

Вінюков-Проценко А.С.

Національний авіаційний університет

ВПЛИВ ЕВОЛЮЦІЇ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ДО ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ТА ВАНТАЖОПОТОКІВ У ПРОЕКТАХ КОНЦЕСІЙ АЕРОПОРТІВ

У статті відзначено значну актуальність дослідження впливу еволюції сучасних підходів до прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків на точність планування розвитку інфраструктури аеропортів. Охарактеризовано передумови та потенційні наслідки використання поєднань сучасних методів прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків для проектів концесій аеропортів.

Аналіз наукових досліджень дозволив встановити проблематику довгострокового прогнозування авіаційних пасажирських та вантажних перевезень, що попередньо досліджувалася, зокрема, її теоретичні концепції та форми, мотиви та цілі процесів. В той же час не було виявлено перспектив розвитку методів довгострокового прогнозування пасажиро та вантажопотоків у турбулентний час пандемії та військових конфліктів.

В рамках дослідження визначено вплив еволюції сучасних підходів до прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків на точність процесів планування розвитку інфраструктури аеропортів у проектах концесій. Визначено напрямки розвитку наукових досліджень щодо розвитку сучасних підходів до прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів, а також відзначено, що вплив сучасних тенденцій розвитку авіаперевезень у світі в останні роки вимагають від учасників ринку забезпечення можливості швидкої реакції на постійні зміни умов та коригування довгострокових прогнозів пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів.

Було охарактеризовано напрямки розвитку ринку авіаційних перевезень за передумов викликаних пандемією COVID-19 та відновлення ринку міжнародних авіаційних перевезень в умовах міжнародних військових конфліктів. Наголошено на тому, що турбулентність сучасного світу неминуче призводить до потреби розробки концептуально нових підходів та методів прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів для підвищення точності стратегічного планування розвитку їх інфраструктури зокрема у проектах концесій.

Ключові слова: аеропорти, авіаційні вантажні перевезення, авіаційні пасажирські перевезення, пасажиропотоки, прогнозування, предиктори, концесійні проекти, ринок авіаперевезень.

Постановка проблеми. Останніми роками все більшого значення набуває розвиток сучасних підходів до довгострокового прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків у концесійних проектах аеропортів. Ця еволюція зумовлена потребою в точних прогнозах для прийняття рішень та оптимізації інвестицій в інфраструктуру. З огляду на постійну динаміку глобальних подорожей і торгівлі, вкрай важливо впроваджувати передові методології та інструменти прогнозування для забезпечення ефективного функціонування та розвитку концесійних проектів в аеропортах. Ця робота має на меті дослідити останні тенденції та досягнення в методах довгострокового прогнозування пасажирських і вантажних потоків, з акцентом на їх застосуванні в проектах концесій аеропортів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Нещодавні дослідження у галузі прогнозування

авіаперевезень були переважно зосереджені на довгостроковому прогнозуванні пасажиропотоків і вантажопотоків в аеропортах. Ці дослідження підкреслили важливість використання передових технологій і аналізу даних для підвищення точності і надійності таких прогнозів. В дослідженнях [1; 2] зокрема вивчалось використання аналізу великих даних, управління авіатранспортними мережами, прогнозування та машинного навчання в авіаційних дослідженнях. Дослідження [3; 4] показали, що розвиток аналітики даних в авіації стрімко зростає, причому значна кількість даних в режимі реального часу доступна з різних джерел, таких як системи моніторингу ефективності польотів, операційні системи авіакомпаній та аеропортів, а також платформи соціальних мереж. В дослідженнях [2; 4] наголошувалось на використанні аналітики даних в авіації для моніторингу стану здоров'я та прогнозного

аналізу. У цих дослідженнях переважно оцінювалися методи, інструменти та інфраструктура, необхідні для впровадження аналізу даних в авіації загального призначення для прогнозування технічного обслуговування та оптимізації експлуатаційних характеристик літаків. Дослідження [5; 6] обґрунтовують висновки, що системи аналізу даних здатні вирішувати сучасні проблеми, з якими стикається авіація, і можуть значно покращити якість прогнозів пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів. Загалом, останні дослідження, присвячені довгостроковому прогнозуванню пасажирських і вантажних перевезень в аеропортах, підкреслили зростаючу важливість і застосування аналітики даних в авіаційній галузі. Проте, не було детально виявлено перспектив розвитку методів та підходів до довгострокового прогнозування розвитку ринку авіаційних перевезень в турбулентних умовах пандемії COVID-19 та міжнародних військових конфліктів.

