, яка використовується при дослідженні стійкості мережі, – це *розмір компоненти*, що дає змогу отримати уявлення про глобальну топологію мережі. 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 [17].

Наведену методику теорії складних мереж пропонується використовувати під час аналізу ефективності функціонування існуючої та для розробки стратегії розвитку мережі авіаліній.

1.2. Аналіз методів формування мережі маршрутів авіакомпанії

Комерційна діяльність авіакомпанії реалізується в перевізному процесі. Його організаційна форма - мережа маршрутів, яка таким чином стає комплексною характеристикою продукту авіакомпанії, що її формує, підсумковим показником ефективності. Мережа маршрутів забезпечує взаємозв'язок всіх ланок перевізного процесу: використання повітряних суден,

аеропортів, агентств і т.д. Таким чином, мережа маршрутів, її характеристики стають найважливішим фактором ефективності та конкурентоспроможності авіакомпанії. Тому планування оптимальної мережі маршрутів є одним із головних завдань менеджменту авіакомпанії. Вдосконалення мережі маршрутів є постійною задачею для реалізації стратегії авіакомпанії, підвищення ефективності і конкурентоспроможності. При цьому характеристики маршрутів є базою технології та організації всіх служб авіакомпанії.

Ринкові відносини пред'являють до транспорту жорсткі вимоги щодо прискорення часу доставки вантажів і пасажирів при мінімізації витрат на транспортування і високій якості транспортного обслуговування пасажирів і вантажовласників.

Досліджуючи шляхи підвищення ефективності та конкурентоспроможності різних видів транспорту, вчені-транспортники, як правило, враховують вплив зовнішнього середовища, ринку перевезень, виникнення різних ситуацій у господарській діяльності транспортних підприємств при прийнятті стратегічних перспективних рішень. У результаті створюється необхідна система управління. В останні роки при цьому часто передбачається застосування логістичних принципів організації роботи транспорту.

Взаємодія і перерозподіл транспортних потоків відбувається в транспортних вузлах. Транспортний вузол - це пункт стикування множини транспортних потоків або сукупності потоків, що відносяться до декількох видів транспорту. Технологічна взаємодія потоків або видів транспорту забезпечується відповідним комплексом пристроїв і засобів. Транспортний вузол є складною системою з єдиною метою, в якій відбувається спільна робота видів транспорту з різною технологією і різним комплексом транспортних засобів і пристроїв для переробки рухомого складу, вантажів, обслуговування пасажирів.

В основу організації роботи транспортного вузла покладені наступні принципи: раціональне розміщення вузла щодо обслуговуваної клієнтури (пасажиропотоків); оснащеність вантажно-розвантажувальних фронтів і місць

тимчасового складування високопродуктивними перевантажувальними засобами, відповідність пропускну́ї здатності технічного оснащення потужностям потоків вантажів та пасажирів з урахуванням перспектив розвитку перевезень в даному регіоні на основі стратегічного планування.

Органічною складовою частиною маршруту є розклад. Якщо маршрут визначає послідовність дій, то розклад - час перебування в транспортних вузлах.

Завдання по розробці маршруту та розкладу класифікуються в залежності від мети та характеристик авіакомпанії (кількість транспортних засобів, їх дислокація і можливості завантаження, технічні характеристики та ін.). Відповідно застосовуються різні методи формування мережі маршрутів.

З метою використання позитивного досвіду в нових умовах комерційної роботи авіакомпаній доцільно розглянути найбільш поширені методи. Розробки маршрутів і розкладу перевезень присвячено багато робіт зарубіжних і вітчизняних авторів. Завдання розробки маршруту і розкладу часто формулюють у так званій мережевий постановці, що надає їй більшу наочність.

Розглянемо найпростішу задачу формування маршрутів. Починаємо формування маршрут з набору вузлів, які має відвідати одне ПС. Вузли можна відвідувати у будь-якому порядку, без суворої черговості. Вартість поїздки між двома вузлами одна і та ж незалежно від напрямку поїздки, а час доставки необмежений. Кожен вузол відвідується один раз, а маршрут (тур) починається і закінчується в базовому вузлі. Тур формується так, щоб його вартість була мінімальною. Цей найпростіший випадок називають задачею мандрівного комівояжера.

Коли кілька ПС повинні вийти на маршрут з одного вузла, відбувається розширення задачі мандрівного комівояжера, яке називається задачею багаторазово мандрівного комівояжера. При цьому мета - створити індивідуальний маршрут для кожного транспортного засобу. У цій задачі кожен вузол в кожен момент часу може відвідати тільки одне ПС, а у кожного ПС буде більше одного вузла призначення. Кількість вантажу або пасажирів, що літак може перевезти, не обмежується. Рішення цієї задачі полягає в розробці

маршруту для кожного літака і черговості, з якою ПС має відвідати свої вузли призначення. Треба розробити набір маршрутів з мінімальними витратами.

Якщо ввести параметри, що відображають можливості використовуваних транспортних засобів, і враховувати зміни структури потоку в кожному вузлі, задача буде визначатися як задача складання маршруту транспорту.

Якщо попит на послугу формується переважно на дугах, чи цей попит пов'язаний з «підживленням» з вузлів індивідуального попиту, яких стає надмірно багато, отримуємо задачу китайського листоноші. В табл. 1.1 представлені характеристики розглянутих чотирьох типів задач планування маршрутів.

Таблиця 1.1

Характеристики задач складання маршруту [2]

Тип задачі	Попит	Дуги вузлів	Кількість базових транспортних засобів	Кількість транспортних засобів	Потужність
Задача поїздки комівояжера	У вузлах	Направлені або не спрямовані	1	=1	Не обмежена
Задача багаторазових поїздок комівояжера	У вузлах	Направлені або не спрямовані	1	>1	Не обмежена
Задача складання маршруту	У вузлах	Направлені або не спрямовані	1	>1	Обмежена
Задача китайського листоноші	На дузі	Направлені або не спрямовані	1	>1	Обмежена чи не обмежена

Слід розрізняти задачі складання маршруту і задачі складання розкладу. Якщо у обслуговуваних клієнтів немає ніяких обмежень в часі і не існує суворої черговості відвідування, то це задачі складання маршруту. Якщо вказано час обслуговування, то це завдання зі складання розкладу.

Розглянемо детальніше найбільш застосовувану на практиці задачу для цілей складання маршруту - задачу мандрівного комівояжера. Оптимальні підходи до вирішення даної задачі засновані на математичному програмуванні. У важких випадках оптимізації в даній задачі використовуються евристичні

методи - алгоритм «найближчого сусіда» і «евристична економія Кларка і Райта» [3].

Алгоритм «найближчого сусіда» дозволяє розробляти маршрут тільки на підставі вартості або відстані від вузла до останнього відвіданого найближчого вузла в мережі за наступною процедурою: починаємо з початкового вузла туру (базовий вузол); знаходимо вузол, найближчий до початкового вузла, включеного в тур; повертаємося до кроку 2 до тих пір, поки не будуть додані всі вузли; з'єднуємо перший і останній вузли, щоб сформувати повний тур. Складається матриця повної відстані для симетричної мережі з цими вузлами (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

Симетрична матриця відстані

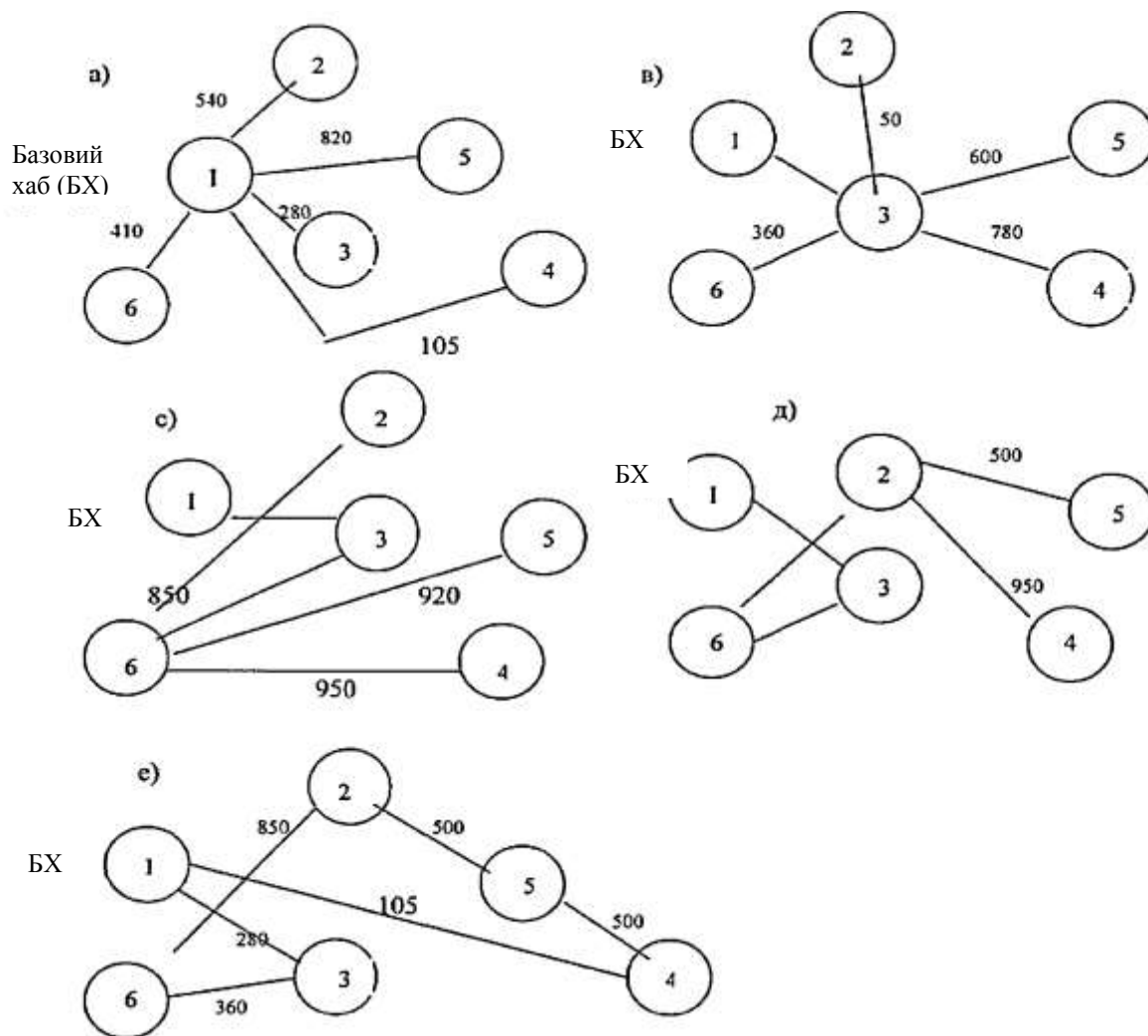
Від вузла	До вузла, км					
	1	2	3	4	5	6
1	-	540	280	1050	820	410
2	540	-	500	950	500	850
3	280	500	-	780	600	360
4	1050	950	780	-	500	950
5	820	500	600	500	-	920

Рішення задачі передбачає п'ять етапів (рис. 1.1, а-е). На практиці цей алгоритм застосовують неодноразово, призначаючи кожен раз новий вузол базовим, в результаті відбирають тур з найменшою довжиною або вартістю як остаточне рішення. При виборі базового вузла - вузол 6 виходить результуючий тур протяжністю 3130 км проти 3450 км раніше розрахованого туру.

Ключем до евристичного підходу є обчислення «економії» - зміни того, наскільки можна скоротити протяжність або вартість поїздки за допомогою «зчеплення» пари вузлів і створення туру для одного транспортного засобу (ПС).

Задача багаторазових поїздок комівояжера - це загальний випадок задачі мандрівного комівояжера, у якому один базовий вузол і багато транспортних засобів. У цій задачі замість визначення маршруту для одного ПС треба

побудувати тури для всіх M транспортних засобів. Тури починаються і закінчуються в базовому вузлі. Рішення починають з «копіювання» базового вузла M разів, тоді задача скорочується до M окремих машин і може бути вирішена за допомогою алгоритму найближчого сусіда або алгоритму евристичної економії.



а - перевірка відстані між базовим вузлом 1 і всіма іншими вузлами; найближчим до вузла 1 є вузол 3, тому визначимо частковий тур як 1-3.

в - знаходимо вузол, найближчий до останнього відвіданого вузла (вузол 3). Вузол 6 відстоїть на 36 км від вузла 3, тому з'єднуємо їх частковим туром; результатом буде шлях з трьох вузлів 1-3-6.

з - знаходимо вузол, найближчий до вузла 6, який ще не приєднаний. Це вузол 2, від якого 850 км до вузла 6; приєднуємо його до результату 1-3-6-2. д - найближчим до вузла 2 є вузол 5; частковий тур 1-3-6-2-5-4-1.

е - з'єднуємо останній вузол (вузол 4) з частковим туром і завершуємо повний тур, приєднавши вузол 4 до базового вузла; сформований повний тур 1-3-6-2-5-4-1 протяжністю - 3540 км.

Рис. 1.1. Схема процедури «найближчого сусіда» в задачі мандрівного комівояжера

Задача складання маршруту транспорту розширює задачу багаторазових поїздок комівояжера, включаючи різні вимоги до послуг в кожному вузлі і різні можливості транспортних засобів. Мета цих завдань - мінімізувати загальну вартість або відстань на даних маршрутах. Дана задача вимагає додаткових процедур вирішення порівняно з задачею багаторазових поїздок комівояжера (рис. 1.2).

Вважаємо, що у нас є один базовий вузол і два транспортних засоби (ПС) місткістю 200 і 100 осіб. Пасажирів треба брати у трьох вузлах, кількість пасажирів у кожному вузлі зазначено в дужках кожного вузла. Не зважаючи спочатку на ємність транспортних засобів та попит у кожному вузлі, за допомогою евристичного алгоритму Кларка і Райта для кожного ПС збудуємо тур:

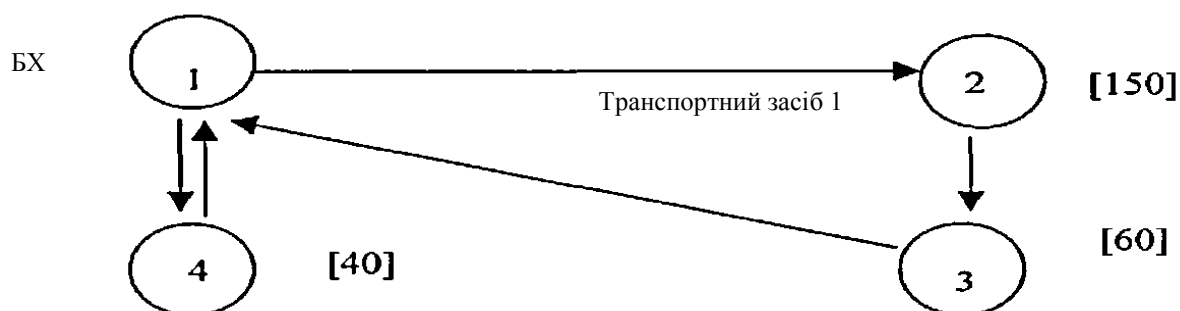


Рис. 1.2. Задача складання маршруту транспорту для чотирьох вузлів

Тур транспортного засобу 1: 1-►2-►3-►1.

Тур транспортного засобу 2: 1-►4-►1.

Однак при такому розподілі в ПС 1 виявиться 210 пасажирів, що перевищує його місткість. Тому така задача не може вирішуватися як завдання багаторазових поїздок комівояжера. Особливості даної задачі сильно ускладнюють пошук оптимального рішення, але гарне евристичне рішення можна отримати за допомогою підходу «спочатку кластери, потім маршрут».

У дослідженнях В. М. Сая для формування мережі маршрутів запропонована нетрадиційна - планетарна - структура як різновид мережевої і як підхід до диференціювання мережі маршрутів. Мережа маршрутів представлена як корпоративна мережа об'єднана організаційно-правовим полем та авіалініями.

Визначено поняття «планетарна структура» стосовно до транспорту, виділено її основні елементи, обґрунтовано вибір математичного апарату моделювання планетарних структур, дано визначення стійкості розглянутої мережі маршрутів.

Вузлами є будь-які населені пункти, між якими неминуче виникають сили економічного тяжіння (відштовхування) різної «тісноти» і характеру. Сила тяжіння конкретного вузла до іншого обумовлюється не тільки зовнішньою привабливістю і надійністю зовнішнього партнера, але і внутрішніми інтересами, ресурсами і можливостями самого розглянутого вузла. Малий вузол притягається до великого вузла з такою ж силою, з якою великий вузол притягує малий.

Для визначення поняття «відстань між вузлами» використовується теорія графів (або математична теорія мереж), де економічний простір зображено у вигляді графа, вершинами якого є вузли. Ступінь впливу на вузол з боку іншого вузла зменшується зі збільшенням відстані.

Закон економічної взаємодії, чинної на вільному економічному просторі, виражається наступною формулою:

$$F = \chi \frac{\mu_1 \times \mu_2}{R^2},$$

де μ_1 і μ_2 - потужності вузлів; R^2 - відстань між вузлами; χ - деяка постійна, що характеризує стан економіки та інші параметри кон'юнктури ринку.

Планетарні економічні структури являють собою мережеві структури спеціального «орбітального» виду, значно відрізняються від ієрархічних (деревовидних) мережевих структур. Умовою формування мережевої

планетарної структури є наявність великого центрального вузла (в нашому випадку хаба).

Умови функціонування мережі маршрутів можна представити як планетарну систему, в центрі якої знаходяться основні елементи (великі транспортні вузли), а взаємодії між великими транспортними вузлами і сегментами системи (звичайними вузлами) є потокоутворюючі спрямовані на формування опорної мережі з великими транспортними потоками.

З математичної точки зору планетарна структура управління має множину орбіт (варіантів), на яких перебувають вузли (рис. 1.3). З видаленням вузлів мережі від великих потокоутворюючих вузлів економічний ризик зменшується через збільшення інерційності галузі як соціально-економічної системи. Окремо взятий вузол з віддаленням від першої орбіти меншою мірою визначати економічну безпеку галузі. Таким чином, планетарна структура являє собою один з підходів формування нетрадиційних структур управління великими об'єднаннями-корпораціями.



Рис. 1.3. Принципова схема планетарної мережі-структури для формування мережі маршрутів

У роботі вчених МАІ запропоновано матричний метод побудови авіамережі та визначення її характеристик. У загальному випадку математична модель транспортної мережі описується наступним чином.

Нехай P - довільна кінцева множина елементів P_i ; D - сукупність деяких (не обов'язково всіх) упорядкованих пар $d_{ij} = (p_i, p_j)$, кожна з яких складена з різних елементів множини P . Набір двох множин P і D називають транспортною мережею (P, D) , яка задається цими множинами. Елементи p_i , множини P називаються пунктами транспортної мережі (P, D) , елементи $d_{ij} = (p_i, p_j)$ множини D - комунікаціями мережі. Комунікація мережі d_{ij} пов'язує пункти p_i і p_j причому вона починається в p_i і закінчується p_j . Таким чином, задати транспортну мережу - це означає, вказати множину її пунктів і систему комунікацій при заданих обмеженнях. Якщо при деяких i та j мережа містить комунікації d_{ij} і d_{ji} , то вони називаються протилежними.

Довільна транспортна мережа може бути представлена матрицею, елементи d_{ij} якої обчислюються згідно з правилом

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо комунікація } d_{ij} \in D \\ 0, & \text{в протилежному випадку} \end{cases}.$$

По матриці транспортної мережі, що визначає її топологію, можна встановити, у які пункти допускається транспортування з пункту, відповідного даному рядку. Стовпці матриці дозволяють виявити комунікації, які закінчуються у фіксованих пунктах, причому кожен пункт не може спожити (використовувати) більше, ніж його пропускна здатність.

Основними елементами транспортної мережі є вузли (аеропорти) і ланки (авіалінії). Розвиток авіатранспортної мережі у часі може відбуватися за трьома напрямками: за рахунок появи нових зв'язків між наявними авіапунктами (внутрішній розвиток); в результаті додаткового включення в авіамережу нових пунктів (зовнішній розвиток); при одночасному здійсненні перших двох напрямів (комплексне розвиток). Виділення цих трьох напрямів розвитку

авіатранспортної мережі має принципове значення при прогнозуванні обсягу відправлень і середньої дальності перевезень, потрібних матеріальних, трудових і грошових ресурсів на здійснення транспортного процесу і, як наслідок цього, визначення оптимальної за типом структури та кількості потрібного парку ПС.

Напрямок розвитку авіамережі по першому варіанту властиво для економічно розвинених районів з великою кількістю великих промислових центрів, високим рівнем щільності населення, міжрайонної спеціалізацією. Розвиток по другому варіанту характерно для освоєваних районів з невеликою кількістю великих промислових центрів. При цьому мережа авіаліній має яскраво виражену географічну спрямованість з відносно великою довжиною авіаліній (наприклад, в районах Крайньої Півночі, Сибіру і Далекого Сходу). Третій варіант розвитку авіамережі спостерігається при наявності регіонального комплексу окремих економічних районів, що знаходяться на різних рівнях розвитку.

У сучасних умовах ринку з формуванням мережі маршрутів авіакомпанії органічно пов'язана задача складання розкладу перевезень. Без складання розкладу неможливо ефективно використовувати можливості альянсів компаній, трансферних вузлів в мережі маршрутів, парку ПС та інших ресурсів. Загальні положення щодо складання розкладу перевезень розглянуті в монографії [7]. Задача передбачає врахування жорстких часових рамок початку і закінчення перевезення. Буває, що час обмежується «тимчасовим вікном» з одним або двома краями. Наприклад, перевезення має бути виконано між 10 і 11 годинами.

При розробці мережі маршрутів авіакомпанії важливим є також визначення її бізнес-моделі. Виконане дослідження різних господарських моделей авіакомпаній дозволяє виділити відмітні характеристики цих сегментів ринку авіаперевезень (рис. 1.4).

Стратегія авіакомпаній, що виходять на ринок авіаційних перевезень схожа на модель господарювання «авіакомпанія всередині авіакомпанії». Відсутність можливості справляння більш високих тарифів з пасажирів з числа бізнесменів

великі авіакомпанії змушені змінювати пріоритети та переорієнтувати свою діяльність на підвищення ефективності, розробляючи альтернативні моделі, покликані сприяти поверненню пасажирів (у першу чергу з числа бізнесменів).

Одним із заходів, прийнятих великими авіакомпаніями, є створення самостійних організацій або філій, які спеціалізуються на конкретному напрямку діяльності, наприклад, виконанні перевезень на маршрутах малої протяжності, на яких існує конкуренція з боку дешевих перевізників або можливі погрози з боку нових учасників. Використовуючи таку маловитратну стратегію «авіакомпанія всередині авіакомпанії», великі авіаперевізники намагаються поєднувати ключові елементи підходу "дешевих" перевізників з репутацією і якістю їх власної торгової марки. Формула "авіакомпанія всередині авіакомпанії", по всій ймовірності, також буде взята на озброєння перевізниками, в тому числі на лініях великої протяжності і маршрутах, орієнтованих на відпочинок.

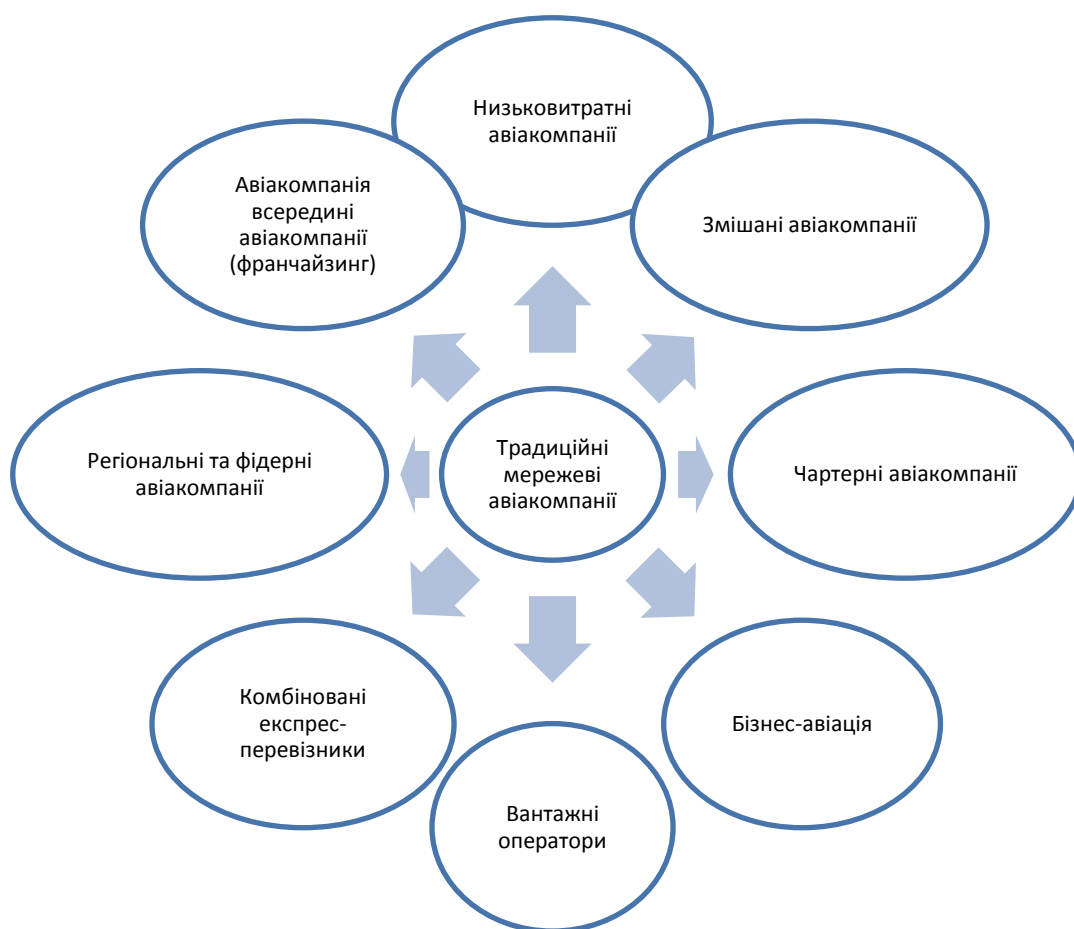


Рис. 1.4. Сегментація ринку по бізнес-моделях основних авіакомпаній

Бізнес-моделі комбінованих експрес-перевезень

Експрес-перевезення - самостійний вид транспортно-експедиційної діяльності, що здійснює перевезення та термінову доставку вантажів, посилок, кореспонденції і документів. У світовій індустрії експрес-перевезень чотири компанії є найбільшими: європейська TNT Express і три американських - DHL, UPS, FedEx. Структура послуг експрес-доставки: міжнародна і всередині країни. Міжнародні послуги - це документи, які доставляються авіатранспортом.

Виділяються послуги по доставці середньої терміновості (на наступний день протягом дня) і прискорені (в 9 годин ранку наступного дня або до 12 годин). Вантажі, які не є документами (дискети, касети і т.п.) доставляються або авіа-, або наземним транспортом.

