

О. Є. СОКОЛОВА

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних технологій і систем
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
ORCID: 0000-0001-6341-0195

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ІНТЕГРАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ АЕРОПОРТУ В АЕРОПОРТОЦЕНТРИЧНІЙ МОДЕЛІ МІСЬКОЇ АГЛОМЕРАЦІЇ

Провідні аеропорти поступово трансформуються з традиційних інфраструктурних об'єктів у ключові центри просторово-економічного розвитку урбанізованих територій, функціонування яких характеризується високим рівнем доступності, мультимодальності та концентрацією ділової активності. Розширення аеропортових комплексів та розміщення в їх межах виробничих та логістичних об'єктів призводить до виникнення екологічних проблем та дисбалансів у навколишньому середовищі. Разом з цим, концентрація найбруднішої регіональної інфраструктури в аеропортовій зоні із застосуванням екологічно «чистих» технологій та рішень створює передумови для формування екологічно стійкої урбанізованої системи, в якій оцінка, моніторинг та управління викидами шкідливих речовин у довкілля забезпечуватиметься на основі інтегрованого підходу. Системоутворююча роль аеропорту у такій аеропортоцентричній моделі розвитку, а саме рівень його інтегральної стійкості визначає збалансованість функціонування агломераційного середовища.

У даній науковій роботі розроблено методику оцінки інтегральної стійкості аеропорту в аеропортоцентричній моделі міської агломерації, що дозволяє проводити якісну та кількісну оцінку інтегральних індикаторів за економічною, екологічною та соціальною складовими стійкості аеропорту та є аналітичним інструментом для визначення негативних наслідків авіаційного ядра для урбосистеми. Запропонована методика створює методологічну основу для обґрунтування ефективних напрямків розвитку екологічно орієнтованої аеропортової інфраструктури та раціонального використання приаеропортових територій як центру ділової, промислової та транспортно-логістичної активності, що сприяє досягненню сталого збалансованого розвитку міської агломерації.

Проведені експериментальні розрахунки на прикладі європейських аеропортів Рига, Таллінн, Вільнюс та Каунас підтвердили універсальність методики та можливість її застосування для діагностики рівня стійкості аеропортів різного масштабу – від регіональних до тих, що функціонують у межах великих агломерацій. Подальшим напрямком наукових досліджень має стати формування оптимальних моделей функціонально-просторової організації приаеропортових територій з урахуванням обраної аеропортоцентричної концепції розвитку та стратегічних пріоритетів територіального планування.

Ключові слова: аеропорт, міська агломерація, аеропортоцентрична модель, приаеропортові території, сталий розвиток, інтегральний індекс

O. YE. SOKOLOVA

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Transport Technologies and Systems Department
State University "Kyiv Aviation Institute"
ORCID: 0000-0001-6341-0195

METHODOLOGY FOR THE INTEGRAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT OF AN AIRPORT IN AN AIRPORT-CENTRIC URBAN AGGLOMERATION MODEL

Leading airports are gradually transforming from traditional infrastructure facilities into key centers of spatial and economic development of urbanized territories, characterized by a high level of accessibility, multimodal integration, and concentration of business activity. The expansion of airport complexes and the placement of production and logistics facilities within their boundaries contribute to increasing environmental pressures and generating ecological imbalances. At the same time, the concentration of environmentally intensive regional infrastructure within airport zones, combined with the implementation of environmentally friendly and resource-efficient technologies, creates preconditions for the formation of a sustainable urban system in which assessment, monitoring, and environmental impact management are carried out within an integrated framework. Given the system-forming role of the airport within an airport-centric development model, the level of its integral sustainability determines the overall balance of the agglomeration environment.



This study proposes a methodology for assessing the integral sustainability of an airport within an airport-centric model of urban agglomeration. The approach enables both qualitative and quantitative evaluation of integral indicators reflecting the economic, environmental, and social components of airport sustainability and serves as an analytical tool for identifying potential negative impacts of the aviation core on the urban system. The proposed methodology provides a methodological basis for substantiating effective directions for the development of environmentally oriented airport infrastructure and the rational use of adjacent territories as centers of business, industrial, and transport-logistics activity, thereby contributing to balanced urban development.

Experimental calculations conducted using case studies of European airports Riga, Tallinn, Vilnius, and Kaunas – confirmed the universality of the methodology and its applicability for diagnosing the sustainability level of airports of various scales, from regional facilities to those operating within large metropolitan agglomerations. Further research should focus on developing optimal functional and spatial organization models for airport-adjacent territories, taking into account the selected airport-centric development concept and strategic priorities of territorial planning.

Keywords: *airport, urban agglomeration, airport-centric model, airport-adjacent territories, sustainable development, integral index*

Постановка проблеми

Забезпечення оптимального переміщення та обслуговування трансконтинентальних вантажо- та пасажиропотоків із мінімізацією часових витрат обумовлює визначальну роль авіаційного транспорту, діяльність якого поступово трансформується та інтегрується до глобальних транспортно-логістичних процесів та систем. Світовий досвід свідчить, що діяльність провідних аеропортів великих агломерацій поступово виходить за межі класичної ролі інфраструктурних об'єктів та транспортних вузлів, набуваючи статусу ключових центрів просторово-економічного розвитку урбанізованих територій, функціонування яких характеризується високим рівнем доступності, мультимодальності та концентрацією ділової активності [1].