Постановка завдання. Метою статті є визначення перспектив розвитку ринку авіаційних вантажних перевезень в умовах зростання частки міжнародної електронної комерції та темпів конвертації пасажирських ПС у вантажні, з урахуванням особливостей відновлення індустрії міжнародних авіаційних перевезень у постпандемійний період.

Виклад основного матеріалу. Ключовим питанням щодо забезпечення гармонійного та сталого розвитку ринку авіаційних перевезень є достатня обґрунтованість висновків авіаперевізників та аеропортів зокрема у прийнятті рішень щодо стратегічного розвитку інфраструктури у проектах концесій.

Згідно прогнозів до 2042 року провідних виробників авіаційної техніки Boeing та Airbus світовий валовий внутрішній продукт зростатиме щорічно на 2,6 % та збільшиться на 70 %. та досягне 155 трлн дол. США. Вантажообіг зросте до 630 трлн т.к. за темпів зростання вантажних авіаперевезень на рівні 3,5 % щорічно. Темпи зростання міжнародної торгівлі перевищать темпи зростання світового ВВП та збільшаться на 90–95 % у 2042 році [6–7].

Для збалансованого та гармонійного стратегічного розвитку аеропортів особливо у проектах концесій основною передумовою правильного планування капіталовкладень є точність довгострокових прогнозів розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків.

Сучасні методи довгострокового прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків аеро-

портів базуються на поєднанні статистичних моделей, методів використання експертних оцінок та врахуванні різноманітних факторів, що впливають на авіаперевезення. До них зазвичай відносять:

- Трендові моделі: аналізують історичні дані щодо пасажиропотоків та вантажопотоків, виявляють тенденції та екстраполюють їх у майбутнє.

- Економетричні моделі: встановлюють взаємозв'язки між обсягами перевезень та макроекономічними показниками (ВВП, доходи населення, ціни на паливо, курси валют тощо).

- Моделі часових рядів: враховують сезонність, циклічність та випадкові коливання у пасажиропотоках та вантажопотоках.

- Експертні методи: експерти незалежно один від одного роблять прогнози, які потім узагальнюються та обговорюються. Процес повторюється кілька разів, доки не буде досягнуто консенсусу.

- Структуровані інтерв'ю: експерти відповідають на запитання щодо факторів, що впливають на авіаперевезення, та оцінюють їхній вплив на майбутні пасажиро- та вантажопотоки.

- Сценарний аналіз: розробляються різні сценарії майбутнього розвитку економіки, політики, технологій тощо, та оцінюється їхній вплив на авіаперевезення.

До факторів, що враховуються слід віднести:

- Макроекономічні фактори: динаміку ВВП, рівень доходів населення, інфляція, ціни на паливо, курси валют.

- Соціально-демографічні фактори: чисельність населення, вікова структура, рівень урбанізації, туристичні потоки.

- Політичні фактори: політична стабільність, державне регулювання авіаційної галузі, міжнародні угоди.

- Технологічні фактори: розвиток авіаційної техніки, впровадження нових технологій, розвиток цифрових сервісів.

- Конкурентні фактори: поява нових авіакомпаній, розвиток альтернативних видів транспорту (наприклад, високошвидкісних залізниць).

До сучасних тенденцій слід віднести:

- Використання великих даних (англ. Big Data): аналіз великих масивів даних з різних джерел (соціальні мережі, пошукові системи, дані про бронювання квитків тощо) для виявлення прихованих закономірностей та прогнозування поведінки пасажирів.

- Застосування машинного навчання (англ. Deep Machine Learning: використання алгоритмів машинного навчання для побудови складних

моделей прогнозування, які враховують велику кількість факторів та їх взаємозв'язки.

