

# ТРАНСПОРТ

УДК 656.025.4

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2023.4/37>**Василенко І.В.**

Національний авіаційний університет

**Яременко В.Ю.**

Національний авіаційний університет

## ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ АЕРОПОРТІВ ЗА РІЗНИМИ МОДЕЛЯМИ

У статті відзначено важливість ефективного управління аеропортом, зростання інтересу до бенчмаркінгу аеропортів, що вимагає створення відповідного інструментарію та практичних рекомендацій для його використання. В результаті критичного аналізу попередніх наукових досліджень було виявлено, що недостатньо досліджуються проблеми операційної ефективності аеропортів. Охарактеризовано параметричні та непараметричні методи вимірювання ефективності аеропортів та ретельно вивчено наукові публікації у цьому напрямку. В той же час проаналізовано ті проблеми підвищення ефективності функціонування аеропортів, які досліджували вітчизняні науковці та відзначено, що не було виявлено дієвих інструментів комплексної порівняльної оцінки ефективності міжнародних аеропортів за різними моделями.

В результаті проведеного дослідження для порівняльної оцінки аеропортів нами використано дві моделі, які визначають технічну ефективність та загальну ефективність. Для розрахунків технічної ефективності аеропортів за першою моделлю використано MS Office Excel з додатком у вигляді програми для DEA CRS or VRS Input-oriented моделювання. Результати моделювання за першою моделлю показали, що технічна ефективність аеропортів Пальми та Осло є достатньою, в той же час аеропорти Варшави, Мілану (Мальпенса) та Афін мають неповне використання ресурсів.

Визначення загальної ефективності за другою моделлю не враховує кількості обслуженого вантажу. Ця модель використала CRS режим, тобто оцінку однорідних об'єктів та орієнтацію на вихідні параметри (результативність). За результатами проведеного моделювання виявлено, що тільки аеропорт Пальма має ефективні результати, а інші аналізовані аеропорти виявилися неефективними. Хоча тут відзначаємо, що порівняння проводилось за 2022 рік, коли аеропорти ще неповністю відновились від удару пандемії, а в поточному році пасажиропотік суттєво зріс. Було визначено необхідну кількість пасажирів, які додатково мають обслужити аеропорти Варшави та Мілану та додаткову кількість льотних операцій, які повинні виконати аеропорти Осло та Афін.

**Ключові слова:** аеропорт, ефективність, модель, порівняльна оцінка, моделювання, пасажирів, ресурси, аналіз, технічна ефективність.

**Постановка проблеми.** У найближчому майбутньому більш ефективно управління аеропортами стане ще важливішим аспектом, який вимагатиме найбільш повного вирішення. Структурні зміни в світовій авіаційній галузі призвели до зростання загального інтересу до бенчмаркінгу аеропортів. Розробка та реалізація інструментів бенчмаркінгу саме аеропортів має характерні відмінності, які вимагають створення не уніфікованих та універсальних, а більше точкових розробок. Суттєві відмінності у принципах господарювання різних аеропортів також вимагають більшого при-

працювання практичних рекомендацій щодо розробки та реалізації інструментів їх бенчмаркінгу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Хоча очевидно, що авіаперевізники активно використовують аеропорти та виникає при цьому чимало теоретично та практично значущих проблем існує мало досліджень, присвячених операційній ефективності аеропортів, в той же час багато досліджень пов'язані з економічним аналізом та впливом на навколишнє середовище. Дослідження, що стосуються техніко-експлуатаційного аспекту, зазвичай спрямовані на

аналіз і порівняння ефективності та продуктивності лише великих міжнародних аеропортів.

З операційної точки зору, можна виділити два різні методи вимірювання ефективності, які найчастіше застосовуються в аеропортах, а саме: параметричні та непараметричні методи. Параметричний метод полягає у формулюванні спеціальної функції, здатної робити висновки, визначаючи форму статистичного розподілу вибірки, залежно від кінцевого набору параметрів, що підлягають оцінці. Серед найбільш важливих досліджень, у яких відсвітлюється ця проблематика слід відзначити праці: Дж. Мартіна та ін. [1], А. Бергантіно та ін. [2]; Т. Оума та ін. [3]. З. Ліна та ін. [4].