Підкреслимо, що зміна концептуальної парадигми в аеропортовому бізнесі почала відбуватися під впливом глобальних викликів, коли для операторів аеропортів виникла потреба у диверсифікації власної діяльності та пошуку нових джерел отримання доходів та розширенню кола клієнтури.

Саме це, стало поштовхом до зосередження уваги не лише на послугах основної аеропортової інфраструктури, але й на розширенні напрямків неавіаційної діяльності, що передбачає розвиток комерційних об'єктів та забудови прилеглої до аеропортів території. На концентрацію промислової бізнес-інфраструктури навколо аеропорту впливає не тільки його прагнення аеропорту до досягнення привабливості й зміцнення свого «іміджу» в якості мультимодального транспортного вузлу та формування розвинутої транспортно-логістичної інфраструктури, але й отримання синергетичного ефекту кластеризації об'єктів виробничо-промислового, комерційно-ділового, транспортно-логістичного та іншого призначення, що сприятиме соціально-економічному зростанню урбосистеми, яку він обслуговує.

Відомо, що під час виконання своєї діяльності авіаційна галузь наносить значну шкоду довкіллю і, аеропортова інфраструктура, де саме виконуються найбільш «брудні» логістичні авіаційні процедури не є виключенням [2]. Тому, разом з позитивними аспектами, розширення аеропортових комплексів та розташування в межах їхніх територій різних промислово-виробничих об'єктів стає причиною виникнення суттєвих екологічних проблем та ризиків, які мають негативні наслідки не тільки для навколишнього середовища, але й несуть загрози для здоров'я людей, що проживають на близько розташованій до аеропорту місцевості. З іншої точки зору, винесення за межі міста та максимальне зосередження найбруднішої регіональної інфраструктури в зоні аеропорту із застосуванням екологічно «чистих» технологій та рішень, дозволить створити екологічно стійку урбанізовану систему, в якій оцінка, моніторинг та управління викидами шкідливих речовин до атмосфери, а також досягнення високого рівня ресурсної ефективності та екологічної безпеки забезпечуватиметься на основі інтегрованого підходу, коли планування аеропортової та іншої комерційної діяльності на його території із врахуванням всіх можливих негативних екологічних наслідків стане не лише напрямком реалізації екологічної програми одного конкретного аеропорту, а буде складовою єдиної «зеленої» стратегії агломераційного просторового розвитку приміських територій та сталого містобудування.

Враховуючи системоутворюючу роль аеропорту у такій моделі розвитку агломерації, саме рівень його інтегральної стійкості визначає збалансованість функціонування всієї урбанізованої системи і, тому, потребує розробки науково обґрунтованого інструментарію щодо її оцінювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблематика пошуку ефективних методів забезпечення сталого розвитку залишається однією з ключових сучасному науково-практичному середовищі. Узагальнення теоретичних підходів та прикладного досвіду свідчить, що досягнення стійкого розвитку можливо лише за умови балансу, а також раціональної взаємодії між природою та суспільством. При цьому, економіка відіграє ключове значення для здійснення цієї інтеграції як на локальному, регіональному, так і на глобальному рівнях створюючи оптимальне середовище для функціонування різних форм територіально-розподільчих систем, використання ресурсозберігаючих технологій та соціальних комунікацій [3]. До ефективних інструментів сталого розвитку в регіональних структурах відносять «зелене

будівництво», формування систем оцінки та моніторингу стану будівель (споруд), забезпечення стійкої транспортної мобільності в межах агломерації та ін. [3,4]. Урбаністичний аспект функціонування та розвитку аеропортів у сучасних дослідженнях розглядається з точки зору аеропортоцентричного підходу [5], що базується на реалізації моделей аеротрополісу та аеропорт-сіті [6-10]. У відповідності до зазначених концепцій аеропорт трактується як ключовий просторово-економічний вузол агломерації, навколо якого формується система виробничих, логістичних, комерційних та сервісних об'єктів, інтегрованих транспортною та інженерною інфраструктурою. Такий підхід передбачає концентрацію ділової активності в приаеропортовій зоні та структурну трансформацію прилеглих територій.

Водночас формування аеропортоцентричних моделей супроводжується низкою системних ризиків. Так, у наукових працях [10-12] наголошується на ймовірність посилення просторової та соціально-економічної диспропорції, нерационального використання земельних ресурсів, а також зростання екологічного навантаження внаслідок інтенсифікації транспортних та виробничих процесів. З огляду на це, розвиток аеропортоцентричних агломерацій потребує формування інструментарію для комплексної оцінки стійкості аеропорту як базового елементу відповідної просторово-економічної системи.

Наукові розробки в області визначення рівня сталості аеропортів здебільшого побудовані на формуванні системи оцінних параметрів за окремими її аспектами [13-19], та не містять підходів, що дозволяють оцінювати інтегральну стійкість.

Отже, за результатами проведеного дослідження встановлено, що у науковому колі поки що не вироблено єдиної методики щодо визначення показника інтегральної стійкості аеропорту як потенційного авіаційного ядра урбанізованої системи. Існуючі наукові розробки в основному орієнтовані на оцінці статистичних даних за кількістю викидів забруднюючих речовин до атмосфери, обсягів утворення відходів, а також енергоспоживання окремих промислових підприємств або територій. Такі підходи не дозволяють виявляти реальні системні дисбаланси, «вузькі» місця та обмеження, що у наслідку може стримувати розвиток та створювати ризики для сталого функціонування міської агломерації. У зв'язку з цим, автором пропонується, комплексний підхід до кількісної та якісної оцінки інтегральних індикаторів аеропорту, що характеризують його економічну, екологічну та соціальну стійкість та, формують аналітичну основу для обґрунтованого оцінювання розвитку аеропортоцентричної моделі міської агломерації та прийняття рішень щодо її збалансованого функціонування.