– Розвиток цифрових платформ: створення цифрових платформ, які об'єднують дані з різних джерел та надають інструменти для аналізу та прогнозування пасажиро- та вантажопотоків.

– Застосування сучасних методів довгострокового прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків не у повній мірі дозволяє аеропортам приймати обґрунтовані рішення щодо інвестицій у розвиток інфраструктури, планування рейсів, тощо.

Розробка нових підходів та методів довгострокового прогнозування розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів в умовах політичної та економічної нестабільності у світі та загрози світових пандемій є вкрай необхідною з кількох причин:

– Збільшення невизначеності: традиційні методи прогнозування, що базуються на історичних даних та стабільних тенденціях, стають менш ефективними в умовах нестабільності. Політичні кризи, війни, пандемії та економічні спади можуть різко змінити пасажиропотоки та вантажопотоки, що робить традиційні прогнози неточними.

– Необхідність адаптації: аеропорти повинні бути готовими до швидких змін та мати можливість адаптувати свою діяльність до нових умов. Це вимагає розробки прогнозних моделей, які враховують різні сценарії розвитку подій та дозволяють оцінити потенційні ризики та можливості.

– Стратегічне планування: довгострокове прогнозування є важливим інструментом стратегічного планування для аеропортів. Воно дозволяє визначити пріоритетні напрямки розвитку, розробити плани інвестицій та оптимізувати використання ресурсів. В умовах нестабільності, стратегічне планування стає ще більш важливим для забезпечення стійкості та конкурентоспроможності аеропортів.

– Управління ризиками: прогнозування дозволяє аеропортам виявити потенційні ризики, пов'язані з політичною та економічною нестабільністю, та розробити заходи щодо їх пом'якшення. Наприклад, аеропорти можуть диверсифікувати свої джерела доходів, розробити плани дій на випадок кризових ситуацій та інвестувати в технології, що підвищують стійкість до зовнішніх шоків.

Розробка нових підходів та методів довгострокового прогнозування розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів має передбачати наступні складові:

– Врахування нелінійних залежностей: розробка моделей, які враховують нелінійні взаємозв'язки між різними факторами, що впливають на пасажиропотоки та вантажопотоки.

– Використання сценарного аналізу: розробка різних сценаріїв розвитку подій, враховуючи різні рівні політичної та економічної нестабільності, та оцінка їхнього впливу на авіап перевезення.

– Застосування методів машинного навчання: використання алгоритмів машинного навчання для аналізу великих масивів даних та виявлення прихованих закономірностей, що можуть бути використані для прогнозування.

– Інтеграція експертних оцінок: залучення експертів з різних галузей для оцінки впливу політичних, економічних та соціальних факторів на авіап перевезення.

– Моніторинг та адаптація: постійний моніторинг ситуації та адаптація прогнозних моделей до нових даних та умов.

Розробка нових підходів та методів довгострокового прогнозування є складним завданням, але воно є необхідним для забезпечення стійкості та конкурентоспроможності аеропортів в умовах глобальної нестабільності.

Точність довгострокових прогнозів розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів має критичний вплив на успіх проектів концесії. Це пов'язано з тим, що такі прогнози є основою для розрахунку очікуваних доходів від аеропорту, які, в свою чергу, визначають фінансову привабливість проекту для потенційних інвесторів та умови концесійної угоди.

Позитивний вплив точності прогнозів для проектів концесій полягає у:

– Спрощенні залучення інвесторів: точні прогнози підвищують довіру інвесторів до проекту, оскільки вони можуть бути впевнені в реалістичності очікуваних доходів та рентабельності інвестицій. Це полегшує залучення фінансування та забезпечує конкуренцію між потенційними концесіонерами, що може призвести до вигідніших умов для держави.

– Створенні оптимальних умов концесії: точність прогнозів дозволяє державі та інвестору встановити справедливі та взаємовигідні умови концесійної угоди. Це включає визначення розміру концесійних платежів, інвестиційних зобов'язань та інших параметрів, які забезпечують баланс інтересів сторін.