На багатьох регіональних напрямках авіакомпаніям доводиться конкурувати не стільки між собою, скільки з дешевим наземним транспортом, а там, де альтернативи авіації немає, величину тарифів обмежує низька купівельна спроможність населення. Існують і інші несприятливі фактори, що обмежують розвиток регіональних авіаперевезень.

З досвіду розвинених країн Європи зазвичай регіональні компанії утворюються як фідерні, які підживлюють діяльність великої компанії, яка обслуговує основні потоки між великими або вузловими пунктами.

Особливо важливо знати ці характеристики і враховувати їх при проведенні маркетингових досліджень для вироблення стратегії розвитку мережі. В якості основних параметрів слід виділити: середню дальність перевезень, рівні тарифів, собівартості, прибутків, рентабельність перевезень, комплекс параметрів сервісу обслуговування пасажирів, характеристику мережі маршрутів перевезень, потужність підприємства, типи і кількість парку повітряних суден. Виконана систематизація бізнес-моделей авіакомпаній дозволяє перейти до наступного етапу аналітичних досліджень. А саме, в напрямку вивчення особливостей організації комерційної діяльності авіакомпаній в умовах посилення конкуренції при зниженні темпів зростання попиту на авіаційні перевезення та продовжуваних змін кон'юнктури ринку.

Розвиток детальної сегментації ринку авіап перевезень між авіап перевізниками в умовах глобалізації та лібералізації перевізного процесу, поширення різноманітних форм інтеграції авіакомпаній обумовлюють необхідність суттєвих змін у методах формування авіамережі авіакомпаній. Насамперед, авіакомпанії поставлені перед необхідністю детальних досліджень структури транспортних потоків, їх напрямів і всіх характеристик, що впливають на економічні показники, напрямки позиціонування на ринку у відповідності зі стратегією і моделлю господарської діяльності, а також проведення альянсової політики. Ці умови, в свою чергу, визначають необхідність ретельного обґрунтування та вирішення в якості основи організації технологічного процесу – задачі формування (планування) мережі маршрутів. Таким чином, дана задача набуває найважливішу ефектоутворюючу роль в господарській та управлінській діяльності авіакомпанії.

У багаторівневій структурі сегментів субсегментами ринку пасажирських перевезень при формуванні маршрутів найчастіше виступають поділ секторів по дальності польоту, культурним традиціям країни проживання або народження пасажирів, за цілями подорожей. Сегментація пасажирів по дальності польотів є необхідною для авіакомпанії. Спочатку пасажирів поділяють на тих, хто літає з посадками або без них, потім поділяють їх на групи в залежності від загальної довжини польоту. Одним із факторів вибору вузла на маршруті є визначення відстані, при якій необхідна зміна рівня сервісу для пасажирів.

На практиці комерційної роботи авіакомпанії на ринку пасажирських перевезень часто віддають перевагу не дальності польоту, а тривалості рейсу. Проведені авіакомпанією Boeing дослідження дозволяють зробити наступні висновки. Зручність розкладу має переважне значення для 60 % пасажирів при польоті тривалістю менше 2 годин. Отже, для коротких авіаліній потрібно використовувати ПС невеликої місткості з високою частотою польотів. При тривалості польоту понад 5 годин найбільший пріоритет в оцінці пасажирів віддають рівню сервісу на борту, шуму в літаку, обслуговуванню до і після

польоту. Зниження тарифу на даному субсегменті ринку не призводить до збільшення обсягу авіап перевезень.

Сегментація на основі мети подорожі виділяє два основних ринкових суб'єкта: бізнес-пасажирів і відпочиваючі. Серед ділових пасажирських перевезень виділяються три субсегмента: індивідуальні поїздки бізнесменів за свій рахунок, вимагають високого рівня сервісу; поїздки співробітників корпорації за рахунок підприємства, при яких має значення не тільки рівень сервісу, але і безкоштовні розваги, частування і т.п.; інтенсив-поїздки бізнесменів, від'їжджаючих групою у відрядження, для яких важливим фактором є ціна подорожі. Для першого і другого субсегментів основною вимогою є зручність розкладу і висока частота польотів; для третього - високий рівень сервісу і низька вартість поїздки.

Ринок пасажирських неділових перевезень складається також з трьох субсегментів: пасажирів з приватними цілями поїздок; подорожують у складі туристичних груп; пенсіонери. Індивідуальні поїздки в особистих цілях складають найменший субсегмент ринку пасажирських перевезень, для цієї групи пасажирів попит визначається рівнем авіатарифів: вони частіше прагнуть до купівлі дешевих квитків, вибираючи навіть нічні чартерні рейси.

Сегментація ринку авіаційних перевезень при побудові маршрутів також може відбуватися за іншими напрямками: регіональні та місцеві; за видами вантажів (великогабаритні, швидкопсувні, небезпечні); за категоріями пасажирів (туризм, VIP-перевезення, бізнес-клас); традиційні та альтернативні авіап перевезення (дешеві перевізники, ділова авіація, експрес-перевезення) і т.п.

Приймаючи рішення про освоєння якого-небудь регіонального ринку або про введення нової послуги, кожна авіакомпанія повинна знати особливості і запити сегментів ринку і з їх урахуванням коригувати свою комерційну діяльність. Однією з головних характеристик сегментації ринку є обмеженість контингенту пасажирів, які здійснюють велику кількість поїздок. Бізнесмени з високими доходами одночасно є потенційними клієнтами на ринку неділових перевезень. Частка сегмента ринку пасажирських ділових перевезень складає в даний час 20 % в Англії і 50 % у США.

Авіакомпанія завжди орієнтується на найбільш привабливі сегменти ринку, тим самим, розкриваючи свої потенційні можливості. Стратегіями охоплення ринку для авіакомпаній є: недиференційований та диференційований маркетинг, концентрований маркетинг. Якщо авіакомпанія виходить на ринок з однією пропозицією, не робить відмінності ринку за сегментами, то це стратегія недиференційованого підходу. Дана стратегія зосереджується на загальних потребах пасажирів, а не на тому, що їх розрізняє. Авіакомпанія, яка застосовує стратегію диференційованого маркетингу, орієнтує свою діяльність на кілька сегментів ринку. Обсяг продажів при цьому збільшується, але зростають і витрати, тому що маркетингові плани необхідно розробляти окремо по кожному сегменту ринку.

Авіакомпанії з обмеженими ресурсами використовують стратегію концентрованого маркетингу, при якій їх діяльність охоплює переважні частки декількох невеликих ринків, а не дрібні частини великого ринку. Ця стратегія пов'язана з підвищеним ризиком.

Відносно нові тенденції в розвитку мережі маршрутів пов'язані з формуванням великих і допоміжних вузлів. Основні результати використання і розвитку вузлових аеропортів зазвичай представляються у формі:

- утворення великих транспортних вузлів (хабів), в яких формуються вихідні, фідерні потоки, в тому числі й іншими видами транспорту;
- збільшення щільності основних потоків, що зв'язують великий вузол з іншими великими пунктами і вузлами;
- розвитку інфраструктури та економіки великих вузлів;
- збільшення транспортного обслуговування прилеглих до транспортного вузла регіонів.

Використання в мережах вузлових та допоміжних аеропортів дозволяє авіакомпанії збільшити частоту перевезень на основних авіалініях, обслуговувати невеликі міста, які самі не в змозі забезпечити достатній попит на регулярні безпосадочні перевезення. Відповідно формуються складові економічного ефекту: отриманого авіакомпаніями, і соціально-економічного ефекту, що має форму синергетичного ефекту, в результаті соціально-

економічного розвитку інфраструктури вузлів, прилеглих регіонів та населених пунктів. З точки зору впливу діяльності авіакомпанії другу частину ефекту іноді називають ефектом диверсифікації.

Роль великих вузлових аеропортів («хабів») підтверджено світовим досвідом. Хабом називається такий вузловий центр - аеропорт трансферу, в якому променями сходяться всі маршрути авіаперевезень так, щоб зв'язок між будь-якими двома пунктами був можливий тільки з однією пересадкою - в транзитному вузлі. Трансферна технологія - це технологія роботи служб аеропорту, яка забезпечує оперативний перерозподіл пасажирів, багажу і вантажу між пов'язаних між собою (стикувальними по часу) рейсами, що використовують один і той же аеропорт (вузловий центр) в якості початкового, або як пункт проміжної посадки. Така технологія дозволяє звести в головному аеропорту (який, як правило, розташований рівновіддаленим від крайніх точок маршрутної мережі) кілька напрямків, організувати продаж цих рейсів, максимізувати їх завантаження. Пасажирам немає необхідності проходити реєстрацію та спецконтроль. Середній час перебування в комфортабельному трансферному терміналі вузлового аеропорту-близько 1,5 годин. При високій частоті рейсів (щоденній або вище) забезпечується щоденний авіазв'язок з будь-якого міста в будь-яке інше місто і назад (щоденний двосторонній авіазв'язок). Роботу хабів забезпечує вузловий розклад рейсів.

Великий науковий і практичний інтерес представляє досвід авіакомпанії «Аерофлот» щодо застосування різних схем їх реалізації у складі задач формування мережі маршрутів, інформаційних технологій для різних завдань комерційної діяльності авіакомпанії як великої структури. Технологічний підхід до побудови мережі маршрутів авіакомпанії «Аерофлот» представлений на рис. 1.5. Наведений перелік завдань реалізується у складі корпоративної інформаційної системи компанії «Аерофлот», заснованої на системі управління ресурсами підприємства (ERP) та корпоративної пошти SAP R/3. У них закладено загальносвітовий стандарт для галузі і для авіакомпанії - система Lotus Notes. «Аерофлот», як мережева компанія, виходить з того, що мережа маршрутів - єдина економічно ефективна система узгоджених за часом і

простором авіаліній, яка відповідає вимогам ринків авіаперевезень та можливостям авіакомпанії. Мережа формується виходячи з її структурного зображення - кількість напрямків і частота рейсів ув'язуються з урахуванням поділу маршрутів на далекомагістральні, ближньомагістральні, а також за регіональною та іншими ознаками.

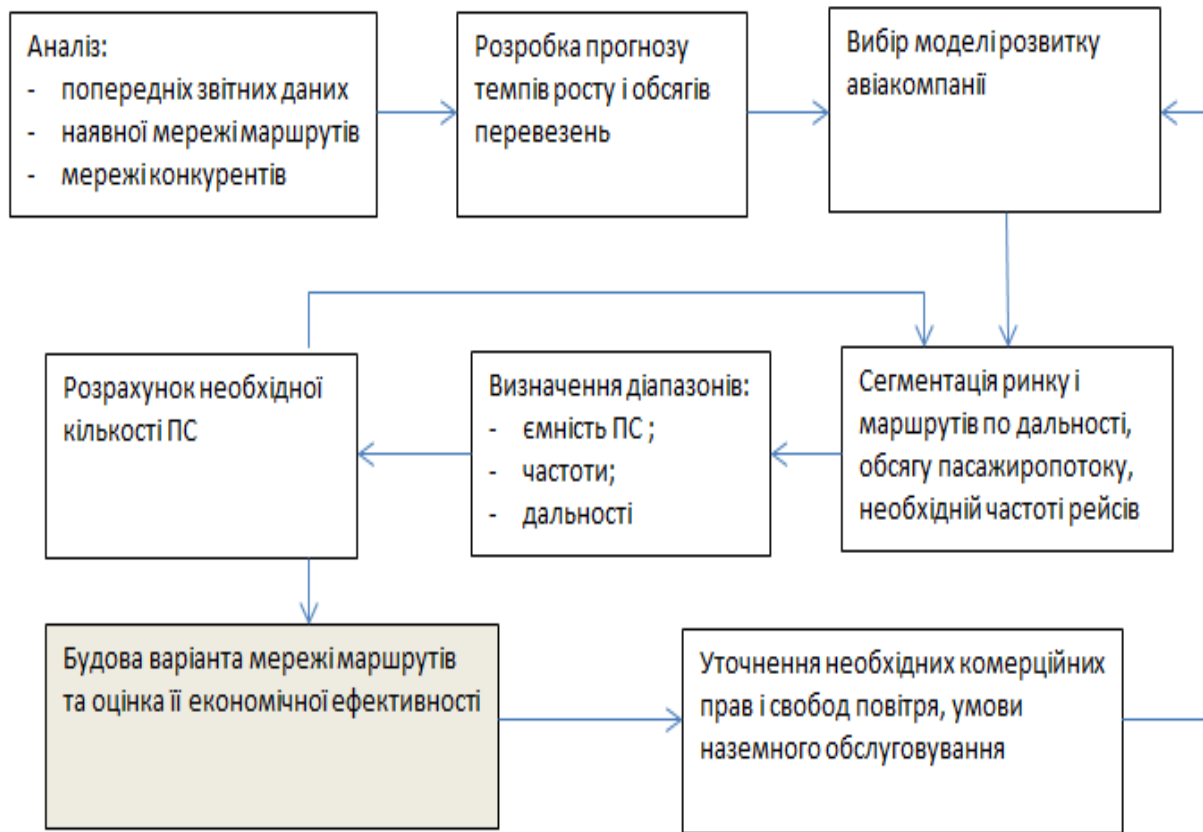


Рис. 1.5. Діюча послідовність етапів формування мережі маршрутів авіакомпанії «Аерофлот»

Існує, велика кількість моделей, призначених для оптимізації функціонування авіатранспортних мереж. У цьому класі моделей вирішуються задачі оптимізації маршрутів пасажирських та вантажних авіаційних перевезень, вироблення оптимальної конфігурації авіатранспортної мережі та ін. Методи оптимізації транспортних мереж представляють собою велику область досліджень. Основи цього напрямку викладено, наприклад, в роботах [8, 9].

Три концепції (мала довжина шляху, кластерність, ступінь без масштабування) привели до різних напрямків в моделюванні мереж в останні декілька років і дали поштовх трьом основним класам парадигм моделювання. По-перше, випадкові графи, які є варіантом моделі Ердоша–Реньї, досі використовуються в багатьох галузях і є основою для моделювання та емпіричних досліджень. По-друге, одразу після формулювання кластерності з'явився клас моделей, які називаються моделями малого світу. Ці моделі є проміжними між високофрагментованими регулярними ґратками і випадковими графами. Нарешті, відкриття степеневого розподілу ступенів вершин привело до появи різних моделей без масштабування, які, зосереджуючись на динаміці мереж, повинні пояснити походження степеневого розподілу ступенів вершин та інших відхилень від розподілу Пуассона, які мають місце в реальних системах.

Аналіз складних мереж, виконаний багатьма дослідниками, продемонстрував що в результаті свого розвитку вони перетворюються на самоорганізовані складні системи. Так досліджувані соціальні, інформаційні та технологічні мережі є безмасштабними і підпорядковуються одному і тому самому степеневому закону росту.

Лише декілька показників кількісного аналізу (ступінь вузла, сила вузла, коефіцієнт кластеризації) можуть допомогти у визначенні стратегії розвитку мережі маршрутів країни або авіакомпанії. Наступним кроком оптимізації маршрутної мережі є оптимізація розкладу рейсів за основними напрямками.

2. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Організація авіаційних перевезень				НАУ. 20.05 29. 200 ПЗ			
Викон.	Фомін І.В.			2. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	Литера	Арк.	Аркушів
Керивник	Юн Г.М.				Д	36	28
Н.контр.	Жукова С.О.				ФТМЛ 275.04 ОП-201М		
Зав. каф.	Юн Г.М.						

2.1. Огляд розвитку авіаційної галузі Китаю

2.1.1. Географічна та економічна характеристика Китаю

Китайська Народна Республіка (КНР) - держава в Східній Азії, найбільша за кількістю населення держава світу (понад 1,3 млрд., більшість населення - етнічні китайці); займає третє місце в світі за територією, поступаючись Росії та Канаді. З кінця 1970-х рр. в країні йде динамічне будівництво соціалістичної ринкової економіки. Існує різноманітність форм власності. Китайська народна республіка здійснює адміністративний контроль над 22 провінціями (рис.2.1); при цьому уряд КНР вважає Тайвань своєю 23-й провінцією.

Китайская Народная Республика (КНР):
Административное деление и территориальные споры



Рис. 2. 1. Адміністративно-територіальний поділ КНР

Крім цього, в КНР також входять 5 автономних районів, де проживають національні меншини Китаю; 4 муніципальних одиниці, відповідних міст центрального підпорядкування, і 2 спеціальних адміністративних району. 22 провінції, 5 автономних районів і 4 міста центрального підпорядкування об'єднуються терміном «континентальний Китай», куди зазвичай не входять Гонконг, Макао і Тайвань.

Китайські та іноземні експерти вважають, що китайська економіка грає все більш важливу роль на світовій економічній арені, китайські чинники стануть важливими чинниками для розвитку світової економіки [14]. По мірі розвитку протягом близько 30 років середньорічний приріст китайської економіки перевищив 9,6%, загальні кількісні показники економіки, розраховані за китайським юаням, збільшилися в 50 разів у порівнянні з 1978 роком. У цей же період середньорічні темпи зростання світової економіки склали близько 3,3%. Питома вага загальних кількісних показників економіки Китаю в світовій економіці зріс з 1,8% до 5%, частка обсягу зовнішнього товарообігу Китаю в світовому обсязі - з 0,8% до 6,7%, коефіцієнт вкладу зростання китайської економіки на розвиток глобальної економіки перевищив 15%. Китай поставляє на світовий ринок доброякісні і дешеві товари; між тим, Китай став також важливим імпортером світових сировинних ресурсів. Китайський фінансовий ринок також стрімко розвивається і стає одним з найбільш жвавих ринків на планеті.

Охарактеризуємо найбільш розвинуті й перспективні, з нашої точки зору, для розвитку китайсько-українських міжнародних економічних відносин міста. Пекін, Beijing (англ.) - столиця Китаю, місто центрального підпорядкування. Пекін є політичним, освітнім і культурним центром КНР, в той час як головними економічними центрами вважаються Шанхай і Гонконг. Разом з тим останнім часом Пекін все більше бере на себе роль локомотива підприємницької діяльності та основного поля для створення інноваційних підприємств.

Населення: 16,095 млн. чол., з них кожен четвертий - мігрант (оцінка на грудень 2008). Пекін - найбільший залізничний вузол країни, за 2005 рік

перевезено 608 млн. пасажирів. В пекінський міжнародний аеропорт виконують рейси понад 200 авіакомпаній, за 2012 році літаком до столиці Китаю прибуло 50 млн. чол. У місті розвинене метро і тролейбусний транспорт, кількість приватних автомобілів склала 1,54 млн. (всього 2,146 млн.). Останнім часом Пекін набуває все більшу популярність в якості центру інноваційного підприємництва та успішного венчурного бізнесу. Це зростання посилюється завдяки великій кількості китайських і зарубіжних фірм, що спеціалізуються на венчурному фінансуванні, таких як Sequoia Capital, штаб-квартири яких розташовані в районі Чаоян. Незважаючи на те, що економічним центром Китаю вважається Шанхай, багато в чому це відбувається завдяки тому, що там розташована велика кількість великих компаній, однак центром підприємництва в Китаї називають Пекін. Крім того, Пекін є світовим лідером у виробництві меламіну і меламінових сполук (аммелина, аммелида і ціанурової кислоти).

Головний аеропорт Пекіна називається «Столиця» (аеропорт «Шоуду», Beijing Capital Airport, PEK). Він розташований поруч з Shunyi, в 20 км на північний схід від міської зони Пекіна. Столичний аеропорт обслуговує більшість внутрішніх і практично всі міжнародні рейси. Це головні повітряні ворота Китаю і базовий аеропорт національного перевізника Air China. Він пов'язаний з містом швидкісною трасою «Аеропорт», шлях якої до центру міста займає близько 40 хвилин. До Олімпіади 2008 до аеропорту були побудовані ще одна швидкісна автотраса, а також лінія легкорейкового транспорту. На адміністративній території Пекіна також розташовані такі аеропорти: аеропорт Лянсян, аеропорт Наньюань, аеропорт Сицзяо, аеропорт Шахэ і аеропорт Бадалін. В основному, вони використовуються у військових цілях.

Шанхай - найбільше місто Китаю і одне з найбільших міст світу, розташоване в дельті річки Янцзи. Одне з чотирьох міст центрального підпорядкування КНР, важливий фінансовий і культурний центр країни, а також найбільший в світі морський порт. Шанхай обслуговують два аеропорти: аеропорт Хунцяо і Міжнародний аеропорт Пудун, сукупний пасажиропотік яких поступається в Китаї лише аеропорту Гонконгу. З 2002 року в Шанхаї діє

перша у світі комерційна залізнична лінія на магнітній підвісці. Її, а також поїзд, що пересувається по ній побудували німецькі інженери компанії Трансрапид. Лінії належить рекорд швидкості в реальній експлуатації з пасажирами - 430 км/год. Вона з'єднує місто з аеропортом Пудун і долає відстань 30 км за 7 хв. 21 сек. Планується продовжити лінію до аеропорту Хунцяо і далі на південний захід до Ханчжоу, столиці провінції Чжецзян, після чого її довжина складе 175 км. Шанхайський порт, включає новий глибоководний порт Яншань, є найбільшим у світі.

Нінбо - портове місто субпровінциального рівня з населенням 5527000 осіб, розташоване на північному сході провінції Чжецзян. З півночі Нінбо омивається затокою Ханчжоувань, зі сходу - Східно-Китайським морем. Місто межує з Тайчжоу на півдні і з Шаосином на заході. На північний схід від Нінбо за вузьким протокою знаходиться місто Чжоушань. Площа міста 9365 км², довжина берегової лінії 1562 км. З початком ринкових реформ в Китаї економіка Нінбо отримала великий поштовх і продовжує бурхливо розвиватися. Багато в чому цьому сприяє близькість до моря і наявність порту Бейлунь, через який відправляється велика частина товарів, вироблених промисловістю Ханчжоу і Нінбо. На території Нінбо розташована велика кількість промислових підприємств, в міській зоні Нінбо ведеться активне будівництво сучасних офісних будівель, готелів і торгових центрів. У Нінбо відкритий спільно з Wanli Education Group університет Ноттінгем, який став першим іноземним університетом в Китаї. У містечку, розташованому в Ningbo Higher Education Park, знаходяться освітні та комп'ютерні класи. Університет Ноттінгем входить в сотню кращих вищих навчальних закладів світу. Два престижних міжнародних чарту віднесли Університет Ноттінгем до 10 кращим університетам Великобританії, до 70 по всьому світу.

Парк високих технологій міста Нінбо був заснований в 2004 році. Загальна площа становить 32,9 км². У 2007 році обсяги ВВП парку досягли 19,2 млрд. юанів, а обсяги експорту перевищили 2,88 млрд. юанів. Найбільшими інвесторами парку є компанії Microsoft, Sinopec, IMP, Sanyo, Eaton, INCOS і TRW.

Стабільний і значний розвиток Китаю передбачає значний потенційний попит на авіап перевезення практично у всіх напрямках.

2.1.2. Аналіз розвитку мережі авіамаршрутів в Китаї

Формування міжнародної мережі авіамаршрутів Китаю почалося у 1930-х роках. Але дійсно швидкий розвиток мережі розпочався після 1990-х років, коли СААС проголосив чотири політичних напрямки щодо реформування авіаційного ринку Китаю (до 2002 року СААС запровадив чотири основні політики щодо авіаційного ринку Китаю: консолідація авіакомпаній, дерегуляція авіап перевезень, авіатарифів та приватизація [6]).

Розвиток міжнародного авіаційного ринку Китаю можна розділити на три етапи, які відображають ключові регуляторні заходи, запроваджені центральним урядом Китаю:

I. Попередня ера до КНР

У 1936 році, під час правління Китайської Республіки (1920–1949), країна відкрила перший міжнародний повітряний маршрут між Гуанчжоу та Ханой у В'єтнамі. Однак після «Інциденту Лугукяо» 7 липня 1937 р., Коли Японія розпочала своє вторгнення в Китай, міжнародні повітряні маршрути майже були закриті. Внаслідок війни проти Японії (1937–1945) та громадянської війни в Китаї («Визвольна війна» 1945–1949) лише три міжнародні повітряні маршрути діяли між Китаєм та Індією, Філіппінами та США - до заснування КНР у 1949 році.

II. Дореформна ЕРА (1949–1978)

У період з 1950 по 1978 роки процес відкриття міжнародних маршрутів все ще проходив повільно, навіть незважаючи на те, що Китай встановлював міжнародні рейси з Радянським Союзом, Японією, Францією та деякими країнами Південно-Східної та Західної Азії. Основними причинами цього повільного розвитку були:

(1) Діючий китайський уряд. Китайська Народна Республіка, не була повністю визнана ООН до 1971 року, тому Китай не встановив дипломатичних відносин з більшістю західних країн.

(2) Культурна революція Мао Цзедуна з 1966 по 1976 рік призвела до ізоляції Китаю від міжнародного світу [7]. Тому до економічних реформ у 1978 р. Китай все ще не брав участь у міжнародній арені. Існувало лише 12 міжнародних повітряних маршрутів до 13 країн, що охоплювали загальну відстань лише 55 342 км [8].

III. Після реформена ера (1978–1990)

Після економічної реформи у 1978 р. до 1990 р. Китай розпочав частковий процес дерегуляції на авіаційному ринку з метою задоволення міжнародних очікувань світу. У 1980-х роках СААС став незалежним від військового контролю і повністю відповідав за контроль авіаційного ринку Китаю. Впроваджуючи кілька заходів реформи, включаючи відокремлення управління авіакомпаній та аеропортів від центрального офісу СААС, перетворення авіакомпаній на суб'єкти господарювання та заохочуючи конкуренцію, СААС дозволив вітчизняним авіакомпаніям у Китаї експлуатувати більше міжнародних маршрутів [9]. До 1984 року Китай вже мав авіазв'язок з 19 країнами, що мають 24 міжнародні повітряні маршрути, а загальна відстань зросла до 100800 км. Можна зробити висновок, що перша фаза розвитку міжнародного авіаційного ринку Китаю була досить повільною.

Утворення міжнародних повітряних мереж Китаю (1990–2000)

З початку 90-х років міжнародний авіаційний ринок Китаю все більше інтегрувався до глобального ринку завдяки процесу дерегуляції. У 1996 році аеропорти Китаю були зареєстровані в системі Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), а провінції Хайнань було дозволено відкрити третю, четверту та п'яту свободу повітря, а Сямень та Нанкін розширили першу свободу повітря. Це означало, що ринок авіації Китаю почав послабляти критерії входу на авіаційний ринок для іноземних країн. Тим часом китайські авіакомпанії «Велика трійка» (Air China, China Southern та China Eastern) підписали код-шеерінг угоди з міжнародними авіакомпаніями (United Airlines,

Japan Airlines), що означало збільшення авіамаршрутів для іноземних авіакомпаній у Китаї [6, 8]. Зі спрощенням умов входу на ринок та відкриття маршрутів кількість міжнародних повітряних маршрутів зросла з 44 в 1990 році до 133 у 2000 році.