Серед непараметричних методів найбільш широко застосовується в галузі аеропортів модель Data Envelopment Analysis (DEA). Фундаментальне дослідження аналізу ефективності аеропорту в Європі, включаючи користувачів через непараметричний аналіз із підходом DEA запропонували І. Хенке та ін. у [5]. Як відзначається ними науковці Д. Гіллен та А. Лалл першими застосували модель DEA для оцінки ефективності 21 аеропорту США за період з 1989 по 1993 рік [6]. Існує кілька прикладів застосування моделі DEA для аналізу ефективності американських аеропортів; наприклад, Дж. Саркіс і С. Таллурі оцінили, використовуючи варіацію моделі DEA, ефективність сорока чотирьох аеропортів США в період з 1990 по 1994 рік, і повідомили, що п'ять найкращих аеропортів потрапили в зони з теплою або стабільною атмосферою, в той час як п'ять найгірших аеропортів опинилися в більш холодному середовищі [7]. Крім того, всі аеропорти з найвищими показниками були вузловими аеропортами. Оцінка технічної ефективності малих регіональних аеропортів Колумбії представлено у дослідженні Д. Монтойя-Кінтеро та ін. [8].

Окремі проблеми підвищення ефективності функціонування аеропортів досліджували вітчизняні науковці. Особливо слід відзначити наукову працю Г. Стрелкової та Г. Агєєва [9], у якій досліджується енергетична ефективність аеропортів концепції аеропорту-міста. Науковці Ю. Харазішвілі та ін. у [10] вивчають стратегічні сценарії та інституційний супровід авіаційного транспорту України. Дослідники К. Сидоренко та Ф. Ісмаїлзаде аналізують інструменти та механізми фінансового управління конкурентоспроможністю міжнародних аеропортів [11]. Регулюванню діяльності аеропортів присвячено дослідження Л. Кузьменко [12].

В результаті проведеного аналізу не виявлено дієвих інструментів комплексної порівняльної

оцінки ефективності міжнародних аеропортів за різними моделями.

**Метою статті** є проведення порівняльної оцінки ефективності міжнародних аеропортів за різними моделями та визначення адекватності цих моделей.

**Виклад основного матеріалу.** Для порівняльної оцінки аеропортів нами використано дві моделі, які визначають технічну ефективність та загальну ефективність.

Перша модель була розроблена А. Сопадангом та Т. Суванвонгом в 2016 році [13]. За її допомогою оцінено технічну ефективність 19 аеропортів ASEAN та ще 3-ох, які знаходяться поблизу регіону. Так як модель оцінює ресурси аеропортів, то вона орієнтована на вхідні дані. Для розрахунків використано MS Office Excel з додатком у вигляді програми для DEA CRS or VRS Input-oriented моделювання. Вхідними параметрами є розмір терміналу, кількість та довжина злітно-посадкових смуг, кількість геймів та стійок реєстрації. Вихідними ж параметрами є кількість пасажирів за рік. Модель, яка буде застосована в розрахунках орієнтована на вхідні дані. Тому ефективні ОПР будуть рівні 1, а неефективні будуть меншими.

У табл. 1 представлено вибірку та показники досліджуваних аеропортів за першою моделлю у 2022 році.

Вхідні та вихідні, розділені між собою, щоб програма розуміла про їх відмінність. Потрібно взяти Envelopment Model, яка оцінюватиме ефективність вхідних ресурсів, в нашому випадку технічних ресурсів аеропорту. Також є на вибір CRS та VRS режими. Вони залежать від однорідності порівнюваних об'єктів. Так як нами аналізуються хабові аеропорти Європи, то доречно взяти CRS моделювання, бо воно націлене на порівняння однорідних об'єктів. Натомість VRS робить оцінку неоднорідних об'єктів. Це можуть бути аеропорти з різними моделями розвитку. Після проведення моделювання маємо листи, які названі Efficiency, Target та Slack. Аналізуючи дані представлені на листі Efficiency (рис. 1), можемо стверджувати, що моделювання нам показує, що такі аеропорти як Варшава, Мілан (Мальпенса) та Афіни є не максимально ефективними, в той час як Пальма та Осло використовують свої технічні ресурси на 100 %.