– Підвищенні ефективності управління аеропортом: точність прогнозів допомагає концесіонеру розробити ефективну стратегію розвитку

аеропорту, враховуючи очікуваний попит на авіаперевезення. Це дозволяє оптимізувати інвестиції в інфраструктуру, розширення терміналів, модернізацію обладнання та інші проекти, що підвищують якість обслуговування пасажирів та вантажів.

Негативний вплив неточності довгострокових прогнозів розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів полягає у:

- Збільшенні фінансових ризиків: невисока точність прогнозів може призвести до переоцінки або недооцінки очікуваних доходів від аеропорту. Це може спричинити фінансові труднощі для концесіонера, який може зіткнутися з нестачею коштів для виконання інвестиційних зобов'язань або виплати концесійних платежів.

- Збільшенні вірогідності конфліктів між сторонами концесій: неточні прогнози можуть призвести до конфліктів між державою та концесіонером щодо умов концесійної угоди. Концесіонер може вимагати перегляду умов, посиляючись на непередбачені зміни в пасажиропотоках та вантажопотоках, що може призвести до судових розглядів та негативно вплинути на інвестиційний клімат.

- Зниженні ефективності управління аеропортом: неточні прогнози можуть призвести до неефективного управління аеропортом, оскільки концесіонер може приймати неправильні рішення щодо розвитку інфраструктури та інших проектів. Це може призвести до перевантаження аеропорту, зниження якості обслуговування та втрати конкурентоспроможності.

Точність довгострокових прогнозів розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів є ключовим фактором успіху проектів концесії. Держава та інвестори повинні приділяти особливу увагу якості прогнозів, використовуючи сучасні методи та інструменти, враховуючи різні сценарії розвитку подій та ризики. Це дозволить забезпечити взаємовигідну співпрацю, ефективне управління аеропортом та його сталий розвиток.

До найновіших методів та математичних моделей, які дозволяють підвищити точність довгострокових прогнозів пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів, відносять наступні моделі машинного навчання (англ. Machine Learning, ML):

- Нейронні мережі (англ. Neural Networks): завдяки своїй здатності виявляти складні залежності та нелінійні взаємозв'язки між факторами, що впливають на пасажиропотоки та вантажопотоки, нейронні мережі дозволяють будувати точніші прогнози.

- Методи ансамблевого навчання (англ. Ensemble Learning): поєднують прогнози кількох моделей машинного навчання для підвищення точності та стійкості до помилок.

- Моделі GARCH (англ. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity): Використовуються для моделювання та прогнозування волатильності (мінливості) часових рядів, що особливо важливо в умовах нестабільності.

- Моделі на основі агентів (англ. Agent-Based Models, ABM) моделюють поведінку окремих пасажирів та вантажовідправників: Враховують їхні індивідуальні рішення та взаємодії, що дозволяє отримати більш реалістичні прогнози. Дозволяють враховувати складні соціально-економічні фактори: Такі як зміни в уподобаннях пасажирів, вплив політичних подій та економічних криз.

- Гібридні моделі поєднують переваги різних підходів: Наприклад, моделі машинного навчання можуть бути використані для прогнозування основних тенденцій, а моделі часових рядів – для врахування сезонності та випадкових коливань.

- Моделі з урахуванням зовнішніх факторів включають дані про макроекономічні показники: Такі як ВВП, рівень доходів населення, ціни на паливо, політичну стабільність, епідеміологічну ситуацію тощо. Дозволяють оцінити вплив зовнішніх шоків: Наприклад, пандемій, воєн, економічних криз, на розвиток пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів.

Тому у подальших дослідженнях критично необхідно дослідити ефективність поєднання найновіших методів та моделей довгострокового прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів для забезпечення найвищого рівня точності прогнозів який зможе забезпечити збалансованість та гармонійність планування інвестицій у розвиток транспортної інфраструктури та реалізацію цих планів у проектах концесій.

