

Соколова О.Є.

Національний авіаційний університет

Чередніченко К.В.

Національний авіаційний університет

МЕТОДИ ТА МОДЕЛІ КОРОТКОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ЄВРОПЕЙСЬКОГО РИНКУ АВІАЦІЙНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Загострення військово-політичної ситуації на території України призвело до падіння, невизначеності та нестабільності соціально-економічних показників, але не змінило державних орієнтирів в бік європейської інтеграції, зокрема у транспортній сфері. Вітчизняний авіаційний сектор, як інші галузі економіки, на сучасному етапі, знаходиться у край важкому стані.

Українські авіапідприємства зазнавши значних збитків за наслідками глобальної пандемії Covid-2019 та не встигнувши повністю повернутися до продуктивного стану, опинилися перед новим складним випробуванням, що виникло з початком війни в країні 24 лютого 2022 р. Закриття повітряного простору держави, значні пошкодження, що зазнали об'єкти авіатранспортної та критичної інфраструктури за результатами російської агресії, стали причиною, в більшості випадків, тимчасового призупинення діяльності підприємств авіаційної галузі та необхідності пошуку альтернативних напрямків щодо її відновлення та диверсифікації поза межами країни, у тому числі у країнах ЄС. Виходячи з цього, для забезпечення можливості продовження євроінтеграційних процесів на авіаційному транспорті у після військовий період, швидкої адаптації та планування авіап перевізниками стратегічних, тактичних та операційних показників з урахуванням реалій сьогодення, важливим завданням є оцінювання існуючого стану, особливостей функціонування та прогнозування тенденцій розвитку європейського ринку авіаційних перевезень.

У статті проаналізовано стан глобального та європейського ринків авіаційних перевезень у посткризовий період. Встановлено позитивну динаміку процесів відновлення галузі після пандемії Covid-2019 на початку 2022 р., але визначено суттєві відхилення між фактичними та прогнозними показниками. Досліджено методи прогнозування пасажирських та вантажних перевезень, що застосовують у сучасній практиці авіаційного бізнесу. Розроблено прогноз європейського ринку авіаційних пасажирських перевезень за методом екстраполяції часових рядів та регресійного аналізу.

Запропоновано імітаційну модель для короткострокового прогнозування експлуатаційної діяльності аеропорту на основі наявної післявідмовної динаміки ключових показників.

Ключові слова: авіаційні перевезення, європейський регіон, критичний збій, прогноз, модель множинної регресії, імітаційне моделювання.

Постановка проблеми. У 2022 році, коли світ поступово оговтується від пандемії Covid-19, визначення прогнозних значень ключових виробничо-фінансових показників діяльності авіаційної галузі на глобальному та регіональному (національному) рівнях, а також на рівні окремих авіапідприємств стають критично необхідними. Актуальність цього питання обумовлюється, перш за все, тим, що у період з 2019 р. по 2020 р. спостерігається різке скорочення експлуатаційних показників авіаційного транспорту, а це потенційно створює критичний шум у виборці статистичного ряду та виникнення можливих кореляційних помилок при прогнозуванні подальших тенденцій його розвитку; по-друге, фактично неможливо спрогнозувати динаміку показників авіапідприєм-

ства на короткострокову перспективу за наявними індикаторами після збою, оскільки вибірка даних занадто мала. Саме тому, важливим завданням є розробка оптимальних прогнозних моделей для авіаційної галузі, що могли б максимально точно відобразити поведінку досліджуваних показників у посткризовий період.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним підходом до прогнозування на авіаційному транспорті є методика, що запропонована ІКАО [1], сутність якої полягає у представленні функціональної залежності пасажирообігу від соціально-економічних чинників у мультиплікативній формі. Практична реалізація цієї методики передбачає використання двох незалежних змінних, як правило, це макроекономічний показник

(ВВП) та показник, що характеризує вартість перевезення. Базові галузеві довгострокові прогнози авіаперевезень розробляються міжнародними організаціями ICAO [2], IATA [3], а також компаніями-лідерами світового авіабудування Airbus [4] та Boeing [5].

Розробці методичних підходів довгострокового прогнозування авіаційних перевезень присвячено значну кількість наукових праць, серед яких слід відзначити роботи таких вчених як: Марінцевої К. [6], Петрик В. [7], Хезледін Т. [8], Гудмандсон С. [9] та ін.

Характеризуючи вітчизняну та зарубіжну дослідницьку практику прогнозування попиту на авіаційні послуги, можна відзначити активне використання методів математичного моделювання на основі регресійного та кореляційного аналізу, статистичного прогнозування тимчасових рядів (екстраполяція), а також експертних оцінок. Крім цього, все частіше застосовуються нейронні мережі та системна динаміка при розробці моделей прогнозу для авіаційного транспорту [10 – 11].

Проведений аналіз науково-практичної літератури свідчить про вагомий внесок науковців стосовно прогнозування обсягів авіаційних перевезень із застосуванням різних методичних підходів, зокрема на довгострокову перспективу. Однак, при цьому, у науковому колі питання розробки короткострокових прогнозів розвитку авіатранспортної системи та її структурних елементів у посткризовий період залишаються невирішеними та мають дещо фрагментарний характер.

Постановка завдання. Мета статті полягає у визначенні тенденцій розвитку глобального та європейського ринків авіаційних перевезень у посткризовий період, дослідженні та тестуванні різних методів прогнозування європейського попиту на авіаційні послуги, а також розробці імітаційної моделі для короткострокового прогнозування експлуатаційної діяльності авіапідприємства (аеропорту) на основі наявної післявідмовної динаміки ключових показників.

