

УДК 656.7.072.6(045)

**МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВІАТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ****К. В. Марінцева**

Національний авіаційний університет

kristin22@ua.fm

*Викладено основні принципи та методологію оцінювання ефективності функціонування та розвитку авіатранспортної мережі країни з урахуванням сучасних тенденцій розвитку авіаційної галузі.*

**Ключові слова:** ефективність, авіатранспортна мережа, концепція оцінювання ефективності, критерій ефективності.

*The efficiency evaluation of the country air-transport network functioning and development basic principles and methodology is described with taking into account modern tendencies of the aviation industry development.*

Keywords: effectiveness, air-transport network, concept of the effectiveness evaluation, criterion of efficiency.

**Постановка проблеми**

Із статистичних досліджень Усесвітньої торгової організації [1] можна зробити висновок про те, що на сьогодні етап інтенсивного розвитку світової авіатранспортної мережі майже завершився. Маючи певну «консервативність», зумовлену сформованими напрямками основних пасажиропотоків, сталими центрами бізнесу, традиційними місцями туризму і відпочинку, світова авіатранспортна мережа в найближчій перспективі буде розвиватися порівняно повільними темпами і в рамках сформованої структури.

Водночас цілком можливі і навіть неминучі зміни структури авіатранспортної мережі в окремих регіонах, у тому числі і в Україні. У звіті про розвиток авіаційної галузі України [2] зазначено, що в 2000–2011 рр. ринок авіаційних перевезень у нашій державі розвивався досить динамічно (за винятком 2009 р.). Поступово в цілому за 11 років обсяги пасажирських перевезень українських авіакомпаній зросли майже в шість разів (відносно 2000 р.).

Суттєвими чинниками зростання у звіті [2] названі подальше розширення маршрутної мережі, збільшення інтенсивності польотів на опанованих напрямках, оновлення парку повітряних суден, введення в експлуатацію в деяких аеропортах («Бориспіль», «Донецьк», «Львів», «Харків», Київ «Жуляни») нових об'єктів і реконструкція існуючих. Слід зазначити, що на збільшення ринку авіаційних послуг останнім часом впливає входження в Україну авіакомпаній, що дотримуються політики низьких витрат (*low cost*) при організації своєї діяльності.

Аналіз авіатранспортної мережі України показує, що існує сталий розвиток міжнародних середньомагістральних перевезень, більшість перевезень здійснюється через аеропорт «Бориспіль», пряме сполучення між регіональними аеропортами майже відсутнє, хоча і спостерігаються спроби щодо їх започаткування та розвитку,

співвідношення міжнародних та внутрішніх перевезень українських авіаперевізників становить приблизно 80–85 % та 15–20 % на користь міжнародних. Процес розвитку як внутрішніх, так і міжнародних перевезень стримується, більшою мірою, потенційною економічною недоцільністю здійснення перевезень (більш високі ціни порівняно з іншими видами транспорту, низький платоспроможний попит), і недостатньою кількістю у перевізників, що зареєстровані в Україні, повітряних суден.

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

**Аналіз досліджень і публікацій**

Виділення математичних досліджень транспортних потоків у самостійний розділ прикладної математики вперше було здійснено Ф. Хейтом [3]. Наприкінці 80-х та на початку 90-х років ХХ ст. в США проблеми дослідження транспортних систем були зведені в ранг проблем національної безпеки. До вирішення цього завдання були залучені кращі «фізичний розум» і комп'ютерна техніка відомої Los-Alamos National Laboratory (LANL). У LANL було зроблено велику кількість моделей, призначених для оптимізації функціонування транспортних мереж. У цьому класі моделей вирішуються завдання оптимізації маршрутів пасажирських і вантажних перевезень, вироблення оптимальної конфігурації транспортної мережі та ін.

Методи оптимізації транспортних мереж являють собою велику область досліджень. Основи цього напрямку викладені, наприклад, у працях [4; 5].

