

УДК 656.71:656.7.072(045)

ДЕКОМПОЗИЦІЯ МЕРЕЖІ АВІАМАРШРУТІВ**Г. М. Юн**, д-р техн. наук, проф.; **К. В. Марінцева**, канд. екон. наук, доц.

Національний авіаційний університет

kristin22@ua.fm

Запропоновано концепцію декомпозиції мережі маршрутів, що охоплює великі аеропорти з високою щільністю пасажиропотоків. Розглянуто ефект декомпозиції мережі авіамаршрутів з точки зору пасажирів, авіакомпаній та авіабудівних підприємств.

Ключові слова: декомпозиція; мережа авіамаршрутів; аеропорт; авіакомпанія; хаб; затримка.

The concept of route network decomposition that includes major airports with high level of passenger traffics is suggested. The effect of air routes network decomposition from the viewpoint of passengers, airlines and aircraft industries is considered.

Keywords: decomposition; network of air routes; airport; airline; hub; delay.

Постановка проблеми

Швидке зростання авіаперевезень призводить до перевантаження головних аеропортів, терміналів і під'їзних шляхів до аеропортів. У цій статті розглядається тільки один аспект цієї проблеми — затримки в аеропортах унаслідок недоліків сформованої мережі маршрутів літаків і пропонується один з можливих підходів до її вирішення.

Нехай на мережі, що зв'язує маршрути руху літаків, які обслуговують як внутрішні, так і міжнародні рейси до України, є 100 аеропортів, оснащених обладнанням та приладами, за допомогою яких здійснюються зліт і посадка повітряних суден комерційної авіації. Кожен із них може розглядатися як аеропорт призначення або аеропорт відправлення.

Отже, ці 100 аеропортів утворюють приблизно 4950 можливих комбінацій різних відправлень-призначень. Однак у останні роки лише близько 1650 з цих можливих комбінацій використовувалися пасажирами авіаційного транспорту, при цьому 330 комбінацій, або 20 % їх числа, сконцентрували 80 % всього потоку авіапасажирів. На частку інших 1320 зв'язків припало 20 % пасажирів [1].

Аналіз досліджень і публікацій

У роботі [2] зазначається, що основними аспектами розвитку мережі маршрутів міжнародних авіакомпаній є розвиток хабової моделі і концентрація пасажиропотоку в рамках глобальних альянсів авіакомпаній.

У хабовій моделі авіаперевезень посилюється регіональна спеціалізація окремих хабів, однак паралельно розвивається мережа другорядних аеропортів за рахунок бурхливого розвитку низькобюджетних авіакомпаній.

Крім того, перенасичення пасажиропотоку, наприклад у таких світових містах, як Лос-

Анджелес, Нью-Йорк і Чикаго призводить до того, що в поточних ринкових умовах авіаперевізникам стає вигідніше обійти їх як транзитні авіаузли в регіональних хабових схемах.

Для оцінки ефективності прийняття рішення про модифікації авіамережі можна використовувати методи оптимізації транспортних мереж, які являють собою велику галузь досліджень.

Основи оптимізації мережі авіаліній викладені, наприклад, у роботах [3; 4].

У дослідженні [3] робиться висновок про доцільність методу оптимізації мережі, заснованого на тензорній методології з використанням математичних апаратів топології і тензорного аналізу.

Складна система розчленовується на підсистеми, для яких будуються топологічні моделі. Для кожної з підсистем проводяться аналіз і будуються рішення. Загальний розв'язок отримується шляхом зчленування певних окремих рішень для підсистем. При розрахунку нових систем можна використовувати результати розрахунку добре вивченої еталонної системи.

Автором [3] були проведені розрахунки щодо оптимізації заданої мережі авіаліній за критерієм мінімальних сумарних втрат доходу при незаповнених пасажирських кріслах.

Далі в роботі вивчена аналогія між тензорним методом і модифікованим симплексним методом Данцига.

М. Јаніс в роботі [4] розглядає проблему впливу затримок на ефективність функціонування мережі авіамаршрутів.

