

5. ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

DOI: <https://doi.org/10.32782/2523-4803/74-2-12>

УДК 656.025.4

Вінюков-Прощенко А.С.

кандидат економічних наук,
Національний авіаційний університет

Войцеховський В.С.

кандидат технічних наук,
Національний авіаційний університет

Яременко В.Ю.

студент,
Національний авіаційний університет

Vinyukov-Proshchenko Artur, Voitsehovskiy Viktor, Yaremenko Valentyn

National Aviation University

УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ АЕРОПОРТІВ ПРИ МІЖНАРОДНІЙ ІНТЕГРАЦІЇ

Стаття присвячена дослідженню методик оцінювання функціонування аеропортів при міжнародній інтеграції та їх удосконаленню. Проаналізовано останні наукові дослідження щодо оцінювання функціонування міжнародних аеропортів та виявлено, що найбільш активно при цьому застосовуються початковий аналіз охоплення даних (DEA) та різні варіанти квантильної регресії, регресії Тобіт, методи регіону забезпечення, SBI та DMU, індекс Малмквіста, дерево класифікації та регресії, інструмент бутстрепінгу та інші засоби. Було підтверджено, що існуючі методики оцінювання функціонування аеропортів мають значну кількість показників для розрахунків на основі визначення економічної, технічної чи загальної ефективності. Охарактеризовано параметричні методи оцінювання функціонування аеропортів, їх переваги та недоліки. Деталізовано методологію стохастичного граничного аналізу (SFA), використання непараметричного підходу для вимірювання ефективності аеропорту, вимірювання загальної ефективності двоступеневих DMU зі спільними ресурсами. Були охарактеризовані методичні підходи на основі використання моделі просторової регресії, моделі AAG і моделі стохастичної межі. Було описано методологію визначення цільової функції Eff^h для вимірювання ефективності кожного аеропорту DMU^h. Було запропоновано схему оцінювання функціонування аеропортів за вхідними та вихідними показниками, яка включає тримодульну систему оцінювання за пасажирським, вантажним та спільним модулем. При цьому вантажний модуль є авторським напрацюванням і його створення обумовлено тим, що значна кількість авіаційних вантажних потоків обслуговуються на пасажирських літаках. До групи вхідних показників вантажного модулю включено довжину фронту навантажувально-розвантажувальних робіт, кількість місць приймання вантажу, робочу площу стелажного і штабельного зберігання вантажів, кількість електронавантажувачів і автомобілів з підйомним кузовом, а також кількість вантажних складів, а вихідними показниками визначена кількість генеральних та спеціальних категорій вантажів.

Ключові слова: аеропорт, оцінювання ефективності, міжнародна інтеграція, методика.

Постановка проблеми. Проблеми оцінювання функціонування аеропортів із кожним роком посилюються та вимагають удосконалення існуючих методів. Міжнародні аеропорти відзначаються значним рівнем міжнародної інтеграції та транснаціоналізації,

оскільки магістральний авіаційний транспорт є глобальним міжконтинентальним видом транспорту, що створює необхідність у створенні та реалізації відповідних механізмів оцінки міжнародного інтеграційного потенціалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Здійснюючи критичний аналіз наукових публікацій щодо оцінювання функціонування аеропортів відзначимо найбільш цікаві із них.

В рамках дослідження О.Р. Нваогбе та ін. [1] було застосовано новий двоетапний підхід з метою проведення оцінювання ефективності найбільших аеропортів Нігерії на основі початкового аналізу охоплення даних (DEA) та цензурованої квантильної регресії. Наукове дослідження Б. Кескіна та К.Д. Кьоксала [2] цінне новою інтерпретацією аналітичного процесу ієрархії, використанням аналізу охоплення даних, а також оригінальним за стосунком методу регіону забезпечення.

Застосування неорієнтованої моделі DEA при залученні методу SBI з метою перерозподілу переданих вхідних даних щодо витратних складових між різними аеропортами реалізоване у [3] дозволило, серед іншого, створити передумови для ефективного перерозподілу ресурсів аеропорту. Методологічною основою дослідження проведеного А.С. Паканеллі Джуніором та ін. у [4] виступила двоетапна модель DEA та індекс Малмквіста. Використання непараметричного підходу для вимірювання ефективності аеропорту (DEA-SBM) та регресії Tobit при багатофакторному аналізі дозволили Т. М. Хюїнь та ін. у [5] адекватно оцінити ефективність діяльності аеропортів Південно-Східної Азії.