Формулювання мети дослідження

Мета дослідження полягає у розробці комплексної методики оцінки та моніторингу інтегральної стійкості аеропорту як системоутворюючого ядра аеропортоцентричної моделі міської агломерації на основі системи економічних, екологічних та соціальних індикаторів.

Викладення основного матеріалу дослідження

На думку автора, аеропортоцентричну модель слід розглядати не лише як концепцію інфраструктурного перетворення урбосистеми, але й в якості ефективного інструменту забезпечення її сталого розвитку, що завдяки формуванню високотехнологічних виробничо-логістичних кластерів та привабливого інвестиційного клімату, а також раціонального використання земельних ресурсів навколо аеропортових комплексів із застосуванням принципів поліцентричності, екологічності, компактності, доступності, технологічності, інклюзивності, соціальної стабільності та відповідальності, дозволяє досягнути збалансованого економічного зростання, соціальної справедливості та збереження навколишнього середовища. Як правило, така модель ґрунтується на впровадженні «розумних» цифрових та «зелених» ресурсоефективних технологій, що забезпечують оптимізацію управлінських процесів, моніторинг впливу на довкілля та підвищення операційної ефективності. Саме це створює передумови для централізованого управління екологічними та інфраструктурними параметрами, а також формує основу для інтеграції інновацій у систему просторово-територіального розвитку.

У результаті систематизації наукових підходів автором розроблено методику комплексної оцінки інтегральної стійкості аеропорту як «ядра» аеропортоцентричної моделі міської агломерації, що дозволяє проводити якісну та кількісну оцінку інтегральних індикаторів, що характеризують економічну, екологічну та соціальну стійкість аеропорту та пов'язаної з ним агломерації, та надає можливість своєчасно ідентифікувати «вузькі місця» й потенційні екологічні загрози із подальшим прийняттям рішень щодо просторово-територіального сталого розвитку аеропортових комплексів. Запропонований інструмент має універсальний характер для проведення діагностики територій та аеропортів будь-якого типу та рівня (регіон, мегаполіс). Практична цінність методики обумовлюється застосуванням загальнодоступної статистично-аналітичної інформації для розрахунку ключових показників, що виконуються за послідовністю процедур (рис. 1):

Етап 1. Формування системи вихідних параметрів оцінювання стійкості аеропортоцентричної міської агломерації (визначення особливостей функціонування агломерації та формування системи показників оцінки її стійкості; визначення особливостей аеропорту та формування системи показників, що характеризують його стійкість);

Етап 2. Визначення індикаторів стійкості міської агломерації та аеропорту, що обслуговує її територію за фактичними значеннями (вибір методів розрахунку, агрегування та нормування показників);