Автор [4] пропонує модель з визначення смності системи управління повітряним рухом. Дана модель базується на теорії мереж масового обслуговування.

Основною метою вирішення завдань управління потоками (*Flow Management Problem*), як зазначено в роботі [4], є мінімізація витрат, пов'язаних із затримками в аеропортах.

Частина досліджуваної загальної проблеми

Авіакомпанії, які прагнуть забезпечити в кожному польоті пасажирське завантаження, достатнє для безбиткової роботи, не можуть зв'язати всі пункти відправлення та призначення прямими рейсами. Тому діюча мережа авіаліній забезпечує прямі зв'язки лише 70 з 1650 активних комбінацій. Використовуючи ці 70 прямих зв'язків, авіакомпанії за допомогою фідерних ліній організовують повітряні сполучення по всіх інших напрямках (рис. 1). У результаті створюється транзитний потік пасажирів, який, за даними

дослідження [1] становить 25–40 % загального обсягу пасажирських перевезень.

Для того щоб задовольняти зростаючий попит на повітряні перевезення, авіакомпанії змушені або переходити на літаки з великою кількістю пасажирських крісел, або систематично збільшувати кількість рейсів на більшій частині авіаліній, що викликає перевантаження основних аеропортів (хабів). Дослідження [5] показали, що перевантаження аеропортів понад їх практичні можливості призводить до затримок, розміри яких збільшуються по експоненті (рис. 2).