Наукове дослідження В.С. Озоя та Х.Х. Оркчу [6] спрямоване на реалізацію двоетапної процедури для оцінки ефективності аеропортів, при цьому було використане дерево класифікації та регресії, а також підхід аналізу огортання даних. Відмінною особливістю дослідження [7] стало застосування бутстрепінгу, що дозволило емпірично продемонструвати ефективність роботи аеропортів в умовах змінної віддачі від масштабу, також були використані методи регресійного аналізу. Відзначаючи недоліки методів DEA та DMU М. Ховейні та Р. Есламі у [8] запропоновано мережеву DEA через використання лінійної моделі, орієнтованої на вхід-вихід, для забезпечення вимірювання загальної ефективності двоступеневих DMU зі спільними ресурсами.

Незважаючи на значну кількість публікацій дослідження існуючих методик щодо оцінювання функціонування аеропортів за умов міжнародної інтеграції потребує подальшого вивчення та удосконалення.

Формулювання цілей статті. Метою статті є удосконалення існуючих методів оцінювання функціонування аеропортів при міжнародній інтеграції та відповідна їх інтерпретація.

Виклад основного матеріалу. Існуючі методи оцінювання функціонування аеропортів мають велику кількість показників для розрахунків. Саме по ним можна визначити цілі для оцінки ефективності. Це можуть бути як економічна або технічна ефективність функціонування, так і загальна ефективність аеропортів.

Як вірно зазначається у [9–11] параметричні методи суттєво обмежені необхідністю введення дуже обмежувальних гіпотез, які дуже часто важко обґрунтувати.

Також, при цьому, модель розподілу часто невідома, або неможливо задовольнити ці складні гіпотези, які, однак, є необхідними для того, щоб зробити їх застосування обґрунтованим. Параметричні методи вимагають виконання певних гіпотез, таких як нормальність, гомоскедастичність, незалежність та ідентичний стохастичний розподіл похибки. Загалом для реалізації цього методу найбільш доцільно використати методологію стохастичного граничного аналізу (SFA). Актуальність використання цього методу особливо проявляється при тестуванні ефективності, однак, в основному він застосовувався для оцінки ефективності прибуткових і неприбуткових організацій. Окремі дослідження, які описані раніше, пов'язані із застосуванням SFA для вимірювання ефективності аеропортів, включають: стохастичне дослідження аеропортів світу, технічну ефективність аеропортів Великобританії, стохастичний граничний аналіз для оцінки відносної ефективності іспанських аеропортів, а також стохастичний граничний аналіз, застосований до італійського аеропорту.

У той же час DEA – це процес оцінки ефективності, який використовується в останні десятиліття, оскільки він підходить для тестування різних аспектів ефективності роботи аеропорту, дозволяє проводити багатовимірні порівняння, враховуючи кілька вхідних і вихідних змінних одночасно, і для обробки яких було створено спеціальне програмне забезпечення для розрахунків. Обмеженням цієї моделі є її чутливість до даних і параметрів, що розглядаються. Дійсно, обираючи інші вхідні та вихідні змінні або беручи до уваги меншу кількість параметрів для оцінки, можна отримати інші результати. На основі наявних даних, DMU (decision-making unit), оцінюється як повністю ефективний (100%) тоді і тільки тоді, коли результати діяльності інших DMU не свідчать про те, що деякі з його ресурсів або результатів можуть бути покращені без погіршення інших ресурсів або результатів [9–11].

Як відзначається у [9] з точки зору методології дослідження, що використовується для порівняння та здійснення вимірювання ефективності роботи аеропортів, існують різні методичні підходи на основі використання моделі просторової регресії, моделі AAG і моделі стохастичної межі. Деякі дослідження були проведені з використанням одного методу, в той час як інші покладаються на комбінації вищезазначених методів. Мета моделі DEA полягає в тому, щоб кожна аналізована одиниця виглядала максимально ефективною порівняно з іншими одиницями, порівнюючи рівень входів і виходів кожного підрозділу DMU з рівнем інших підрозділів, використовуючи систему вагових коефіцієнтів α і β , яка робить можливим гомогенізацію розглянутих величин. У випадку аналізу аеропортів була визначена цільова функція E_{ff}^i для вимірювання ефективності кожного аеропорту DMUⁱ. Цей коефіцієнт ефективності описаний у [9; 12] представлений за допомогою рівняння (1):

$$MAXEff^i = \frac{\sum_{h=1}^p \beta_h O_h^i}{\sum_{k=1}^m \alpha_k I_k^i}, \quad (1)$$

де $MAXEff^i$ являє собою абсолютну оцінку ефективності аеропорту i ; O_h^i вказує на h виходів, що використовуються для аеропорту i ; I_k^i представляє k вхідних даних, що використовуються для аеропорту i ; α та β – це оптимальні ваги, що максимізують коефіцієнт корисної дії.