Виклад основного матеріалу дослідження. Отже, Covid-19 призвів не лише до максимального скорочення обсягів авіаційних пасажирських перевезень у 2020 р. та дестабілізації роботи авіапідприємств порівняно з 2019 р., але й створив майже непередбачувані тенденції подальшого розвитку авіаційного сектору. Це пов'язано з тим, що введенні технологічні обмеження та вимоги до перевізного процесу повітрям під час пандемії негативно вплинули на відчуття комфорту серед пасажирів, що вимушені були проходити додаткові процедури контролю на наявність вірусу, дотримуватися

соціальної дистанції, а також знаходитися довгий час у захисній масці, а в деяких випадках, взагалі, бути не впевненим щодо можливості подорожі. Саме з цих причин, у травні 2020 р. 40% людей заявили, що планують менше користуватися авіаційним транспортом ніж раніше. Безумовно, такі зміни в індивідуальних уподобаннях створюють безліч потенційних перешкод для авіакомпаній, які необхідно враховувати, щоб поступово вийти з цієї кризи та стати знов привабливими для потенційної клієнтури [12].

На думку провідних експертів, глобальний авіаційний ринок може почати повноцінно функціонувати та досягнути показників 2019 р. не раніше 2024 р., але при умові відсутності повторення сценарію пандемії та погіршення загальносвітових тенденцій соціально-економічного розвитку.

На поточному етапі, вже відчуваються позитивні зміни у пасажирському сегменті світового авіаційного сектору. Так, наприклад, за результатами липня 2022 р. глобальний пасажиропотік збільшився на 39,6% порівняно з аналогічним періодом 2021 р., що на 25,4% нижче рівня 2019 р. Активне відновлення пасажирського трафіку спостерігається у всіх регіонах світу, причому найбільший приріст зареєстровано у Азіатсько-Тихоокеанському регіоні. Коефіцієнт пасажирського завантаження у липні 2022 р. досяг 83,5%, що на 1,14% вище попереднього року, коли показник дорівнював 73,1% [12].

Після короткотривалого зростання обсягів авіаційних вантажних перевезень у період з 2020 р. по 2021 р., 2022 р. характеризується зменшенням показника порівняно з 2019 р., основними причинами чого стали висока інфляція та зростання відсоткових тарифних ставок. Але не дивлячись на це, послаблення обмежень Covid-19 та необхідність зберігання стійких ланцюгів постачання все ж таки будуть сприяти підтримці глобального попиту на зовнішньоторговельні процеси та авіаперевезення у найближчій перспективі. Відзначимо, що у липні 2022 р. структура глобального вантажопотоку за регіонами світу розподіляється нерівномірно. Так, якщо Північна Америка показує суттєве зростання вантажного авіатрафіку починаючи з 2019 р., у європейському регіоні, навпаки, спостерігається його найбільше скорочення. Підкреслимо, що у звітному періоді Європа займала 30,4% у глобальній структурі ринку пасажирських авіаперевезень за показником пропускної спроможності, що на 48,9% більше ніж у попередньому 2021 р. та менше на 16,1% менше рівня 2019 р. [13].

Таким чином, проведений аналіз стану глобального та регіональних ринків авіаційних перевезень у посткризовий період, в цілому, свідчить про позитивну динаміку процесів відновлення галузі за результатами 2 кв. 2022 р., але показує суттєві відхилення між прогнозними та фактичними даними, зокрема, що були визначені на короткострокову перспективу. Саме тому, важливо провести дослідження найбільш відомих методів прогнозування на авіаційному транспорті та розробити оптимальну прогнозну модель, щоб максимально відображала поточну ринкову ситуацію та враховувала виникнення збійних ситуацій за ключовими видами діяльності.

У сучасній практиці авіаційного бізнесу застосовують різні моделі прогнозування пасажирських та вантажних перевезень, які в залежності від рівня завдання, що вирішується доцільно об'єднати у наступні групи:

- загальні моделі прогнозування обсягів перевезень в цілому по країні, окремим регіонам, економічним районам, територіальним об'єднанням, авіапідприємствам;

- часткові моделі прогнозування пасажиро-та вантажопотоків на конкретних авіалініях, між окремими аеропортами (населеними пунктами), мережі повітряних ліній.

Серед найбільш розповсюджених підходів до прогнозування на авіаційному транспорті слід відзначити: математичне моделювання на основі регресійного та кореляційного аналізу; статистичне прогнозування тимчасових рядів (екстраполяція); експертних оцінок.

На основі методів регресійного та кореляційного аналізу оцінюють тенденції розвитку прогнозованого процесу в залежності від впливу на нього певних факторів. Завдяки екстраполяції тимчасових рядів з використанням різних аналітичних функцій визначають динаміку змін досліджуваного показника послідовно у часі. Застосування методів

експертних оцінок передбачає вивчення й узагальнення думок досвідчених фахівців галузі, за допомогою яких знаходять узагальнену збалансовану оцінку параметру, що прогнозується. Відзначимо, що дельфійський метод є одним з ефективних підходів до транспортного планування та розробки національних або регіональних прогнозів розвитку авіаційних перевезень.

У загальному вигляді процес прогнозування функціонування авіатранспортної системи передбачає розробку взаємозалежних прогнозів та припущень тенденцій розвитку її складових компонентів (рис. 1).

На кожному етапі планування розвитку авіаційної галузі аналізуються специфічні чинники, що прямо або опосередковано впливають на досліджуваний показник та, в залежності від ступеня тісноти зв'язку між ними, обираються в якості вихідних даних для розробки відповідних моделей прогнозу (рис. 2). Визначення зв'язку між попитом та окремими соціально-економічними показниками проводиться на першому етапі прогнозування національних обсягів пасажирських та вантажних перевезень.