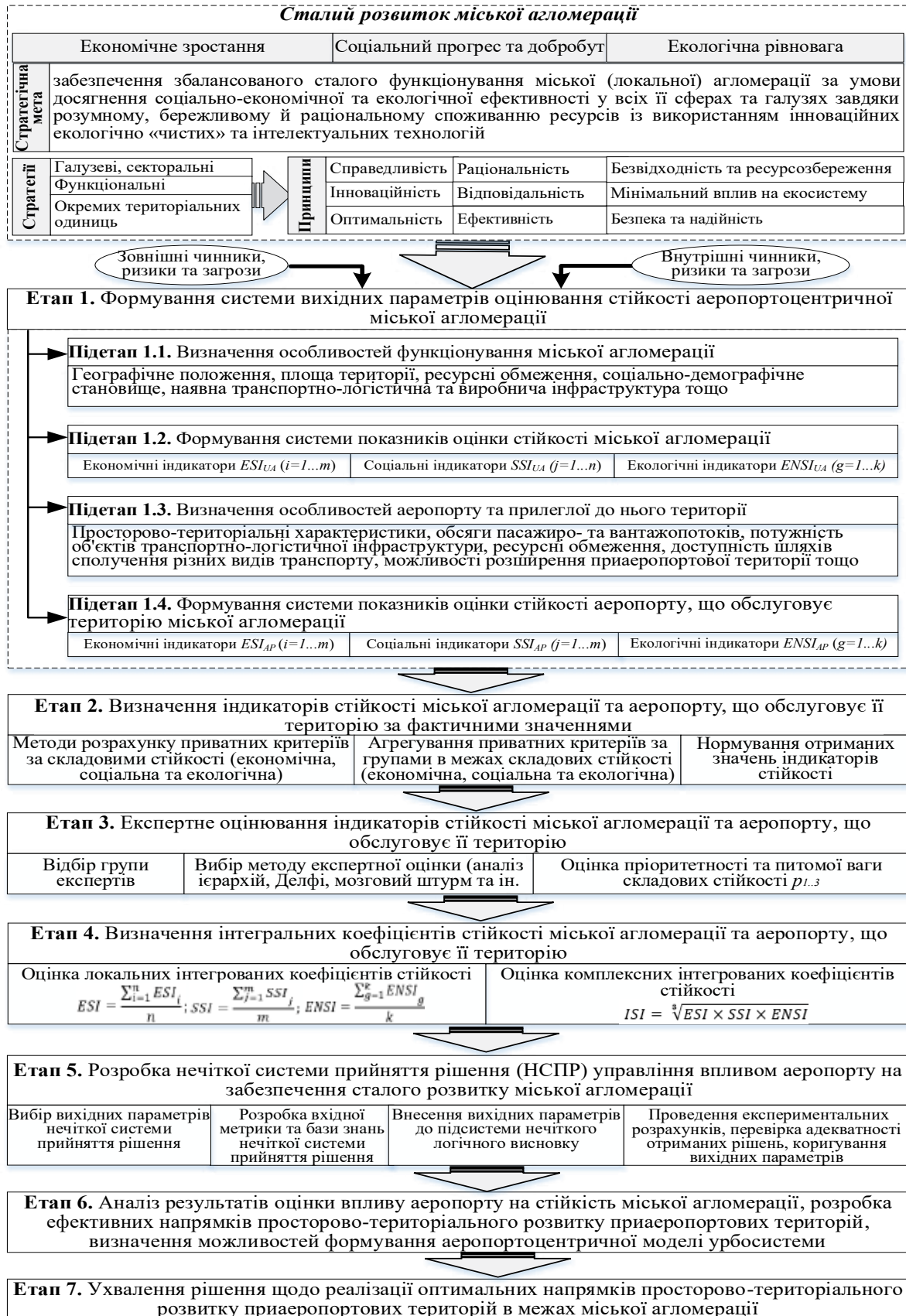


Рис. 1. Методика комплексної оцінки інтегральної стійкості аеропорту як «ядра» аеропортоцентричної моделі міської агломерації

Джерело: власна розробка автора

Етап 3. Експертне оцінювання індикаторів стійкості міської (локальної) агломерації та аеропорту (відбір експертів, вибір методу експертної оцінки, оцінка пріоритетності та питомої ваги складових інтегрованої стійкості);

Етап 4. Визначення інтегральних коефіцієнтів стійкості міської агломерації та аеропорту (оцінка локальних та комплексних інтегральних коефіцієнтів стійкості).

Етап 5. Розробка нечіткої системи прийняття рішення (НСПР) управління впливом аеропорту на забезпечення сталого розвитку міської агломерації (формування вихідних параметрів, розробка вхідної метрики та бази правил, проведення експериментальних розрахунків, перевірка адекватності рішень, коригування вхідних параметрів).

Етап 6. Аналіз результатів оцінки впливу аеропорту на стійкість міської агломерації, розробка ефективних напрямків просторово-територіального розвитку приаеропортових територій, визначення можливостей формування аеропортоцентричної моделі урбосистеми (можливі сценарії: аеротрополіс, аеропорт-сіті, аеропорт-коридор, аеропорт – регіональний транспортно-логістичний центр, аеропорт як базова авіаційна інфраструктура).

Етап 7. Ухвалення рішення щодо реалізації оптимальних напрямків просторово-територіального розвитку приаеропортових територій в межах міської агломерації.

Отже, стійким можна вважати такий аеропорт, якщо його розвиток спрямований на економічне зростання, але при умові забезпечення балансу із потребами суспільства щодо підвищення рівня якості життя та запобігання антропогенного навантаження, виснаження та руйнування екосистем. Запропонована автором система інтегральних індикаторів стійкості складається з економічних (відображають основний виробничо-фінансовий процес авіапідприємства), соціальних (спрямовані на виявлення рівня добробуту, безпеки та соціальної підтримки працівників аеропорту) та екологічних показників (характеризують вплив аеропортової діяльності навколишнє середовище) (табл. 1).

Таблиця 1

Складові індикатори інтегральної стійкості аеропорту

Група індикаторів	Показник
Індикатори економічної стійкості аеропорту (Economic sustainability indicators of airport – ESI_{AP})	Чистий дохід Прибуток або збиток Коефіцієнт абсолютної ліквідності Коефіцієнт платоспроможності (автономії) Коефіцієнт фінансового ризику (фінансового левериджу) Коефіцієнт забезпеченості власними обіговими засобами Коефіцієнт оновлення основних засобів аеропорту Рентабельність основних фондів Коефіцієнт рентабельності активів Обсяг інвестицій (гранти, плата за надані послуги та інші фінансові ресурси)
Індикатори соціальної стійкості аеропорту (Social sustainability indicators of airport – SSI_{AP})	Коефіцієнт забезпеченості кадрами Продуктивність праці персоналу Коефіцієнт плинності кадрів Темп змін середньорічної заробітної плати одного співробітника, % Рівень кваліфікації персоналу Рівень задоволеності персоналу умовами праці Рівень задоволеності відносинами у колективі Кількість нещасних випадків на виробництві Частка інцидентів у сфері виробничої безпеки Частка працівників, що навчалися з питань охорони праці та безпеки Частка працівників, що проходили онлайн-тренінги Рівень безпеки аеропорту
Індикатори економічної стійкості аеропорту (Environmental sustainability indicators of airport – $ENSI_{AP}$)	Викиди від власного прямого споживання Викиди, пов'язані з виробництвом придбаних ресурсів Викиди третіх сторін Викиди CO ₂ на одного пасажира Споживання енергоресурсів Обсяг енергоресурсів, переданих орендарям Споживання води Споживання води на одного пасажира Обсяг стічних вод Обсяг утворених відходів Індекс авіаційного шуму

Джерело: розроблено автором на основі [13-19]

Враховуючі те, що локальні показники відрізняються за розмірністю і, це унеможливорює отримання коректних значень інтегральних коефіцієнтів, то їх потрібно привести до співставного вигляду у формі безрозмірних відносних величин [20,21].