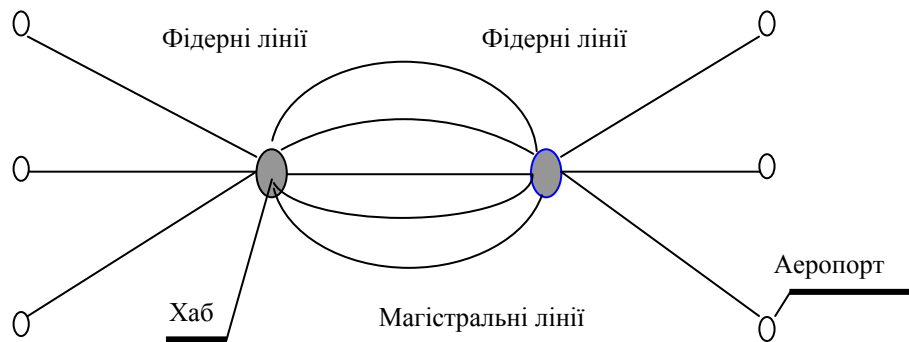


Рис. 1. Структура діючої мережі авіамаршрутів

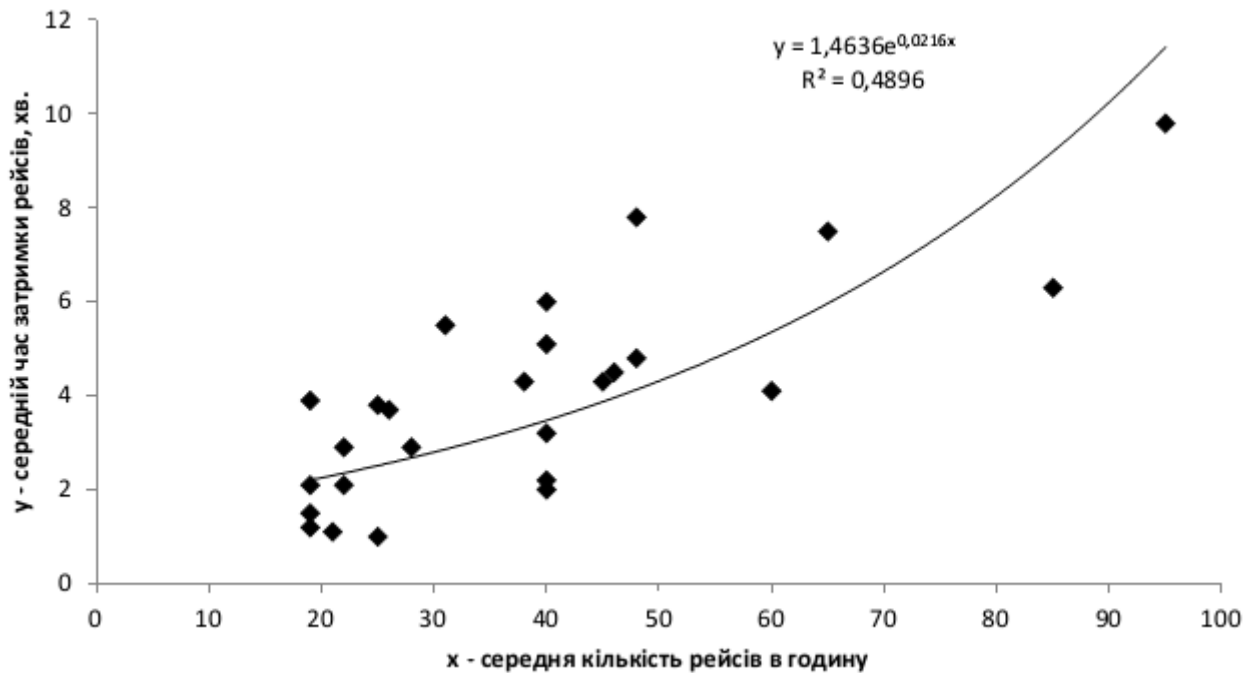


Рис. 2. Залежність затримки від інтенсивності рейсів в аеропорту (за даними праці [5])

У 2012 р. з 44 712 авіарейсів з аеропорту «Бориспіль» (з них 92 % — міжнародні) 27 % рейсів запізнилося не менш ніж на 15 хв. Якщо навіть один єдиний аеропорт з майже 45 тисячами щорічними авіарейсами в мережі авіаліній відчуває таке перевантаження, то це тією чи іншою мірою відбивається на всій системі, утворюються черги в усіх зв'язаних аеропортах, що порушує регулярність польотів. При перевантаженні декількох

аеропортів збитки від затримок рейсів перевищують вигоди від зниження собівартості перевезень, отримані при досягненні більшої щільності авіаперевезень. Загальний результат роботи такої системи — зростання витрат через збільшення витрат палива в режимі набору-зниження і більшого часу польоту від початкового до кінцевого аеропорту, зниження середньорічного нальоту ПС. Збільшення затримок призводить до зни-

ження індексу «комфорт», і пасажирів починають вибирати іншу авіалінію або інший вид транспорту.

Результати дослідження

Вирішення проблеми пропонується у вибірково-му збільшенні числа безпосадкових зв'язків у мережі маршрутів (рис. 3).

У результаті буде досягнуто деяке розвантаження великих аеропортів. Це так звана концепція декомпозиції мережі маршрутів. Використання цієї концепції залежить від конкуруючих

авіакомпаній, а також схвалення і затвердження регулюючих органів.

Логічна здійсненність концепції потребує аналітичної перевірки щодо можливості кількісної оцінки і вимірювання її впливу на пасажирів, авіакомпанії і авіабудівні фірми (рис. 4).