У той час дробову задачу за методикою, описаною у [9; 12], слід застосувати до кожної одиниці і накладати на неї наступні обмеження (2):

$$\begin{aligned} \frac{\sum_{h=1}^p \beta_h O_h^i}{\sum_{k=1}^m \alpha_k I_k^i} &\leq 1 \\ \alpha_i &\geq 0 \\ \beta_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Формула (1) з урахуванням обмежень (2) загалом еквівалентна задачі лінійного програмування (3). Цю задачу лінійного програмування можна вирішити за допомогою спеціального програмного забезпечення для визначення ефективності за допомогою моделі DEA [9; 12].

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{1}{(\min \sum_{k=1}^m \alpha_k I_k^i)} \\ \sum_{h=1}^p \beta_h O_h^i + \sum_{k=1}^m \alpha_k I_k^i &\geq 0 \\ \alpha_i &\geq 0 \\ \beta_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (3)$$

На основі підходів, описаних у [9], запропоновано схему оцінювання функціонування аеропортів за вхідними та вихідними показниками, яка представлена на рис. 1.

Було згруповано показники за спільним, пасажирським та вантажним модулями, що визначається виробними особливостями описаними далі. Загалом показники описані у [9] було розділено за пасажирським та спільним модулем, що є більш доцільним. При цьому запропонований нами вантажний модуль відображає важливість вантажної складової у майже кожному міжнародному аеропорту. Оскільки до чверті всіх світових вантажних потоків обслуговуються на пасажирських літаках і це є невід'ємною складовою успішного бізнесу, як для мережевих авіаперевізників, так і для аеропортів та інших учасників процесу обслуговування пасажирських та вантажних потоків у аеропортах.

Як відзначено у [9], з точки зору вхідних змінних, розглядаються економічно-фінансові фактори, такі як робоча сила та операційні витрати, або фактори, що враховують фізичну інфраструктуру аеропорту, такі як кількість злітно-посадкових смуг, площа терміналу, кількість стійок реєстрації або кількість гейтів. Що стосується репрезентативних факторів інфраструктури аеропорту, то ті з них, які зазвичай підпадають під дослідження операційної діяльності, пов'язані з тією частиною аеропорту, яка називається повітряною стороною, тобто зоною, де присутня льотна інфраструктура, така як злітно-посадкова смуга, перони



Рис. 1. Схема оцінювання функціонування аеропортів за вхідними та вихідними показниками

Джерело: доопрацьовано авторами на основі [9]

для літаків, обладнання, що з'єднує перони зі злітно-посадковою смугою, і рульові доріжки тощо.

У виділеному вантажному модулі схеми оцінювання функціонування аеропортів за вхідними та вихідними показниками запропоновані ряд ключових показників. До групи вхідних показників запропоновано включити довжину фронту навантажувально-розвантажувальних робіт, кількість місць приймання вантажу, робочу площу стелажного і штабельного зберігання вантажів, кількість електронавантажувачів і автомобілів з підйомним кузовом, а також кількість вантажних складів. При цьому вихідними показниками будуть кількість генеральних та спеціальних категорій вантажів. Останні є особливо важливими та високоаварітними у доставках авіаційним видом транспорту, а отже є ключовими для забезпечення успішності роботи

авіаперевізників, аеропортів та інших учасників процесу доставки.

Висновки. Проведене дослідження щодо удосконалення існуючих методик оцінювання функціонування аеропортів при міжнародній інтеграції та відповідна їх інтерпретація дозволили стверджувати, що вантажний модуль є обов'язковим елементом при цій оцінці. Встановлені вхідні та вихідні показники за цим модулем дозволять оцінити надзвичайно важливий аспект обслуговування вантажних потоків у міжнародних аеропортах, що є невід'ємною складовою функціонування аеропортів в умовах міжнародної інтеграції. Подальші наукові дослідження повинні стосуватися реалізації та практичного застосування запропонованої удосконаленої методики оцінювання функціонування аеропортів при міжнародній інтеграції.