Таблиця 2. 1

Розвиток міжнародних авіаційних перевезень Китаю, 1990–2016 роки

Категорія	1990	1995	2000	2005	2010	2013	2014	2015	2016
Міжнародні авіамаршрути	44	85	133	233	302	427	490	660	739
Частота	7216	17278	36909	92852	147488	243541	-	-	-
Кількість країн	24	31	33	33	54	50	51	51	77
Кількість міст	32	51	56	72	101	126	125	137	146
Кількість міжнародних авіапасажирів, млн	1,087	3,133	6,241	13,435	22,578	31,180	31,550	42,070	51,620
Міжнародний авіавантаж, тис. т	75	174	450	764	1855	1760	1684	1868	1932

Тим часом, коли міжнародні авіаційні ринки Китаю швидко розвивалися основні міжнародні сполучення були сконцентровані у національних столицях Китаю та зарубіжних країн, за винятком міжнародного маршруту між Шанхаєм та Оклендом. Крім того, щорічна кількість пасажирів міжнародних авіаперевезень між 1990 та 2000 роками зросла з 1,09 млн. до 6,24 млн. - річний темп зростання складав 19,1% (рис. 2.2), що було набагато швидше, ніж темпи світового зростання (5,5%). Крім того, частка ринку Китаю в міжнародній авіації зросла з 1,7% до 6,0%. Під час цього етапу, з процесом дерегуляції в Китаї було сформовано мережу міжнародних повітряних сполучень, що послужило надійною основою для експоненціального зростання на наступній фазі розвитку.

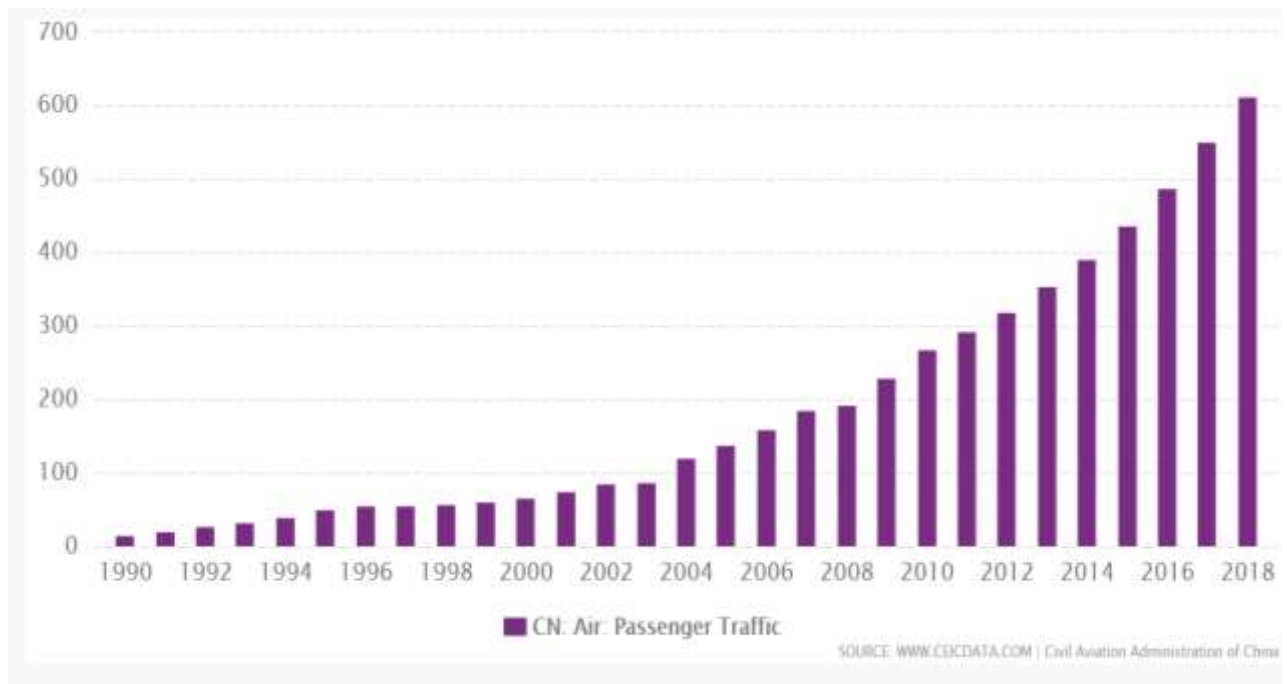


Рис. 2.2. Динаміка пасажирських авіаперевезень Китаю, млн пас.

На рисунку 2.3 видно, що місця призначення міжнародних повітряних пасажирів, як правило, розташовані переважно у конкретних регіонах та містах. У 1990 році три основні регіони були домінуючими за їх ролі у залученні міжнародних повітряних пасажирів: Східна Азія – Токіо та Осака як домінуючі міста; Європа – Франкфурт, Париж та Лондон як домінуючі міста та Південно-Східна Азія – Сінгапур і Бангкок як домінуючі міста. Щодо міжнародних повітряних маршрутів, Шанхай – Токіо, Шанхай – Осака та Шанхай – Сан-Франциско, то тут зафіксована кількість пасажирів, що перевищують 100 тис. на рік. Три основні регіони 1990-х років залишалися основними напрямками міжнародних авіаперельотів Китаю у 2013 році. Насправді міжнародні авіаційні ринки трьох регіонів значно розширилися. Крім того, темпи зростання обсягів міжнародних повітряних перевезень та міжнародних повітряних маршрутів у Східній Азії та Південно-Східній Азії були найбільшими порівняно з іншими районами. Серед них маршрути Шанхай – Бангкок, Шанхай – Сеул, Шанхай – Токіо, Шанхай – Осака, Гуанчжоу – Бангкок та Пекін – Сеул перевезли понад 600 тис. пасажирів. Це розумно, оскільки Східна та Південно-Східна Азія розташовані близько до Китаю та мають тісні міжнародні ділові зв'язки, що полегшило організацію міжнародних авіаперельотів між ними.

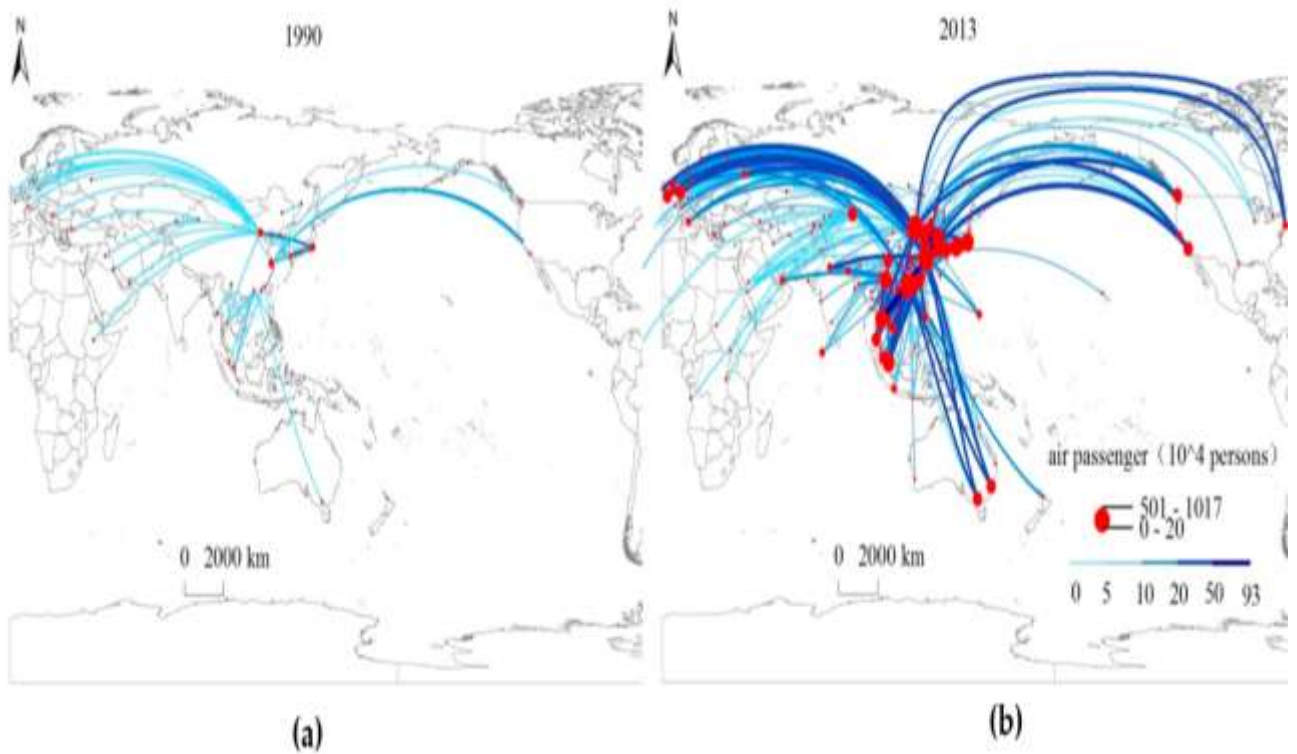


Рис.2.3. Просторовий розподіл міжнародних повітряних пасажирських зв'язків Китаю, 1990 (а) –2013 (б).

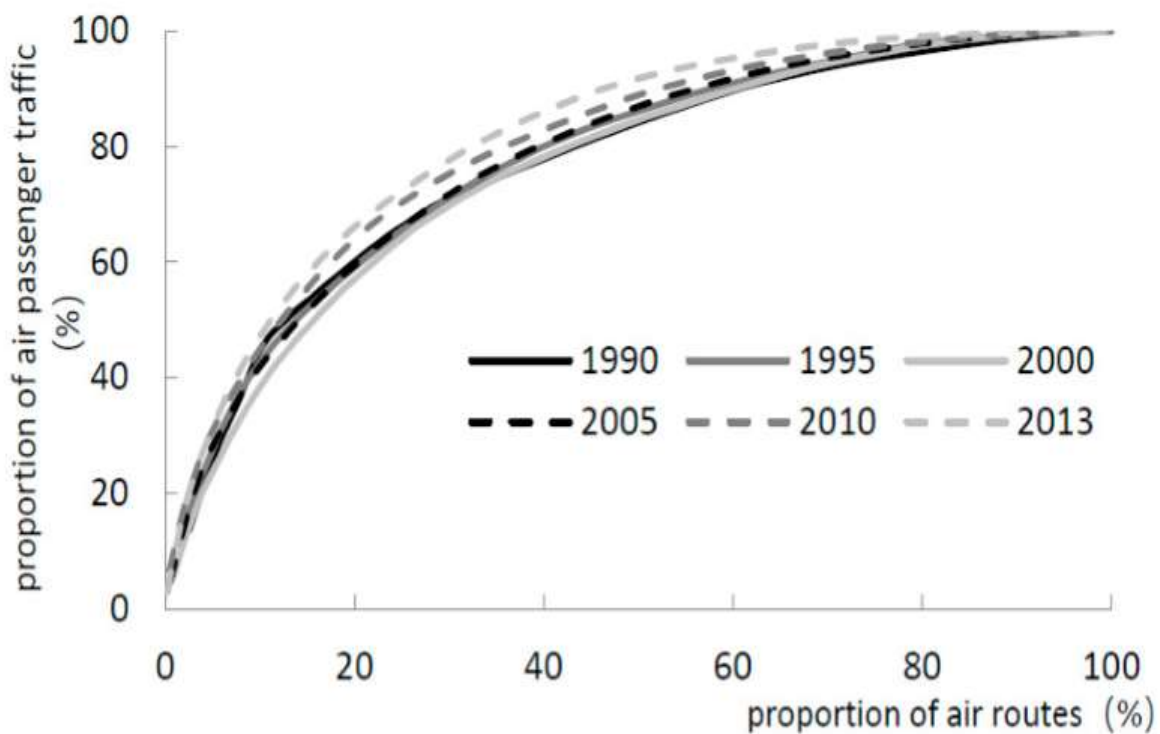


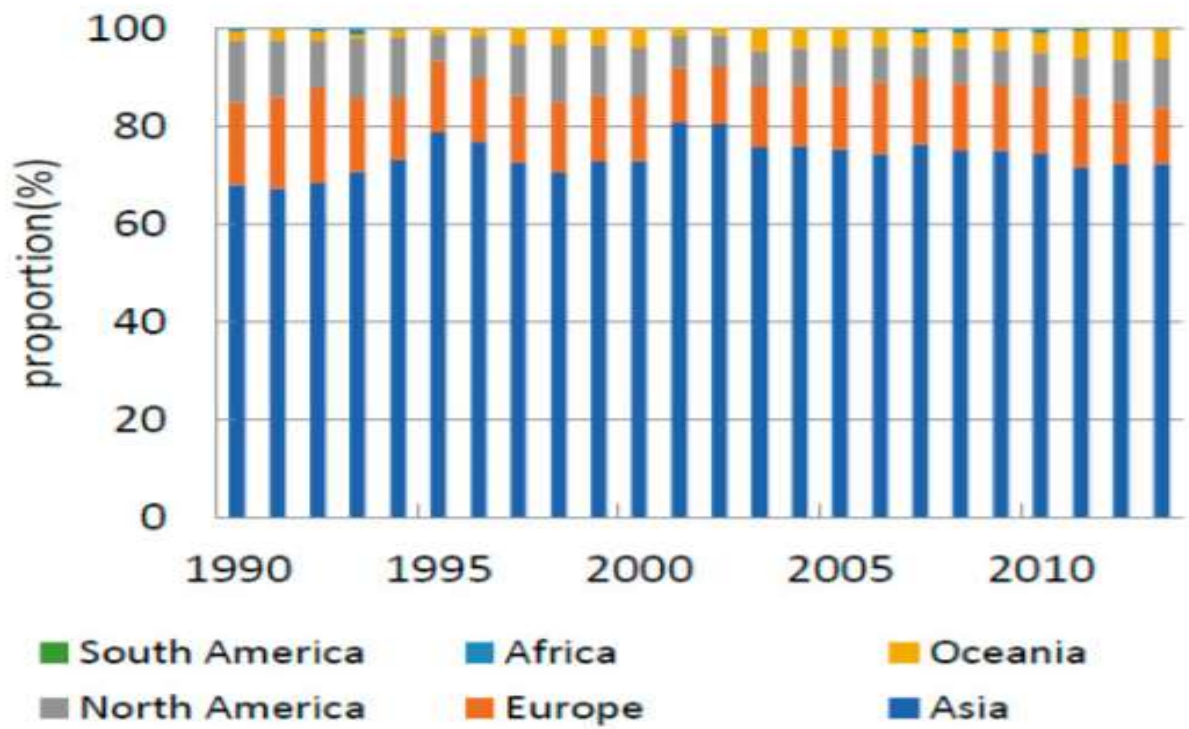
Рис.2.4. Розподіл обсягів авіаперевезень на міжнародних авіамаршрутах Китаю, 1990-2013 роки.

Кластерні характеристики мережі авіамаршрутів Китаю

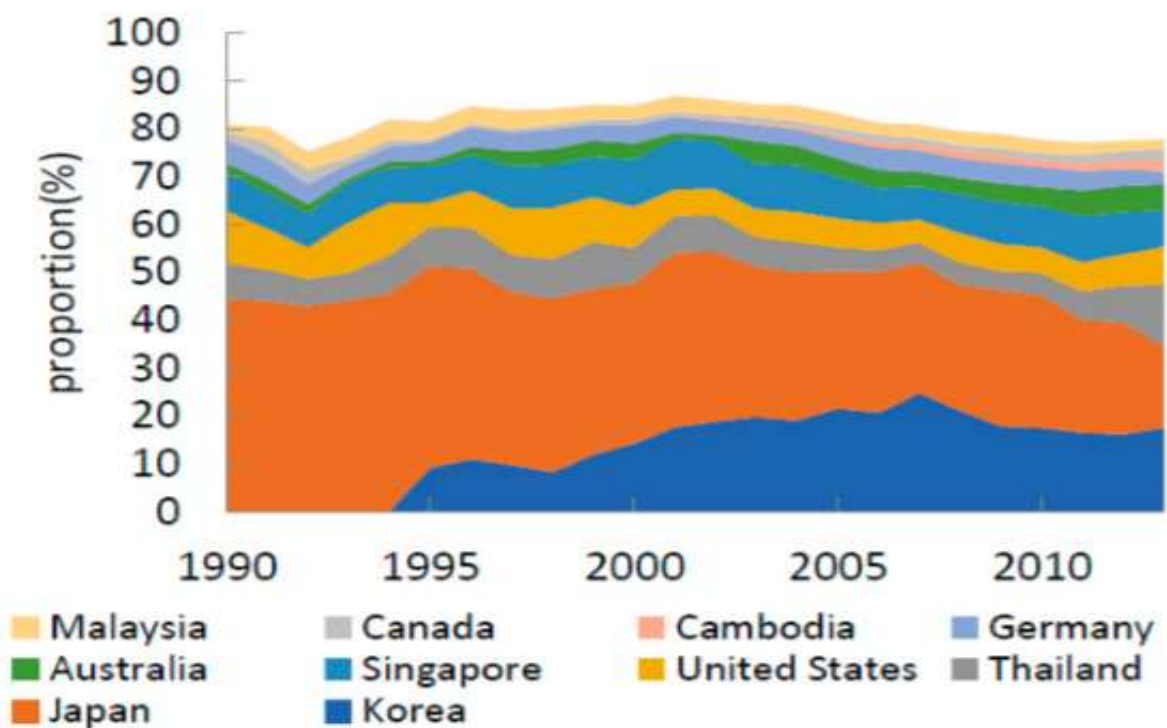
Щоб зрозуміти, як кластерні характеристики мережі авіамаршрутів Китаю, можна використати відсоток накопичених пасажирських потоків як вісь Y та накопичений відсоток міжнародних маршрутів як вісь X. На рис. 2.4 вказується, що розподіл міжнародних повітряних пасажирів має логарифмічний розподіл ($y = \ln(x)$). 60% обсягів міжнародних перевезень були згенеровані 20,5% міжнародних авіамаршрутів у 1990 році, 21,1% - у 1995 р., 22,5% - у 2000 р., 20,6% - у 2005 р., 17,7% - у 2010 р. та 16,2% - у 2013 р. Це означає, що в довгостроковому періоді більшість обсягів міжнародних авіаперевезень Китаю будуть сконцентровані на невеликій кількості міжнародних маршрутів. Тенденція посилення домінування провідних міжнародних маршрутів з'явилася між 2000 та 2013 роками.

Рис.2.5 далі підтверджує, що з 1990 по 2013 рік Азія була основним пунктом призначення Китаю, на відміну від Африки та Північної Америки. Крім того, щодо розподілу обсягів міжнародних пасажирських потоків, то частка Східної Азії складала понад 34%, Південно-Східної Азії – 20% -30%, Західної, Середньої та Південної Азії менше 6%. Тим часом Корея, Таїланд, Японія, США та Сінгапур були основними напрямками для міжнародних авіаперевезень, а Корея в 2013 році замінила Японію як найбільш привабливе місце для міжнародних авіапасажирів.

Виходячи з даних про обсяги авіаційних перевезень та відстані міжнародних повітряних маршрутів (рис. 2.7), з 1990 по 2013 рр. середня відстань авіамаршрутів зменшилась з 7017,4 км до 5097 км. Це означає, що розширення міжнародних повітряних мереж Китаю було зосереджено більше на районах, близьких до Китаю, для подорожей на короткі та середні відстані. Крім того, понад 80% міжнародних повітряних пасажирів знаходились у трьох категоріях: (1) 500–4000 км, (2) 11 500–13 500 км та (3) 26 500–27 500 км. Це відображає різноманітність областей, які охоплюють міжнародні авіаперельоти Китаю.

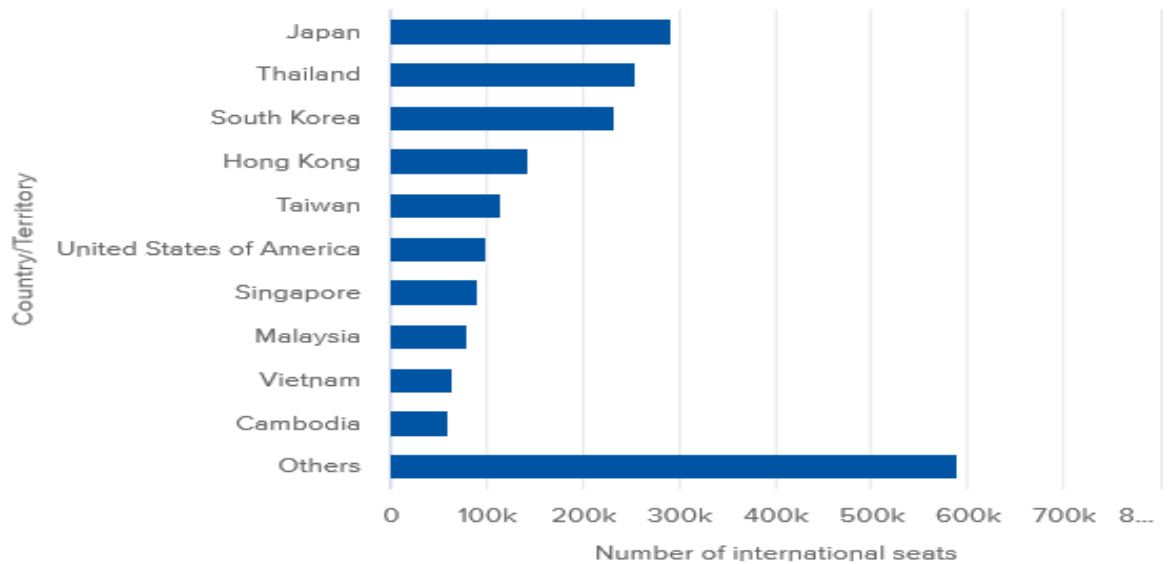


(a)



(b)

Рис.2.5. Частка повітряних пасажирських перевезень між Китаєм та шістьма континентами (а) та країнами (б)



Source: CAPA - Centre for Aviation and OAG

Рис.2.6. Міжнародні авіаперевезення: тиждень, що починається 16 грудня-2019, кількість місць за країною призначення

Більше того, відсотки міжнародних повітряних маршрутів та обсягів пасажирських перевезень першої категорії становлять понад 50% та 65% відповідно. На цій відстані (500–4000 км) знаходяться міста Південної та Південно-Східної Азії. Вони включають Сеул, Бангкок, Осаку, Пхукет, Чеджу, Сінгапур, Токіо та Пусан.

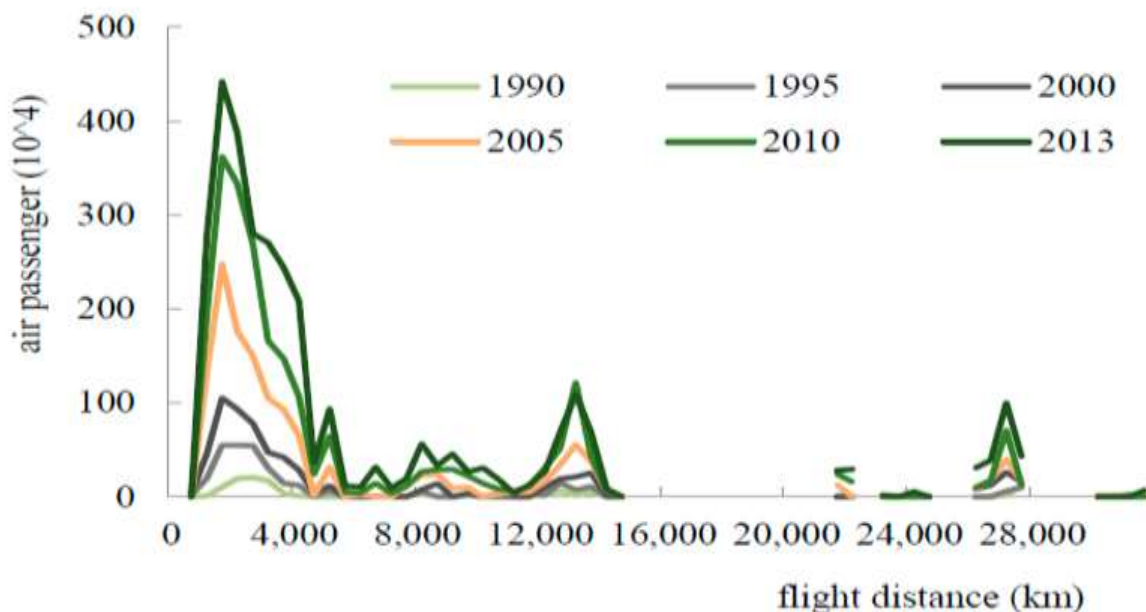


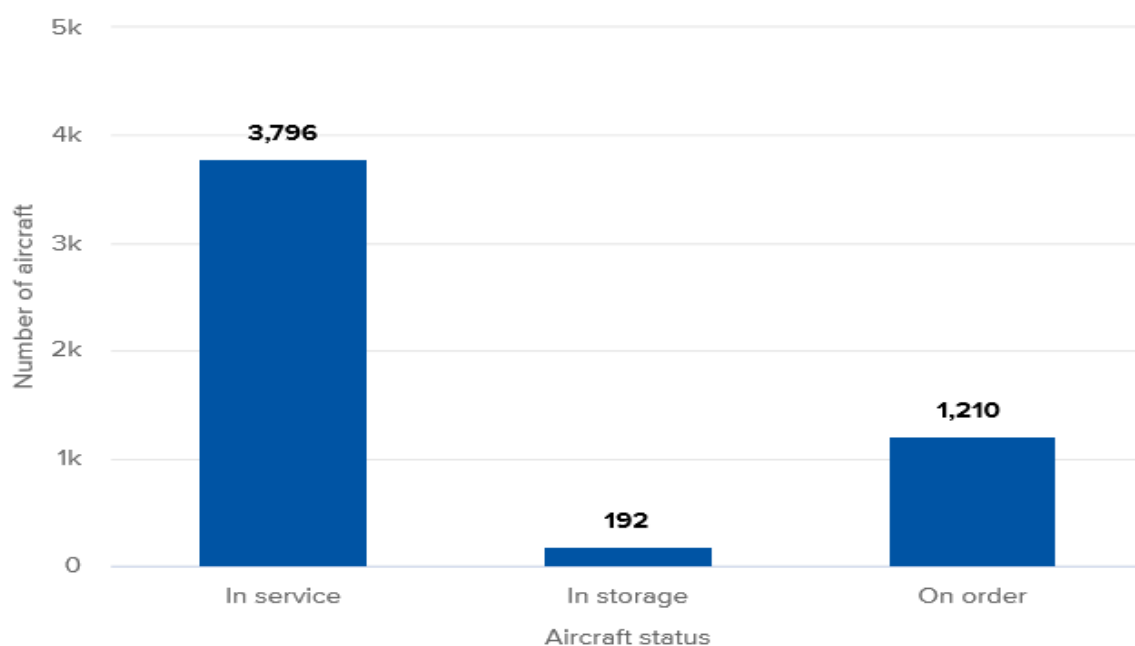
Рис. 2.7. Розподіл обсягів пасажирських авіаперевезень між відстанями

2.1.3. Характеристика авіакомпаній Китаю

В даний час в світі налічується 96 авіакомпаній, які відкрили авіалінії в Китаї. У Китаї діє більше 40 авіакомпаній, менш ніж 10 з них є державними або державно-холдинговими компаніями [2].