На рис. 2 представлено дані листа Target, який відображає ефективне використання показників. Можна побачити, що дані аеропорту Пальми та Осло не змінилися від вхідних. Це відбулося через те, що ці аеропорти ефективно використовують

Таблиця 1

Вибірка та показники досліджуваних аеропортів за першою моделлю (на 2022 р.)

Аеропорт (місто)	Вхідні показники					Вихідні показники
	Розмір терміналу, м <sup>2</sup>	Кількість злітно-посадкових смуг, од.	Довжина злітно-посадкових смуг, м	Кількість геймів, од.	Кількість стійок реєстрації, од.	Кількість пасажирів, пас.
Варшава	154 500	2	6490	45	116	14 389 143
Пальма	207 693	2	6270	83	195	28 000 000
Мілан (Мальпенса)	317 300	2	7840	93	313	21 347 652
Осло	265 000	2	6550	72	64	23 290 097
Афіни	192 000	2	7800	79	163	22 728 750

DMU No.	DMU Name	CRS Efficiency	Sum of lambdas		Optimal Lambdas with Benchmarks	
			RTS			
1	Варшава	0,94786	0,514	Increasing	0,514	Пальма
2	Пальма	1,00000	1,000	Constant	1,000	Пальма
3	Мілан (Мальпенса)	0,76242	0,762	Increasing	0,762	Пальма
4	Осло	1,00000	1,000	Constant	1,000	Осло
5	Афіни	0,91935	0,826	Increasing	0,740	Пальма

Рис. 1. Загальний вигляд листу Efficiency після проведення моделювання

Input-Oriented CRS Model Target		Efficient Input Target					Efficient Output Target
DMU No.	DMU Name	РТ	КЗПС	ДЗПС	КГ	КСР	КП
1	Варшава	106733,00990	1,02780	3222,14024	42,65353	100,21010	14389143,00000
2	Пальма	207693,00000	2,00000	6270,00000	83,00000	195,00000	28000000,00000
3	Мілан (Мальпенса)	158348,49596	1,52483	4780,34922	63,28054	148,67115	21347652,00000
4	Осло	265000,00000	2,00000	6550,00000	72,00000	64,00000	23290097,00000
5	Афіни	176516,08670	1,65238	5204,25783	67,62888	149,85480	22728750,00000

Рис. 2. Загальний вигляд листу Target після проведення моделювання

Input-Oriented CRS Model Slacks		Input Slacks					Output Slacks
DMU No.	DMU Name	РТ	КЗПС	ДЗПС	КГ	КСР	КП
1	Варшава	39710,77999	0,86792	2929,44680	0,00000	9,74122	0,00000
2	Пальма	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
3	Мілан (Мальпенса)	83566,14617	0,00000	1196,99334	7,62416	89,96510	0,00000
4	Осло	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
5	Афіни	0,00000	0,18633	1966,70820	5,00013	0,00000	0,00000

Рис. 3. Загальний вигляд листу Slack після проведення моделювання

свої технічні ресурси. Натомість аеропорти Варшави, Мілану (Мальпенса) та Афін мають неповне використання.

Загальний вигляд листу Slack після проведення моделювання, представлений на рис. 3 описує просідання за показниками. Як можна побачити, в аеропортах Варшави, Мілану (Мальпенса) та Афін є просідання по різним показникам. Це й означає неповне використання ресурсів, а також показано скільки потрібно для досягнення повної ефективності показника.

Отже, перша модель показала нам технічну ефективність п'яти аеропортів та дала зрозуміти, які показники використовуються сповна.

Друга модель ефективності спирається на модель У. Гока та С. Угурала [14], які визначали ефективність 20-ти аеропортів в Турції, але не враховуючи кількість вантажу. Вхідними параметрами є розмір терміналу та довжина злітно-посадкових смуг. Вихідними ж параметрами є кількість пасажирів та кількість прийнятих і відправлених повітряних суден. Модель, яка буде

**Вибірка та показники досліджуваних аеропортів за другою моделлю (на 2022 р.)**

Аеропорт (місто)	Вхідні показники		Вихідні показники	
	Розмір терміналу, м <sup>2</sup>	Довжина злітно-посадкової смуги, м	Кількість пасажирів, пас/рік	Кількість льотних операцій, опер./рік
Варшава	154 500	6490	14 389 143	130 672
Пальма	207 693	6270	28 000 000	220 690
Мілан (Мальпенса)	317 300	7840	21 347 652	186 626
Осло	265 000	6550	23 290 097	125 428
Афіни	192 000	7800	22 728 750	106 103

застосована в розрахунках орієнтована на вихідні дані. Тому ефективні ОНР будуть рівні 1, а неефективні будуть меншими. У табл. 2 представлено вибірку та показники досліджуваних аеропортів за другою моделлю у 2022 році.