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

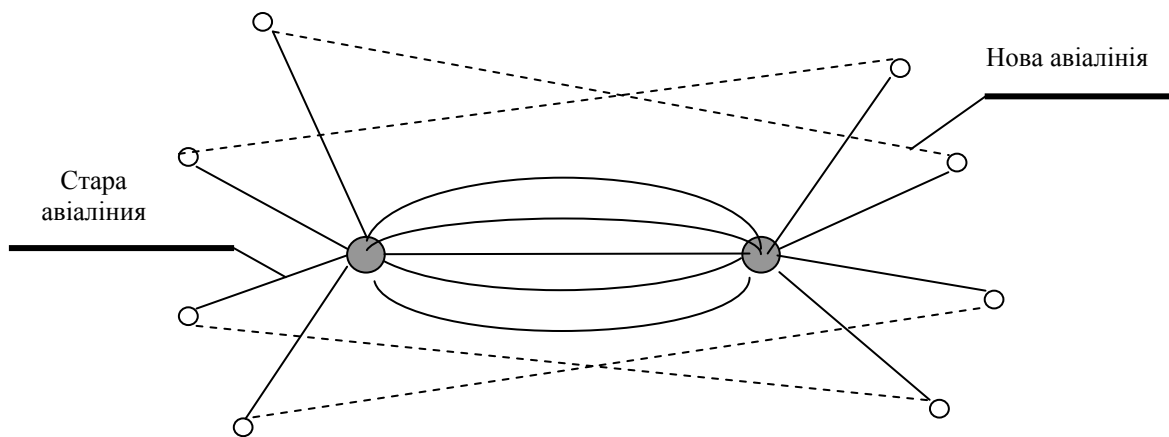


Рис. 3. Пропонована структура мережі маршрутів

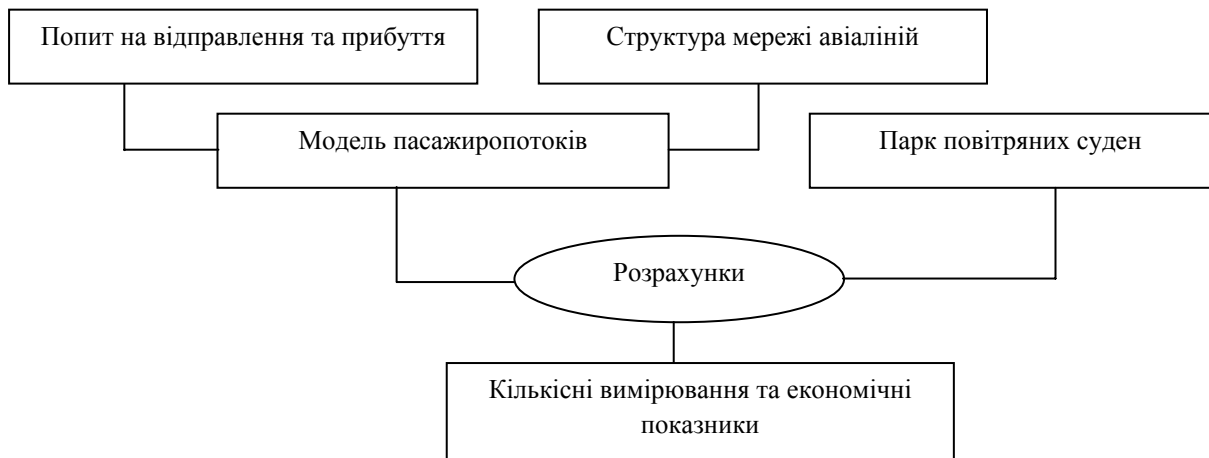


Рис. 4. Схема дослідження

Основою схеми дослідження цього впливу була модель руху (пасажиропотоків) і парку літаків (з погляду його техніко-економічних показників). У процесі реалізації моделі розробляються рекомендації про склад парку, який найбільшою мірою відповідає досліджуваному пасажиропотоку.

При розробці моделі пасажиропотоків необхідно підготувати дані, що характеризують відправлення та прибуття, між фіксованою кількістю населених пунктів. Звичайно, у розширеній мережі порівняно з існуючою істотно збільшить-

ся число зв'язків, загальна протяжність мережі маршрутів і кількість рейсів; зменшиться пасажиропотік на маршруті і кількість потрібних крісел N_t у літаку типу t . Математично модель руху пасажиропотоків на існуючій і у варіантах розширеної мережі, парку існуючих і у варіантах оновленого парку літаків (з меншим значенням N_t) можна записати в такому вигляді:

– максимізувати лінійну форму

$$P_r = \sum_i^{m_r} \sum_j^{n_r} c_{ij}^r x_{ij}, \quad r = \overline{0, R} \quad (1)$$

у разі обмежень

$$\sum_{i=1}^{m_r} p_{ij}^r x_{ij} \geq d_j^r, \quad j = \overline{1, n_r}; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n_r} x_{ij} \leq a_i^r, \quad i = \overline{1, m_r}; \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m_r}, \quad j = \overline{1, n_r}, \quad (4)$$