Висновки. За результатами проведеного дослідження щодо визначення потреби у нових підходах до довгострокового прогнозування пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів в умовах зростання турбулентності навколишнього середовища, політичної нестабільності епідеміологічних загроз було визначено вплив еволюції методів прогнозування на точність довгострокових прогнозів розвитку пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів. Відзначено при цьому важливість урахуванням особливостей політичної та економічної нестабільності у світі та його залежності від потенційних пандемійних та постпандемій-

них процесів. Визначено необхідні кроки для розвитку і адаптації нових підходів та методів прогнозування, здійснення яких вимагають сучасні тенденції розвитку пасажирських та вантажних

авіаперевезень. Було охарактеризовано вплив точності довгострокових прогнозів пасажиропотоків та вантажопотоків аеропортів на успішність реалізації проектів концесій.

Список літератури:

1. Gallet C.A., Doucouliagos H. The income elasticity of air travel: a meta-analysis. *Annals of Tourism Research*. 2014. Vol. 49. P. 141–155. <https://doi.org/10.1016/j.annals.2014.09.006>
2. Wandelt S., Sun X., Zhang A. Is the aircraft leasing industry on the way to a perfect storm? Finding answers through a literature review and a discussion of challenges. *Journal of Air Transport Management*. 2023. Vol. 111. P. 102426. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2023.102426>
3. Guzhva, V.S., Raghavan, S., D'Agostino, D.J., 2019a. Chapter 14 – engine leasing. In: Guzhva, V.S., Raghavan, S., D'Agostino, D.J. (Eds.), *Aircraft Leasing and Financing*. Elsevier. P. 443–483. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815285-0.00014-6>. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128152850000146>.
4. Guzhva, V.S., Raghavan, S., D'Agostino, D.J., 2019b. Chapter 3 – principles of aircraft leasing versus ownership. In: Guzhva, V.S., Raghavan, S., D'Agostino, D.J. (Eds.), *Aircraft Leasing and Financing*. Elsevier. P. 65–99. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-815285-0.00003-1>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128152850000031>.
5. World Air Cargo Forecast 2022–2041. URL: <https://www.boeing.com/commercial/market/cargo-forecast#downloads> (дата звернення 15.05.2024).
6. Commercial Market Outlook 2023–2042. URL: <https://www.boeing.com/commercial/market/commercial-market-outlook#смо-апп> (дата звернення 16.05.2024).
7. Global Market Forecast (GMF) for the 2023–2042 period. URL: <https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/market/global-market-forecast> (дата звернення 15.05.2024).

Viniukov-Proshchenko A.S. THE IMPACT OF THE EVOLUTION OF MODERN APPROACHES TO LONG-TERM FORECASTING OF PASSENGER AND CARGO FLOWS IN AIRPORT CONCESSION PROJECTS

The article notes the significant relevance of studying the impact of the evolution of modern approaches to forecasting passenger and cargo flows on the accuracy of planning the development of airport infrastructure. The prerequisites and potential consequences of using combinations of modern methods of forecasting passenger and cargo flows for airport concession projects were described.

The analysis of scientific studies has made it possible to identify the problems of long-term forecasting of air passenger and cargo traffic, which have been previously, studied, in particular, its theoretical concepts and forms, motives and goals of the processes. At the same time, no prospects for the development of methods for long-term forecasting of passenger and cargo flows in turbulent times of pandemics and military conflicts have been identified.

The study identifies the impact of the evolution of modern approaches to forecasting passenger and cargo flows on the accuracy of airport infrastructure development planning processes in concession projects. The author identifies directions for the development of scientific research on the development of modern approaches to forecasting passenger and cargo flows at airports, and notes that the impact of modern trends in the development of air transport in the world in recent years requires market participants to ensure the ability to quickly respond to constant changes in conditions and adjust long-term forecasts of passenger and cargo flows at airports.

The author describes the direction of development of the air transport market in the context of the COVID-19 pandemic and the recovery of the international air transport market in the context of international military conflicts. It is emphasised that the turbulence of the modern world inevitably leads to the need to develop conceptually new approaches and methods for forecasting passenger and cargo flows at airports to improve the accuracy of strategic planning for the development of their infrastructure, in particular in concession projects.

Key words: airports, air cargo, air passenger traffic, passenger flows, forecasting, predictors, concession projects, air transport market.