Моделю використовує CRS режим, тобто оцінка однорідних об'єктів та орієнтацію на вихідні параметри (результативність). Аналізуючи загальну ефективність результату, представлену на рис. 4 можемо стверджувати, що тільки аеропорт Пальма має ефективні результати, інші ж аеропорти виявилися неефективними. Такі показники мали місце через те, що порівняння проводилось за 2022 рік, коли показники роботи відновилась лише на 60% відсотків від удару пандемії. Так як в майбутньому пасажиропотік буде рости, то від цього інші показники будуть задовольнятися.

	Efficiency	
Варшава	0.796	Inefficient
Пальма	1	Efficient
Мілан (Мальпенса)	0.676	Inefficient
Осло	0.796	Inefficient
Афіни	0.878	Inefficient

**Рис. 4. Загальна оцінка ефективності результату за другою моделлю**

Аналізуючи дані представлені на рис. 5 можемо стверджувати, що аеропорти Варшави та Мілану для ефективності мають обслуговувати на 2751183 та 3445921 пасажирів відповідно більше, а Осло та Афіни мають збільшити кількість льотних операцій на 73019 та 83181 відповідно.

На рис. 6 моделювання показує максимізацію вихідних показників. Можна вважати, що воно показує максимально-ефективну пропускну спроможність кожного з аеропортів.

	кп	кпо
Варшава	2751182.133	0
Пальма	0	0
Мілан (Мальпенса)	3445920.825	0
Осло	0	73018.379
Афіни	0	83180.864

**Рис. 5. Просідання вихідних показників за другою моделлю**

	кп	кпо
Варшава	14389143 → 20828819.46	130672 → 164168.292
Пальма	28000000 → 28000000	220690 → 220690
Мілан (Мальпенса)	21347652 → 35011164.274	186626 → 275950.494
Осло	23290097 → 29250398.724	125428 → 230545.375
Афіни	22728750 → 25884358.163	106103 → 204014.964

**Рис. 6. Максимуми вихідних показників за другою моделлю**

**Висновки.** За результатами проведеного дослідження ефективності різних міжнародних аеропортів за різними моделям, можна побачити наскільки використовуються ті чи інші ресурси аеропортів. Варто сказати, що дані взяті за 2022 рік, коли світова авіація тільки почала оговтуватись після COVID-19, але вже можна помітити різкий ріст авіаперевезень. За таким прогнозом, вже 2023 року авіація дійде до показників 2019 року і потрібні будуть нові інвестиції у інфраструктуру, нові управлінські рішення, щоб покращувати роботу аеропортів, забезпечуючи пасажиром комфортне, безпечне та регулярне авіаційне сполучення.

