

Перспективні напрямки автоматизації обробки експлуатаційних параметрів авіаперевезень

Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи для автоматизації збору та обробки параметрів авіаперевезень є критично необхідним етапом для подальшого впровадження інтелектуальних методів управління. В умовах сучасного авіаційного ринку, а також з огляду на специфіку українських реалій, швидкість і точність обробки польотних даних стають визначальними факторами забезпечення безпеки та стійкості інфраструктури. Метою дослідження є встановлення перспективних напрямків розробки та впровадження автоматизованих систем, які забезпечують інтегровану обробку вхідних експлуатаційних даних, їх верифікацію та автоматичне формування аналітичної звітності щодо параметрів авіарейсів. На основі аналізу сучасних наукових джерел систематизовано перспективні напрямки оптимізації авіаційних операцій. Доведено, що сучасна наука переходить від статичних математичних моделей до динамічних систем. Установлено, що ефективність використання складного математичного апарату критично залежить від якості, верифікації та оперативності збору вхідних параметрів. Велика кількість розрізнених даних вимагає створення єдиного інформаційного простору для усунення «вузьких місць». Найбільш перспективним підходом визначено побудову архітектури, де інтелектуальні модулі інтегровані безпосередньо в контур управління повітряним рухом. Це дозволяє обробляти множинні джерела інформації в реальному часі, мінімізувати вплив «людського фактора», прогнозувати транспортні потоки та ефективно керувати розкладом вузлових аеропортів. Використання виявлених закономірностей дозволяє спроектувати модулі збору та попередньої обробки даних згідно з жорсткими вимогами сучасних алгоритмів машинного навчання. Це є фундаментальною основою для розробки високоефективних систем підтримки прийняття рішень, які не лише автоматизують рутинні процеси, але й забезпечують предиктивний аналіз траєкторій польотів, комплексно підвищуючи ефективність галузі.

Ключові слова: автоматизація, параметри, експлуатація, технології, авіаперевезення, перспективи.

Постановка проблеми. В умовах сучасного авіаційного ринку швидкість та точність обробки польотних даних є критичними для виживання компанії. Велика кількість розрізнених параметрів (витрати пального, аеронавігаційні збори, технічний стан суден, логістика) потребує створення єдиного інформаційного простору. Використання комп'ютерно-інтегрованих підходів

дозволяє автоматизувати рутинні операції, мінімізувати вплив «людського фактора» та забезпечити оперативне отримання техніко-економічних показників для прийняття управлінських рішень. Сучасні вітчизняні та зарубіжні вчені активно обговорюють особливості експлуатації авіаційного транспорту як об'єкта автоматизації та дослідити принципи побудови автоматизованих робочих місць (АРМ) для критичної інфраструктури. Проте аналіз світового досвіду показує, що сучасні тенденції автоматизації авіаперевезень, спрямовані на використання складного математичного апарату. Зокрема, сучасні дослідження підкреслюють трансформаційну роль штучного інтелекту в управлінні повітряним рухом, де ШІ використовується не лише для автоматизації рутинних завдань, а й для предиктивного аналізу транспортних потоків з метою уникнення заторів та затримок. Проте ефективність таких моделей критично залежить від якості та оперативності первинної обробки експлуатаційних даних. Саме тому розробка комп'ютерно-інтегрованої системи для автоматизації збору та обробки параметрів авіаперевезень є актуальним та необхідним етапом для подальшого впровадження інтелектуальних методів управління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень доводить, що питання автоматизації обробки експлуатаційних параметрів авіаперевезень широко висвітлені у науковій літературі. Дослідники приділяють значну увагу оптимізації наземної експлуатації в міжнародних аеропортах [2] та вивчають трансформаційну роль штучного інтелекту в сучасному управлінні повітряним рухом [3]. Окремий пласт робіт присвячено розробці моделей оптимізації розкладу вузлових аеропортів в умовах стохастичної невизначеності [4, 5, 9]. Сучасні фахівці детально розглядають перспективи застосування методів штучного інтелекту в повітряних операціях [8] та аналізують параметри систем трансферних авіаперевезень з використанням нечіткої логіки [6]. Водночас вітчизняні та зарубіжні автори акцентують на важливості впровадження інтелектуальних систем автоматизації для підвищення ефективності галузі [1, 10].