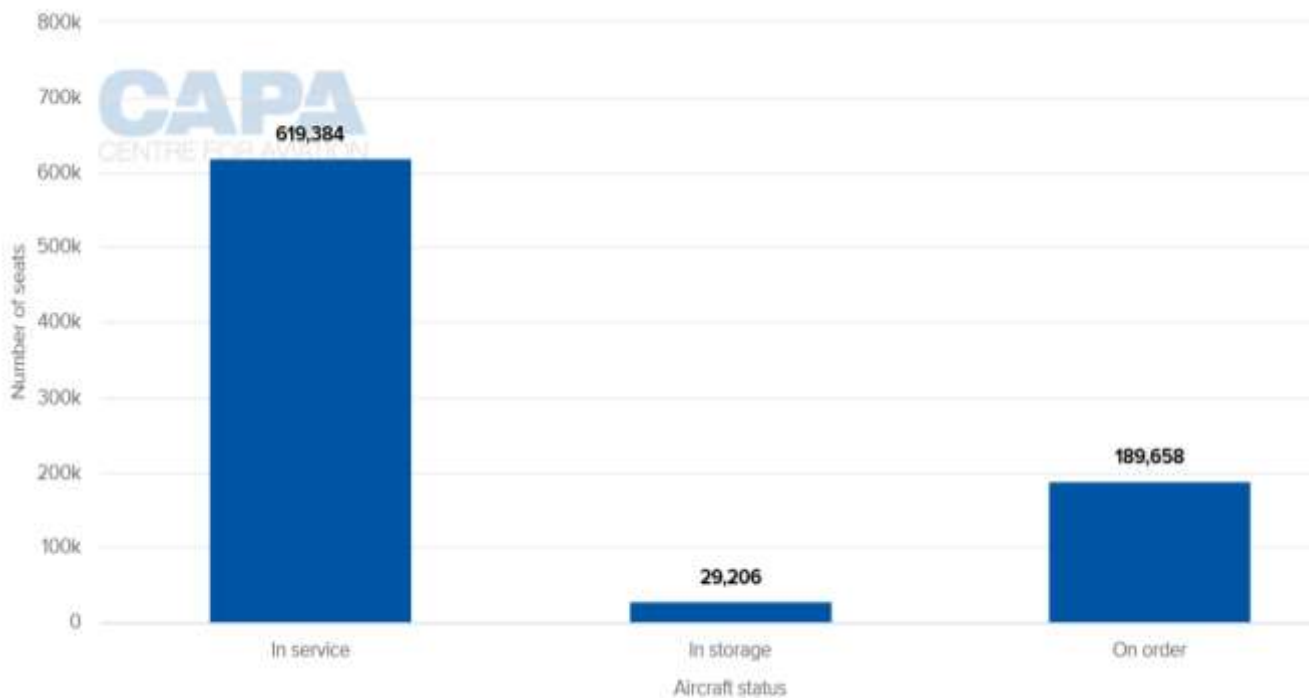
В даний час пасажирооборот цивільної авіації Китаю становить лише 0,55% від загального пасажирообігу транспортної системи країни, а кількість перевезених пасажирів повітряним транспортом становить 10% від залізничних перевезень. Для порівняння пасажирооборот цивільної авіації США становить 9,5% від загального пасажирообігу.

Авіакомпанії Китаю експлуатують 3796 ПС (рис. 2.8), максимальна пасажирська ємність яких склала 619384 пас-місце (рис.2.9), 152 аеропорти мають можливість надавати послуги цивільної авіації. Таки типи ПС як BOEING 747 400M, BOEING 767 200, AIRBUS A340 600, AIRBUS A340 300 експлуатуються в середньому більше ніж 10 год. на добу (Додаток А).

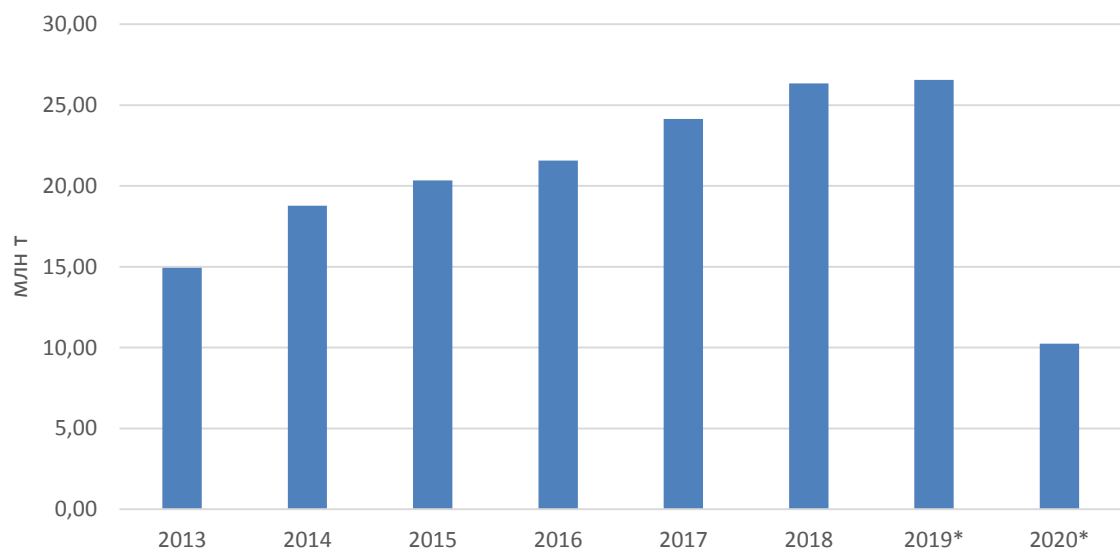


Source: CAPA Fleet Database

Рис. 2.8. Парк авіакомпаній Китаю, 2019 р.



а)



б)

Рис.2.9. Ємність парку авіакомпаній Китаю (а) – пасажиро-місць; (б) – вантажна ємність

*Значення для цього року частково прогнозовані.

Аналітики зазначають, що три найбільші китайські авіакомпанії готуються до подальшого зниження маржі, оскільки подорожі подорожчають, а ослаблення валюти в юані збільшує витрати. Багато перевізників скоротили

свої річні прогнози прибутку. Перегляд прогнозу аналітики пояснюють економічним уповільненням на тлі торговельної війни між США та Китаєм та побоювання зростання цін на нафту.

Таблиця 2.2

Фінансова та статистична інформація (валюта: долл. США).

Фінансове порівняння провідних авіакомпаній Китаю:

CA – Air China; MU – China Eastern Airlines; CZ – China Southern Airlines

Показник	CA 2018	MU 2017	CZ 2018
Кількість пасажирів	109726590	110811400	139885040
Коефіцієнт завантаження (%)	80.6	81.06	82.4
Ємність RPK's (Millions)	136137208.4	136702936.1	169763398.1
ASK's (Millions)	220528.34	183181.98	259194
Кількість робітників	273600.29	225996.28	314421
Кількість ПС	28302	75277	100831
Щоденне використання (години)	684	627	840
	9.52	9.06	9.04
RASK	0.07	0.07	0.07
CASK	0.07	0.06	0.06
CASK виключаючи паливо	0.05	0.05	0.04
Операційна маржа, %	10.18	8.58	6.14
Чиста маржа, %	5.83	6.45	2.34
Операційний дохід на пас	182.88	141.34	146.24
Додатковий дохід на рік	11.74	4.45	5.66
Операційні витрати на пас	164.26	129.21	137.26
Операційний дохід на одного працівника	709021.57	208053.15	202883.90
Операційні витрати на одного працівника	636820.87	190208.29	190426.05

China Southern, найбільший в країні перевізник за кількістю пасажирів, за 2018 рік зменшив прибуток на 20,9% до 1,69 мільярда юанів (238 мільйонів доларів), тоді як прибуток China Eastern зменшився на 14,9% до 1,94 мільярда

юанів. Компанія Air China, флагманський перевізник країни, зафіксувала зменшення чистого прибутку на 9,5% до 3,14 мільярда юанів завдяки позитивній віддачі від інвестицій в гонконгський Cathay Pacific Airways Ltd.

Дохід на пасажирів – показник середнього тарифу на кілометр – скоротився для всіх трьох авіакомпаній, а China Southern зазнала найбільшого зниження на 1,65% у порівнянні з роком раніше.

Очікуючи, що торгові переговори триватимуть до кінця 2019 року, ми очікуємо, що зниження доходів продовжиться, що призведе до загального падіння 2,3% за весь рік.

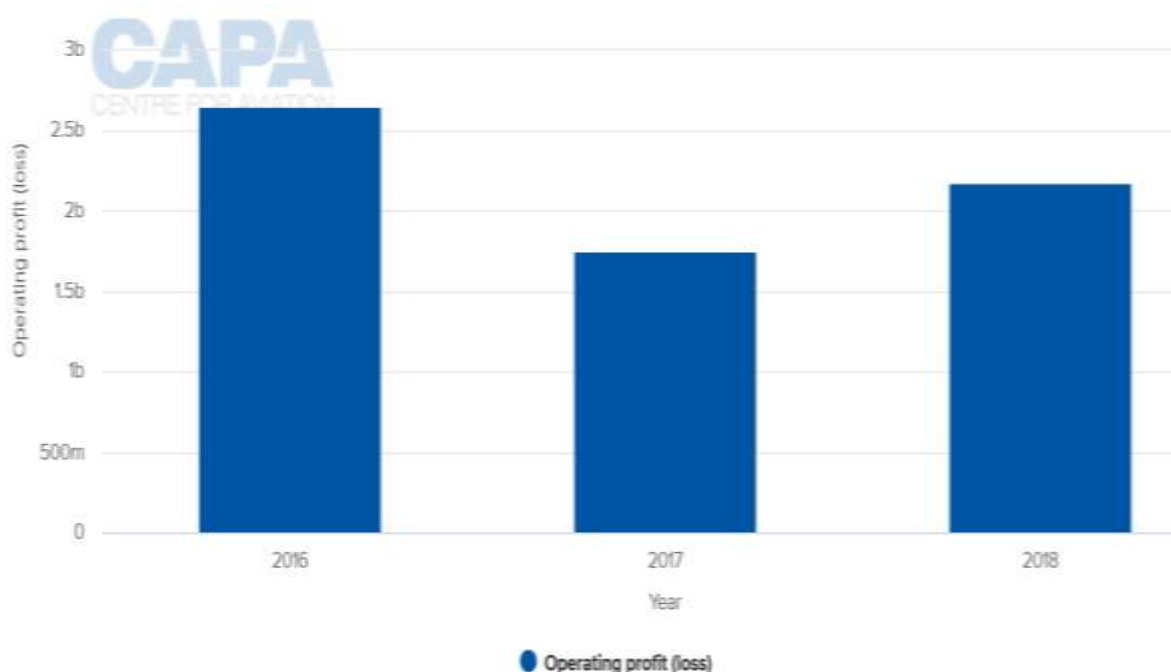


Рис.2.10. Динаміка операційного прибутку Air China

2.2. Характеристика виробничо-фінансової діяльності авіакомпанії China Southern Airlines

Створена у 1988 році, China Southern Airlines (CZ, CSN, 784) є найбільшою авіакомпанією в Китаї і базується в Гуанчжоу та Пекіні. Перевізник працює з розгалуженою внутрішньою мережею в Китаї, а також надає міжнародні послуги на Близькому Сході, в Азії, Африці, Європі, Північній Америці та

Австралії. China Southern Cargo є дочірньою компанією China Southern Airlines. China Southern Airlines був членом альянсу SkyTeam з 2007 року, і його дочірня компанія приєдналася до альянсу SkyTeam Cargo у листопаді 2010 року. Китай Південний вийшов з альянсу SkyTeam у 2019 році.

Гуанчжоу (Кантон) - місто субпровінціального значення Китайської Народної Республіки, столиця провінції Гуандун, політичний, економічний, науково-технічний, освітній, культурний і транспортний центр всього південного Китаю. Гуанчжоу з населенням близько 10 млн. чоловік є третім за величиною містом Китаю, поступаючись лише Пекіна і Шанхаю. Площа міста 7434,4 км² на суші і 744 км² на море.

Гуанчжоу - одне із 24 історичних міст Китаю, з більш ніж 2000-річною історією. Місто було засноване в 862 році до н. е. Ще багато століть тому тут починався морський Шовковий шлях. Більше 2000 років тому, в епоху династії Західна Хань був заснований торговельний порт, звідси кораблі інших країн забирали китайські товари. До нашого часу збереглися реліктові залишки судноверфі династії Цінь і Хань, що демонструють, наскільки було розвинене суднобудування в Гуанчжоу в ті далекі часи, коли місто було головним перевалочним пунктом на «шовковому шляху».

Це місто також є найбільшим промисловим центром Китаю, всесвітньо відомий центр легкої промисловості. В Гуанчжоу знаходяться близько 100 оптових ринків, різних видів товару і сотні тисяч промислових підприємств, фабрик, заводів. В Гуанчжоу два рази на рік проходить Міжнародна виставка китайських товарів (CECF, Canton Fair) - одна з найважливіших подій року в світі виробництва і торгівлі.

Міжнародний аеропорт Гуанчжоу Байюнь (в перекладі «білі хмари») (IATA: CAN) - головний аеропорт Гуанчжоу, столиці провінції Гуандун Китайської Народної Республіки.

Аеропорт був відкритий 5 серпня 2004 року в районі Хуаду і замінив собою старий (на даний момент закритий) аеропорт. Знаходиться в 28 кілометрах від центру міста, що на 12 кілометрів далі від попереднього. Вартість будівництва близько 19,8 мільярда юанів.

Відкриття нового Міжнародного аеропорту Гуанчжоу Байюнь вирішив більшість проблем старого аеропорту, який, знаходячись в межах міста, був переповнений і не міг розширюватися. Відкриття нового аеропорту дозволило приймати і випускати літаки цілодобово. В результаті China Southern Airlines змогла ефективно планувати міжконтинентальні рейси, вилітаючи пізно ввечері. Інші авіалінії також отримали таку можливість.

З міжнародного аеропорту Гуанчжоу Байюнь виконуються польоти приблизно по 100 напрямками, в основному усередині країни.

China Southern Airlines мають акредитацію IATA з безпеки IOSA (IATA операцій Safety Audit). У 1996 авіакомпанія почала відкривати далекомагістральні міжконтинентальні маршрути, першим таким маршрутом став Гуанчжоу-Пекін-Амстердам. У березні 1997 року було відкрито маршрут Гуанчжоу-Лос-Анджелес, який став найдовшим маршрутом Китайських південних авіаліній. Цей рейс увійшов в історію як перший безпасадковий рейс дводвигунового Boeing 777 через Тихий океан. У червні 1997 Китайські південні авіалінії розмістили свої акції на біржах Нью-Йорка і Гонконгу, отримавши 700 млн дол. У липні 2000 року було відкрито ще два далекомагістральні маршрути, в Сідней і Мельбурн. Міністерство цивільної авіації Китаю (CAAC) вибрала China Southern Airlines як одну з трьох авіакомпаній-лідерів реструктуризації авіатранспортної галузі Китаю. China Southern Airlines злилися з Zhongyuan Airlines 4 серпня 2000. У січні 2003 авіакомпанія поглинула Китайські північні авіалінії і її підрозділи Beiya Airlines і China Northern Swan, а також China Xinjiang Airlines, отримавши їх місцеві маршрути. У листопаді 2004 придбання було закінчено поглинанням холдингу, якому належали Китайські північні авіалінії і China Xinjiang.

Більшість акцій China Southern Airlines належить Товариству з обмеженою відповідальністю China Southern Air Holding Limited («CSAH»), яке є державним підприємством, зареєстрованим в КНР. Акції компанії продаються на Шанхайській фондовій біржі, Фондовій біржі Hong Kong Limited та Нью-Йоркській фондовій біржі.

Сфера діяльності Компанії включає:

(1) надання послуг внутрішніх, регіональних та міжнародних регулярних та позапланових повітряних перевезень пасажирів, вантажів, пошти та багажу;

(2) надання послуг загальної авіації;

(3) надання послуг з обслуговування повітряних суден;

(4) послуги агента вітчизняних та іноземних авіакомпаній;

(5) пропонування послуг громадського харчування;

(6) ведення іншого авіаційного та відповідного бізнесу, включаючи рекламу для таких підприємств;

(7) ведення іншого авіаційного та пов'язаного з ним бізнесу, обмеженого страховим та агентським бізнесом: особисте страхування від нещасних випадків; надання наземних послуг авіакомпаній; навчання; послуги з лізингу активів; послуги з управління проектами та технічного консультування; продаж авіаційної техніки; бізнес туристичних агентств; роздрібний та оптовий продаж товарів.

Зростання обсягу пасажирських перевезень у світі сповільнилося. За попередніми даними, оприлюдненими Міжнародною організацією цивільної авіації (ICAO), у 2018 році авіакомпанії світу перевезли 4,3 млрд пасажирів, що на 6,5% більше ніж у 2017 році; обсяг перевезень пасажирів (РПК) збільшився на 6,7% за рік, що нижче рівня зростання – 7,9% – у 2017 році. У 2018 році обсяг міжнародних регулярних пасажирських перевезень (РПК) збільшився на 6,4% за рік, що нижче, ніж темпи приросту на 8,4% у 2017 році. У Азіатсько-Тихоокеанському регіоні зафіксовано найшвидший темп зростання 7,3%; темпи зростання в Європі та Північній Америці - 6,7% і 5,2% відповідно. На Середньому Сході зафіксовані найнижчі темпи зростання - 4,7%. Коефіцієнт завантаження пасажирів досяг нового рекорду – 81,9%. Однак коефіцієнт завантаження коливався в різних регіонах: в Африці він склав 71,8%, а в європейському регіоні – 84,5%. У 2018 році загальна пропускна спроможність (ASK), запропонована світовими авіакомпаніями, зросла приблизно на 6,0%. Через уповільнення темпів зростання пасажирів фактори пасажирського навантаження в Латинській Америці, Карибському регіоні та Африканському регіоні зменшилися. Темпи зростання LCC були швидшими за середні у світі, а

їх ринкова частка на розвинених ринках та країнах, що розвиваються, продовжувала зростати. У 2018 році обсяг пасажирів LCC досяг 1,3 мільярда, що становить приблизно 31% від загальної кількості пасажирів регулярних перевезень авіакомпаній у всьому світі. LCC мали найвищу частку ринку в Європі, яка становила 36%, далі йдуть Латинська Америка та Карибський регіон, Північна Америка та Азіатсько-Тихоокеанський регіон, що становить відповідно 35%, 30% та 29%. Підвищення витрат на пальне вплинуло на прибуток авіакомпаній. Для світових авіакомпаній 2018 рік був сповнений тиску, найбільший тиск з боку цін на пальне, за яким слідували економічні та геополітичні фактори. Середні ціни на пальне в 2018 році зросли приблизно на 31%, що вплинуло на прибутки авіакомпаній у всьому світі.

У 2018 році Китай зіткнувся з більш складним зовнішнім середовищем для розвитку своєї економіки, із зростаючою невизначеністю, включаючи посилення змін на міжнародному фінансовому ринку, постійні зміни багатосторонньої торгової системи у світі. Різні зовнішні фактори та коригування внутрішньої макроекономічної політики мали глибокий вплив на економіку Китаю. З точки зору макроданих, інвестиції Китаю мають стабільний ріст, а зростання споживання стабілізується з невеликим уповільненням. Загальна зовнішньоторговельна ситуація була кращою, ніж очіувалося. Приватні інвестиції Китаю підтримують відносно високі темпи зростання. Китай має найперспективніший споживчий ринок у світі. Його структура торгівлі постійно оптимізується, а її економіка все ще має великий потенціал для розвитку.

Протягом 2018 року China Southern Airlines мала стабільну ситуацію з безпекою та постійне поліпшення рівня експлуатації та обслуговування. Авіакомпанія прискорила свою реформу та інновації та стала свідком стабільного підвищення її всебічної конкурентоспроможності. Компанія була названа у 2018 році компанією "SKYTRAX" "Найкраще вдосконаленою авіакомпанією у світі" та нагороджена Китайською асоціацією публічних компаній як "Компанія, яка найбільше шанує інвесторів", і Правління було визнано одним з найкращих у "Топ 50 Рада директорів Китаю" від Fortune.

Протягом 2018 року авіакомпанія здійснювала «особливе вдосконалення стилю роботи та дисципліни, спеціальне дослідження кваліфікації та здібностей, спеціальне вдосконалення наземного агентства». Авіакомпанія продовжувала будувати систему SMS та поглиблювала застосування технологій прагнучі до поліпшення управління безпекою та контролю. За звітний період авіакомпанія виконала 2,773 мільйони годин нальоту.

Коефіцієнт пасажирського завантаження у 2018 році збільшився на 0,23 процентного пункти, а витрата пального на тонну кілометр зменшилася на 3,53%.

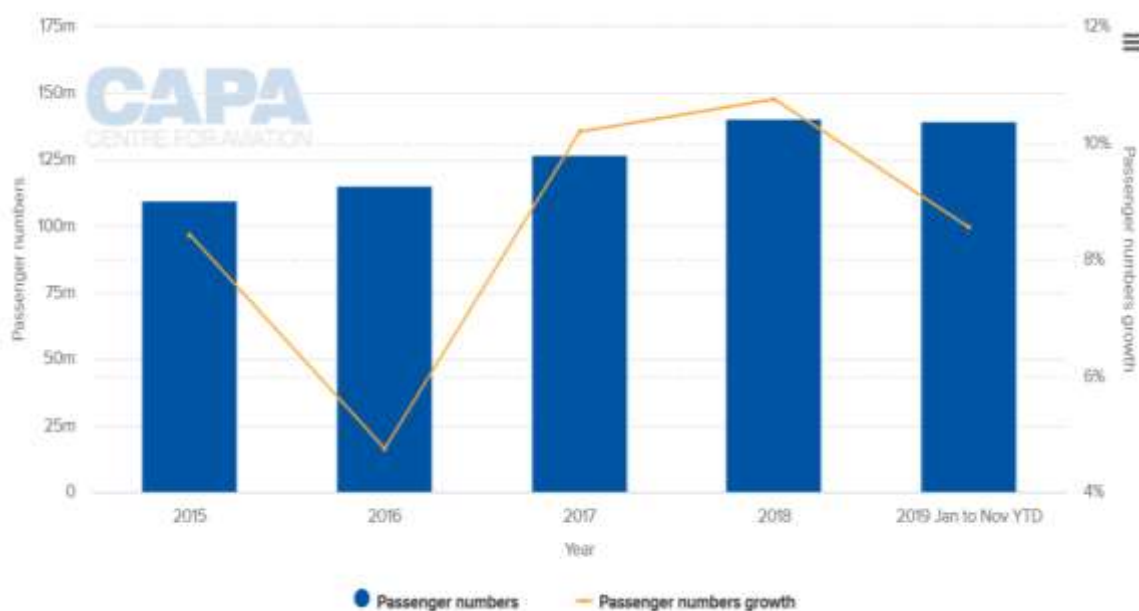


Рис. 2.11. Обсяги пасажирських перевезень China Southern Airlines

Протягом 2018 року авіакомпанія прискорила свою діяльність в напрямку розвитку стратегії "подвійних хабів" в Гуанчжоу та Пекіні. Авіакомпанія почала експлуатувати маршрут Пекін-Стамбул та інші нові маршрути. Крім того China Southern Airlines створила базовий проект міжнародного аеропорту Пекін Даксін з високими стандартами та активно підготувалися до операції та заздалегідь дослідила план трансферу

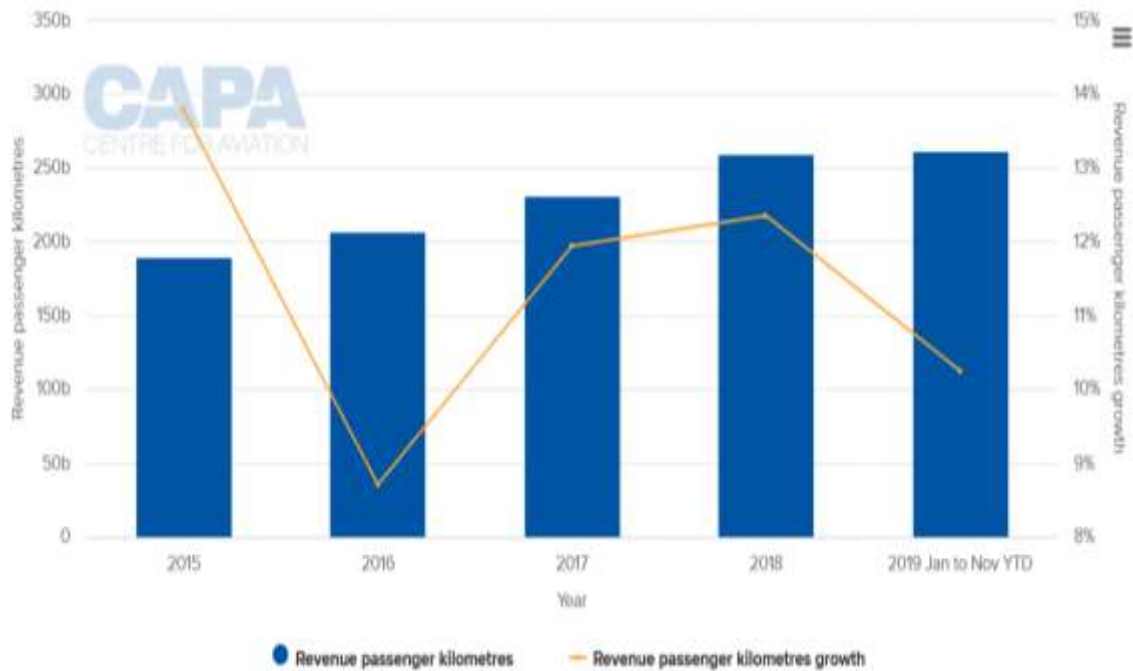


Рис. 2.12. Обсяги доходних пасажиро-км China Southern Airlines

Менеджери авіакомпанії продовжують оптимізувати хабову мережу з Гуанчжоу, запустили з Гуанчжоу маршрути до Риму та Лахору та збільшили частоту маршрутів з Гуанчжоу до Торонто, Пхукета, Пенанга, острова Фу Куок, Лангкаві, Балі та Аделаїди. В даний час хаб Гуанчжоу забезпечує маршрутну мережу, яка включає Європу та Океанію, Південно-Східну Азію, Південну Азію та Східну Азію, а також Північну Америку, Близький Схід, Африку (рис.2.13). У 2018 році обсяги перевезень пасажирів та доходи маршрутів з Гуанчжоу мали тенденцію зростання. Ефект хабу продовжував проявлятися.