Найбільш точним вважається такий прогноз, при розробці якого використовуються зовнішні та незалежні джерела інформації щодо тенденцій змін чинників, що досліджуються. Однак непередбачені зміни розвитку цих джерел можуть бути причиною істотної варіації прогнозованого національного попиту на авіаційні перевезення, особливо в довгостроковій перспективі. Для того щоб відобразити цю невизначеність прийнято розраховувати ряд сценаріїв зміни попиту (песимістичний, оптимістичний та реалістичний прогнози).

Прогнозування розподілу пасажиро- та вантажопотоків серед аеропортів здійснюється на основі прогнозу національного попиту на перевезення. Одним з найпопулярніших джерел отримання вихідної інформації у даному випадку



Рис. 1. Етапи прогнозування розвитку авіатранспортної системи



Рис. 2. Система ключових показників (чинників), що використовуються в моделях прогнозування тенденцій розвитку авіатранспортної системи

є опитування авіапасажирів та вантажовідправників/отримувачів з метою визначення походження, напрямів та цілей поїздок пасажирів в аеропортах, спектру аеропортових послуг.

Після цього передбачається розподіл прогнозованого попиту на перевезення між аеропортами на основі статистичного аналізу минулих рішень. Модель прогнозу також може бути використана для урахування майбутніх наслідків обмеження пропускної спроможності певного аеропорту.

На етапі розробки прогнозів розвитку парку повітряних суден авіакомпаній необхідно враховувати існуючі та прогнозовані обсяги авіаперевезень для кожного аеропорту, мережу маршрутів, тип та вік літаків, що експлуатуються на кожній авіалінії. Важливою складовою прогнозування

тенденцій розвитку авіатранспортної системи або окремого авіапідприємства є оцінка майбутніх екологічних наслідків (екологічного забруднення), що полягає у розробці прогнозів викидів CO₂, які генеруються за окремими видами діяльності та, базуються на результатах прогнозів інтенсивності руху повітряних суден наявного та проектного парку літаків.

Виходячи з вищенаведеного, можна зробити висновки про те, що прогнозування є необхідною, але складною процедурою, що спрямована на гармонізацію діяльності авіапідприємств через формування адекватної пропозиції на ринку авіаційних перевезень.

Як говорилося раніше, групою методів прогнозування, які широко використовують в авіаційній

галузі є аналітичні методи, до яких належать: методи регресійного та кореляційного аналізу, а також економетричного моделювання. Точність та надійність аналітичних методів залежить від достовірності статистичних даних залежних та незалежних змінних, а також зберігання сталого зв'язку між ними упродовж періоду, що прогнозується.

Отже, для підтвердження вищенаведеного, авторами проведено аналіз щомісячних обсягів пасажирських перевезень європейського ринку авіаційних перевезень за 2020 р. – 2022 р. (6 місяців) та побудовано моделі короткострокового прогнозу досліджуваного показника на основі методів екстраполяції часових рядів (рис. 3) та регресійного аналізу.

Згідно отриманих рівнянь прогнозу методом екстраполяції часових рядів обсягів перевезень пасажирів авіаційним транспортом європейського регіону найбільше значення апроксимації $R^2 = 0,5883$ отримано за поліноміальним типом лінії тренду:

$$y = 203666x^2 - 5E+0, 6x + 5E+0, 7. \quad (1)$$

Поліноміальне наближення дає позитивні результати, якщо залежність, що міститься у даних, характеризується постійною швидкістю зростання.

На етапі прийняття управлінських рішень слід враховувати, що екстраполяція у більшості випадків не вважається задовільним методом прогнозування. Це обумовлюється тим, що метод виправдовує себе лише через існування параметрів, які вплинули на попит у минулому зі швидкістю, яка є функцією часу. Тому, у випадку невизначеності параметрів, що базуються на часі, а також ступеню їхнього впливу на попит, процес прогнозування стає достатньо складним та не об'єктивним.

Побудова моделі прогнозування на основі регресійного аналізу передбачає встановлення зв'язку обсягів пасажирських авіаційних перевезень з іншими явищами, об'єктами та процесами у вигляді рівняння регресії:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \quad (2)$$

Прогноз здійснюється підстановкою до моделі значень обраних факторів та оцінкою очікуваного середнього значення результативної ознаки. Для встановлення області розсіювання визначаються довірчі інтервали.

Для побудови регресійної моделі прогнозу для європейського регіону обрані фактори, що мають вплив на формування попиту на авіаційні пасажирські перевезення, а саме (табл. 1): номінальний ВВП на душу населення ($R^2 = 0,5945$), кількість безробітних ($R^2 = 0,5656$) та споживчі витрати ($R^2 = 0,9432$).

За результатами проведення регресійного аналізу, залежність кількості авіаційних пасажирів (Y) від номінального ВВП (на душу населення) (X_1), кількість безробітних осіб (X_2) та споживчих витрат (X_3) в країнах ЄС можна представити у вигляді лінійної моделі:

$$y = -58056,75102x_1 - 11,43562923x_2 + 0,000985791x_3 - 363567416,1. \quad (3)$$

Враховуючі той факт, що коефіцієнт детермінації у даному випадку дорівнює $R^2=0,9051$, то ступінь залежності обсягів пасажирських авіаційних перевезень від сукупності запропонованих соціально-економічних показників достатньо високий.