Так, у випадку заданих граничних значень «припустимих коридорів» певного локального індикатора сталості, отримання нормованого значення цього показника доцільно здійснювати у такий спосіб [20,21]:

$$Y_{ij} = \frac{q_{ij} - \min(q_{ij})}{\max(q_{ij}) - \min(q_{ij})}$$

Для оцінювання рівня «стійкості» розвитку аеропорту визначається інтегральний комплексний індекс шляхом розрахунку середньгеометричної сукупності значень інтегральних коефіцієнтів економічної, соціальної та екологічної стійкості:

$$ISI_{AP} = \sqrt[3]{ESI_{AP} \times SSI_{AP} \times ENSI_{AP}}$$

де ESI_{AP} – інтегральний коефіцієнт економічної стійкості аеропорту (*Economic sustainability of the airport*);
 SSI_{AP} – інтегральний коефіцієнт соціальної стійкості аеропорту (*Social sustainability of the airport*);
 $ENSI_{AP}$ – інтегральний коефіцієнт екологічної стійкості аеропорту (*Environmental sustainability of the airport*).

Числові значення інтегральних коефіцієнтів диференційовані за шкалою Харінгтона в межах діапазону [0;1] та, відповідно до їх характеристик та стану можуть оцінюватися як: зразковий (від 0,8 до 1,0), сприятливий (від 0,63 до 0,8), задовільний (від 0,37 до 0,63), низький (від 0,2 до 0,37) та кризовий (від 0 до 0,2) рівні стійкості.

З метою підтвердження ефективності запропонованої методики автором проведені експериментальні розрахунки оцінки інтегральної стійкості на прикладі європейських аеропортів Рига (RIX), Таллінн (TLL), Вільнюс (VNO) та Каунас (KUN), що обслуговують не менше 1 млн., але не більше 20 млн. пасажирів на рік, та є учасниками програми вуглецевої акредитації аеропортів (*Airport Carbon Accreditation Program*) та мають перспективи щодо подальшого розвитку.

Обчислення економічної, соціальної та екологічної складових стійкості обраних для дослідження провідних європейських аеропортів Балтії здійснюється за розробленою експертним шляхом системою індикаторів (табл. 1), та їх нормалізованими значеннями (табл. 2-4).

Таблиця 2

Нормалізовані індикатори економічної стійкості аеропортів

№	Показник	RIX	TLL	VNO	KUN
1.	Чистий дохід	0,266	0,000	0,004	0,020
2.	Прибуток або збиток	0,205	0,800	0,000	0,485
3.	Коефіцієнт абсолютної ліквідності	0,990	0,057	1,000	0,843
4.	Коефіцієнт платоспроможності (автономії)	1,000	1,000	0,910	0,211
5.	Коефіцієнт фінансового ризику (фінансового левериджу)	0,264	0,002	0,026	0,041
6.	Коефіцієнт забезпеченості власними обіговими засобами	0,000	0,010	0,775	0,000
7.	Коефіцієнт оновлення основних засобів аеропорту	0,268	1,000	0,134	0,042
8.	Рентабельність основних фондів	0,642	1,000	0,651	0,497
9.	Коефіцієнт рентабельності активів	0,213	0,002	0,204	0,022
10.	Обсяг інвестицій (гранти, плата за надані послуги та інші фінансові ресурси)	0,223	0,019	0,290	1,000
Всього		4,070	3,891	3,995	3,160
Інтегральний індекс економічної стійкості ESI_{AP}		0,452	0,389	0,399	0,316

Джерело: розраховано автором на основі [22-25]

Таблиця 3

Нормалізовані індикатори соціальної стійкості аеропортів

№	Показник	RIX	TLL	VNO	KUN
1.	Коефіцієнт забезпеченості кадрами	0,838	0,839	0,830	0,838
2.	Продуктивність праці персоналу	1,000	1,000	1,000	0,965
3.	Коефіцієнт плинності кадрів	0,540	0,536	0,541	0,537
4.	Темп змін середньорічної заробітної плати одного співробітника, %	1,000	1,000	0,948	0,834
5.	Рівень кваліфікації персоналу	0,838	0,840	0,840	0,634
6.	Рівень задоволеності персоналу умовами праці	0,788	0,805	0,782	0,536
7.	Рівень задоволеності відносинами у колективі	0,808	0,782	0,791	0,776
8.	Кількість нещасних випадків на виробництві	1,000	1,000	0,977	0,685
9.	Частка інцидентів у сфері виробничої безпеки	0,841	0,399	0,841	0,399
10.	Частка працівників, що навчалися з питань охорони праці та безпеки	1,000	0,000	1,000	0,000
11.	Частка працівників, що проходили онлайн-тренінги	1,000	1,000	0,875	0,978
12.	Рівень безпеки аеропорту	0,575	0,583	0,595	0,659
Всього		10,229	8,784	10,021	7,841
Інтегральний індекс соціальної стійкості SSI_{AP}		0,852	0,732	0,835	0,653

Джерело: розраховано автором на основі [22-25]