На особливу увагу заслуговує питання перспективних напрямків автоматизації обробки експлуатаційних параметрів авіаперевезень в сучасних українських реаліях. Умови воєнного стану диктують потребу в миттєвому реагуванні на критичні зміни в логістиці та забезпеченні максимальної точності прогнозування в умовах постійних ризиків. Автоматизація процесів обробки даних стає не просто інструментом ефективності, а критичним чинником забезпечення безпеки та стійкості авіаційної інфраструктури. Вочевидь, ця проблема залишиться стратегічно актуальною і в поствоєнний

період, коли відновлення галузі та інтеграція в глобальний авіаційний простір вимагатимуть впровадження високотехнологічних рішень для оптимізації трафіку та мінімізації експлуатаційних витрат».

Постановка завдання. Метою проведеного дослідження є дослідження перспективних напрямків розробки та впровадження автоматизованих систем, які забезпечують інтегровану обробку вхідних експлуатаційних даних, їх верифікацію та автоматичне формування аналітичної звітності щодо параметрів авіарейсів. Виклад основного матеріалу. Теоретичний аналіз даних науково-методичної та спеціальної літератури дозволив виявити пласт наукових робіт, дотичних до теми нашого дослідження. Зокрема, вчені вивчають можливості покращення наземної експлуатації аеропорту в міжнародних аеропортах, удосконалення контролю та управління пунктуальністю розкладу польотів [2, 9] та пропонують методи оптимізації експлуатації злітно-посадкових смуг [7, 10].

У роботі Е. Guzha [4] розглядається задача оптимізації функціонування авіаційного хабу (модель «hub & spoke») шляхом інтелектуального керування розкладом рейсів. Автор використовує апарат нечіткої логіки та теорії ймовірностей для врахування суб'єктивних факторів (комфорт пасажирів) та стохастичної природи наземного обслуговування. Поставлену задачу зведено до математичної моделі, де цільовою функцією є мінімізація втрачених доходів при дотриманні жорстких обмежень на ресурси наземних служб. При цьому джерелом вхідної інформації виступають виробничі бази даних аеропорту та експертні оцінки.

Аналогічний підхід використано і V. Romanenko [6], де задачу спільної оптимізації розкладів літаків і наземних операцій для аеропортів в умовах невизначеності автор пропонує розв'язати методом нечітких множин і ймовірно-теоретичного моделювання.

Вивчаючи шляхи покращення пунктуальності вильоту повітряних суден у процесі розвороту, Wu, Cheng-Lung [2] наголошує, що поліпшення пунктуальності досягається через керування розкладом та моніторинг операційної ефективності наземних служб. За твердженням Gustaf Sölveling [4], використання стохастичного програмування дозволяє максимізувати пропускну здатність аеропорту навіть при суттєвих відхиленнях від графіку.

Вивчаючи шляхи оптимізації трафіку аеропортів та аналіз аеродромів, Zbakh, Douae [10] доводить необхідність віртуального симулювання процесів для підвищення безпеки та регулярності польотів. Автор акцентує увагу на

тому, що у теперішній час найефективнішим підходом є рішення, які можна тестувати та віртуально моделювати в інструментальних середовищах (зокрема Arena), що дозволяє мінімізувати ризики зіткнень та затримки.

У дисертаційному дослідженні Ahmed Khassiba [5] представлено чисельне дослідження проблеми планування прибуття літаків за умови невизначеності. Для вирішення піднятого питання автор запропонував модель у вигляді двоступеневої стохастичної задачі та розв'язав її шляхом декомпозиції Бендера.