Відзначимо, що отримана прогнозна модель, в цілому, свідчить про негативні тенденції роз-

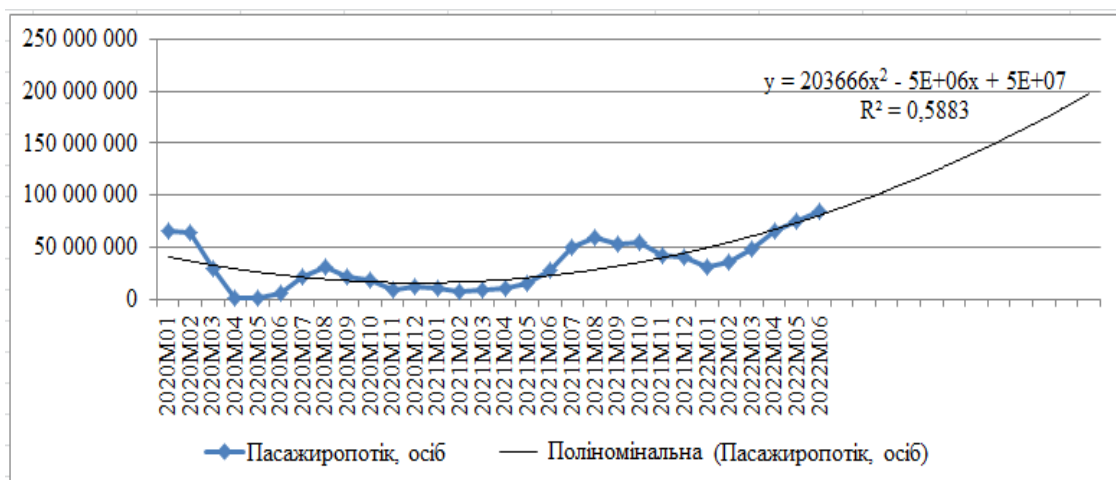


Рис. 3. Прогноз європейського ринку авіаційних пасажирських перевезень за методом екстраполяції часових рядів (поліноміальний тип лінії тренду)

Соціально-економічні показники розвитку європейського регіону (країни ЄС)
за період з 2020 р. – 2022 р. (2 кв.) [13]

Період	Авіаційний пасажиропотік, осіб	Номинальний ВВП на душу населення, євро	Кількість безробітних, осіб	Споживчі витрати, євро
1 кв. 2020 р.	158161532	7500	43503000	1468840000000
2 кв. 2020 р.	7361012	6900	42930000	1283520000000
3 кв. 2020 р.	74 726 479	7630	48990000	1462330000000
4 кв. 2020 р.	37481807	8000	46809000	1420710000000
1 кв. 2021 р.	25464457	7580	49056000	1390710000000
2 кв. 2021 р.	52387893	7980	45849000	1441950000000
3 кв. 2021 р.	161056367	8200	43257000	1504880000000
4 кв. 2021 р.	136141908	8670	41319000	1504250000000
1 кв. 2022 р.	115047157	8320	41543000	1503620000000
2 кв. 2022 р.	224572609	8700	38772000	1522570000000

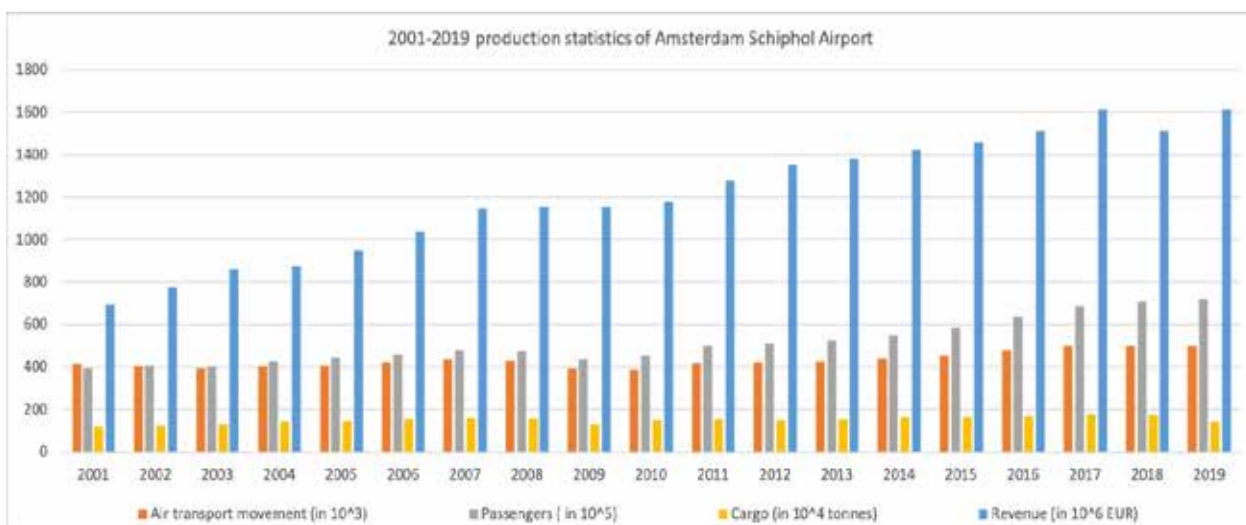


Рис. 4. Динаміка ключових виробничо-фінансових показників аеропорту «Схіпхол» (м. Амстердам, Нідерланди) за 2001–2019 рр. [14]

витку європейського ринку авіаційних пасажирських перевезень.