У дослідженнях, присвячених методам оцінки ефективності функціонування транспортних систем взагалі [6; 7], основним показником ефективності називають *інтегральну транспортну доступність*, яка вимірюється в середньозважених витратах часу, необхідних для того, щоб дістатися з будь-якого населеного пункту до будь-якого іншого в межах певної території. Показник розраховується окремо для вантажних та пасажирських перевезень і характеризує потенційні можливості даного місця (населеного пункту, адміністративного району, регіону в цілому) для здійснення різноманітних транспортних зв'язків, оцінює технічну надійність мережі комунікацій. Тобто транспортна доступність розглядається як специфічний територіальний ресурс, одна з найважливіших умов розвитку економіки на певній території. Показник інтегральної транспортної доступності оцінює позиційно-технічну надійність зв'язків у регіоні і є характеристикою транспортно-географічного положення населених місць. Доступність виступає синтетичною характеристикою територіальної організації транспорту. Не випадково вона широко застосовується у формуванні принципів транспортної політики [8], під час оцінювання якості життя.

**Мета статті** — визначення основних принципів та методології оцінювання ефективності функціонування та розвитку авіатранспортної мережі країни з урахуванням сучасних тенденцій розвитку авіаційної галузі.

### Результати дослідження

Основним завданням діяльності авіатранспортної системи (АТС) є забезпечення потреб громадян і економіки у сфері надання послуг із здійснення повітряних перевезень і виконання авіаційних робіт. До підсистем АТС віднесемо аеропорти, авіакомпанії, повітряні судна, підприємства з організації повітряного руху, організації технічного обслуговування й ремонту повітряних суден, центри підготовки персоналу, науково-дослідницькі організації, навчальні заклади. Незважаючи на те, що кожна із підсистем є відносно самостійною, виконує тільки її притаманні специфічні функції, тим не менше, всі вони взаємодіють як між собою, так і з іншими системами зовнішнього середовища АТС.

Для обґрунтованого формування стратегії розвитку АТС країни необхідно мати прогноз розвитку авіатранспортної мережі — системи аеропортів і авіаліній, що їх з'єднують.

З інженерного погляду системи, продукти, події можуть бути охарактеризовані з використанням коефіцієнта ефективності або корисного виходу із загального входу, що називається *ефективністю*. Взагалі, ефективність — те, що ми можемо «мати» з будь-якого процесу. Ефективність можна охарактеризувати за допомогою різних показників. Легко зрозуміти, що існує занадто багато різних показників, які можуть бути застосовані для оцінювання ефективності.

Здається, що ефективність може бути дуже просто визначена як якість або компетентність у продуктивності, тобто можливість виконати будь-яке завдання з мінімальними витратами ресурсів. Також ефективність є показником, якою мірою система або компонент виконує свої функції при мінімально можливому споживанні ресурсів.

З іншого боку, оцінити ефективність — це складне завдання, тому що цей термін має різні значення для різних народів, у той час як транспортна система має визначальну роль в економіці та суспільстві. Ефективність залежить від:

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

Ефективність авіатранспортних мереж пов'язана з такими питаннями, як: формування попиту, обґрунтування обсягів авіаперевезень і ємностей, що надаються, способів виробництва польотів, раціональне використання наявних у авіапідприємств ресурсів.

Комплексна оцінка ефективності функціонування авіатранспортної мережі має визначити наявність запиту на цю мережу в потенційних користувачів, тобто повинен існувати попит на послуги даної авіамережі. Сучасні умови розвитку авіатранспортних мереж потребують обов'язкового врахування динаміки відповідного сегмента ринку. Без попиту розвиток авіатранспортної мережі є економічно, а значить, і технологічно необґрунтованим. Зроблене твердження кардинально змінює методологічні підходи до проблеми підвищення ефективності авіатранспортних систем.