Протягом звітного періоду Компанія зареєструвала прямий дохід від продажу 54,454 млрд. юанів, при цьому частка електронних послуг зросла на 14,07 процентного пункту за рік. Дохід авіакомпанії від частих пасажирів склав 43,696 млрд. юанів, що на 20,84% більше, ніж у 2017 році. Авіакомпанія консолідувала вантажні ресурси та створила вантажні логістичні компанії для постійної оптимізації мережі швидкісних маршрутів, вдосконалення продуктової системи високого класу, поглиблення співпраці з основними споживачами та збільшення інвестицій у побудову інтелектуальної вантажної

платформи. CSA зафіксувала дохід від вантажних та поштових перевезень на рівні 10.026 мільйонів юанів, що на 10,39% більше ніж у 2017 році, при цьому дохід від вантажних літаків виріс на 12% у порівнянні з 2017 роком.



Рис. 2.13. Карта пунктів призначень China Southern Airlines

Протягом 2018 року, враховуючи власну стратегію розвитку та нову тенденцію моделі співпраці у світовій галузі повітряного транспорту, компанія вирішила не поновлювати Угоду про альянс з SkyTeam з 1 січня 2019 року. Авіакомпанія вирішила здійснювати двосторонню та багатосторонню співпрацю більш цілеспрямовано, поглиблюючи співпрацю з існуючими партнерами, такими як France Airlines та KLM Royal Dutch Airlines, розширювати обмін кодами та співпрацю з American Airlines, а також розпочинати стратегічну співпрацю на міжнародному рівні з провідними авіакомпаніями, такими як British Airways, Finnair та Emirates, щоб забезпечити пасажирів більш зручні та якісні варіанти подорожей. У той же час

авіакомпанія продовжує зміцнювати скоординований розвиток "Південного союзу Китаю", поступово інтегруючись із авіакомпаніями Xiamen Airlines та Sichuan Airlines щодо планування потужностей, співпраці на маршрутах, обміну ресурсами та співпраці з клієнтами. В даний час авіакомпанія має спільні коди з 31 міжнародною та вітчизняною авіакомпаніями, такими як France Airlines, KLM Royal Dutch Airlines, American Airlines, Qantas Airways, Finnair на 790 маршрутах (включаючи магістральні маршрути та поза ними маршрути). Це ще більше розширило канали продажів та мережу маршрутних рейсів. У 2018 році завдяки багатосторонній співпраці, включаючи обмін кодом, компанія заробила понад 2,828 млрд. юанів.

По суті всі операційні доходи авіакомпанії припадають на транспортні операції (рис.2.14). Доходи від авіаперевезень становили 95,36% та 96,13% від загальних операційних доходів у 2017 та 2018 роках відповідно. Доходи від пасажирів та доходи від вантажів та пошти становили 92,74% та 7,26% відповідно до загальних доходів від перевезень у 2018 році. За звітний період загальний дохід від перевезень склав 1,364 млн. юанів, що становить збільшення на 16191 млн. юанів або на 13,29 % від 2017 року, головним чином за рахунок збільшення транспортних можливостей та обсягу руху. Інші операційні доходи це, в основному, доходи від комісій, доходи від готелів та турів та доходів від наземних послуг. Зростання операційних доходів відбулося насамперед завдяки збільшенню доходу від пасажирських перевезень на 13,52% до 128,038 млн. юанів у 2018 році. Загальна кількість перевезених пасажирів зросла на 10,76% до 139,89 млн пасажирів у 2018 році. Дохід від внутрішніх перевезень, який становив 74,80% від загального обсягу доходів пасажирів у 2018 році, збільшився на 12,16% з 85,392 млн. юанів у 2017 році до 95,773 млн. юанів у 2018 році. Внутрішній пасажиропотік у RPK збільшився на 11,22%, тоді як пасажиромісткість у ASK збільшилися на 11,56%, що призвело до збільшення коефіцієнта завантаження пасажирів на 0,25 процентного пункту з 82,54% у 2017 році до 82,80% у 2018 році. Дохід на один RPK збільшилася на 1,89% з 0,53 RMB в 2017 році до 0,55 RMB у 2018 році .

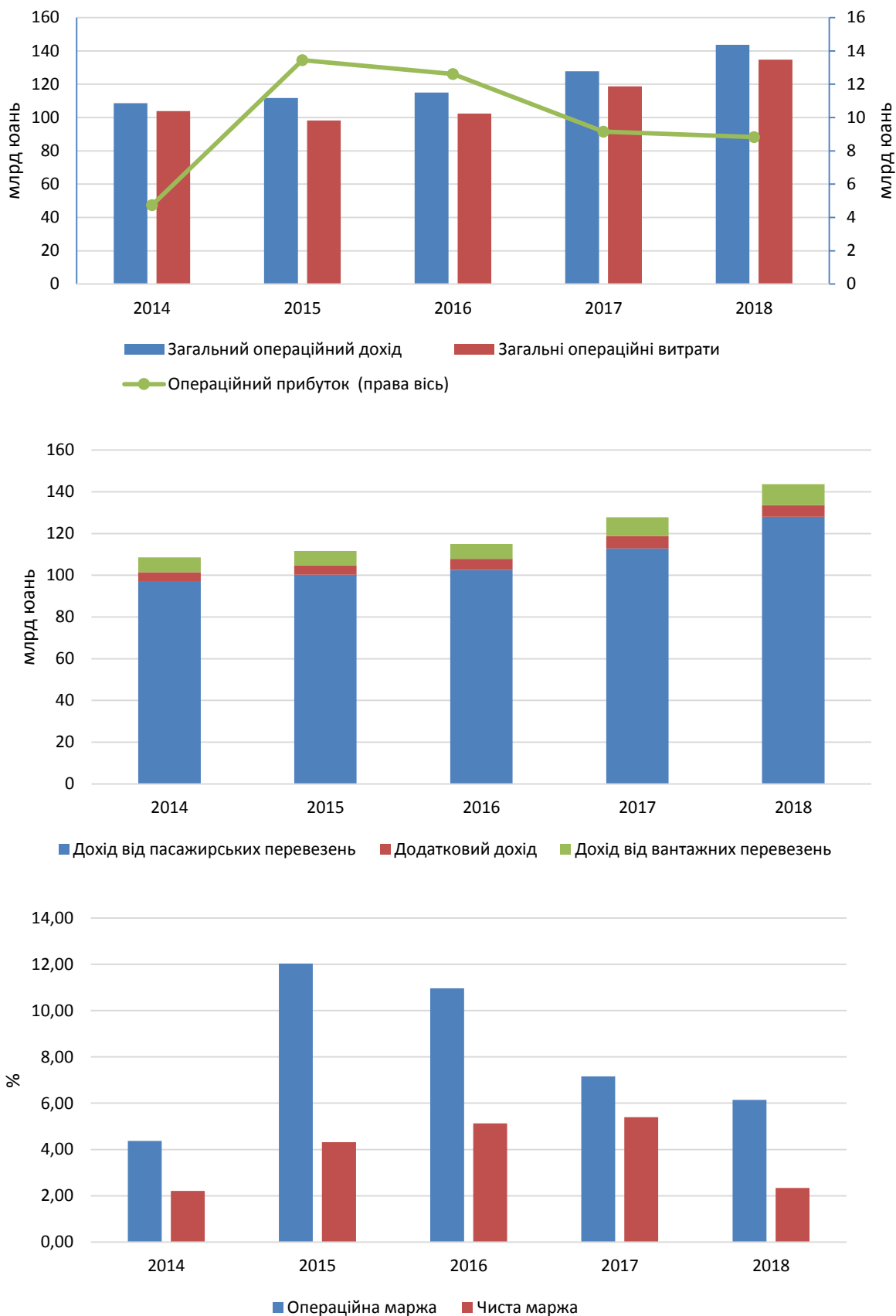


Рис. 2.14. Динаміка прибутковості China Southern Airline

Дохід від міжнародних перевезень, який становив 23,29% від загального обсягу доходів пасажирів, збільшився на 18,72% з 25,118 млн. юанів у 2017 році

до 29,819 млн. юанів у 2018 році. Для міжнародних рейсів пасажиропотік у RPK збільшився на 14,23%, тоді як пасажиромісткість у ASK збільшилася на 13,86%, що призвело до збільшення коефіцієнта завантаження пасажирів на 0,26 відсоткових пункту з 81,67% у 2017 році до 81,93% у 2018 році. Дохід пасажирів на RPK збільшився з 0,37 RMB у 2017 році до 0,39 RMB у 2018 році.

У 2018 году авіакомпанія активно вдосконалювала ключові послуги, такі як реєстрація, обробка багажу, обслуговування під час затримки рейсу, трансфер, харчування та розваги та прагнула покращити досвід пасажирів. В Гуанчжоу-хаб впроваджувалася технологія самообслуговування та безпаперової зручної подорожі. Авіакомпанія займає лідируючу роль у наданні функції відображення статусу перевезення багажу, знижуючи рівень помилок багажу на 48,6% на рік. CSA першою серед китайських авіакомпаній запровадила механізм координації маркетингу та сервісу під час затримки рейсу, що робить технологію обслуговування більш зручною для пасажирів. Авіакомпанія постійно покращує якість трансферних послуг. Авіакомпанія розширює багатомовні можливості обслуговування пасажирів, забезпечуючи інформацію дев'яти мовами. Авіакомпанія збільшила різноманітність страв на борту та розширила асортимент бронювання їжі для пасажирів.

Авіакомпанія досягла прибутку, що відноситься до акцій акціонерів авіакомпанії в розмірі 2895 мільйонів юанів. Станом на кінець звітного періоду співвідношення активів та пасивів компанії становило 68,22%, що становить річне зменшення на 3,18 процентних пункту. У 2018 році виплата дивідендів становить 0,05 юанів (включно з чинним податком) на акцію за рік, на загальну суму близько 613 мільйонів юанів на основі випущених 12267172286 акцій компанії.

У 2018 році авіакомпанія зосередилась на внутрішньому ринку, і збільшила рейси Пекін-Шеньчжень, Пекін-Харбін, Пекін-Урумкі, Гуанчжоу-Шанхай, Гуанчжоу-Циндао-Шеньян, Шанхай-Шеньчжень, Шанхай-Ухань, Шеньчжень-Ченду, Ченду-Шеньян, Ченду-Чженчжоу, Ченду-Чанчунь, Ухань-Чанчунь, Ухань-Шеньян, Сіань-Чанша та інші основні маршрути.

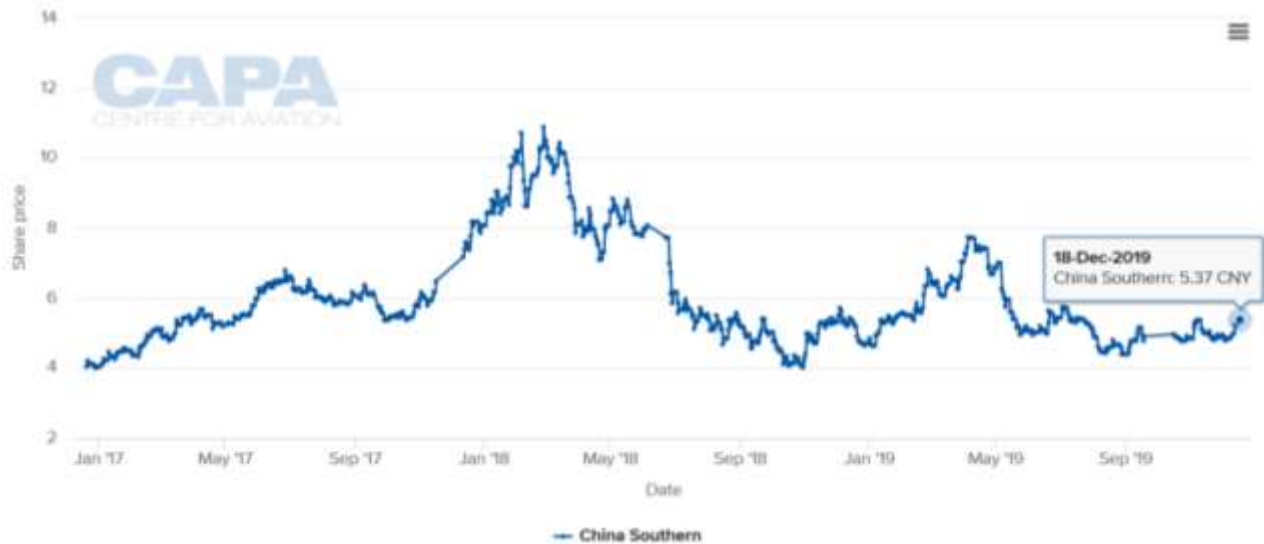


Рис. 2.15. Динаміка ціни акцій China Southern за останні три роки

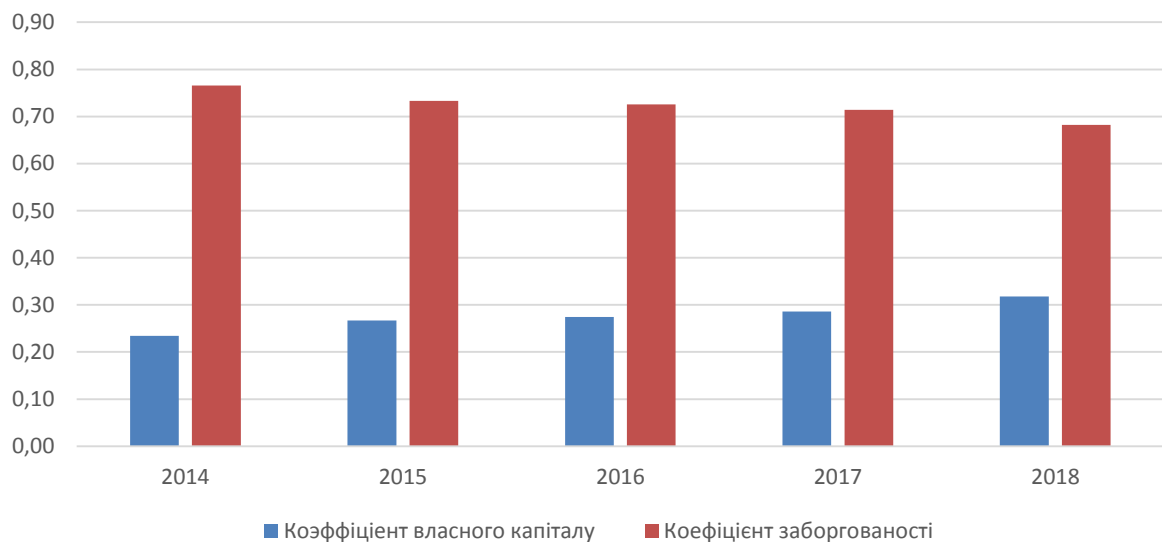


Рис. 2.16. Динаміка структури капіталу China Southern Airlines

Крім того, для розширення мережі маршрутів авіакомпанія запустила 311 внутрішніх маршрутів, включаючи Гуанчжоу-Ченду-Даоченг, Ухань-Чжаньцзян, Хайкоу-Цзянь-Хефей, Урумкі-Дуньхуан-Сіань та Чженчжоу-Кумуль. Авіакомпанія стабільно розвивала віддалений міжнародний ринок і запустила 40 міжнародних та регіональних маршрутів, включаючи Гуанчжоу-Лахор, Гуанчжоу-Санью-Лондон, Гуанчжоу-Себу, Пекін-Стамбул, Пекін-Тегеран, Шеньян-Лос-Анджелес, Шеньян-Іркутськ, Ухань-Лондон, Шеньчжень-Дубай, Шеньчжень-Куала-Лумпур, Шеньчжень-Сінгапур, Урумчі-

Бангкок, Шенцен-Рангун, Чженчжоу-Да Нанг, Урумкі-Лахор, Шеньчжень-Сабах, Ухань-Хо Ши Мін, Ухань-Пхукет. У 2019 році CSA планує продовжити вдосконалювати розклад міжнародної мережі та планує запуснути рейси Гуанчжоу-Урумкі-Відень, Чанша-Сінгапур, Харбін-Нагоя та інші міжнародні маршрути. В таблиці 2.3 представлений парк ПС, що експлуатується на рейсах, та планується експлуатувати у подальшому для розвитку мережі маршрутів авіакомпанії.

Таблиця 2.3

Структура парку ПС China Southern

ПС	В експлуатації	На зберіганні	Замовлено
Airbus A319-100	15	0	0
Airbus A320-200	116	1	0
Airbus A320-200neo	29	0	2
Airbus A321-200	99	0	0
Airbus A321-200neo	28	0	0
Airbus A330-200	14	0	0
Airbus A330-300E	33	0	0
Airbus A350-900XWB	5	0	15
Airbus A380-800	5	0	0
Boeing 737-300	0	0	0
Boeing 737-700	26	0	0
Boeing 737-8	0	24	64
Boeing 737-800	163	1	0
Boeing 747-400F	2	0	0
Boeing 757-200	0	0	0
Boeing 777-200	0	0	0
Boeing 777-200ER	0	0	0
Boeing 777-300ER	15	0	1
Boeing 777F	12	0	2
Boeing 787-8	10	0	0
Boeing 787-9	15	0	5
Boeing/McDonnell Douglas MD-82	0	0	0
Comac C919	0	0	5
Embraer ERJ190-100 LR	15	0	0
Всього	602	26	94

3.ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

Організація авіаційних перевезень				НАУ. 20.05.27. 300 ПЗ			
Викон.	Фомін І.В.			3.ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	Литера	Арк.	Аркушів
Керівник	Юн Г.М.					Д 61	28
Н.контр.	Жукова С.О.				ФТТ 275.04 ОП-201М		
Зав. каф.	Юн Г.М.						

3.1. Методи оптимізації мережі транспортних комунікацій

В останні десятиліття у багатьох великих містах Китаю вичерпані або близькі до вичерпання можливості екстенсивного розвитку транспортних мереж. Тому особливу важливість набуває оптимальне планування мережі покращення організації руху, оптимізація системи маршрутів повітряного транспорту. Рішення таких завдань неможливе без математичного моделювання транспортних мереж. Головне завдання математичних моделей - визначення і прогноз всіх параметрів функціонування авіатранспортної мережі, таких як інтенсивність руху на всіх елементах мережі, обсяги перевезень у мережі повітряного транспорту, середні швидкості обслуговування в аеропортах, затримки і втрати часу і т.д.

Математичні моделі, що використовуються для аналізу транспортних мереж, вельми різноманітні за завданнями, математичним апаратом, даними, що використовуються і ступенем деталізації опису руху і обслуговування. Тому не представляється можливим дати вичерпну класифікацію цих моделей. Грунтуючись на функціональній ролі моделей, тобто на тих задачах, для рішення яких вони застосовуються, можна умовно виділити три основні класи:

- прогнознi моделі,
- імітаційні моделі,
- оптимізаційні моделі.

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

- 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.

Прогнозні моделі призначені для вирішення наступної задачі. Нехай відомі геометрія та характеристики транспортної мережі а також розміщення потокоформуєчих об'єктів у регіоні країни. Необхідно визначити, якими будуть транспортні потоки у цій мережі. Більш детально, прогноз завантаження транспортної мережі включає в себе розрахунок усереднених характеристик руху ПС, таких як обсяги міжрегіональних пересувань, інтенсивність потоку, розподіл ПС і пасажирів по авіалініям та ін.. За допомогою цих моделей можна прогнозувати наслідки змін у транспортній мережі або в розміщенні об'єктів.

На відміну від вищезазначеного типу моделей, імітаційне моделювання ставить своєю метою відтворення всіх деталей руху, включаючи розвиток процесу у часі. При цьому усереднені значення потоків і розподіл по авіалініям вважаються відомими і служать вихідними даними для цих моделей. Коротко цю відмінність можна сформулювати так, прогнозні моделі відповідають на запитання: скільки і куди будуть перевозитися в даній мережі, а імітаційні моделі відповідають на запитання, як в деталях буде відбуватися рух, якщо відомо в середньому, скільки і куди. Таким чином, прогноз потоків та імітаційне моделювання є доповнюючими один одного напрямками. З сказаного слідує, що до класу імітаційних можна віднести широкий спектр моделей, відомих під назвою моделі динаміки транспортного потоку. У моделях цього класу може застосовуватись різна техніка - від імітації експлуатації кожного окремого ПС до опису динаміки експлуатації парку ПС регіону на заданій мережі авіаліній.

Для динамічних моделей характерна значно більша деталізація опису руху і, відповідно, потреба у великих обчислювальних ресурсах. Застосування цих моделей дозволяє оцінити динаміку швидкості руху, затримки в аеропортах, довжини і динаміку черг, або затримок, та інші характеристики руху. Основні області практичного застосування динамічних імітаційних моделей - поліпшення організації руху ПС, оптимізація обслуговування в аеропортах та ін. В даний час актуальним завданням є розробка систем автоматизованого

оперативного управління обслуговуванням ПС, пасажирів і вантажів, що працюють у режимі реального часу. Однак крім практичних застосувань, розвиток динамічних моделей представляє великий науковий інтерес у зв'язку з вивченням авіатранспортного потоку як фізичного явища зі складними і нетривіальними властивостями. Серед таких властивостей - спонтанна втрата стійкості, явища самоорганізації та колективної поведінки та ін.. Моделі прогнозу потоків та імітаційні моделі ставлять своєю метою адекватне відтворення транспортних потоків. Існує, однак, велика кількість моделей, призначених для оптимізації функціонування авіатранспортних мереж. У цьому класі моделей вирішуються задачі оптимізації маршрутів пасажирських та вантажних авіаційних перевезень, вироблення оптимальної конфігурації авіатранспортної мережі та ін.

Проблеми розрахунку транспортних комунікацій часто зв'язуються з теоретико-графовим підходом. "Мережа", як математичний термін означає зв'язний граф. Таким чином, математичне визначення виділяє основні властивості мережі - зв'язність, тобто можливість транспортування з будь-якого вузла мережі в будь-який інший. Якщо ж з якої-небудь причини стає неможливим дістатися з однієї вершини в іншу і при цьому вся система розпадається на деяку кількість k - незв'язаних між собою частин, то дана транспортна система перестає бути мережею, а стає просто графом з k - зв'язковими компонентами.

Отже, незалежно від подальшого вибору розрахункового методу (математичного програмування, дослідження операцій при вивченні потоків у мережах тощо) в основі опису транспортної системи лежить граф. Вершини (вузли) графа це пункти розміщення (або завантаження-вивантаження) пасажирів та вантажів; орієнтоване ребро (дуга), що йде з однієї вершини в іншу, вказує на можливість транспортування з пункту, з відповідної першої вершини, в пункт, відповідний другій вершині. Кожному ребру (дузі) приписується деяке додатне число - пропускна здатність ребра.

Нижче представлені основні визначення теорії графів, які використовуються в даній роботі. Граф G складається з кінцевої непустиї

множини V , що містить p вершин, і заданої множини X , що містить q неупорядкованих пар різних вершин з V . Кожну пару $x = \{u, v\}$ вершин X називають ребром графа G і кажуть, що x з'єднує u та v . Прийmemo $x = uv$, де u та v - суміжні вершини, вершина u ребро x , а також v та x - інцидентні. Якщо два різних ребрах x та y інцидентні одній і тій же вершині, то вони називаються суміжними (рис.1.1).

Необхідно досліджувати властивості мережі авіаліній як геометричного об'єкту. Нехай фіксовані деякі точки, що можуть бути транспортними вузлами (аеропортами), які повинні бути з'єднані авіатранспортною мережею.

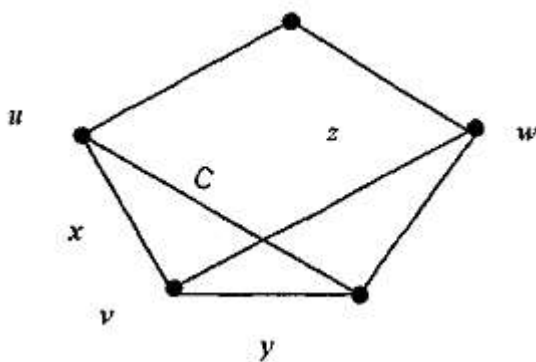


Рис.3.1. Граф G

Наприклад, нехай 9 точок розташовані як показано на рис.2.2. При побудові мережі їх можна з'єднати різними способами (рис.2.2а – 2.2в).

Постають питання:

1. Який з цих способів більш надійний при експлуатації мережі?
2. Як варто розбити мережу, тобто додати нові ребра, щоб максимально збільшити її надійність?
3. Що краще: відкрити новий авіамаршрут чи збільшити ємність на існуючих?
4. Як кожен з цих варіантів буде впливати на екологічну обстановку?

Зазвичай такі задачі зводяться до пошуку стану мережі, який забезпечував би максимальну пропускну здатність мережі. Більшість існуючих методів визначення пропускну здатності мереж базується на теоремі про максимальний потік, згідно з якою потужність максимального потоку між двома вузлами, що

визначається максимальною кількістю маршрутів (безпосередніх і транзитних) між цими вузлами, дорівнює пропускній здатності мінімального перерізу (тобто такого, що має найменшу пропускну здатність).

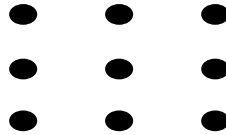


Рис.3.2. Умовний набір вершин

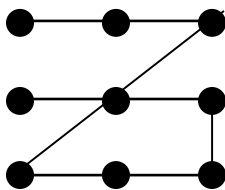


Рис.3.2а. Мережа А

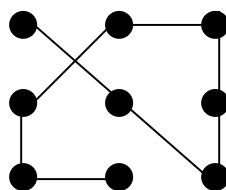


Рис. 3.2б. Мережа В

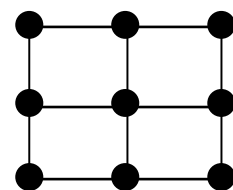


Рис.3.2в. Мережа С

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

Будемо розрізняти *цільову і технологічну ефективність*. Під цільовою ефективністю авіатранспортної мережі розуміється 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 розмірами витрачених ресурсів - з іншого. Ця характеристика може вимірюватися в загальному випадку векторними показниками.

Важливим є визначення *показника ефективності*. Міру інтенсивності прояви 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».

Найважливішим правилом при виборі критерію ефективності авіатранспортної мережі є погодженість 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 потребами, потребами суспільства (рис.3.3).

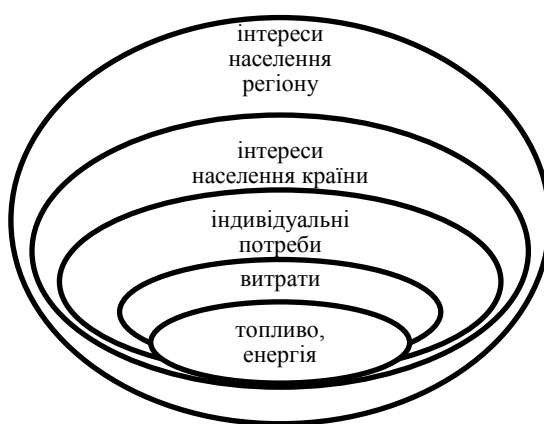


Рис.3.3. Области інтересів у визначенні ефективності розвитку мережі авіаліній

Критерії ефективності з точки зору індивідуальних потреб базуються на ступені задоволення попиту на окремі авіалінії. 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. Зупинимось 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. 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.