У посткризовий період спостерігається різке зниження експлуатаційних характеристик авіа-підприємств, що потенційно створює критичний шум у вибірці даних та призводить до кореляційних помилок прогнозування. Крім цього, фактично неможливо спрогнозувати динаміку їх розвитку за наявними індикаторами після збою, оскільки вибірка статистичних даних занадто мала.

Для вирішення цих проблем, авторами запропонована симуляційна модель для прогнозування ефективності авіаційного підприємства (на прикладі аеропорту «Схіпхол», м. Амстердам, Нідерланди), що складається з двох етапів: 1) розробка математичної моделі для встановлення загальних кореляцій між виробничими

операціями та доходами; 2) розробка імітаційної моделі для короткострокового прогнозування експлуатаційної діяльності на основі наявної післявідмовної динаміки ключових показників.

Отже, на першому етапі, згідно проведеного аналізу аналітичних матеріалів об'єкту дослідження за 2001 р. – 2019 р. (рис. 4), побудовано множинну регресійну модель з використанням таких показників як: кількість рухових операцій ПС на території аеропорту (зліт та посадка), пасажиро- та вантажопотоки.

Програмування моделі множинної регресії доходів аеропорту «Схіпхол» здійснювалося за допомогою ПЗ RStudio (рис. 5).

Кореляційні графіки за моделлю множинної регресії доходів аеропорту «Схіпхол», що побудовані у ПЗ RStudio наведені на рис. 6.

```

Call:
lm(formula = rev ~ atm + pass + carg, data = data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-211.62  -62.95  -14.27   55.13  175.77

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  32.641    92.389   0.491  0.6294
          atm    -2.758     1.071  -2.574  0.0191 *
          pass   32.364     5.896   5.489 3.26e-05 ***
          carg   354.786    187.666   1.891  0.0749 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 100.4 on 18 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9143,    Adjusted R-squared:  0.9
F-statistic: 64.02 on 3 and 18 DF,  p-value: 8.428e-10
    
```

Рис. 5. Результуючий код моделювання множинної регресії доходів аеропорту «Схіпхол» у ПЗ RStudio

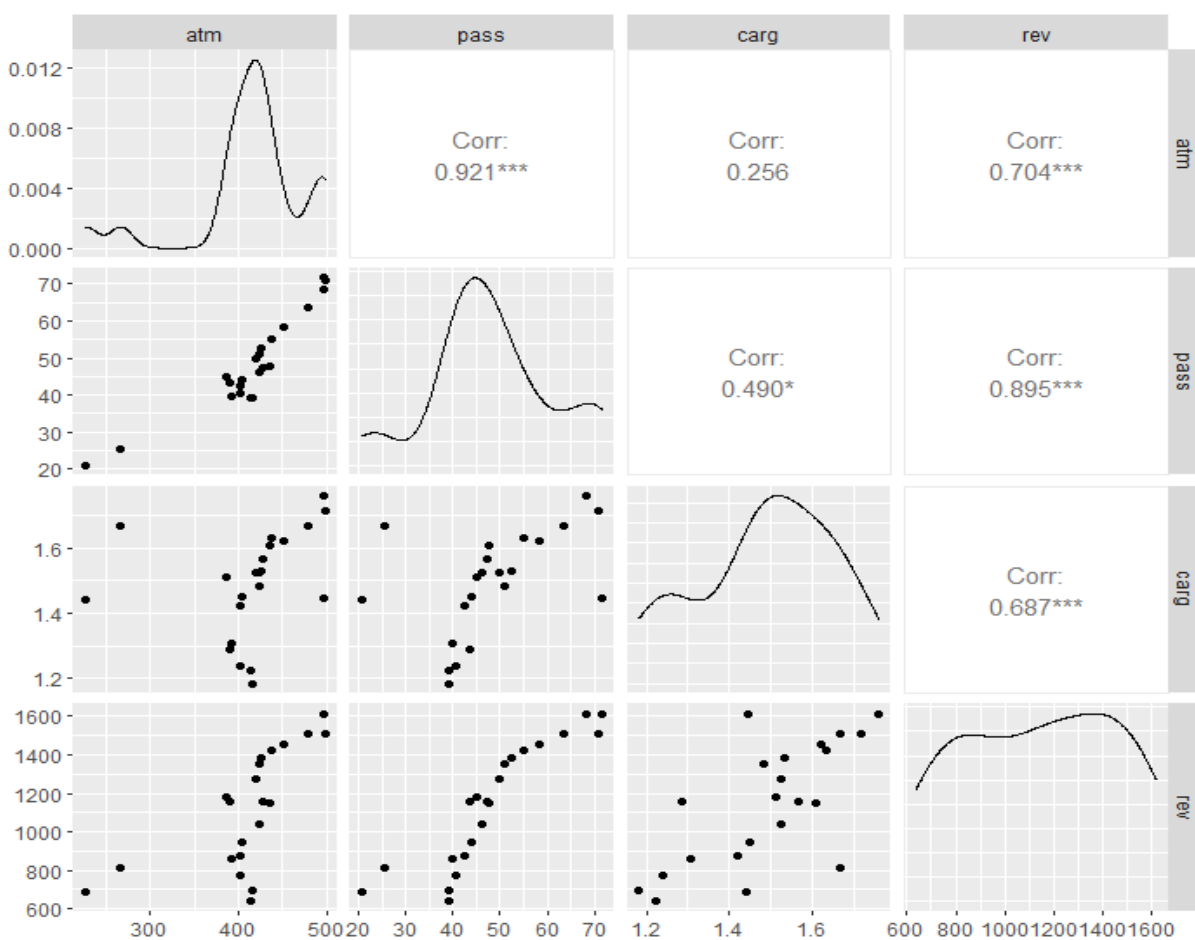


Рис. 6. Кореляція показників моделі множинної регресії доходів аеропорту «Схіпхол» у ПЗ RStudio