Список літератури:

1. Nwaogbe O. R., Wanke P., Chukwuka O. I., Pestana B. C., Kalam A. A. (2018) Efficiency Driver in Nigerian Airports: A Bootstrap DEA – Censored Quantile Regression Approach. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, vol. 7, is. 2, pp. 15–31. DOI: <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1171>
2. Keskin B., Köksal C. D. (2019) A hybrid AHP/DEA-AR model for measuring and comparing the efficiency of airports. *International Journal of Productivity and Performance Management*, vol. 68, no 3, pp. 524–541. DOI: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2018-0043>
3. Ripoll-Zarraga A. E., Lozano S. (2020) A centralised DEA approach to resource reallocation in Spanish airports. *Annals of Operations Research*, vol. 288(2), pp. 701–732. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03271-6>
4. Pacagnella Junior A. C., Hollaender P. S., Mazzanati G. V., Bortoletto W. W. (2020) Infrastructure and Flight Consolidation Efficiency of Public and Private Brazilian International Airports: A Two-Stage DEA and Malmquist Index Approach. *Journal of Advanced Transportation*, vol. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/2464869>
5. Huynh T. M., Kim G., Ha H.-K. (2020) Comparative analysis of efficiency for major Southeast Asia airports: A two-stage approach. *Journal of Air Transport Management*, vol. 89. DPO: <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.101898>
6. Özsoy V. S., Örkücü H. H. (2021) Structural and operational management of Turkish airports: a bootstrap data envelopment analysis of efficiency. *Utilities Policy*, vol. 69. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101180>
7. Cifuentes-Faura J., Faura-Martínez U. (2023) Measuring Spanish airport performance: A bootstrap data envelopment analysis of efficiency. *Utilities Policy*, vol. 80. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2022.101457>
8. Khoveyni M., Eslami R. (2022) Two-stage network DEA with shared resources: Illustrating the drawbacks and measuring the overall efficiency. *Knowledge-Based Systems*, vol. 250. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.108725>
9. Henke I., Esposito M., della Corte V., del Gaudio G., Pagliara F. (2022) Airport Efficiency Analysis in Europe Including User Satisfaction: A Non-Parametric Analysis with DEA Approach. *Sustainability*, vol. 14. DOI: <https://doi.org/10.3390/su14010283>
10. Gillen D., Lall A. (1997) Developing Measures of Airport Productivity and Performance: An Application of Data Envelopment Analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 33, is. 4, pp. 261–273. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(97)00028-8)
11. Sarkis J., Talluri S. (2004) Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Environmental Performance. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, vol. 6, no 1, pp. 91–123.
12. Doyle, J., Green, R. (1994) Efficiency and cross-efficiency in DEA: Derivations, meanings and uses. *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 45, pp. 567–578.

IMPROVEMENT OF EXISTING METHODS FOR ASSESSING THE AIRPORT OPERATION IN THE CONTEXT OF INTERNATIONAL INTEGRATION

The article is devoted to the study of methods for assessing the operation of airports under international integration and their improvement. The recent scientific studies on assessing the operation of international airports were analyzed and it was found that the most actively used methods are the initial data envelopment analysis (DEA) and various variants of quantile regression, Tobit regression, assurance region methods, SBI and DMU, Malmquist index, classification and regression tree, bootstrapping tool and other tools. It was confirmed that the existing methods for assessing the airports' operation have a significant number of indicators for calculations based on the evaluation of economic, technical or overall efficiency. The parametric methods for assessing the operation of airports, their advantages and disadvantages were characterized. The methodology of stochastic frontier analysis (SFA), the use of a non-parametric approach to evaluate airport performance, and the evaluation of the overall efficiency of two-stage DMUs with shared resources were

described. The methodical approaches based on the use of the spatial regression model, the AAG model and the stochastic frontier model were characterized. The methodology for determining the target function Eff_i to assess the efficiency of each airport DMU_i was described. The scheme for assessing the airports' operation by input and output indicators was proposed, which includes a three-module assessment system for the passenger, cargo and joint modules. The cargo module is the authors' own development and its creation is justified by the fact that a significant number of air cargo flows are served by passenger aircraft. The group of input indicators of the cargo module includes the length of the loading and unloading work front, the number of cargo receiving points, the working area of rack and stack storage, the number of electric forklifts and lift trucks, as well as the number of cargo warehouses, and the number of general and special categories of cargo are defined as output indicators.

Key words: airport, efficiency assessment, international integration, methodology.