Головним чином, час, що використовується для перевезення, залежить від дальності. З іншого боку, час польоту залежить від характеристик повітряного судна, часу на доставку від аеропорту до аеропорту, який, в 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 транспортних систем до умов різних країн), узгодження розкладу (надання слотів), і т.д. Нарешті, співтовариство може мати економічні, соціальні і політичні пріоритети, які можуть вимагати деякий додатковий час, у використанні нових транспортних систем, нових авіатранспортних мереж. Все це повинно бути враховано при розрахунку часового коефіцієнта критерію ефективності розвитку авіамережі з точки зору індивідуальних потреб.

З 1978, після початку лібералізації, можливо, саме істотне нововведення в авіатранспортній індустрії було прийняття моделі побудови мережі «hub-and-spoke» - побудова авіамаршрутів через проміжні вузли під назвою хаби. Хаби, використовуючи ефект масштабу, що об'єднують дуги, щоб обслужити більшу кількість пунктів призначення. Дослідження системи «hub-and-spoke» в авіатранспортній індустрії з'явилися як у галузі економіки (наприклад, Bailey, Graham and Kaplan, 1985, Brown, 1991, Drezner, 1994, Hansen and Kanafani, 1990, Morrison and Winston, 1986, Reynolds and Feighan, 1992), так і в області дослідження операцій на транспорті (наприклад, Aukin, 1994, 1995a, 1995b, Campbell, 1994a, 1994b, 1994c, Ernst і Krishnamoorthy, 1996, O Kelly). Campbell в своїх роботах дає хороший огляд задачі розміщення хабового аеропорту в мережі. Класична постановка даної задачі така: дано певну кількість p хабів в АТС, необхідно знайти таке оптимальне їх розміщення, щоб кожне місто (яке не входить в район тяжіння хабового аеропорту) було пов'язане з окремим хабовим аеропортом і при цьому витрати на перевезення по заданій мережі авіамаршрутів були б мінімальні. Маршрути між двома пунктами прокладаються через один або два хаба. O' Kelly в 1987 році представив роботу

в якій пропонується вирішувати цю задачу методом квадратичного цілочисельного програмування. Моделі були протестовані на статистичних даних з авіаперевезень США. Після публікації роботи O' Kelly пішов цілий ряд робіт присвячених даній задачі.

Всі моделі зазначених робіт можна звести до наступної постановки: економія від масштабу за рахунок концентрації явно і апріорі моделюється з урахуванням міжхабових транспортних витрат. Крім того, у більш складних моделях, розглядається вплив завантаження повітряного судна і, таким чином, на виручку. Передбачається, що рейси між центральними містами будуть мати постійний коефіцієнт завантаження - 80%, а рейси між хабовими і невеликими містами - в середньому 60%. Отже, у всіх цих моделях не відстежується кількість пасажирів на кожному рейсі, не приймається рішення за типами літаків і кількістю літаків кожного типу в цілях задоволення попиту (тобто не ставиться завдання забезпечити достатню потужність по кожній дузі). Нарешті, всі моделі, як правило, припускають, що загальний потік даної пари аеропортів будуть обслуговуватися тільки через один шлях (отриманий як вихід з моделі).

Пропонуємо принципово інший підхід до проектування мережі авіамаршрутів. Ми не будемо фіксувати апріорі структуру мережі, що включає аеропорти-хаби, і, таким чином, якщо консолідація рейсів через дане місто (аеропорт) є економічно ефективною, рішення моделі вкаже на це. По-друге, модель повинна відслідковувати кількість пасажирів на конкретний рейс, і робити вибір різних типів повітряних суден різної місткості і розраховувати кількість повітряних суден кожного типу для задоволення попиту (вплив ефекту масштабу на вартість і коефіцієнт завантаження є виходом моделі і буде змінюватись для різних пар міст). По-третє, моделі повинні дозволяти враховувати різні шляхи між даною парою пунктів відправлення і призначення (за рахунок обмеження ємності або можливостей для консолідації та ефекту масштабу, частина попиту може піти на прямий рейс, інша частина пасажирів може вибрати рейс з пересадкою тощо). Ці три пункти, істотно змінюють характер задачі.

Розглянемо функціонування однієї авіакомпанії з фіксованою часткою ринку. Задача формування мережі формулюється наступним чином: нехай задана матриця фіксованого попиту між пунктом відправлення та призначення, місткість, вартість 1 км нальоту для різних типів повітряних суден. Необхідно сформувати мережу авіамаршрутів, яка задовольняла б попит при мінімальних загальних витратах на доставку.

При цьому будемо розглядати три варіанти пропозиції авіакомпанії:

1) одна зупинка: авіакомпанія надає для кожного маршруту два варіанти послуг: і) переліт без посадки іі) стикувальний рейс з однією проміжною зупинкою.

2) дві зупинки: авіакомпанія надає: і) переліт без посадки; іі) стикувальний рейс з однією проміжною зупинкою; ііі) рейс з двома зупинками.

3) Необмежена кількість зупинок: в даному випадку кількість стикувальних зупинок не обмежується.

Варіант із двома стикувальними зупинками є найбільш поширеним типом політики практикується в авіаційній галузі США сьогодні. Варіант необмеженої кількості проміжних зупинок має різні важливі програми в електров'язку, авіа доставці вантажу, а також інших логістичних системах. Він також служить в якості орієнтира (нижня межа оптимальної вартості) для двох інших варіантів.

Вхідні дані для моделі: мережа авіамаршрутів: нехай N - множина всіх пунктів відправлення і призначення; $d_{ij}=d_{ji}$ це відстань між пунктом i та j ; попит: нехай f_{ij} пасажиропотік, тобто кількість пасажирів, охочих подорожувати з пункту i в пункт j в день. Ми будемо вважати, що $f_{ij}=f_{ji}$; пропозиція: нехай K - множина різних типів повітряних суден, на вибір. Для кожного типу повітряного судна визначені витрати на одну милю c_k , і ємність b_k .

Модель для варіанту з однією зупинкою. Прийнемо за x_{ij} частку потоку f_{ij} з пункту i в пункт j обслуговуваного рейсом з однією стикувальною зупинкою через пункт t (рис.3.4). Нехай y_{ij}^k - число літаків типу k , використовуване на дузі від пункту i в пункт j . Модель може бути сформульована наступним чином

$$\min \sum_{i \neq j} \sum_{k \in K} d_{ij} c_k y_{ij}^k \quad (3.1)$$

при обмеженнях

$$f_{ij} + \sum_{t \neq i, j} \{f_{it} x_{ijt} + f_{tj} x_{tij} - f_{ij} x_{itj}\} \leq \sum_{k \in K} b_k y_{ij}^k, \quad \text{для всіх } i \neq j \quad (3.2)$$

$$\sum_{t \neq i, j} x_{itj} \leq 1 \quad \text{для всіх } i \neq j \quad (3.3)$$

$$x_{itj} \geq 0 \quad \text{для всіх } i \neq t \neq j \quad (3.4)$$

$$y_{ij}^k \geq 0, \text{ ціле, для всіх } i \neq j, k \in K. \quad (3.5)$$

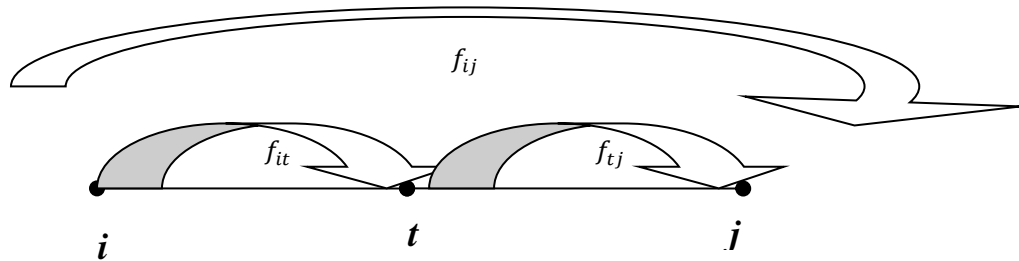


Рис.3.4. Формування пасажиропотоку з пункту i в пункт j

Цільова функція (3.1) вище представленої моделі це сукупні витрати на транспортування. Обмеження (3.2) є виразом обмеження ємності, тобто загальний потік по дузі (i, j) не може перевищувати сумарної ємності повітряних суден призначених на дану авіалінію. Обмеження (3.3) необхідно для перевірки умови $1 - \sum_{t \neq i, j} x_{itj} \geq 0$, тобто частина потоку f_{ij} з пункту i в пункт j , який обслуговується прямим рейсом не є від'ємним.

В цій спрощеній моделі не приймаються до уваги наступні три пункти: (i) немає фіксованих витрат з придбання або оренди повітряних суден, (ii) відсутнє обмеження на загальну кількість повітряних суден, та (iii) немає обмежень за періодами діяльності авіакомпанії. Перші два пункти можуть легко бути введені в модель при необхідності. Розгляд третьої умови вимагає значної зміни моделі. Замість цього, ми неявно вирішуємо це питання в припущенні симетричного попиту з пункту i в пункт j , як зазвичай це робиться на практиці більшістю авіакомпаній при оцінці стратегії розвитку їх мережі.

На закінчення ми вважаємо, що дана модель відображає суть нашої мети, тобто, чи існує економія від масштабу, що може призвести до мережної структури з "вузлами" (хабами), і якщо немає, то можна побачити альтернативні структури мережі авіамаршрутів.

Модель для варіанту з двома зупинками. Розробка цієї моделі є простим продовженням попередньої. На додаток до попередніх змінних, додамо змінні x_{iltj} , які будуть виражати частку потоку f_{ij} з пункту i в пункт j обслуговуваного рейсом з двома стикувальними зупинками через пункти l та t . Тоді модель записується наступним чином:

$$\min \sum_{i \neq j} \sum_{k \in K} d_{ij} c_k y_{ij}^k \quad (3.6)$$

при обмеженнях

$$f_{ij} + \sum_{t \neq i, j} \{f_{it} x_{ijt} + f_{tj} x_{tij} - f_{ij} x_{itj}\} + \sum_{l, t \neq i, j} \{f_{lj} x_{ltij} + f_{it} x_{ijlt} + f_{lt} x_{lijt} - f_{ij} x_{itj}\} \leq \sum_{k \in K} b_k y_{ij}^k, \quad \text{для всіх } i \neq j \quad (3.7)$$

$$\sum_{t \neq i, j} x_{itj} + \sum_{l, t \neq i, j} x_{iltj} \leq 1 \quad \text{для всіх } i \neq j \quad (3.8)$$

$$x_{itj} \geq 0 \quad \text{для всіх } i \neq t \neq j \quad (3.9)$$

$$x_{iltj} \geq 0 \quad \text{для всіх } i \neq j \neq l \neq t \quad (3.10)$$

$$y_{ij}^k \geq 0, \text{ целое, для всех } i \neq j, k \in K. \quad (3.11)$$

Модель для варіанта з необмеженою кількістю зупинок. Вважаючи, що S_{ij} – множина всіх шляхів з пункту i в пункт j , і вводячи нові змінні x_P для кожного шляху $P \in S_{ij}$, ми можемо розширити попередні моделі. Однак, оскільки шлях може включати до n міст, і це не буде практично більш відповідною постановкою задачі буде розгляд багатопродуктової моделі про потоки в мережах. Нехай D – множина всіх пар пунктів відправлення і призначення, і для кожного $d \in D$, нехай будуть визначені $O(d)$, $D(d)$ і f_d – пункти відправлення, призначення і попит, відповідно.

Частку потоку f_d , який йде через дуги (i, j) позначимо як z_{ij}^d . Тоді модель формулюється наступним чином:

$$\min \sum_{i \neq j} \sum_{k \in K} d_{ij} c_k y_{ij}^k \quad (3.12)$$

при обмеженнях

$$\sum_{j \neq i} z_{ij}^d - \sum_{j \neq i} z_{ji}^d = \begin{cases} f_d, & \text{якщо } i = O(d) \\ -f_d, & \text{якщо } i = D(d) \text{ для всіх } i \\ 0 & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$\sum_{d \in D} z_{ij}^d \leq \sum_{k \in K} b_k y_{ij}^k \text{ для всіх } i \neq j, d \in D \quad (3.14)$$

$$y_{ij}^k \geq 0, \text{ ціле, для всіх } i \neq j, k \in K. \quad (3.15)$$

3.2. Оптимізація частоти польотів на заданій мережі авіаліній

Проблема планування частоти рейсів на мережі авіакомпанії зазвичай зв'язана з розробкою розкладу польотів авіакомпанії. Розклад можна розглядати як виробничий план авіакомпанії. Цей план, як це показано вище, може змінюватися в часі. При розробці розкладу авіакомпанія зазвичай виконує наступні дії: визначає аеропорти, в які і із яких буде виконувати рейси, тобто визначає потенційний ринок (авіамаршрути) який буде обслуговувати; визначає частоту рейсів на прямих маршрутах враховуючи структуру мережі, що обслуговується (це може бути хабова схема чи «від пункту до пункту», або змішана); визначає час відправлення та прибуття кожного рейсу в залежності від типу ПС; а також оцінює потенційні доходи та витрати від виконання рейсів. Зокрема, час відправлення рейсу є важливим інструментом конкуренції на дерегульованому ринку. Після того, як визначені частота рейсів та час відправлення розраховуються необхідні ємності і відповідна структура парку повітряних суден.

Для виконання всіх згаданих вище процедур розробки розкладу авіакомпанії існує багато методів. Одним з методів є «планування розкладу в ручну», тобто використовуючи досвід диспетчерів та менеджерів авіакомпанії. Інший метод базується на застосуванні складних методів оптимізації,

розроблених в рамках дослідження операцій. В останньому випадку дані задачі називаються *розподіл ПС по заданим авіалініям (маршрутам) та складання розкладу рейсів та екіпажів*. Дані задачі формуються як цілочислові задачі про потоки в мережах зокрема, можуть також формулюватися такі задачі з визначеними обмеженнями. Цільові функції зазвичай виражають мінімізацію задіяного парку ПС (чи витрат системи) або максимізацію прибутку. Різні модифікації моделей оптимізації розкладу авіакомпаній можуть бути знайдені в чисельних наукових роботах.

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 авіаліній.

В обох випадках моделі базуються на наступних припущеннях: мережа авіаліній складається з кінцевої кількості вузлів (аеропортів); ємність, яка виражається через розмір, структуру та очікуваний коефіцієнт завантаження парку ПС авіакомпанії, є обмеженою; ємність авіаліній та аеропортів також є обмеженою. Критеріями ефективності оптимізації частоти рейсів, які виражаються через цільову функцію, є мінімізація загальних витрат чи максимізація загального прибутку.

Базова структура *класичної* моделі задачі планування частоти рейсів представлена в роботі. Цільовою функцією є максимізація прибутку невеличкої авіакомпанії, що працює на заданому ринку. Задача сформульована як задача лінійного програмування наступним чином:

максимізувати

$$P(T) = Q(T)p(T) - c_f(N_m)f(T) \quad (3.16)$$

при обмеженнях

$$f(T) \geq \frac{Q(T)}{N_m}; \quad (3.17)$$

$$f(T) \leq \frac{Q(T)}{N_m \lambda_{\min}}; \quad (3.18)$$

$$f(T) \geq 0, \quad (3.19)$$

де $Q(T)$ – кількість пасажирів на заданому маршруті у заданий період часу T ,
 $p(T)$ – середній тариф за одного пасажирів в момент часу t ,
 $c_f(N_m)$ – операційні витрати на рейс, що виконується ПС з кількістю крісел N_m ,
 $f(T)$ – частота рейсу на заданому маршруті у заданий період часу T ,
 λ_{\min} – точка беззбитковості коефіцієнту завантаження.

Цільова функція (3.16) представляє функцію прибутку авіакомпанії, максимум якої необхідно знайти. Відношення (3.17) забезпечує врахування обмеження щодо відповідності кількості наявних крісел очікуваному попиту (умова задоволення попиту). Нерівність (3.18) не допускає виконання рейсів на яких коефіцієнт завантаження нижче ніж точка беззбитковості. обмеження (3.19) визначає, що змінна не може мати від'ємні значення. Також додатково можна внести обмеження щодо цілочислового значення змінної.

Класична модель (3.16)-(3.19) потребує модифікації для вирішення задачі визначення оптимальної частоти не на окремому рейсі, а на заданій мережі авіаліній авіакомпанії. Тоді задачу можна сформулювати наступним чином:

максимізувати

$$P(T) = \sum_{ij} \sum_k [(p_{ij}(T)\lambda_{ij}(T)N_k - c_{ij/k}(N_k))f_{ij/k}(T)] \quad (3.20)$$

при обмеженнях

$$\sum_k \lambda_{ij/k}(T)N_k f_{ij/k}(T) \geq Q_{ij}(T), \quad i \neq j, \quad (i, j) \in N, \quad k \in K; \quad (3.21)$$

$$\sum_{ij} t_{ij/k} f_{ij/k}(T) \leq U_k(T)A_k(T), \quad k \in K; \quad (3.22)$$

$$\sum_j f_{ij/k}(T) = \sum_j f_{ji/k}(T), \quad i \in N; \quad (3.23)$$

$$\sum_k f_{ij/k}(T) \geq [f_{ij}(T)]_{\min}, \quad i \neq j, \quad ij \in N, \quad k \in K \quad (3.24)$$

$$\sum_k \sum_{ij} f_{ij/k}(T) \leq [M_i(T)]_{\max}, \quad i \in N, \quad (3.25)$$

$$f_{ij/k} \in Z^+, \quad ij \in N, \quad k \in K. \quad (3.26)$$

де $p_{ij}(T)$ – середній тариф за одного пасажера на маршруті ij у заданий період часу T ,

$Q_{ij}(T)$ – кількість пасажирів на маршруті ij у заданий період часу T ,

$c_{ij/k}(N_k)$ – операційні витрати на рейс на маршруті ij , що виконується ПС з кількістю крісел N_k ,

N_k – ємність ПС типу k ,

$\lambda_{ij/k}(T)$ – середній коефіцієнт завантаження рейсу, який виконується ПС типу k на маршруті ij у заданий період часу T ,

$t_{ij/k}$ – середній час нальоту ПС типу k на маршруті ij ,

$U_k(T)$ – максимальний наліт ПС типу k у заданий період часу T ,

$A_k(T)$ – кількість ПС типу k у заданий період часу T ,

$[f_{ij}(T)]_{\min}$ – мінімальна кількість регулярних рейсів на маршруті ij у заданий період часу T ,

$[M_i(T)]_{\max}$ – максимальна кількість відправок, яку може виконати аеропорт i у заданий період часу T ,

N – кількість аеропортів, які включені в мережу авіакомпанії.

Z^+ – множина додатних цілих чисел

Обмеження (3.21) забезпечує умову задоволення попиту на заданій мережі авіаліній з врахуванням середньостатистичного коефіцієнту завантаження. Але, якщо метою авіакомпанії не є максимальне задоволення існуючого попиту, а є максимальне використання виробничих потужностей парку ПС, то в обмеженні (3.21) має бути замінений знак нерівності « \geq » на « \leq ». Обмеження (3.22) задовольняє умову врахування наявного виробничого потенціалу парку ПС авіакомпанії. Рівності (3.23) виражають принцип збереження мережі

авіакомпанії, тобто рейси, які виконуються у деякий вузол мережі (аеропорт) мають покинути його протягом заданого періоду часу. нерівність (3.24) вказує на те, що загальна кількість рейсів на заданому маршруті має бути не меншою за мінімальну кількість регулярних рейсів, які мають бути виконані на протязі періоду часу, що розглядається. Обмеження (3.25) необхідно для врахування пропускної здатності аеропортів заданої мережі авіаліній.

В умовах лібералізації ринку авіаційних перевезень авіакомпанії можуть конкурувати між собою використовуючи частоту польотів, як інструмент конкуренції. Наприклад, на маршруті, який експлуатують E авіакомпаній, відношення між часткою ринку авіакомпанії та часткою ємності може бути аналітично записано наступним чином:

$$MS_{e/l} = \frac{(f_{e/l} N_{e/l})^\alpha}{\sum_{k=1}^K (f_{e/l} N_{e/l})^\alpha} \quad \forall \quad l \in L, \quad (3.27)$$

де $f_{e/l}$ – частота рейсів авіакомпанії e на авіалінії l ,

L – кількість авіаліній в мережі,

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

Рис.3.5 показує, що залежність частки ринку пасажирських міжнародних перевезень авіакомпанії Китайські південні авіалінії від частки ємності не є лінійною. Це пояснюється поведінкою пасажирів, які можуть віддавати перевагу іншій авіакомпанії, яка функціонує на даному ринку. Також важливим у прийнятті рішення пасажиром щодо вибору авіакомпанії є більш зручний час відправлення та тарифи.

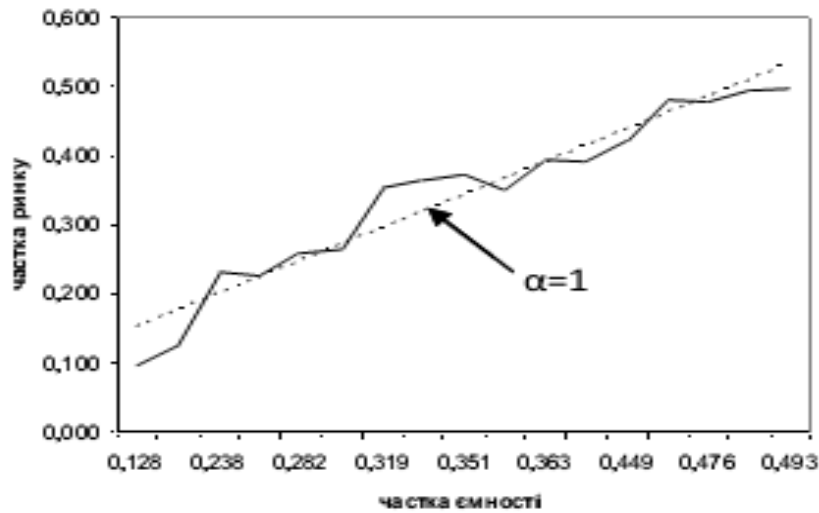


Рис.3.5. Залежність частки ринку міжнародних пасажирських перевезень від частки ємності (на прикладі даних авіакомпанії Китайські південні авіалінії)

Для планування частоти рейсів з врахуванням умов конкуренції між авіакомпаніями, що експлуатують одну й ту саму авіалінію, яка входить до мережі, що досліджується, спочатку можна скористатися моделлю, що оптимізує частку авіакомпанії на заданому ринку (3.27) з подальшим переходом до моделі (3.28)-(3.31):

максимізувати

$$P_e(T) = \sum_l (p_l(T)Q_l(T) - c_{l/e})MS_{e/l}(T) \quad (3.28)$$

при обмеженнях

$$Q_l(T)MS_{e/l}(T) \leq Q_l(T), \quad \forall l \in L \quad (3.29)$$

$$\sum_l MS_{e/l}(T) \leq S_e(T) \quad (3.30)$$

$$0 \leq MS_{e/l}(T) \leq 1 \quad \forall l \in L, \quad (3.31)$$

де $P_e(T)$ - прибуток авіакомпанії e від експлуатації мережі авіаліній;

$Q_l(T)$ – загальна очікувана кількість пасажирів на авіалінії l у заданий період часу T ,

$S_e(T)$ – загальна кількість наявної ємності (крісло-години) парку ПС, що експлуатується авіакомпанією e у заданий період часу T .

3.3. Оптимізація параметрів мережі маршрутів авіакомпанії China Southern Airlines

На нашу думку, для обґрунтування розвитку мережі маршрутів авіакомпанії необхідно використовувати системний підхід, заснований на методах системного аналізу, проектного аналізу, економіко-математичного моделювання (рис.3.6).

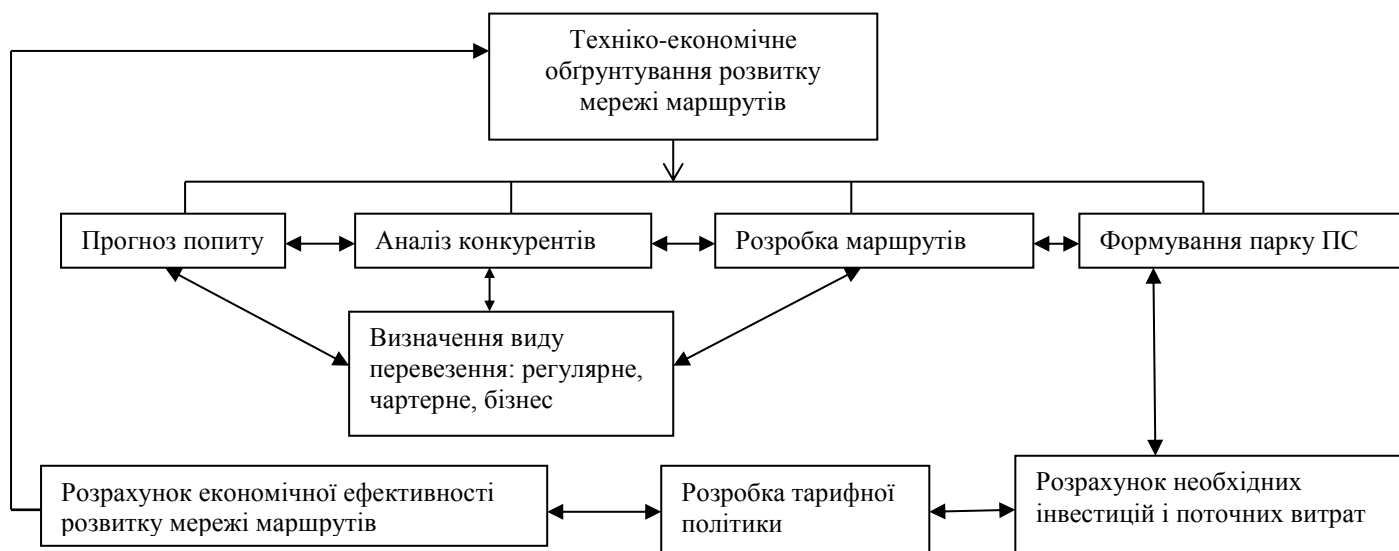


Рис. 3.6. Декомпозиція задачі техніко-економічного обґрунтування розвитку мережі маршрутів авіакомпанії

Кожна з задач, представлених на рис. 3.7 може бути вирішена різними методами. Так, наприклад, для прогнозування попиту існує багато методів. ІКАО використовує такі методи як: екстраполяція часових рядів, економетричне моделювання (дані методи підходять для визначення попиту на добре вивченому ринку, де є хороша статистична база і стійка ринкова ситуація), експертні оцінки і аналіз ринку. Для аналізу конкурентів є цілий набір методів маркетингового аналізу. Завдання по розробці маршруту та розкладу, а також формування парку ПС добре вивчена в роботах [18, 19], в яких в основному застосовуються методи лінійного програмування. Основні принципи тарифної політики в авіаційній галузі викладені в рекомендаціях ІАТА, а методи визначення тарифів, методи ревеню-менеджменту - у роботах

[20-21]. Розрахунок економічної ефективності інвестиційного проекту передбачає розрахунок основних показників, що використовуються в проектному аналізі: чиста поточна вартість, внутрішня норма рентабельності, термін окупності проекту. Крім того необхідно провести аналіз чутливості отриманих оптимальних рішень за проектом.