Таблиця 4

Нормалізовані індикатори екологічної стійкості аеропортів

№	Показник	RIX	TLL	VNO	KUN
1.	Викиди від власного прямого споживання (CO ₂ e),т	1,000	1,000	1,000	0,457
2.	Викиди, пов'язані з виробництвом придбаних ресурсів (CO ₂ e), т	0,000	1,000	0,744	0,754
3.	Викиди третіх сторін (CO ₂ e), т	1,000	0,492	1,000	1,000
4.	Викиди CO ₂ на одного пасажир (т CO ₂ / 1000 пас.)	0,714	0,732	0,637	0,794
5.	Споживання енергоресурсів, МВт·год	1,000	1,000	0,857	1,000
6.	Обсяг енергоресурсів, переданих орендарям, МВт·год	0,880	0,000	1,000	1,000
7.	Споживання води, м ³	0,000	1,000	0,755	0,000
8.	Споживання води на одного пасажир, м ³	0,503	0,501	0,502	0,510
9.	Обсяг стічних вод, м ³	0,654	0,000	0,633	0,433
10.	Обсяг утворених відходів, т	0,000	1,000	0,000	0,000
11.	Індекс авіаційного шуму	1,000	1,000	0,890	0,346
Всього		6,752	7,726	8,018	6,294
Інтегральний індекс екологічної стійкості <i>ENSI_{AP}</i>		0,614	0,702	0,729	0,572

Джерело: розраховано автором на основі [22-25]

Результати розрахунку інтегрального рівня стійкості досліджуваних аеропортів представлені на рис. 2.

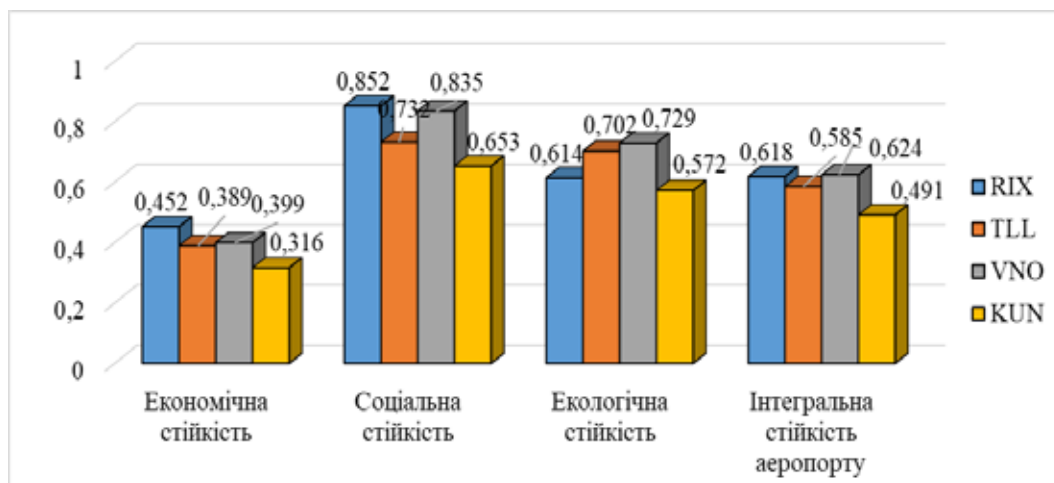


Рис. 2. Результати розрахунку рівня стійкості досліджуваних аеропортів

Джерело: подумовано на основі розрахунків автора

Отже, отримані результати розрахунків свідчать про задовільний рівень стійкості досліджуваних аеропортів, що в цілому говорить про стабільність їх виробничо-господарських та фінансово-економічних показників, а також активний рух в напрямку досягнення екологічної нейтральності.

Висновки

Існуючі науково-методичні підходи до оцінювання сталого розвитку підприємств різних галузей економіки переважно орієнтовані на визначення узагальнених показників або коефіцієнтів, що характеризують соціально-економічні та екологічні аспекти їх діяльності. На підставі узагальнення та систематизації відповідних науково-практичних положень розроблено комплексний методичний підхід до оцінювання та моніторингу інтегральної стійкості аеропорту як системоутворюючого елемента аеропортоцентричної моделі міської агломерації. Враховуючи визначальну роль аеропорту у такій моделі територіально-просторового розвитку міських агломерацій, саме рівень його інтегральної стійкості визначає збалансованість функціонування всієї урбанізованої системи.

Запропонована методика дозволяє проводити якісну та кількісну оцінку інтегральних індикаторів, що характеризують економічну, екологічну та соціальну стійкість аеропорту та є аналітичним інструментом для визначення негативних наслідків авіаційного ядра для стійкості урбосистеми. Крім того, підхід створює методологічну основу для обґрунтування ефективних напрямків розвитку «зеленої» аеропортової інфраструктури та раціонального використання приаеропортових земельних ділянок в якості центру ділової активності та промислового й транспортно-логістичного каркасу, сприяючи тим самим досягненню сталого збалансованого розвитку міської агломерації.

Проведена апробація методики на прикладі європейських аеропортів Рига, Таллінн, Вільнюс та Каунас підтвердила її універсальність та можливість використання для діагностики рівня стійкості аеропортів різного

масштабу – від регіональних до тих, що функціонують у межах великих агломерацій. Подальші наукові дослідження доцільно спрямувати на формування оптимальних моделей функціонально-просторової організації прилеглих до аеропортів територій з урахуванням вірно обраної аеропортоцентричної концепції розвитку та стратегічних пріоритетів територіального планування.