Окремі автори [3] акцентують на тому, що в умовах стрімкого розвитку авіаційної галузі впровадження штучного інтелекту (ШІ) є перспективним напрямком її удосконалення: від проектування літаків і модернізації аеропортової інфраструктури до вдосконалення систем управління повітряним рухом (УПР). Зокрема, пропонується використовувати ШІ для оптимізації витрат палива, автоматизації рутинних завдань диспетчерів, аналізу великих масивів даних для прийняття рішень та прогнозування транспортних потоків з метою запобігання заторам. Хоча повна заміна авіадиспетчерів ШІ є складною через високу відповідальність та необхідність миттєвого людського судження, вчені обґрунтовують доцільність поступової інтеграції ШІ-технологій у конкретні операційні процеси, що дозволить значно підвищити рівень безпеки та загальну ефективність авіаперевезень. Запропонована авторами архітектура базується на інтеграції інтелектуальних модулів безпосередньо в контур управління повітряним рухом, що дозволяє системі в реальному часі корегувати траєкторії польотів на основі прогнозних моделей. Така схема забезпечує безперервний цикл збору даних від аеродромного та районного диспетчерських центрів для автоматизованої мінімізації затримок у зонах з високою інтенсивністю руху.

У межах системного огляду авіаційних операцій автори вказують на критичну роль машинного навчання для прогнозування траєкторій польотів та оптимізації льотно-технічних характеристик повітряних суден [8]. Дослідники пропонують інтегрувати алгоритми штучного інтелекту в системи управління повітряним рухом для підвищення оперативної ефективності та безпеки, при цьому особлива увага приділяється вирішенню проблем варіативності даних. На основі аналізу понад 120 досліджень автори обґрунтовують, що впровадження інтелектуальних систем дозволяє не лише автоматизувати процеси, а й трансформувати підходи до обробки множинних джерел інформації в режимі реального часу, що є ключовим для подальшого розвитку галузі.

На основі проведеного аналізу науково-методичної літератури, основні підходи до автоматизації та оптимізації процесів в авіації систематизовано в наступній таблиці (табл. 1).

Як свідчать результати огляду, сучасна наука рухається від статичних математичних моделей до динамічних інтелектуальних систем, а саме:

- використання штучного інтелекту дозволяє трансформувати обробку множинних джерел інформації в режим реального часу;
- критичним фактором успіху є подолання варіативності даних через впровадження інтегрованих модулів безпосередньо в контур управління;
- прогнозування траєкторій та автоматизація звітності стають базовими елементами для підвищення безпеки польотів.

Висновки. Сучасний стан авіаційної галузі характеризується переходом від класичних математичних моделей до інтелектуальних систем на базі штучного інтелекту та машинного навчання. Це дозволяє не лише автоматизувати рутинні операції, а й здійснювати предиктивний аналіз траєкторій та транспортних потоків у реальному часі.

Ефективність складних моделей (нечіткої логіки, стохастичного програмування чи ШІ) критично залежить від якості, верифікації та оперативності збору вхідних параметрів авіарейсів. Саме цей етап є «вузьким місцем», яке потребує створення єдиного інформаційного простору.

Таблиця 1

Узагальнення напрямів оптимізації авіаційних операцій

Напрямок дослідження	Об'єкт оптимізації	Математичний апарат/ Методи	Ключовий результат
Управління розкладом та хабами	Функціонування авіаційних вузлів (Hub & Spoke), пунктуальність	Нечітка логіка, теорія ймовірностей, стохастичне програмування	Мінімізація втрачених доходів та максимізація пропускної здатності
Наземне обслуговування	Процеси розвороту ПС, операції в аеропортах	Моніторинг операційної ефективності, імітаційне моделювання (Arena)	Підвищення регулярності польотів, безпека наземних операцій

Планування польотів (АТС/УПР)	Прибуття літаків, траєкторії руху в умовах невизначеності	Двоступеневі стохастичні задачі, декомпозиція Бендера	Бендера Оптимізація черг на прибуття та зниження затримок
Інтелектуальні системи (ІІ)	Управління повітряним рухом (УПР), проектування інфраструктури	Машинне навчання (ML), прогностні моделі реального часу	Автоматизація рутинних завдань диспетчера, запобігання заторам

Найбільш перспективним підходом є побудова архітектури, де інтелектуальні модулі інтегровані безпосередньо в контур управління повітряним рухом. Це забезпечує безперервний цикл збору даних та їх автоматизовану обробку для прийняття управлінських рішень. Використання виявлених закономірностей дозволить нам спроектувати модулі збору даних (Data Collection) та попередньої обробки (Preprocessing) таким чином, щоб вони відповідали вимогам сучасних ІІ-алгоритмів.