Отримані результати моделювання інтерпретуюмо таким чином:

- точність моделі $R^2 = 0,90$ (високий рівень $\geq 0,85$);

- існує висока кореляція доходів та рухових операцій ПС на території аеропорту ($p - value = 0,0191 < 0,05$);

- висока позитивна кореляція виручки з кількістю перевезених пасажирів ($p - value = 0,0000326$);

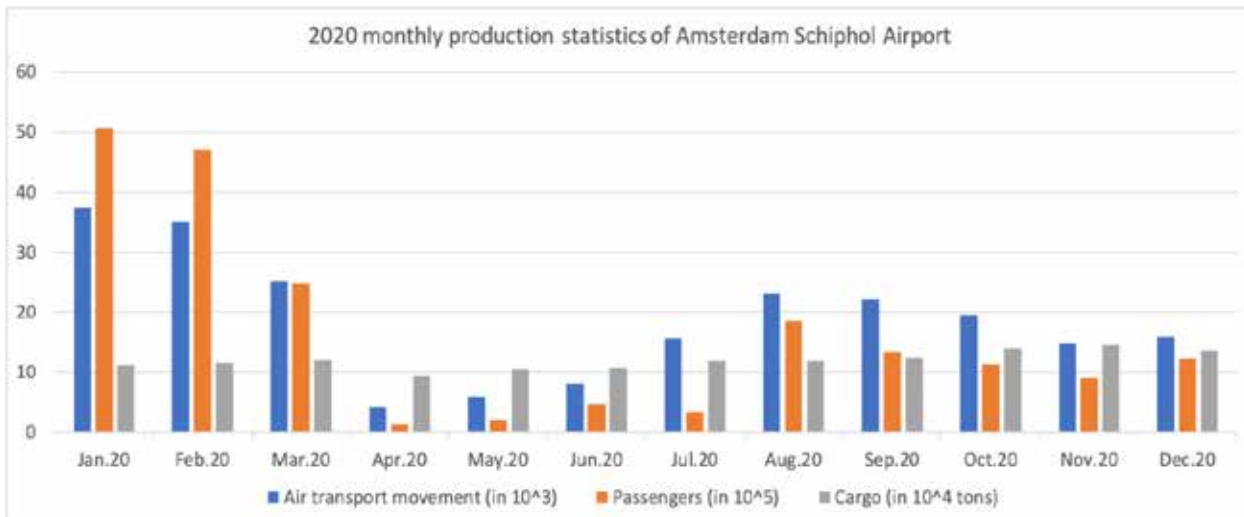


Рис. 7. Щомісячні статистичні дані виробничих показників аеропорту «Схіпхол» (м. Амстердам, Нідерланди) за 2020 р. [15]

Таблиця 2

Основні характеристики вибірки критичних статистичних даних

Показник	Min	Max	Середнє	σ
Кількість рухових операцій ПС на території аеропорту (тис.од.)	4,242	23,125	14,376	5,520614045
Кількість пасажирів (млн.осіб)	0,126015	1,854786	0,94799	0,504904633
Обсяг вантажу (млн. тонн)	0,09325489	0,15320616	0,12323052	0,015330566

– середня позитивна кореляція доходів та перевезених вантажів ($p - value = 0,0749$).

Виходячи з вищенаведеного, розроблена модель матиме такий вигляд:

$$REV_{Schiphol} = 32,641 - 2,758 \cdot \alpha + 32,364 \cdot \beta + 354,786 \cdot \gamma, \quad (4)$$

де $REV_{Schiphol}$ – дохід аеропорту «Схіпхол», млн. євро;

α – кількість рухових операцій ПС на території аеропорту, тис. од.;

β – кількість перевезених пасажирів, млн. осіб;

γ – обсяг перевезеного вантажу, млн. т.

На наступному етапі, розроблено імітаційну модель для короткострокового прогнозування діяльності аеропорту «Схіпхол» (м. Амстердам, Нідерланди) в МО Excel. В якості вихідних даних взято щомісячну виробничу статистику авіапідприємства за 2020 р. (рис. 7).

Результати розрахунку основних характеристик критичних вибірок даних за допомогою вбудованих функцій МО Excel наведені у табл. 2.

Розроблений інтерфейс імітаційної моделі представлено на рис. 8.

Основна ідея моделювання полягає в тому, що для визначення кожного індикатора прово-

Predictive Simulation Model				
	MIN	MAX	MEAN	STD.DEVIATION
Monthly Air Transport Movements (in thousands)	4,242	23,125	14,376	5,520614045
Monthly Passengers (in millions)	0,126015	1,854786	0,94799	0,504904633
Monthly Cargo	0,093254889	0,15320616	0,12323052	0,015330566
Monthly Air Transport Movements (in thousands)	Random Value	0,2026104		
	Normal Distribution	9,78100875		
				Average Revenue = 66,4226949
				Std. deviation 23,0676731
				Max 141,912713
Monthly Passengers (in millions)	Random Value	0,81700318		
	Normal Distribution	1,40442547		
Monthly Cargo	Random Value	0,8103924		
	Normal Distribution	0,13671135		
Iteration	Air Transport Movements	Passengers	Cargo	Simulated Revenue
1	9,781008748	1,40442547	0,13671135	99,62107776
2	9,796548814	0,73777211	0,11157183	69,08349916
3	13,96695482	1,30612184	0,08038305	64,91024823

Рис. 8. Розроблений інтерфейс прогновної імітаційної моделі у МО Excel

дяться 10^5 ітерацій експерименту за допомогою МО Excel. Таким чином створюється вибірка симуляційних даних, котра базується на тих самих законах розподілу, що і оригінальна статистична вибірка, але фактично не дорівнює їй:

$$SIM = NORM.INV(Probability; Mean; Standart Deviation) \quad (5)$$

де *NORM.INV* – функція, яка повертає обернений нормальний кумулятивний розподіл; *Probability* – порогове значення функції повернення, яке моделюється *RAND()* функцією.