Список використаної літератури

1. ICAO. Promoting Synergy between Cities and Airports for Sustainable Development. URL: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-05/Promoting%20Synergy%20between%20Cities%20and%20Airports%20for%20Sustainable%20Development.pdf>
2. Sokolova O., Grygorak M., Ivannikova V. (2022). “Green” Sector Of The Air Transport Of Ukraine Sustainable Development. *TRANSBALTICA XII: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham., 2022. P. 448–455. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-030-94774-3_44
3. Mersal A. Sustainable Urban Futures: Environmental Planning for Sustainable Urban Development. *Procedia Environmental Sciences*. 2016. Vol. 34. P. 49–61. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.005>
4. Bi C., Little J. C. Integrated assessment across building and urban scales: a review and proposal for a more holistic, multi-scale, system-of-systems approach. *Sustainable Cities and Society*. 2022. P. 103915. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103915>
5. Romero J. Airport-centric development: The aerotropolis concept and capacity needs / ed. by United States. Government Accountability Office, United States. Federal Aviation Administration. New York: Nova Publishers, 2013. 124 p.
6. Kasarda J. D., Appold S. J. Planning a Competitive Aerotropolis. *Advances in Airline Economics*. 2014. P. 281–308. URL: <https://doi.org/10.1108/s2212-160920140000004010>
7. R. Bhuvanya et al. Revolutionizing Urban Planning. Leveraging Urban Computing for Sustainable Urban Development. 2025. P. 303–322. URL: <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0761-9.ch013>
8. Goetz A. R. The Airport as an Attraction: The Airport City and Aerotropolis Concept. *Air Transport: A Tourism Perspective*. 2019. P. 217–232. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812857-2.00016-6>
9. Crosby M., Maharaj B. (2021). Aerotropolis and Urban and Regional Impacts: The Case of the King Shaka International Airport in Durban, South Africa. In: Singh, R.B., Chatterjee, S., Mishra, M., de Lucena, A.J. (eds) *Practices in Regional Science and Sustainable Regional Development*. Springer, Singapore. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-16-2221-2_10
10. Frétiigny, J.-B., Magnan, M., Maulat, J., & Pedro, M. (2024). “Airport city” or “VIP” urbanism? Questioning the market-led land development strategies of airports. *Human Geography*, 17(3), 262–277. URL: <https://doi.org/10.1177/19427786241251723>
11. S. Zheng et al. Airport city and downtown store competition and regulation under incomplete information / *Transportation Research Part B: Methodological*. 2025. Vol. 192. P. 103131. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.103131>
12. Bulatovic I., Papatheodorou A. Airport City and Aerotropolis: Concepts and Implications for Development. *Airports and Regional Development*. 2025. P. 87–108. URL: <https://doi.org/10.1108/s2212-160920250000012005>
13. Gulcimen S., Aydogan E. K., Uzal N. Robust Multicriteria Sustainability Assessment in Urban Transportation. *Journal of Urban Planning and Development*. 2023. Vol. 149, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1061/jupddm.upeng-4090>
14. Ngossaha J.M. et al. Sustainability assessment of a transportation system under uncertainty: an integrated multicriteria approach/ *IFAC-PapersOnLine*. 2017. Vol. 50, no. 1. P. 7481–7486. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1064>
15. Yangmin B., Shaohong F., Yan L. Assessing the synergy and sustainability of “Airport-Industry-City”(AIC) system in aerotropolis: Evidence from Zhengzhou Aerotropolis in China. *Environmental Research*. 2021. Vol. 195. P. 110886. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110886>
16. Butnariu A., Avasilcai S. The Assessment of The Companies’ Sustainable Development Performance. *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 23. P. 1233–1238. URL: [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00422-0](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00422-0)
17. Płoczyński D., Wach-Kloskowska M., Martin-Rojas R. An Assessment Of Airport Sustainability Measures: A Case Study Of Polish Airports. *Transport Problems*. 2020. Vol. 15, no. 4, Part 2. P. 287–300. URL: <https://doi.org/10.21307/tp-2020-067>
18. Koç S., Durmaz V. Airport Corporate Sustainability: An Analysis of Indicators Reported in the Sustainability Practices. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015. Vol. 181. P. 158–170. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.877>
19. Fachruddin I., Rahmawati D. A., Muzaqi A. H. Socio-Economic and Cultural Impacts of Dhoho Airport Development on Buffer Villages: A Case Study in Tiron and Banyakan, Kediri. *Society*. 2024. Vol. 12, no. 2. P. 591–602. URL: <https://doi.org/10.33019/society.v12i2.704>

20. Huang L. Normalization Techniques in Deep Learning. Cham : Springer International Publishing, 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-14595-7>
21. Chakraborty S., Chatterjee P., Das P. P. Normalization Techniques. *Multi-Criteria Decision-Making Methods in Manufacturing Environments*. New York, 2023. P. 351–353. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003377030-34>
22. Riga International Airport. Non-Financial Statement, 2023. URL: <https://www.riga-airport.com/en/media/3111/download>
23. Tallinn airport. Roadmap towards Net Zero by 2030. URL: <https://airport.ee/wp-content/uploads/2024/07/Net-zero-roadmap-ENG.pdf>
24. Tallinn airport. Annual report 2023. URL: <https://airport.ee/wp-content/uploads/2024/05/Tallinna-Lennujaam-2023-eng.pdf>
25. Lithuanian Airports. Annual Report, 2023. URL: https://www.ltou.lt/uploads/documents/files/2023_LTOU%20annual%20report_EN.pdf