## Список літератури:

1. Martín J. C., Román C., Voltes-Dorta A. A stochastic frontier analysis to estimate the relative efficiency of Spanish airports. *Journal of Productivity Analysis*, 2009. Vol. 3, № 3. P. 163–176.
2. Bergantino A. S., Intini M., Volta N. The spatial dimension of competition among airports at the worldwide level: a spatial stochastic frontier analysis. *European Journal of Operational Research*, 2021. Vol. 295, № 1. P. 118–130. DOI: 10.1016/j.ejor.2021.02.035
3. Oum T.H., Yamaguchi K., Yoshida Y. Efficiency measurement theory and its application to airport benchmarking. In: de Palma A, et al. (Eds). *A Handbook of Transport Economics*, Edward Elgar, Cheltenham; Northampton, 2011. P. 298–318.
4. Lin Z., Choo Y., Oum, T. Efficiency Benchmarking of North American Airports: Comparative Results of Productivity Index, Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis. *Journal of the Transportation Research Forum*. 2013. Vol. 52, Issue 1. P. 47–67. DOI: 10.22004/ag.econ.207335
5. Henke I., Esposito M., della Corte V., del Gaudio G., Pagliara F. Airport Efficiency Analysis in Europe Including User Satisfaction: A Non-Parametric Analysis with DEA Approach. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, 283. <https://doi.org/10.3390/su14010283>
6. Gillen D., Lall A. Developing Measures of Airport Productivity and Performance: An Application of Data Envelopment Analysis. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 1997. Vol. 33, Issue 4. P. 261–273. [https://doi.org/10.1016/S1366-5545\(97\)00028-8](https://doi.org/10.1016/S1366-5545(97)00028-8)
7. Sarkis J., Talluri S. Using Data Envelopment Analysis for Evaluating Environmental Performance. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 2004. Vol. 6, No. 1. P. 91–123.
8. Montoya-Quintero D. M., Larrea-Serna O. L., Jiménez-Builes J. A. Evaluation of the Efficiency of Regional Airports Using Data Envelopment Analysis. *Informatics*, 2022. Vol. 9, 90. <https://doi.org/10.3390/informatics9040090>
9. Стрелкова Г. Г., Агєєва Г. М. Енергетична ефективність аеропортів у рамках концепції «місто – аеропорт». *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2014. Вип. 6. С.288-294.
10. Харазішвілі Ю. М., Бугайко Д. О., Ляшенко В. І. Сталій розвиток авіаційного транспорту України: стратегічні сценарії та інституційний супровід: монографія / за ред. Ю.М. Харазішвілі; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2022. 276 с.
11. Сидоренко К. В., Ісмаїлзаде Ф. Н. Дослідження інструментів і механізмів фінансування та управління конкурентоспроможністю міжнародних аеропортів на світовому ринку. *Стратегія розвитку України*. 2019. № 1. С. 177–184.
12. Кузьменко Л. Г. Регулювання діяльності аеропортів: світовий досвід. *Актуальні проблеми міжнародних відносин*. 2014. Вип. 121(2). С. 209–226.
13. Sopadang A., Suwanwong T. The Analysis of Airport Operational Performance Case Study: Chiang Mai International Airport, Thailand. 2016 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Kuala Lumpur, Malaysia, March 8-10, 2016.
14. Gok U., Ugral S. Assessment of Turkish Airports Efficiency Using Data Envelopment Analysis. *Актуальні проблеми економіки*. 2014. Вип. 152. № 2. С. 470–478.

### Vasylenko I.V., Yaremenko V.Yu. COMPARATIVE ASSESSMENT OF INTERNATIONAL AIRPORTS' EFFECTIVENESS BY DIFFERENT MODELS

*The article notes the importance of effective airport management, the growing interest in airport benchmarking, which requires the creation of appropriate tools and practical recommendations for its use. As a result of a critical analysis of previous scientific studies, it was found that the problems of airport operational effectiveness are insufficiently studied. Parametric and non-parametric methods of assessing airport effectiveness were characterised and scientific publications in this area were thoroughly studied. In addition, the problems of improving the effectiveness of airports, studied by domestic scientists, were analysed and it was noted that no effective tools for a comprehensive comparative assessment of international airports' effectiveness by different models were available.*

*Based on the results of the study, two models were used for the comparative assessment of airports, which determine technical effectiveness and overall effectiveness. To calculate the technical effectiveness of airports according to the first model, MS Office Excel was used with an application in the form of a program for DEA CRS or VRS Input-oriented modelling. The results of the modelling according to the first model showed that the technical effectiveness of Palma and Oslo airports is sufficient, while the airports of Warsaw, Milan (Malpensa) and Athens have insufficient resource utilisation.*

*The second model does not take into account the amount of cargo processed to determine overall effectiveness. This model used the CRS mode, i.e. the evaluation of homogeneous objects and the orientation towards output parameters (performance). The modelling results show that only Palma Airport has efficient results, while the other analysed airports were inefficient. Assessing the effectiveness of various international airports using different models allowed to evaluate the extent to which certain resources of the analysed airports are used.*

**Key words:** airport, effectiveness, model, comparative assessment, modelling, passengers, resources, analysis, technical effectiveness.