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

Будемо розрізняти *цільову і технологічну ефективність*. Під цільовою ефективністю авіатранспортної мережі розуміється ступінь відпо-

відності функціонування досліджуваної мережі її цільовим призначенням, тобто ступінь досягнення мети; під технологічною (ресурсною) ефективністю — ступінь інтенсивності використання ресурсів мережі з погляду 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 прояву ефективності називають показником ефективності  $W$ . Дамо більш розгорнуте визначення ефективності авіатransпортної мережі: *показник ефективності авіатransпортної мережі — це кількісна характеристика кінцевого результату її функціонування і розвитку протягом обумовленого періоду порівняно з витратою ресурсів при заданих характеристиках стану мережі та впливу зовнішнього середовища, а також при заданому векторі управління.*

У найбільш загальній формі узагальнений показник ефективності авіамережі пропонується будувати як певну функцію

$$W = \Phi(Y_k, Y_n, U_k, U_n),$$

де  $Y_k$  — можливий або фактично досягнутий корисний ефект (кінцевий результат) функціонування і розвитку авіамережі;  $Y_n$  — цільовий корисний ефект (необхідний кінцевий результат) функціонування і розвитку авіамережі;  $U_k$  — можлива або фактична кількість витрачених ресурсів для отримання  $Y_k$ ;  $U_n$  — мінімально необхідна кількість ресурсів для отримання  $Y_n$ .

Якщо  $Y_k, U_k$  розглядаються як можливі величини, то йдеться про прогнозування ефективності, а коли  $Y_k, U_k$  фактично отримані, то показник  $W$  буде відображати фактично досягнуту ефективність за деякий період функціонування авіамережі.

Для ухвалення рішення про досягнення мети, необхідно обрати *критерій ефективності*, тобто правило, що дає можливість зіставляти стратегії, які характеризуються різним ступенем досягнення мети, і здійснювати спрямований вибір стратегій з множини допустимих.

Критерій ефективності вводиться на основі певної концепції раціонального поведіння (розроблення рішень): придатності, оптимізації, адаптації.

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

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

де  $U$  — множина допустимих стратегій.

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

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

Розв'язком може бути множина рівноцінних оптимальних стратегій  $U^* \in U$ . При цьому показник ефективності  $W(u)$  — скаляр.

*Концепція адаптації авіатransпортної мережі.* При цій концепції стратегія  $u$  може змінюватися в процесі функціонування мережі. При цьому в поняття стратегії включаються також параметри мережі та її структура. Зміни проводяться на основі не тільки апріорної інформації, але також поточної й прогнозної.

Множина допустимих стратегій  $U$  і ціль функціонування авіамережі також можуть змінюватися. У рамках такої концепції раціональною вважається така адаптивна стратегія  $u(t)$  з множини  $U(t, \tau)$ , що забезпечує, наприклад, виконання умови

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

де  $t$  — час;  $\tau$  — випередження прогнозу.

Запис  $W_i$  означає, що показник ефективності може змінюватися в часі.

Найважливішим правилом під час вибору критерію ефективності авіатransпортної мережі є погодженість її мети функціонування з обраним критерієм.

Ефективність авіатransпортної мережі може бути досліджена на різних рівнях, тобто на рівні зацікавленості і розміру. У першому випадку оцінка ефективності залежить від поставленої мети і може бути визначена витратами енергії, фінансів, індивідуальними потребами, потребами суспільства (рис. 1).

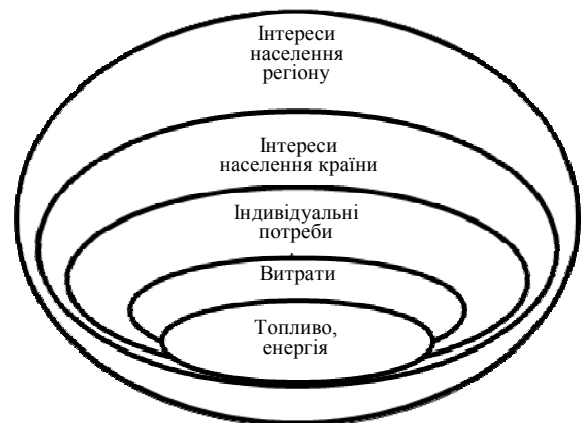


Рис. 1. Области інтересів у визначенні ефективності розвитку авіатransпортної мережі країни