Для того, щоб отримати змодельований місячний дохід, авторами була використана формула (4).

Основні характеристики змодельованої місячної вибірки доходу зібрані у табл. 5. Отримані дані процентилію змодельованого місячного доходу аеропорту «Схіпхол», а також графічне його представлення наведено у табл. 3 та на рис. 6. Гістограму розподілу змодельованого місячного доходу аеропорту «Схіпхол» представлено на рис. 7.

Таблиця 3

Основні характеристики змодельованої місячної вибірки доходу

Показник	Середнє	Max	
Дохід (млн. євро)	66,4226949	141,1912713	23,0676731



Рис. 6. Процентильний графік місячного доходу аеропорту «Схіпхол»

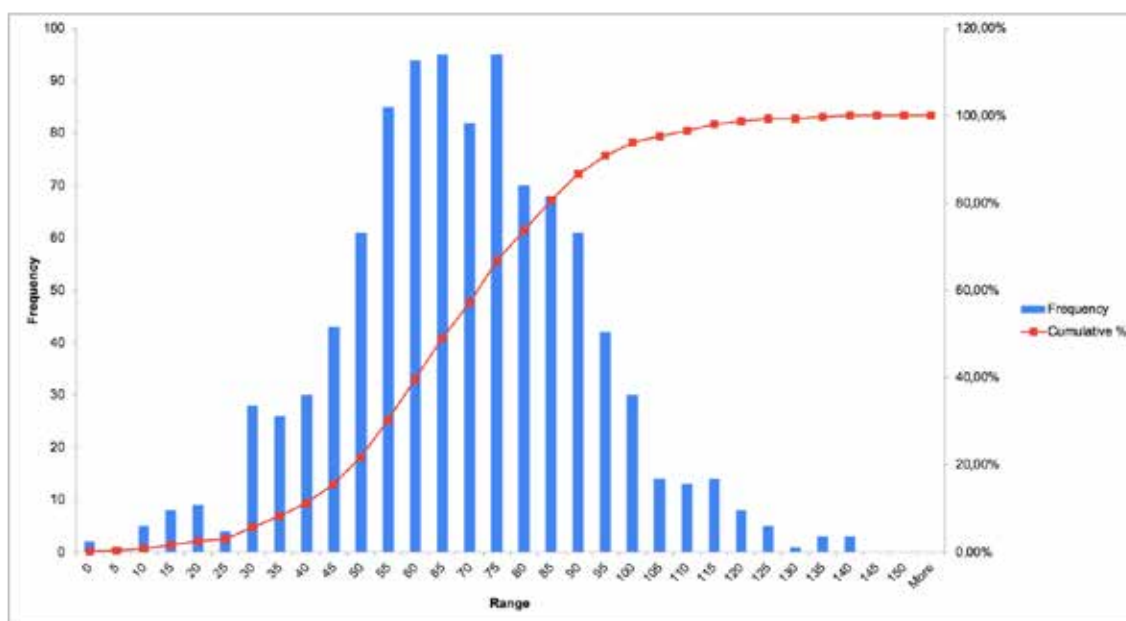


Рис. 7. Гістограма розподілу змодельованого місячного доходу аеропорту «Схіпхол»

Таблиця 4
Процентиль змодельованого місячного доходу аеропорту «Схіпхол»

Процентиль	Дохід, млн. євро
0,05	28,88784158
0,1	36,95226344
0,15	41,74715449
0,2	46,57471619
0,25	51,04351446
0,3	54,4209168
0,35	57,63116061
0,4	61,18603932
0,45	64,21002389
0,5	67,32336094
0,55	70,27680982
0,6	72,95159629
0,65	75,15860066
0,7	78,21345247
0,75	82,25044112
0,8	86,47961938
0,85	90,49937229
0,9	95,971416
0,95	102,9544739
1	141,9127131

Результати моделювання (табл. 4) інтерпретуються таким чином: при ймовірності 55% дохід об'єкту дослідження буде $\leq 70,277$ млн.євро. Це свідчить про можливість використання отриманих даних для прогнозу середньомісячної продуктивності аеропорту, з урахуванням математичного очікування результату діяльності підприємства. До того ж, значення процентилей можуть застосовуватися на етапі прийняття управлінських рішень при проведенні оцінювання критерію оптимізму/песимізму (подібно до критерію песимізму Гурвіца), який відображає очікування авіапідприємства щодо певного результату.

Для перевірки достовірності розробленої прогностичної моделі розраховано дохід аеропорту

«Схіпхол» на 2021 р. ($66,422 \times 12 = 797,064$ млн.євро). Порівнюючи проектне значення показника з фактично отриманими доходами авіапідприємства у 2021 р. (816 млн. євро [15]), можна стверджувати про високу точність та надійність запропонованого методу прогнозування (92,66%).