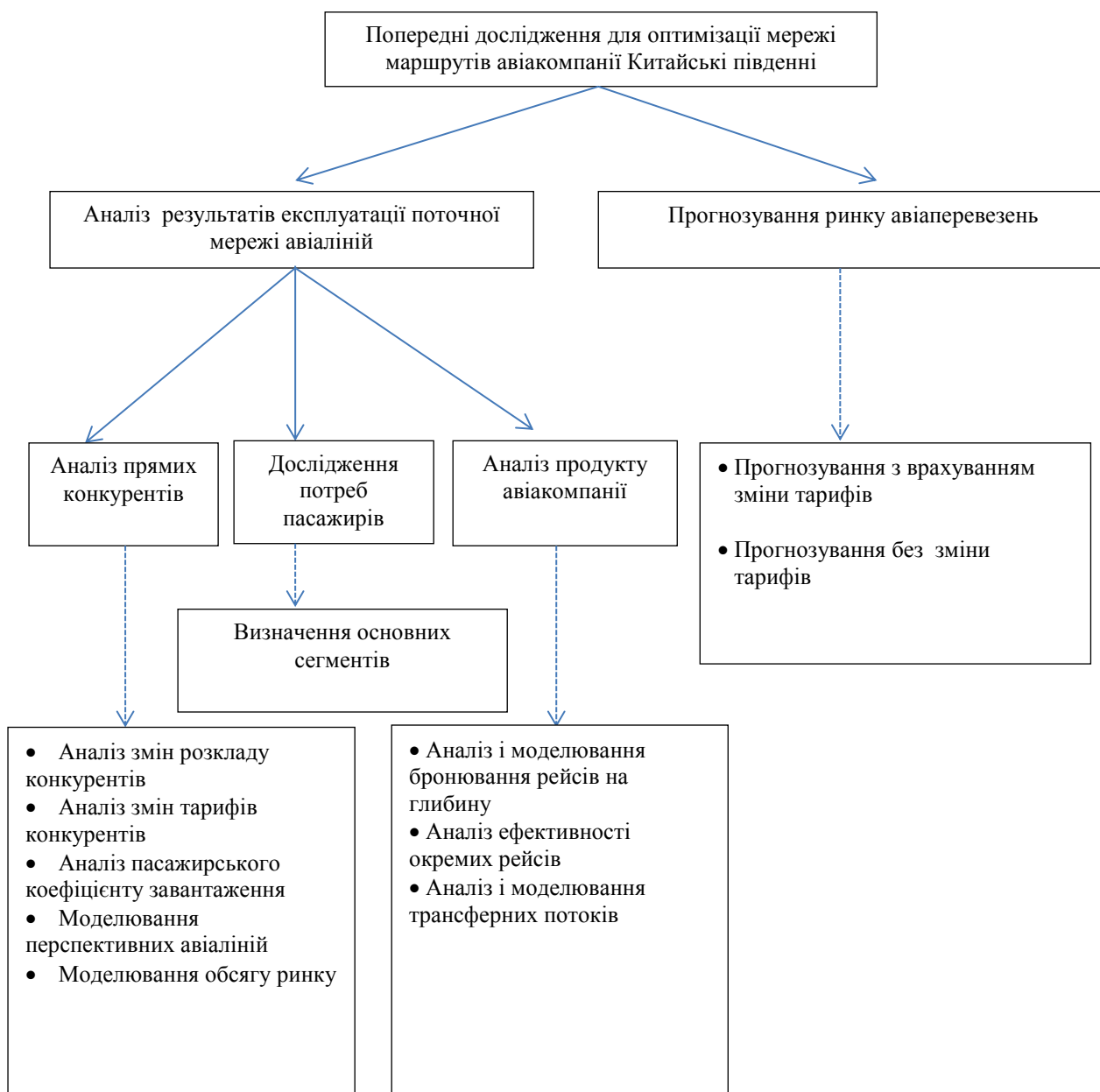


Рис.3.7. Схема організації дослідження ринку авіаційних пасажирських перевезень з метою оптимізації мережі авіаліній

Вихідними даними для оптимізації мережі виступають статистичні дані авіаційних органів влади, а також внутрішня інформація авіакомпанії,

стандартизована певним чином. Оптимізація мережі авіакомпанії Китайські південні авіалінії передбачає вирішення чотирьох основних задач:

- 1) формування тарифної політики;
- 2) оперативна зміна поточного розкладу;
- 3) планування перспективного розкладу;
- 4) планування парку повітряних суден.

Рис.3.8 показує необхідні дані для моделей і результат оптимізації.

Дослідження експлуатованих ліній ставить за мету всебічне вивчення ринків, на яких присутня конкретна авіакомпанія. Аналізуються всі можливі показники: кількість пасажирів, рівні тарифів, додаткові послуги та можливості, які перевізники можуть запропонувати пасажирові, фінансові результати виконання рейсів.

Дослідження конкурентної ситуації може включати в себе аналіз трьох складових: пасажирського завантаження, зміни тарифів та аналіз трансферу. Пасажирська завантаження і тарифи - безпосередні показники конкуренції, трансфер - додатковий інструмент конкурентної боротьби.

Для авіакомпанії China Southern Airlines, яка має широку мережу маршрутів, достатньо велике значення мають трансферні пасажирові.

Одним з найбільш простих і ефективних джерел інформації про трансферних пасажирові є автоматизовані системи бронювання (АСБ), послугами яких користуються авіакомпанії. Коли пасажирові купує квиток по складному маршруту з пересадкою і касир оформляє в АСБ відповідне перевезення, комп'ютерна система робить в броні кожної ділянки відповідні мітки, які дозволяють потім відстежити всіх трансферних пасажирові конкретного рейсу і дізнатися повністю їх маршрут.

Щоденний збір інформації по всіх рейсах авіакомпанії, її обробка та внесення в базу даних дозволяють накопичувати повну і досить достовірну інформацію про справжні маршрути пасажирові. З бази за будь-який звітний період може бути отримана інформація по будь-якому трансферному маршруті та кількості перевезених по цьому маршруту пасажирові.

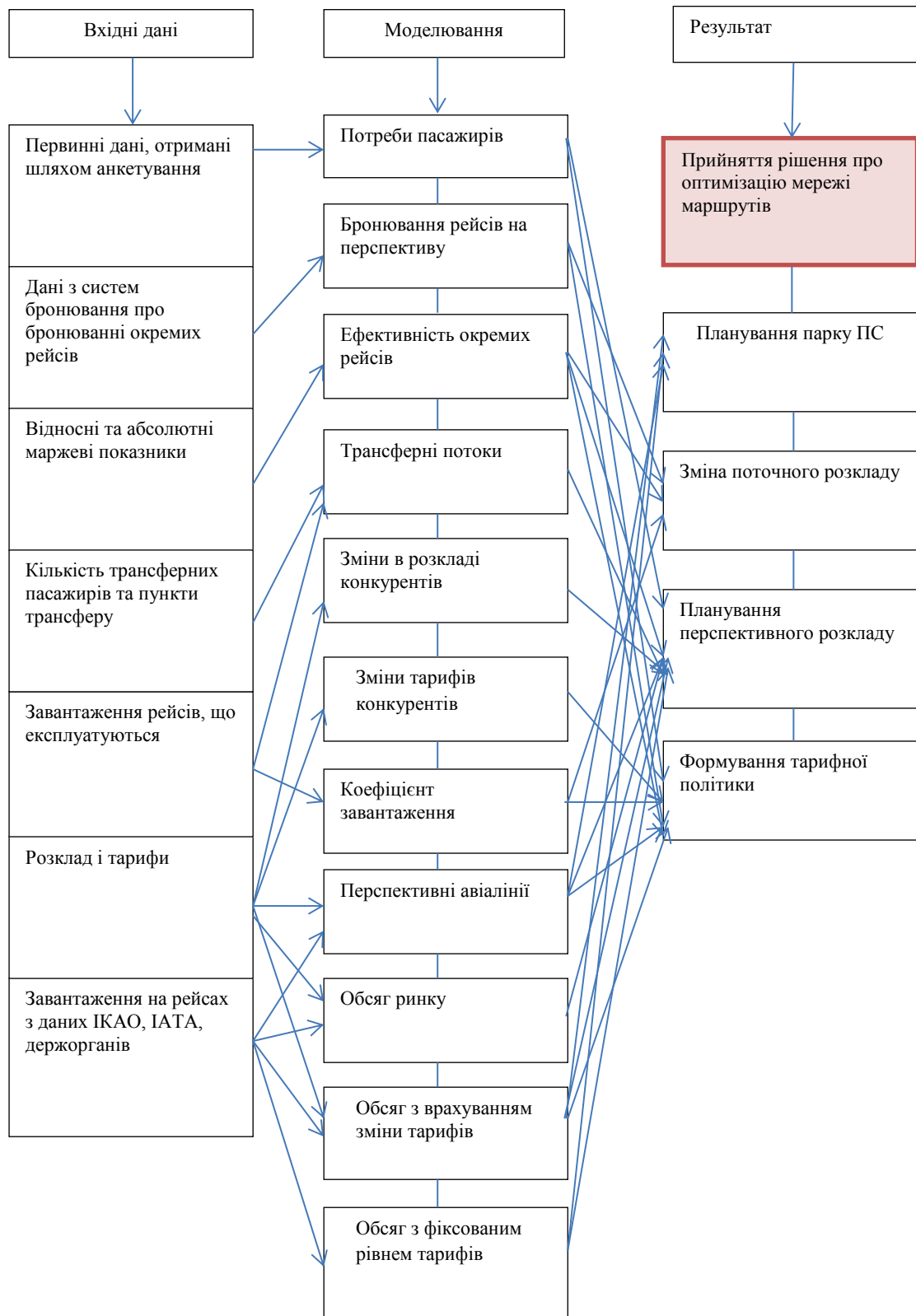


Рис.3.8. Вхідні дані для планування оптимізації мережі маршрутів авіакомпанії

Також можна здійснити розрахунок частки трансферних пасажирів на кожному конкретному рейсі. «Оригінальними» пасажирями на ділянці вважаються лише ті, пунктом відправлення яких є пункт вильоту рейсу, а

пунктом призначення - пункт прильоту. Всі пасажирів, для яких це невірно, тобто дана польотна ділянка є першою або другою вважаються трансферними.

Правильне визначення трансферних маршрутів дозволяє корегувати розклад з метою зробити трансфер для пасажирів більш зручним і, в кінцевому рахунку, підвищити привабливість для пасажирів авіакомпанії. Іншим застосуванням технології аналізу трансферу може служити відкриття нових рейсів.

Існує кілька основних класів бронювання, кількість яких залежить від авіакомпанії, у кожного класу існує кілька підкласів, кожному з яких відповідає кілька тарифів. Можуть змінюватися рівні існуючих тарифів, що призводить до необхідності постійного моніторингу зміни тарифів конкурентами на лініях, де працює досліджувана авіакомпанія.

Крім оперативного відстеження тарифів конкурентів на лініях дана схема аналізу дозволяє простежити динаміку зміни тарифів на будь-якій лінії за будь-який період, що є досить важливим при розгляді потенційних ринків на предмет виходу на них.

Аналогічним чином можливо відстеження зміни розкладу авіакомпаній-конкурентів. Для того щоб почати виконання рейсу, авіакомпанія повинна узгодити час вильоту і прильоту в аеропортах.

Оперативний аналіз пасажирського завантаження є одним з найбільш важливих етапів аналізу загальної конкурентної ситуації.

По-перше, за кожний тиждень розраховується частка ринку як цілком, так і по напрямках «туди і назад». Це дає уявлення про правильність чи неправильності обраної стратегії конкурентної боротьби.

По-друге, знаючи типи використовуваних ПС, можна визначити частку зайнятості крісел як у досліджуваній авіакомпанії, так і у конкурентів, визначивши тим самим ефективність роботи перевізників.

По-третє, аналіз динаміки пасажиропотоку по днях тижня дозволяє визначити більш і менш популярні дні, таким чином, вирішується питання про те, в які дні ставити додаткові рейси у разі зростання попиту і в які дні скасовувати рейси в разі його падіння.

Зіставлення даних аналізу зміни тарифів з аналізом пасажирського завантаження дозволяє визначити, як пасажирів реагують на зміну тарифів, і приймати відповідні рішення. Регулярне здійснення трьох розглянутих схем аналізу дає досить чітке уявлення по кожному конкретному ринку, а оперативність, з якою можуть здійснюватися розрахунки, дозволяє вчасно реагувати на зміну ринкової кон'юнктури.

В залежності від диференціації пасажирів авіакомпанії визначають методи конкурентної боротьби на кожному сегменті ринку. Трьома основними принципами сегментації для послуг авіаперевезень традиційно вважаються дальність польоту, культурні традиції країни проживання і мета подорожі. Але такі варіанти сегментації застосовні до ринку загалом, якщо розглядати авіаперевезення як єдине ціле, а не сукупність окремих напрямків польотів, рейсів, груп пасажирів.

Але якщо деталізувати розгляд ринку авіаперевезень аж до окремої лінії між парою міст, то зі згаданих принципів застосовним виявиться тільки останній. У цій ситуації простого поділу пасажирів на бізнес-пасажирів і пасажирів, що здійснюють неділові поїздки, виявиться недостатньо. Для вирішення проблеми виявляються корисними основні мікроекономічні принципи диференціації, що лежать в основі сегментації та цінової дискримінації на ринках товарів і послуг, різним категоріям споживачів пропонується один і той же товар або послуга за різними цінами. Причому тут мова піде не тільки про диференційовані послуги: обслуговування по бізнес - чи економічному класі, але і про диференційований підхід при продажу квитків в один і той же клас обслуговування залежно від часу придбання квитка, маршруту подорожі, перельоту в складі групи або індивідуально. При такому підході пасажирів, які здійснюють переліт в одному і тому ж класі обслуговування, що сидять на сусідніх місцях, можуть сплатити різні суми за квиток. Істотним в цьому випадку є поділ пасажирів не на бізнес-клас і економічний клас, що припускає розміщення в кріслах з різним ступенем комфорту, різне обслуговування в салоні літака і в аеропорту і т. д., а поділ пасажирів у межах одного класу обслуговування, коли за абсолютно ідентичну

послугу вони платять різні суми і це залежить від умов подорожі, часу і місця покупки квитка.

При експлуатації повітряних суден та прагненні до мінімізації експлуатаційних витрат виникає необхідність в максимальній уніфікації, тобто у зменшенні кількості експлуатованих типів ПС. У зв'язку з чим, для прийняття правильного рішення при виборі типів ПС для формування парку необхідно ретельне зіставлення всіх параметрів ПС, так і вимог до процесу пасажирських перевезень для досягнення максимального ефекту при мінімальних витратах.

Для визначення оптимальної структури парку повітряних суден для експлуатованої мережі авіаліній, необхідно провести аналіз значного числа факторів, що виникають як у сфері виробництва ПС, так і в сфері експлуатації, які впливають на формування парку ПС та його ефективність. Також необхідно проаналізувати процес пасажирських перевезень з урахуванням тих вимог, які пред'являються до різних параметрів, що характеризують можливості ПС. При цьому необхідно враховувати і зовнішні фактори, такі як кліматичні і географічні.

Формування парку ПС повинне передбачати заміну морально застарілих ПС, або проведення глибокої модернізації та модифікації. При цьому виникає задача, пов'язана з прогнозом витрат, обумовлених оновленням парку ПС і виробленням найбільш економічної стратегії заміни. Таким чином, необхідно вирішити три основні ієрархічні задачі:

- 1) досягнення максимуму ефективності парку ПС в процесі пасажирських перевезень;
- 2) рішення економіко-математичної задачі оптимізації виконання пасажирських перевезень (дана задача докладніше буде розглянуто нижче);
- 3) визначення потрібної кількості ПС, кожного варіанта для кожного маршруту, для створення оптимального парку ПС, для заданої чи прогнозованої мережі авіаліній.

Виходячи з моделі (3.20)-(3.26) необхідно підготувати такі вихідні дані:

1. Техніко-економічні показники ПС парку авіакомпанії на початок планового періоду: максимальна злітна маса, практична дальність польоту,

кількість пасажирських крісел, максимальна крейсерська швидкість, кількість двигунів, кількість членів екіпажу, витрати палива, нормативний місячний наліт годин, собівартість льотної години, страховка ПС, міжремонтний ресурс ПС, балансова вартість. Методи розрахунку собівартості авіаційних перевезень представлені в роботах [13, 14].

2. Прогнозований попит на плановий період і мінімальну частоту рейсів за окремими напрямками, на які не очікуються великі пасажиропотоки. В розрахунках передбачається, що пропорції в розподілі попиту на авіаційні перевезення між авіалініями в найближчі T років залишаться незмінними, а абсолютний розмір попиту може бути знайдений через параметр ρ , який враховує частку попиту на авіаперевезення від загального обсягу.

3. Тарифи. Угоди про тарифи на міжнародні перевезення та правила їх розрахунку зазвичай знаходяться під егідою ІАТА. Слід мати на увазі, що структура міжнародних тарифів значно більш складна, ніж внутрішніх і найчастіше потребує дуже складних розрахунків. Готові розраховані тарифи зазвичай вже вказані у тарифних довідниках або комп'ютерних системах бронювання.

Розрахунок комплексних міжнародних тарифів проводиться згідно деяким основним принципам:

- Відстань (Mileage). Вартість авіаквитка зазвичай залежить від відстані, на яку відбувається переліт. Цей підхід істотно відрізняється від прийнятого, скажімо, для внутрішніх авіарейсів в США, який визначається кон'юнктурою попиту і пропозиції, а не фактичною відстанню. Згідно останнього підходу, вартість перельоту, скажімо з Нью-Йорка в Бостон у "гарячий" сезон може бути вище, ніж вартість перельоту з Нью-Йорка в Лос-Анджелес в "низький" сезон року. На міжнародних рейсах такого як правило бути не може.

- Максимально дозволена кількість миль (Maximum Permitted Miles (MPM)). Авіакомпанії-Члени ІАТА дотримуються встановлених для кожної пари міст на маршруті максимальних відстаней, дозволених в рамках базового тарифу. Якщо фактична відстань перельоту, який робиться пасажиром,

перевищує це значення за рахунок більшої кількості зупинок на проміжних містах, відповідно збільшується і тариф.

- Переважання більш високого тарифу (Higher Intermediate Points (HIPs)). Цей принцип передбачає, що, якщо вартість перельоту між будь-якими двома проміжними точками під час складного маршруту вище, ніж вартість прямого перельоту між пунктом відправлення та пунктом кінцевого призначення, то пасажир оплачує переліт за більш високим тарифом.

- Надбавки (Add-ons). При розрахунку наскрізного тарифу на переліт між декількома пунктами до базової вартості перельоту між окремими парами міст додаються надбавки.

- Нейтральні одиниці розрахунків (Neutral Units of Construction (NUC)). У 1989 році ІАТА прийняла загальносвітову систему конверсії валют, що використовується при розрахунках авіаційних тарифів і передбачає використання штучної розрахункової одиниці - NUC. Основне завдання цієї системи - взяти до уваги коливання курсів валют. Значення NUC публікуються в тарифних довідниках для кожного базового тарифу і надбавок. У розрахунках такі випадкові величини як витрати, пов'язані з експлуатацією літаків і тарифи будуть замінені їх середніми значеннями.

3. Ставки податків і зборів.

Отже попередні маркетингові дослідження показали, що авіакомпанія Китайські південні авіалінії має розвивати маршрути за напрямками, вказаними в таблиці 3.1. В табл. 3.1. представлені також дані по усередненим тарифам і можливим типам ПС для експлуатації відповідної мережі.

Таблиця 3.1.

Вихідні дані для проведення експериментальних розрахунків

№	Авіалінія	Середній тариф RT, дол. США τ_j	Собівартість парного рейсу, дол. США		
			A-320	Б-737-800	A320 neo
			1	2	3
1	Гуанчжоу - Осака	220	35006	36477	42874
2	Гуанчжоу - Сеул	214	18111	19981	15470

3	Гуанчжоу - Хошімін	128	2889	3971	28
4	Гуанчжоу - Сінгапур	156	617	2165	-3985
5	Гуанчжоу - Куала-Лумпур	180	7237	8960	3026

Розрахунок собівартості рейсів представлений у додатку Б.

Таблиця 3.2

Вихідні дані для проведення експериментальних розрахунків

№	Авіалінія	Прогнозований попит на 2020 р.	Наліт годин за парний рейс, ($t_{ij/k}$)		
			А-320	Б-737-800	A320 neo
			1	2	3
1	Гуанчжоу - Осака	75551	6,66	6,66	6,66
2	Гуанчжоу - Сеул	170743	6,22	6,22	6,22
3	Гуанчжоу - Хошімін	76667	4,89	4,88	4,88
4	Гуанчжоу - Сінгапур	142373	6,89	6,88	6,88
5	Гуанчжоу - Куала-Лумпур	83857	6,67	6,66	6,66
Кількість місць в ПС,			А-320	Б-737-800	A320 neo
			156	162	165
Коефіцієнт завантаження ПС,			0,7	0,7	0,7

Запишемо модель (3.20)-(3.26) у програмі LINDO:

```

max
14489aosa+14921bosa+94766eosa+18111asel+19981bsel+15470esel+2889asgn+39
71bsgn+28esgn+617asin+2165bsin-3985esin+7237akul+8960bkul+3026ekul
st
109aosa+113bosa+115eosa<=75551
109asel+113bsel+115esel<=170743
109asgn+113bsgn+115esgn<=76667
109asin+113bsin+115esin<=142373
109akul+113bkul+115ekul<=83857
6.22asel+4.89asgn+6.89asin+6.67akul<=5000
6.22bsel+4.88bsgn+6.88bsin+6.66bkul<=5000
6.66esel+5.22esgn+7.37esin+7.13ekul<=5000
aosa+bosa+eosa>=52
asel+bsel+esel>=52
asgn+bsgn+esgn>=52
asin+bsin+esin>=52
akul+bkul+ekul>=52
end
gin 15

```

Рішення задачі в програмі LINDO здійснюється командою GO.

Результатом виконання даної команди є (Додаток В):

а) оптимальне значення цільової функції: 94249100 дол. США;

б) оптимальний план задачі (табл. 3.3.):

Таблиця 3.3.

Оптимізація параметрів фрагменту мережі маршрутів авіакомпанії
China Southern Airlines

№	Авіалінія	Оптимальна частота рейсів на рік		
		А-319	Б-737-800	А320 neo
		1	2	3
1	Гуанчжоу - Осака	1	0	656
2	Гуанчжоу - Сеул	714	60	749
3	Гуанчжоу - Хошімін	48	2	2
4	Гуанчжоу - Сінгапур	47	5	0
5	Гуанчжоу - Куала-Лумпур	0	688	0

Графа REDUCED COST (Додаток В) показує, наскільки необхідно збільшити/зменшити коефіцієнт при змінній, щоб дана змінна потрапила в оптимальний план. Але так як ми задали обмеження на цілочисельність (команда GIN в LINDO), то в даному випадку значення REDUCED COST не мають сенсу та ігноруються;

в) значення додаткових змінних (виконання обмежень) (табл.3.4).

За умови експлуатації заданого парку ПС на даному фрагменті мережі авіамаршрутів попит на напрямках буде задоволений не повністю. Так ринок незадоволеного потенційного попиту становить: Гуанчжоу-Хошімін – 70979 пас., Гуанчжоу-Сінгапур – 136685 пас., Гуанчжоу - Куала-Лумпур – 6113 пас. Ресурс по нальоту годин для ПС є лімітуючим. Умова виконання лише мінімальної частоти виконується на напрямках з низькими тарифами Гуанчжоу-Хошімін та Гуанчжоу - Сінгапур.

Таблиця 3.4

Аналіз використання ресурсів за отриманим оптимальним рішенням

Обмеження	Значення правих частин	Залишок ресурсу та рівень	Використано ресурсу та перевищення
-----------	------------------------	---------------------------	------------------------------------

		задоволення попиту	мінімального обмеження
Попит на напрямку OSA, пас.	75551	2	75549
Попит на напрямку SEL, пас.	170743	2	170741
Попит на напрямку SGN, пас.	76667	70979	5688
Попит на напрямку SIN, пас.	142373	136685	5688
Попит на напрямку KUL, пас.	83857	6113	77744
Ресурс ВС А-320, годин	5000	0,37	4999,63
Ресурс ВС Б-737-800, годин	5000	0,56	4999,44
Ресурс ВС А-320 нео, годин	5000	1,22	4998,78
Мінімальна частота польотів на напрямку OSA	52	605	+553
Мінімальна частота польотів на напрямку SEL	52	1471	+1419
Мінімальна частота польотів на напрямку SGN	52	0	52 Виконання обмеження щодо мінімальної частоти
Мінімальна частота польотів на напрямку SIN	52	0	52 Виконання обмеження щодо мінімальної частоти
Мінімальна частота польотів на напрямку KUL	52	636	+584

Двоїсті оцінки ресурсів, як відомо, показують зміну цільової функції при зміні ресурсу на одиницю. Але з обмеженням на цілочисельність значення DUAL PRICES не мають сенсу та ігноруються.

З розглянутого прикладу, наочно видно, що за допомогою ППП LINDO можна не тільки швидко знаходити оптимальні параметри експлуатації мережі маршрутів авіакомпанії, але і виконувати досить повний аналіз отриманого плану. Ретельний і глибокий аналіз даних оптимального рішення дає можливість розробити конкретні заходи щодо подальшого удосконалення процесу виробництва, виявленню невикористаних внутрішніх ресурсів і визначити економічний ефект від реалізації резервів експлуатації мережі авіаліній.

ВИСНОВКИ

Організація авіаційних перевезень				НАУ. 20.05. 29. 002 ПЗ				
Викон.	Фомін І.В.			ВИСНОВКИ	Литера	Арк.	Аркушів	
Керивник	Юн Г.М.					Д	97	2
Н.контр.	Жукова С.О.				ФТТ 275.04 ОП-203М			
Зав. каф.	Юн Г.М.							

Китайські та іноземні експерти вважають, що китайська економіка грає все більш важливу роль на світовій економічній арені, китайські чинники стануть важливими чинниками для розвитку світової економіки. На тлі швидкого зростання обсягу повітряних перевезень цивільна авіація Китаю стикається з низкою проблем, таких як брак людських ресурсів та інфраструктури, а також невисокий рівень управління. Крім того, ключовим питанням для авіакомпаній в Китаї є менеджмент в області пасажиро - і вантажомісткості.