*Критерій паливної ефективності* авіатранспортної мережі – це енергія, яка використовується для однієї льотної години, транспортування одиниці комерційного завантаження, одного пасажера або транспортна робота, виконана шляхом використання однієї одиниці енергії. Математично дані критерії можна записати в такому вигляді:

$$K_{\text{еф1}} = \frac{\text{Кількість використовуваного палива}}{\text{Наліт годин}}, \quad (1)$$

$$\left[ \frac{\text{кг (л)}}{\text{год}} \right];$$

$$K_{\text{еф2}} = \frac{\text{Кількість використовуваного палива}}{\text{Кількість транспортної роботи}}, \quad (2)$$

$$\left[ \frac{\text{кг (л)}}{\text{ткм}} \right];$$

$$K_{\text{еф3}} = \frac{\text{Кількість використовуваного палива}}{\text{Пасажирообіг}}, \quad (3)$$

$$\left[ \frac{\text{кг (л)}}{\text{пас. км}} \right];$$

$$K_{\text{еф4}} = \frac{1}{K_{\text{еф3}}} \left[ \frac{\text{пас. км}}{\text{т (л)}} \right];$$

$$K_{\text{еф5}} = \frac{1}{K_{\text{еф2}}} \left[ \frac{\text{ткм}}{\text{т (л)}} \right]. \quad (4)$$

Виробники повітряних суден скорочують споживання палива безперервно. Сьогодні звичайний повітряний транспорт споживає палива на 1 пас. км не більше автомобільного транспорту [9].

Якщо енергетичні коефіцієнти визначати для всієї транспортної системи країни, то розрахунки будуть набагато більш складними, тому що необхідно брати до уваги використання енергії в ході створення інфраструктури, наприклад, дорожнього будівництва, будівництва злітно-посадкових смуг і тощо.

*Критерій ефективності витрат* дуже схожий на коефіцієнти паливної ефективності (1)–(4), тільки замість палива, що витрачається, розглядаються витрачені фінансові ресурси. Звичайно, витрати можуть бути розраховані за допомогою різних підходів, як це показано на рис. 2.

З погляду авіакомпанії, слід окремо розглянути прямі і непрямі експлуатаційні витрати.

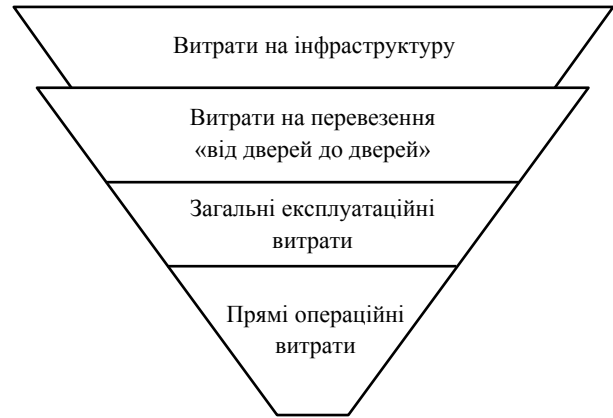


Рис. 2. Ієрархія витрат на функціонування авіатранспортної мережі країни

Однак для користувачів авіатранспорту загальні витрати на перевезення є більш важливими, ніж витрати на окремі операції або стадії перевезень, оскільки потенційні пасажери і вантажна клієнтура є користувачами послуг транспортної системи в цілому.

Користувачі намагаються мінімізувати вартість перевезення, об'єднуючи різні види транспорту. Тому у формуванні авіатранспортної мережі необхідно використовувати логістичні підходи. Крім того, треба брати до уваги всі витрати, пов'язані з використанням природних ресурсів і розвитком інфраструктури, необхідними для функціонування авіатранспортної мережі країни.

*Критерії ефективності з погляду індивідуальних потреб* ґрунтуються на ступені задоволення попиту на окремі авіалінії. Однак формування цих критеріїв і оцінок є досить складною проблемою. Різні групи людей мають різні пріоритети в оцінюванні можливостей перевезення. Рішення про перевезення приймаються залежно від часу, вартості, доступності, безпеки і т. д. Зупинимося на часовому критерії, тобто на тих споживачах авіамережі, для яких ефект економії часу може бути найважливішим чинником.

Отже, індивідуальні вимоги можуть бути охарактеризовані часом, використовуваним для заданої поїздки, перевезення. Критерій, виражений часовим коефіцієнтом, можна розрахувати як енергетичні коефіцієнти (2)–(4) із заміною енергії або палива на час. Тут необхідно врахувати час польоту, час, необхідний для поїздки від аеропорту до аеропорту, час, витрачений на перевезення «від дверей до дверей», тобто з урахуванням витраченого часу на перевезення іншими видами транспорту або час, пов'язаний з експлуатацією транспортних систем для підтримки економіки.