Список літератури:

1. Інтелектуальні системи автоматизації : монографія / О. Г. Аврунін та ін. Кременчук : НОВАБУК, 2021. 322 с.
2. Chen T., Hanaoka S. Improvement of Airport Surface Operation at Tokyo International Airport Using Optimization Approach. Aerospace. 2022. Vol. 9, No. 3. Art. 145. DOI: <https://doi.org/10.3390/aerospace9030145>.
3. Nanban D. et al. Enhancing Air Traffic Management: The Transformative Role of Artificial Intelligence in Modern Air Traffic Control. FMDB Transactions on Sustainable Intelligent Networks. 2024. Vol. 1, No. 2. P. 72–84. DOI: <https://doi.org/10.69888/FTSIN.2024.000210>.
4. Guzha E., Romanenko V., Skorokhod M. Optimization model of the hub airport schedule under uncertainty. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. Vol. 450. Art. 022023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/450/2/022023>.
5. Khassiba A. Programmation stochastique à deux étapes pour l'ordonnancement des arrivées d'avions sous incertitude : diss. ... cand. techn. sciences : 2020. Toulouse : Université Paul Sabatier, 2020. 156 p. 6. Romanenko V. Optimization of transfer air transportation system parameters considering fuzzy and stochastic

uncertainties. *Automation and Remote Control*. 2015. Vol. 76, No. 8. P. 1500–1514. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0005117915080135>.

7. Sölveling G. et al. Runway Operations Optimization in the Presence of Uncertainties. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*. 2010. Vol. 34, No. 2. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2010-9252>.

8. Tafur C. L. et al. Applications of artificial intelligence in air operations: A systematic review. *Results in Engineering*. 2025. Vol. 25. Art. 103742. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103742>.

9. Wu C.-L., Caves R. Flight schedule punctuality control and management: A stochastic approach. *Transportation Planning and Technology*. 2003. Vol. 26, No. 4. P. 313–330. DOI: <https://doi.org/10.1080/03081060310001635869>.

10. Zbakh D. et al. Airport traffic optimisation and airdrome analysis using mathematical modelling. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. 2023. Vol. 31, No. 3. P. 1744–1753. DOI: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i3.pp1744-1753>.

Furtat S.O., Furtat O.V., Lialikova Yu.V. PROMISING DIRECTIONS FOR AUTOMATING THE PROCESSING OF AIR TRANSPORTATION OPERATIONAL PARAMETERS

The development of a computer-integrated system for automating the collection and processing of aviation parameters is a crucial step for the subsequent implementation of intelligent management methods. In today's aviation market, and considering the specific context of Ukrainian realities, the speed and accuracy of flight data processing are becoming decisive factors in ensuring infrastructure safety and resilience. The aim of the study is to identify promising directions for the development and implementation of automated systems that ensure the integrated processing of input operational data, their verification, and the automated generation of analytical reports on flight parameters. Based on an analysis of modern scientific sources, promising directions for the optimization of aviation operations have been systematized. It has been proven that modern science is shifting from static mathematical models to dynamic systems. It has been established that the effectiveness of using complex mathematical frameworks depends critically on the quality, verification, and promptness of input parameter collection. The vast amount of disparate data necessitates the creation of a unified information space to eliminate bottlenecks. The most promising approach is determined to be the development of an architecture where intelligent modules are integrated directly into the air traffic control loop. This allows for the real-time

processing of multiple information sources, minimizing the "human factor," forecasting traffic flows, and efficiently managing hub airport schedules. Leveraging the identified patterns allows for the design of data collection and preprocessing modules that meet the strict requirements of modern machine learning algorithms. This forms a fundamental basis for developing highly efficient decision support systems that not only automate routine processes but also provide predictive analysis of flight trajectories, comprehensively enhancing the industry's efficiency. Keywords: automation, parameters, operation, technologies, air transportation, prospects.