Загальне скорочення доходів населення може призвести до зниження попиту на відпочинок і на ділові поїздки, а також може вплинути на здатність авіакомпанії підняти тарифи, щоб протидіяти збільшенню витрат на запаси палива і витрат на оплату праці. На діяльність авіакомпанії може негативно вплинути й спалах хвороби, або масштабних стихійних лих, які впливають на поведінку туристів. Для врахування впливу перелічених чинників в дипломній роботі запропоновано використовувати теорію складних мереж.

В даній дипломній роботі було досліджено динаміку розвитку та досвід формування мережі маршрутів авіакомпанії China Southern Airlines. Хоча в 2009 роки три найбільші авіакомпанії в Китаї (China Southern, China Eastern, Air China) продемонстрували стійкість до фінансової кризи, без труднощів не обійшлося. China Southern Airlines отримала значні капітальні вливання від уряду, що здебільшого суперечить ринковим відносинам. У 2018 році маршрутна мережа авіакомпанії охоплювала комерційні центри і економічні регіони в материковій частині Китаю. Загальна кількість безпосадкових пунктів призначення складала 227, з врахуванням договорів код-шеерінг – 261.

Діяльність авіакомпанії China Southern Airlines спрямована передусім на внутрішній ринок (82,7%). На сьогодні в авіакомпанії контроль її діяльності і основні рішення щодо розвитку мережі приймаються виключно на державному рівні. Менеджери авіакомпанії China Southern Airlines продовжують оптимізувати хабову мережу з Гуанчжоу. 2018 році обсяги перевезень пасажирів та доходи маршрутів з Гуанчжоу мали тенденцію зростання.

В дипломній роботі пропонується розвивати міжнародну мережу авіамаршрутів з даного хабу. Але це можливо за умови продовження лібералізації авіаційного ринку Китаю.

Розвиток авіатранспортної мережі у часі може відбуватися за трьома напрямками: за рахунок появи нових зв'язків між наявними авіапунктами (внутрішній розвиток); в результаті додаткового включення в авіамережу нових пунктів (зовнішній розвиток); при одночасному здійсненні перших двох напрямів (комплексне розвиток). Виділення цих трьох напрямів розвитку авіатранспортної мережі має принципове значення при прогнозуванні обсягу відправлень і середньої дальності перевезень, потрібних матеріальних, трудових і грошових ресурсів на здійснення транспортного процесу і, як наслідок цього, визначення оптимальної за типом структури та кількості потрібного парку ПС.

В роботі розроблені моделі оптимізації параметрів мережі авіаліній. Планування частоти рейсів з врахуванням умов конкуренції між авіакомпаніями може виконуватися з попереднім статистичним дослідженням залежності частки ринку пасажирських перевезень від частки ємності парку ПС заданої авіакомпанії. Наступним кроком є оптимізація даної частки ринку авіакомпанії з подальшим визначенням оптимальної частоти рейсів по авіалініям мережі із відповідним закріпленням типу ПС. Виконано розрахунок для фрагменту мережі маршрутів авіакомпанії China Southern Airlines. Приклад показав, що за допомогою програми LINDO можна не тільки швидко знаходити оптимальні параметри експлуатації мережі маршрутів авіакомпанії, але і виконувати досить повний аналіз отриманого плану для виявлення невикористаних внутрішніх ресурсів і визначення економічного ефекту від реалізації резервів експлуатації мережі авіаліній.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Евин И. А.* Сложные сети как модели сложных систем. Международная конференция «Сети, самоорганизация, будущее» (памяти Сергея Петровича Капицы): 29–30 ноября 2012 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.inett.com/2012/11/18/slozhnye-seti-kak-modeli/>.
2. *Nita Parekh* Analysis of Airport Network of India. — [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.academia.edu/745461/Analysis_of_Airport_Network_of_India.
3. Transportation Geography and Network Science/Centrality. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://en.wikibooks.org/wiki/Transportation_Geography_and_Network_Science.
4. *Маринцева К.* Теоретичні засади аналізу мережі аеропортів. Наукоємні технології, 2013. № 3 (19).
5. *Jie Z.* China to be world's largest aviation market in 3-6 yrs. <https://www.chinadaily.com.cn/a/201906/20/WS5d0b1853a3103dbf14329502.html>
6. *Голубев И.С.* Исследование операций в ГА. – М.: Транспорт, 1980. – 256с.
7. *Припадчев А. Д.* Определение оптимального парка воздушных судов - М.: "Академия Естествознания", 2009. // <http://www.rae.ru/monographs/66-2505>.
8. *Яценко Л.А.* Обоснование типового состава воздушных судов для авиалиний. - Киев: КИИГА, 1985. - 96с.
9. *Bazargan, Massoud.* Airline Operations and Scheduling. 2nd ed. Farnham: Ashgate, 2010. Print.
10. *Zhang, Y.; Round, D.K.* China's airline deregulation since 1997 and the driving forces behind the 2002 airline consolidations. J. Air Transp. Manag. 2008, 14, 130–142. [CrossRef]
11. *Jin, F.J.; Wang, F.H.; Liu, Y.* Geographic Patterns of Air Passenger Transport in China 1980–1998: Imprints of Economic Growth, Regional Inequality, and Network Development. Prof. Geogr. 2004, 56, 471–487.

12. Wang, C.; Jin, F. Spatial evolution of China international relation through analyzing aviation international networks. *Econ. Geogr.* 2005, 25, 667–672.

13. Shaw, S.L.; Lu, F.; Chen, J.; Zhou, C. China's airline consolidation and its effects on domestic airline networks and competition. *J. Transp. Geogr.* 2009, 17, 293–305.

14. Эксперты: Китай послужит новым мотором мировой экономики // <http://ukraine-china.com.ua/?p=1699>

15. Barabási A-L. *Linked: How everything is connected to everything else and what it means for business, science and everyday life*, USA (2002).

16. Albert R., Jeong H., and Barabasi A.-L. Error and attack tolerance in complex networks, *Nature* 406, 378 (2000).

17. 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.

18. 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.

19. 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>.

20. 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.*

21. Annual report 2018 of China Southern Airlines Company Limited.

22. China Airports Outlook 2008/ Centre for Asia Pacific Aviation/ <http://www.centreforaviation.com>

23. Китай: пассажирооборот гражданской авиации в ближайшие 20 лет увеличится в 5 раз// газета Жэньминь Жибао"
<http://russian.people.com.cn/31518/6528989.html>

24. Самый серьезный убыток китайской гражданской авиации за последние 30 лет // 08-03-2009 - The Epoch Times Украина (Великая Эпоха) - международный информационный проект: www.epochtimes.com.ua/ru/

25. *Коба В.Г., Макаров Е.В., Диброва Г.С.* Эффективность использования основных фондов гражданской авиации. –М.: Транспорт, 1984, 183 с.

26. *Богословцева Л.В.* Финансовый механизм в условиях аренды промышленных предприятий: Дис...канд. эконом. наук: 08.00.10. - С – Петербург, 1991. – 220 с.

27. *Припадчев, А.Д.* Математическая модель технологических параметров процесса воздушных перевозок. «Многопрофильный университет как региональный центр образования и науки» / А.Д. Припадчев, Н.З. Султанов // Материалы всероссийской научно-практической конференции. - Оренбург, ИПК ГОУ ОГУ, 2009. - С. 1054-1058.

28. *Припадчев А. Д.* Определение оптимального парка воздушных судов – М.: "Академия Естествознания", 2009.

29. *Кофман А.* Методы и модели исследования операций. М.: «Мир», 1966 г. – 524 с.

30. *Вагнер Г.* Основы исследования операций. Т.1,2. М.: «Мир», 1973 г.

31. *Румянцева З.П.* Математические методы в планировании гражданской авиации. – М.: Транспорт, 1967 г. – 192 с.

32. Применение пакетов прикладных программ по экономико-математическим методам в АСУ/ Б.Я. Курицкий, Г.П. Алексеенко, Ю.В. Виткин и др.; Под. ред. Б.Я. Курицкого – М.: Статистика, 1980. – 196 с.

33. *Гомецкий А.Ф., Соломон Д.И.* Лабораторный практикум по курсу «Исследование операций» (для экономических специальностей). – Кишинев, 1995. – 63 с.

34. Восток — дело тонкое, или О налогообложении в Китае// Журнал «Российский налоговый курьер» Номер №15, Август 2009.

35. *Janić M.* Air transport system analysis and modeling: Capacity, Quality of Services and Economics [Text]/ Janić Milan. - Malaysia: Gordon and Breach Science Publishers, 2000. – 301p.

36. *Yuh-Horng Wen* Airline Flight Frequency Determination and Adjustment in Response to Airline Emissions Charges [Электронный ресурс] // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. – Vol.9, 2013.

37. *Barnhart C., Smith B.* Quantitative Problem Solving Methods in the Airline Industry. A Modeling Methodology Handbook. – Berlin: Springer, 2012. – 458 p.

38. *Комаристый Е.Н.* Информационно-модельный комплекс для исследования рынка гражданских авиаперевозок /Отв.ред. М.В. Лычагин – Новосибирск: ИЭОПП СОРАН, 2006. — 144 с.

39. *Ghobrial A., Balakrishnan N., Kanafani A.* A Heuristic Model for Frequency Planning and Aircraft Routing in Small Size Airlines // Transportation planning and technology. – Vol.16. – 1992. – pp. 235-249.

ДОДАТКИ

Організація авіаційних перевезень				НАУ. 20.05. 29. 003 ПЗ				
Викон.	Фомін І.В.			ДОДАТКИ	Литера		Арк.	Аркушів
Керивник	Юн Г.М.					Д	102	1
Н.контр.	Жукова С.О.				ФТМЛ 275.04 ОП-201М			
Зав. каф.	Юн Г.М.							

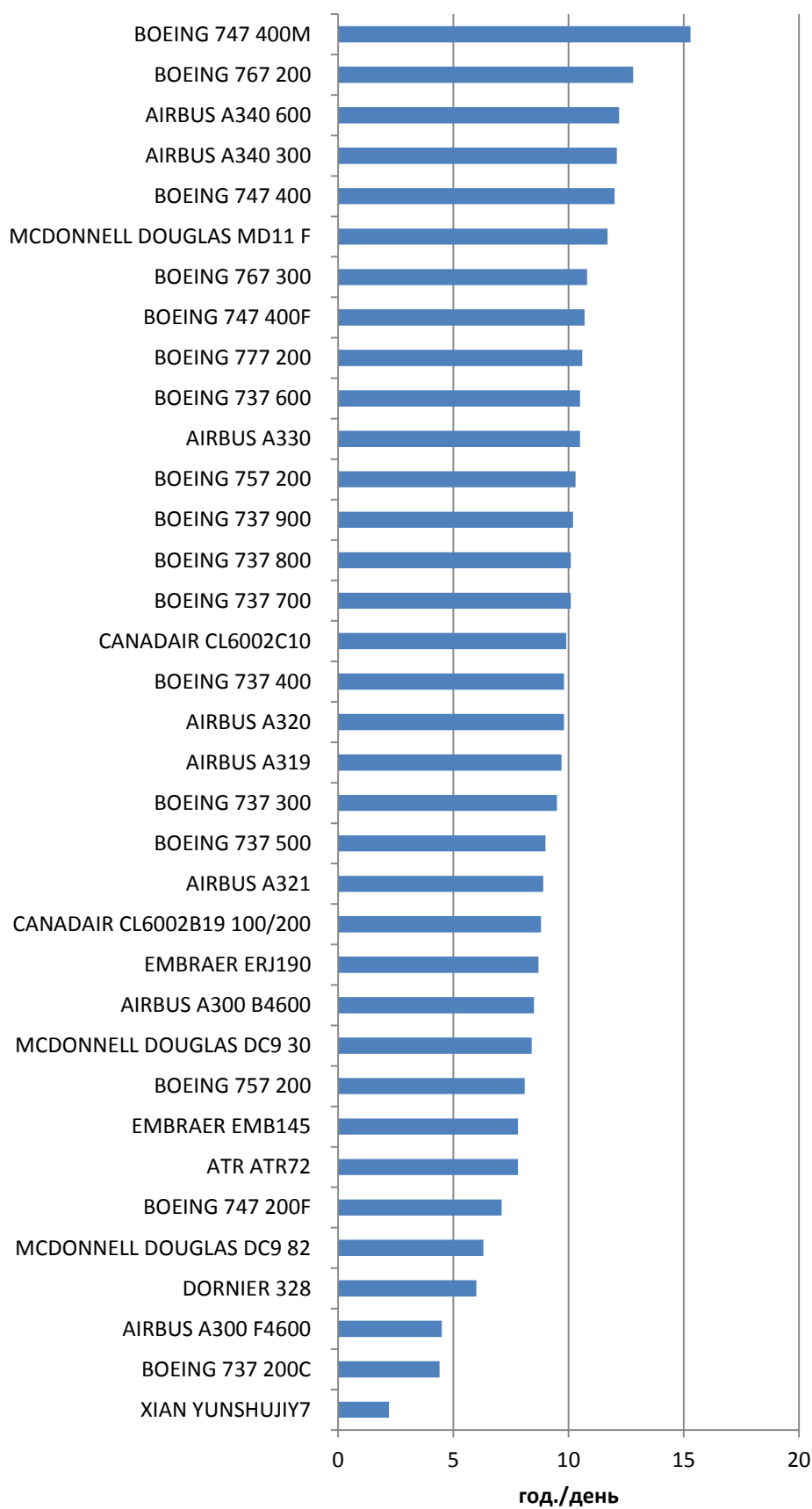


Рис. А.1. Середня денна тривалість експлуатації ПС в авіакомпаніях КНР

Розрахунок прибутковості рейсу Guangzhou - Osaka
(за допомогою програми RDC APEX)

Показник	A320 (156: F0/J8/W0/Y148)	B737-800 Winglets (162: F0/J8/W0/Y154)	A320neo (165: F0/J16/W0/Y149)
Дохід:	48192,39	51399,05	52350,89
- Дохід від продажу квитків	48048,00	49896,00	50820,00
- Допоміжні / інші доходи	1447,39	1503,05	1530,89
Витрати:	35006,28	36477,21	42874,02
- Фіксовані DOC:	4746,32	6597,44	13382,84
- Фіксовані виплати по літаку	3409,96	5261,08	11503,00
- Витрати на лізинг	3039,74	4676,52	10236,38
- Страхування	370,22	584,56	1266,62
- Фіксовані витрати на екіпаж	1336,36	1336,36	1879,84
- Витрати на льотний екіпаж	776,55	776,55	1008,36
- Витрати на екіпаж салону	559,80	559,80	871,48
- Змінні витрати	25160,89	24578,66	23819,45
- Паливо	9650,69	8974,69	7956,78
- Змінні витрати на екіпаж	267,27	267,27	375,97
- Вартість ТО	3424,07	3209,11	3316,59
- Аеропортові та навігаційні збори	9550,68	9818,32	9867,99
- Плата за обслуговування пасажирів	548,18	569,27	582,12
- Хендлінг	1720,00	1740,00	1720,00
Всього прями операційні витрати	29907,21	31176,10	37202,29
Непрямі операційні витрати	5099,07	5301,12	5671,73
Прибуток/збиток від рейсу RT	14489,11	14921,84	9476,87

Розрахунок прибутковості рейсу Guangzhou - Seoul
(програма RDC APEX)

Показник	A320 (156: F0/J8/W0/Y148)	B737-800 Winglets (162: F0/J8/W0/Y154)	A320neo (165: F0/J16/W0/Y149)
- REVENUE	49,198.83	49,762.90	50,684.44³
Ticket Revenue	46,737.60	48,535.20	49,434.00
Ancillary/Other Revenue	1,182.23	1,227.70	1,250.44
Cargo Revenue	0.00	0.00	0.00
- COSTS	29,808.65	29,781.39	35,213.76
- Fixed (Standing) DOC	5,609.01	5,625.63	11,411.53
- Aircraft Standing Charges	4,469.50	4,486.12	9,808.59
Ownership/Lease Costs	3,987.66	3,987.66	8,728.55
Insurance	481.84	498.46	1,080.05
+ Fixed Crew Costs	1,139.51	1,139.51	1,602.93
- Variable DOC	19,410.48	19,238.29	18,561.28
Fuel Costs	7,892.49	7,619.17	6,725.76
+ Variable Crew Costs	227.90	227.90	320.59
Maintenance Cost	2,860.78	2,736.40	2,828.05
+ Airport & Route Charges	6,161.12	6,345.55	6,384.76
+ Passenger Service Charges	548.18	569.27	582.12
Handling	1,720.00	1,740.00	1,720.00
TOTAL DOC	25,019.49	24,863.92	29,972.80
+ Indirect Operating Costs	4,789.16	4,917.47	5,240.95
- ROUTE PROFIT/LOSS	18,111.18	19,981.52	15,470.68
Contribution	28,509.36	30,524.61	32,123.16
Route Profit/Loss	18,111.18	19,981.52	15,470.68

Таблиця Б.3

Розрахунок прибутковості рейсу Guangzhou – Ho Chi Minh City
(програма RDC APEX)

Показник	A320 (156: F0/J8/W0/Y148)	B737-800 Winglets (162: F0/J8/W0/Y154)	A320neo (165: F0/J16/W0/Y149)
- REVENUE	31,878.14	29,988.84	30,544.19³
Ticket Revenue	27,955.20	29,030.40	29,568.00
Ancillary/Other Revenue	922.94	958.44	976.19
Cargo Revenue	0.00	0.00	0.00
- COSTS	25,988.16	26,017.80	30,516.17
- Fixed (Standing) DOC	4,661.48	4,675.29	9,483.78
+ Aircraft Standing Charges	3,714.47	3,728.28	8,151.63
+ Fixed Crew Costs	947.01	947.01	1,332.15
- Variable DOC	17,613.84	17,533.06	16,961.14
Fuel Costs	6,512.83	6,293.62	5,521.93
- Variable Crew Costs	189.40	189.40	266.43
Flight crew subsistence and bonus	110.06	110.06	142.92
Cabin crew subsistence and bonus	79.34	79.34	123.51
Maintenance Cost	2,377.51	2,274.14	2,350.31
- Airport & Route Charges	6,265.92	6,466.64	6,520.35
Aircraft Fees	1,080.90	1,093.89	1,082.90
Passenger Charges	3,678.15	3,819.83	3,890.37
Navigation Charges	1,526.87	1,553.12	1,547.08
+ Passenger Service Charges	548.18	569.27	582.12
Handling	1,720.00	1,740.00	1,720.00
TOTAL DOC	22,275.32	22,208.35	26,444.91
+ Indirect Operating Costs	3,712.83	3,809.45	4,071.26
+ ROUTE PROFIT/LOSS	2,889.98	3,971.04	28.01

Таблиця Б.4

Розрахунок прибутковості рейсу Guangzhou – Singapore
(програма RDC APEX)

Показник	A320 (156: F0/J8/W0/Y148)	B737-800 Winglets (162: F0/J8/W0/Y154)	A320neo (165: F0/J16/W0/Y149)
REVENUE	36,631.23	37,001.66	37,686.88^{18f3}
Ticket Revenue	34,070.40	35,380.80	36,036.00
Ancillary/Other Revenue	1,560.83	1,620.86	1,650.88
Cargo Revenue	0.00	0.00	0.00
COSTS	35,014.01	34,835.68	41,672.78
Fixed (Standing) DOC	6,992.52	7,013.24	14,226.28
Aircraft Standing Charges	5,571.95	5,592.66	12,227.97
Ownership/Lease Costs	4,971.25	4,971.25	10,881.52
Insurance	600.69	621.41	1,346.45
Fixed Crew Costs	1,420.58	1,420.58	1,998.31
Variable DOC	23,587.65	23,290.70	22,535.97
Fuel Costs	9,906.97	9,554.66	8,483.49
Variable Crew Costs	284.12	284.12	399.66
Maintenance Cost	3,566.42	3,411.36	3,525.61
Airport & Route Charges	7,561.96	7,731.30	7,825.09
Aircraft Fees	1,386.06	1,372.86	1,397.46
Passenger Charges	3,914.17	4,064.71	4,139.98
Navigation Charges	2,261.74	2,293.74	2,287.65
Passenger Service Charges	548.18	569.27	582.12
Handling	1,720.00	1,740.00	1,720.00
TOTAL DOC	30,580.18	30,303.93	36,762.25
Indirect Operating Costs	4,433.84	4,531.75	4,910.53
Ticketing, Sales and Promotion	2,904.83	3,016.55	3,072.41
Contingency	1,529.01	1,515.20	1,838.11
Layover	0.00	0.00	0.00
Other	0.00	0.00	0.00
ROUTE PROFIT/LOSS	617.22	2,165.98	-3,985.90

Розрахунок прибутковості рейсу Guangzhou – Kuala Lumpur
(програма RDC APEX)

Показник	A320 (156: F0/J8/W0/Y148)	B737-800 Winglets (162: F0/J8/W0/Y154)	A320neo (165: F0/J16/W0/Y149)
- REVENUE	43,852.08	42,423.32	43,208.93³
Ticket Revenue	39,312.00	40,824.00	41,580.00
Ancillary/Other Revenue	1,540.08	1,599.32	1,628.93
Cargo Revenue	0.00	0.00	0.00
- COSTS	33,614.32	33,462.34	40,182.04
- Fixed (Standing) DOC	6,916.69	6,937.18	14,072.01
+ Aircraft Standing Charges	5,511.52	5,532.01	12,095.37
+ Fixed Crew Costs	1,405.17	1,405.17	1,976.64
- Variable DOC	22,080.84	21,799.61	21,006.49
Fuel Costs	9,796.56	9,448.57	8,387.15
- Variable Crew Costs	281.03	281.03	395.33
Flight crew subsistence and bonus	163.31	163.31	212.06
Cabin crew subsistence and bonus	117.73	117.73	183.27
Maintenance Cost	3,527.74	3,374.36	3,487.38
- Airport & Route Charges	6,207.32	6,386.37	6,434.51
Aircraft Fees	776.56	800.98	793.82
Passenger Charges	3,192.92	3,315.74	3,377.13
Navigation Charges	2,237.83	2,269.64	2,263.56
+ Passenger Service Charges	548.18	569.27	582.12
Handling	1,720.00	1,740.00	1,720.00
TOTAL DOC	28,997.54	28,736.79	35,078.50
- Indirect Operating Costs	4,616.78	4,725.55	5,103.54
+ Ticketing, Sales and Promotion	3,166.91	3,288.71	3,349.61
Contingency	1,449.88	1,436.84	1,753.92
Layover	0.00	0.00	0.00
Other	0.00	0.00	0.00
+ ROUTE PROFIT/LOSS	7,237.76	8,960.97	3,026.90

Результати експериментальних розрахунків в ППП LINDO

```

max 14489aosa+14921bosa+94766eosa+18111ase1+19981bse1+15470ese1+2889asgn+3971bsgn+28esgn+617asin+2165bsin+3985esin+7237akul+8960bkul+3026ekul
st
109aosa+113bosa+115eosa<=75551
109ase1+113bse1+115ese1<=170743
109asgn+113bsgn+115esgn<=76667
109asin+113bsin+115esin<=142373
109akul+113bkul+115ekul<=83857
6.22ase1+4.89asgn+6.89asin+6.67akul<=5000
6.22bse1+4.88bsgn+6.88bsin+6.66bkul<=5000
6.66ese1+5.22esgn+7.37esin+7.13ekul<=5000
aosa+bosa+eosa)=52
ase1+bse1+ese1)=52
asgn+bsgn+esgn)=52
asin+bsin+esin)=52
akul+bkul+ekul)=52
end
gin 15

```

UNDO Solver Status

Optimizer Status

Status:	Optimal
Iterations:	15663
Feasibility:	0
Objective:	9.42491e+007
Best P.:	9.42491e+007
IP Bound:	9.42513e+007
Branches:	3956
Elapsed Time:	00:00:12

Update Interval: 1

Interrupt Solver Close

UNDO

File Edit Solve Reports Window Help

```

max 14489aosa+14921bosa+94766eosa+18111ase1+19981bse1+15470ese1+2889asgn+3971bsgn+28esgn+617asin+2165bsin+3985esin+7237akul+8960bkul+3026ekul
st
109aosa+113bosa+115eosa<=75551
109ase1+113bse1+115ese1<=170743
109asgn+113bsgn+115esgn<=76667
109asin+113bsin+115esin<=142373
109akul+113bkul+115ekul<=83857
6.22ase1+4.89asgn+6.89asin+6.67akul<=5000
6.22bse1+4.88bsgn+6.88bsin+6.66bkul<=5000
6.66ese1+5.22esgn+7.37esin+7.13ekul<=5000
aosa+bosa+eosa)=52
ase1+bse1+ese1)=52
asgn+bsgn+esgn)=52
asin+bsin+esin)=52
akul+bkul+ekul)=52
end
gin 15

```

Reports Window

ENUMERATION COMPLETE BRANCHES= 3956 PILOTS= 15663

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND
RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.9424910E+08

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
AOSA	1.000000	-14489.000000
BOSA	0.000000	-14921.000000
EOSA	456.000000	-94766.000000
ASEL	714.000000	-18111.000000
BSEL	60.000000	-19981.000000
ESEL	749.000000	-15470.000000
ASGN	48.000000	-2889.000000
BSGN	2.000000	-3971.000000
ESGN	2.000000	-28.000000
ASIN	47.000000	-617.000000
BSIN	5.000000	-2165.000000
ESIN	0.000000	3985.000000
AKUL	0.000000	-7237.000000
BKUL	688.000000	-8960.000000
EKUL	0.000000	-3026.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	2.000000	0.000000
3)	2.000000	0.000000
4)	70979.000000	0.000000
5)	136695.000000	0.000000
6)	6113.000000	0.000000
7)	0.370162	0.000000
8)	0.560117	0.000000
9)	1.220115	0.000000
10)	605.000000	0.000000
11)	1471.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	636.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 15663
BRANCHES= 3956 DETERM. = 1.000E 0

LAST INTEGER SOLUTION IS THE BEST FOUND

RE-INSTALLING BEST SOLUTION...

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.9424910E+08

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
AOSA	1.000000	-14489.000000
BOSA	0.000000	-14921.000000
EOSA	656.000000	-94766.000000
ASEL	714.000000	-18111.000000
BSEL	60.000000	-19981.000000
ESEL	749.000000	-15470.000000
ASGN	48.000000	-2889.000000
BSGN	2.000000	-3971.000000
ESGN	2.000000	-28.000000
ASIN	47.000000	-617.000000
BSIN	5.000000	-2165.000000
ESIN	0.000000	3985.000000
AKUL	0.000000	-7237.000000
BKUL	688.000000	-8960.000000
EKUL	0.000000	-3026.000000

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	2.000000	0.000000
3)	2.000000	0.000000
4)	70979.000000	0.000000
5)	136685.000000	0.000000
6)	6113.000000	0.000000
7)	0.370162	0.000000
8)	0.560117	0.000000
9)	1.220115	0.000000
10)	605.000000	0.000000
11)	1471.000000	0.000000
12)	0.000000	0.000000
13)	0.000000	0.000000
14)	636.000000	0.000000

NO. ITERATIONS= 15663

BRANCHES= 3956 DETERM.= 1.000E 0