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, у свою чергу, залежить від характеристик і розвитку відповідної інфраструктури та умов експлуатації (наприклад, погодні умови). Як правило, час перевезення залежить також від взаємодії на міждержавному рівні (час, що використовується для адаптації 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. Усе це повинно бути враховано при розрахунку часового коефіцієнта критерію ефективності розвитку авіамережі з погляду індивідуальних потреб.

*Інструментарій, застосовуваний для дослідження ефективності авіамережі, можна розділити на три рівні [10]:*

– 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.

### Висновки

Топ-менеджери авіапідприємств, науковці, споживачі транспортних послуг завжди з цікавістю вивчають звіти міжнародних авіаційних організацій, державної авіаційної влади України щодо розвитку авіаційної галузі.

На інтуїтивному рівні ми робимо висновки про ефективність функціонування нашої авіатранспортної системи взагалі, та авіамережі зокрема, якщо фіксуємо приріст авіаперевезень, збільшення кількості рейсів, появу нових маршрутів, нових моделей бізнесу авіакомпаній та т. ін.

Але, як було зазначено вище, проблема оцінювання ефективності функціонування та розвитку авіамережі є більш глибокою та складною. Запропонована методологія дозволяє спростити задачу оцінювання ефективності авіамережі країни через визначення концепції функціонування даної мережі, класифікацію критеріїв ефективності за рівнями інтересів та ієрархією витрат.

Наступним кроком у дослідженні ефективності авіамережі України має бути розроблення конкретних методів із застосуванням інструментарію дослідження ефективності різних рівнів узагальнення чи спеціалізації, які нададуть можливість більш формалізовано та об'єктивно оцінювати відповідність функціонування та планів розвитку авіаційної системи реальним потребам споживачів авіапослуг та національним інтересам країни.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Air transport, registered carrier departures worldwide*. Офіційний сайт світового банку. Розділ статистичні дані. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://search.worldbank.org/data?qterm=aviation%20traffic&language=EN>

2. Підсумки діяльності авіаційної галузі України за 2011 рік. Офіційний сайт Державної авіаційної служби України. [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<http://www.avia.gov.ua/documents/diyalnist/pidsumki%20diyalnosti/>

3. *Хейт Ф.* Математическая теория транспортных потоков / Ф. Хейт. — М. : Мир, 1966. — 286 с.

4. *Автоматизация управления транспортными системами* / А. Артынов, В. Ембулаев, А. Пупышев, В. Скалецкий. — М. : Наука, 1984. — 272 с.

5. *Стенбринк П.* Оптимизация транспортных сетей / П. Стенбринк; пер. с англ. Е. М. Васильевой, В. В. Космина; под ред. В. Н. Лившица. — М. : Транспорт, 1981. — 320 с.

6. *Дорошенко В. І.* Основні показники та індикатори функціонування пасажирської авіотранспортної системи // Вісник Київського університету. Сер. Географія / В. І. Дорошенко, К. Д. Діденко. — К., 2005. — Вип. 51. — С. 35–36.

7. *Методология* изучения региональной транспортной инфраструктуры (на примере Мордовии) // Известия РАН. Серия географическая. — № 1. — 2009. — С. 48–56.

8. *Леонтьев Р. Г.* Формирование единой региональной транспортной системы (программно-целевой подход) / Р. Г. Леонтьев. — М. : Наука, 1987. — 151 с.

9. *Rohacs J.* Evaluation of the air transport efficiency definitions and their impact on the European Personal Air Transportation System development // Transactions of the institute of aviation. — № 3 (205). — 2010. — P. 14–32.

10. *Антамошкин А. Н.* Методика дослідження ефективності складних ієрархічних систем / А. Н. Антамошкин, О. Н. Моргунова, Е. П. Моргунов. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: [http://www.morgunov.org/docs/o\\_paper10.pdf](http://www.morgunov.org/docs/o_paper10.pdf)

Стаття надійшла до редакції 28.11.2012.