References

1. ICAO. Promoting Synergy between Cities and Airports for Sustainable Development. URL: <https://sdgs.un.org/sites/default/files/2021-05/Promoting%20Synergy%20between%20Cities%20and%20Airports%20for%20Sustainable%20Development.pdf>
2. Sokolova O., Grygorak M., Ivannikova V. (2022). “Green” Sector Of The Air Transport Of Ukraine Sustainable Development. *TRANSBALTICA XII: Transportation Science and Technology. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Springer, Cham. P. 448-455. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94774-3_44
3. Mersal A. (2016). Sustainable Urban Futures: Environmental Planning for Sustainable Urban Development. *Procedia Environmental Sciences*. Vol. 34. P. 49–61. URL: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.04.005>
4. Bi C., Little J. C. (2022). Integrated assessment across building and urban scales: a review and proposal for a more holistic, multi-scale, system-of-systems approach. *Sustainable Cities and Society*. P. 103915. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103915>
5. Romero J. (2013). Airport-centric development: The aerotropolis concept and capacity needs / ed. by United States. Government Accountability Office, United States. Federal Aviation Administration. New York: Nova Publishers, 124 p.
6. Kasarda J. D., Appold S. J. (2014). Planning a Competitive Aerotropolis. *Advances in Airline Economics*. P. 281–308. URL: <https://doi.org/10.1108/s2212-160920140000004010>
7. R. Bhuvanya et al. (2025). Revolutionizing Urban Planning. Leveraging Urban Computing for Sustainable Urban Development. P. 303–322. URL: <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0761-9.ch013>
8. Goetz A. R. (2019). The Airport as an Attraction: The Airport City and Aerotropolis Concept. *Air Transport: A Tourism Perspective*. P. 217–232. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812857-2.00016-6>
9. Crosby M., Maharaj B. (2021). Aerotropolis and Urban and Regional Impacts: The Case of the King Shaka International Airport in Durban, South Africa. In: Singh, R.B., Chatterjee, S., Mishra, M., de Lucena, A.J. (eds) *Practices in Regional Science and Sustainable Regional Development*. Springer, Singapore. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-16-2221-2_10
10. Frétiigny, J.-B., Magnan, M., Maulat, J., & Pedro, M. (2024). “Airport city” or “VIP” urbanism? Questioning the market-led land development strategies of airports. *Human Geography*, 17(3), 262-277. URL: <https://doi.org/10.1177/19427786241251723>
11. S. Zheng et al. (2025). Airport city and downtown store competition and regulation under incomplete information / *Transportation Research Part B: Methodological*. Vol. 192. P. 103131. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trb.2024.103131>
12. Bulatovic I., Papatheodorou A. (2025). Airport City and Aerotropolis: Concepts and Implications for Development. *Airports and Regional Development*. P. 87–108. URL: <https://doi.org/10.1108/s2212-160920250000012005>
13. Gulcimen S., Aydogan E. K., Uzal N. (2023). Robust Multicriteria Sustainability Assessment in Urban Transportation. *Journal of Urban Planning and Development*. Vol. 149, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1061/jupddm.upeng-4090>
14. Ngossaha J.M. et al. (2017). Sustainability assessment of a transportation system under uncertainty: an integrated multicriteria approach/ *IFAC-PapersOnLine*. Vol. 50, no. 1. P. 7481–7486. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1064>
15. Yangmin B., Shaohong F., Yan L. (2021). Assessing the synergy and sustainability of “Airport-Industry-City”(AIC) system in aerotropolis: Evidence from Zhengzhou Aerotropolis in China. *Environmental Research*. Vol. 195. P. 110886. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110886>
16. Butnariu A., Avasilcai S. (2015). The Assessment of The Companies’ Sustainable Development Performance. *Procedia Economics and Finance*. Vol. 23. P. 1233–1238. URL: [https://doi.org/10.1016/s2212-5671\(15\)00422-0](https://doi.org/10.1016/s2212-5671(15)00422-0)

17. Tłoczyński D., Wach-Kloskowska M., Martin-Rojas R. (2020). An Assessment Of Airport Sustainability Measures: A Case Study Of Polish Airports. *Transport Problems*. Vol. 15, no. 4, Part 2. P. 287–300. URL: <https://doi.org/10.21307/tp-2020-067>.
18. Koç S., Durmaz V. (2015). Airport Corporate Sustainability: An Analysis of Indicators Reported in the Sustainability Practices. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. Vol. 181. P. 158–170. URL: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.877>.
19. Fachruddin I., Rahmawati D. A., Muzaqi A. H. (2024). Socio-Economic and Cultural Impacts of Dhoho Airport Development on Buffer Villages: A Case Study in Tiron and Banyakan, Kediri. *Society*. Vol. 12, no. 2. P. 591–602. URL: <https://doi.org/10.33019/society.v12i2.704>
20. Huang L. (2022). Normalization Techniques in Deep Learning. Cham : Springer International Publishing, URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-14595-7>
21. Chakraborty S., Chatterjee P., Das P. P. (2023). Normalization Techniques. *Multi-Criteria Decision-Making Methods in Manufacturing Environments*. New York, P. 351–353. URL: <https://doi.org/10.1201/9781003377030-34>
22. Riga International Airport. Non-Financial Statement, 2023. URL: <https://www.riga-airport.com/en/media/3111/download>
23. Tallinn airport. Roadmap towards Net Zero by 2030. URL: <https://airport.ee/wp-content/uploads/2024/07/Net-zero-roadmap-ENG.pdf>
24. Tallinn airport. Annual report 2023. URL: <https://airport.ee/wp-content/uploads/2024/05/Tallinna-Lennujaam-2023-eng.pdf>
25. Lithuanian Airports. Annual Report, 2023. URL: https://www.ltou.lt/uploads/documents/files/2023_LTOU%20annual%20report_EN.pdf.

Дата першого надходження статті до видання: 26.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 07.05.2026