де $P_{r=0}$ — сумарний річний прибуток авіакомпанії на існуючій мережі при існуючому складі парку літаків; $P_{r=\overline{1, R}}$ — сумарний річний прибуток авіакомпанії при R варіантах декомпозиції мережі маршрутів і відповідних варіантах оновлення парку літаків; c_{ij}^r — річний прибуток одного літака i -го типу на j -му маршруті; d_j^r — річний пасажиропотік на j -му маршруті; p_{ij}^r — річна продуктивність одного літака i -го типу на j -му маршруті; a_i^r — кількість літаків i -го типу у парку авіакомпанії; x_{ij} — кількість літаків i -го типу на j -му маршруті (невідома змінна); n_r — кількість маршрутів в декомпозиції r ; m_r — кількість типів літаків в декомпозиції r .

У моделях (1)–(4) як мережа маршрутів, так і парк літаків у всіх варіантах $r \in \{1, R\}$ декомпозиції розглядаються лише як доповнені версії моделі варіанта $r = 0$, хоча в практичних задачах умова рекурсії не обов'язкова.

Якщо $\{1, R\}$ — множина варіантів декомпозиції розширеної мережі, то найкращий варіант r^{opt} визначається тривіально за умови, що отриманий ефект

$$E = \max_{r \in \{1, R\}} \max_{x_{ij}} P_r(x_{ij}) - \max_{x_{ij}} P_0(x_{ij}) > 0. \quad (5)$$

Очевидно, що найбільш трудомістка частина розрахунків буде пов'язана з коригуванням вихідних даних c_{ij}^r , p_{ij}^r , d_j^r , a_i^r для кожного варіанта декомпозиції $r \in \{1, R\}$ існуючої мережі.

Ефект (5) від проведення такої реорганізації буде отриманий тільки в тому випадку, якщо вона буде проведена на всій мережі маршрутів, а не по окремих маршрутах і аеропортах.

Висновки

1. Вплив концепції декомпозиції мережі маршрутів можна вимірювати в зниженні показника перевезень у пасажиро-кілометрах, а також в економії часу та підвищення комфорту.

2. Виграш авіакомпаній полягає в тому, що реалізація концепції дає можливість збільшити прибуток і відсоток повернення на вкладений капітал.

3. Виграш хаб-аеропортів полягає в їх розвантаженні. І завдяки зменшенню затримок не виключається можливість повернути частину пасажиропотоків на фідерні маршрути.

4. Авіабудівні фірми внаслідок нового підходу до структури мережі маршрутів повинні працювати над великою кількістю типорозмірів літаків, які відповідають потребам, що виникають на маршрутах з різною щільністю перевезень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Landan Z. H., Margulies R. A. Interurban transportation system analysis / Z. H. Landan, R. A. Margulies // AIAA Paper. — № 1037. — 1969. — 6 p.

2. Исаев С. С. Трансформация территориальной организации международных пассажирских авиаперевозок в конце XX — начале XXI вв.: дис. ... к-та географ. наук: 25.00.24 / С. С. Исаев; [Место защиты: Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова]. — Москва, 2011. — 168 с.

3. Королькова М. А. Оптимизация сети авиалиний на основе тензорной методологии [Текст]: дисс. ... к-та техн. наук : 05.22.14 / М. А. Королькова [Место защиты: Академия гражданской авиации]. — Санкт-Петербург, 2003. — 152 с.

4. Janić M. Air transport system analysis and modeling: Capacity, Quality of Services and Economics / Janić Milan. — Malaysia : Gordon and Breach Science Publishers, 2000. — 301p.

5. Patoskie J. D. System Wide Capacity Enhancement for the Future U.S. Airport Network: A New Generation of Hub and Route Optimisation Model, PhD Thesis. — Texas: Texas Tech. University, 1990. — 120 p.

Стаття надійшла до редакції 03.03.2014.