Висновки. Прогнозування є невід'ємною складовою процесу управління національною (глобальною, регіональною) авіатранспортною системою, а також необхідним елементом формування продукту авіакомпаній, що полягає в основі виробництва нових типів авіаційної техніки, розподілу пасажиро- та вантажопотоків між аеропортами держави (регіону) та формування системи оцінювання (мінімізації) екологічних наслідків від діяльності авіаційного транспорту.

Встановлено, що на сучасному етапі процес прогнозування стикається з низкою критичних проблем. З одного боку, пандемія призвела до різкого зниження операційних показників, що потенційно створює критичний шум у вибірці даних та кореляційні помилки в прогнозуванні. З іншого боку, неможливо передбачити динаміку підприємства за допомогою доступних індикаторів після збою, оскільки вибірка даних занадто мала.

Запропонована прогностична (імітаційна) модель, що розроблена на основі використання методу Монте-Карло, може бути потенційно корисною у таких випадках: при наявності критичного шуму вибірки, який може спричинити помилкові кореляції (наприклад, припинення діяльності підприємства через війну, пандемію або критичний збій); при відсутності значної вибірки даних для прогнозування короткострокових значень (наприклад, у випадку новонароджених авіаційних компаній, які нещодавно увійшли в галузь). Потенційно модель може бути розширена (з метою підвищення точності) фактором сезонності та значною вибіркою статистики.

Список літератури:

1. ICAO. Manual on Air Traffic Forecasting (Doc 8991 AT/722/3). URL: https://www.icao.int/MID/Documents/2014/Aviation%20Data%20Analyses%20Seminar/8991_Forecasting_en.pdf. (дата звернення: 10.12.2022).
2. ICAO (2021). Forecasts of Scheduled Passenger and Freight Traffic. URL: <https://www.icao.int/sustainability/pages/eap-fp-forecast-scheduled-passenger-traffic.aspx>. (дата звернення: 10.12.2022).
3. Air Passenger Numbers to Recover in 2024. URL: <https://www.iata.org/en/pressroom/2022-releases/2022-03-01-01/>. (дата звернення: 18.12.2022).
4. Airbus. Global Market Forecast 2022-2041. URL: <https://www.airbus.com/en/products-services/commercial-aircraft/market/global-market-forecast>. (дата звернення: 10.12.2022).
5. World Air Cargo Forecast 2022-2041. URL: <https://www.boeing.com/commercial/market/cargo-forecast/>. (дата звернення: 10.12.2022).
6. Марінцева К.В. Наукові основи та методи забезпечення ефективного функціонування авіатранспортних систем. *Монографія*. 2014. Київ, НАУ. 504 с.

7. Петрик В. Л. Аналіз стану світового ринку цивільної авіації та прогноз його розвитку в умовах нестабільного попиту на авіап перевезення. *Бізнес Інформ*. 2020. №3. С. 112–119. <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-3-112-119>.
8. Hazledine T (2017). An augmented gravity model for forecasting passenger air traffic on city-pair routes. *J Transp Econ Policy*. 51(3). 208–224.
9. Gudmundsson S., Cattaneo M., Redondi R. (2021). Forecasting temporal world recovery in air transport markets in the presence of large economic shocks: The case of COVID-19. *Journal of Air Transport Management*. 91. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2020.102007>.
10. Chen S., Kuo S., Chang K., & Wang Y. (2012). Improving the forecasting accuracy of air passenger and air cargo demand: the application of backpropagation neural networks. *Transportation Planning and Technology*. 35(3). 373-392. <http://dx.doi.org/10.1080/03081060.2012.673272>.
11. Muros Anguita J. G., & Díaz Olariaga O. (2022). Air passenger demand forecast through the use of Artificial Neural Network algorithms. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*. 9 (3). <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2022.1726>.
12. Airline industry worldwide - number of flights 2004-2022. URL: <https://www.statista.com/statistics/564769/airline-industry-number-of-flights/> (дата звернення: 18.12.2022).
13. Official website of the European Union. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database> (дата звернення: 18.12.2022).
14. Schiphol Group's Annual Report. URL: <https://www.schiphol.nl/en/schiphol-group/page/annual-reports/> (дата звернення: 18.12.2022).
15. Royal Schiphol Group. Traffic and transport figures per month. URL: <https://bit.ly/3mD4IUZ>. (дата звернення: 18.12.2022).

Sokolova O.Ye., Cherednichenko K.V. METHODS AND MODELS OF SHORT-TERM FORECASTING OF THE EUROPEAN AIR TRANSPORT MARKET

The aggravation of military and political situation in Ukraine led to decline, uncertainty and instability of socio-economic indicators, but had no effect on country's European integration course, particularly, in transport industry. The domestic aviation sector, similarly to other economic branches, is currently in an extremely difficult condition.

Suffered from significant losses due to global Covid-2019 pandemic with no time to fully restore the productive state, Ukrainian aviation companies faced a new challenge that came with the beginning of War on February 24, 2022. The closure of Ukraine's airspace, air transport and critical infrastructure damages caused by Russian aggression, in most cases, led to temporary suspension of aviation industry enterprises and the need to find alternative directions for recovery and diversification outside the country, including the EU. Thus, in order to ensure the continuation of European integration processes in air transportation in the post-war period, rapid adaptation and planning of strategic, tactical and operational indicators (taking into account the modern realities), it is necessary for air carriers to assess the existing state, peculiarities of operation and forecast the trends of European air transportation market development.

The article consists the state analysis of Global and European air transport markets in the post-crisis period. Positive recovery dynamics of industry after the Covid-2019 pandemic at the beginning of 2022 is established, but significant deviations between actual and forecast indicators is identified. Modern methods of passenger and cargo transportation forecasting used in aviation business, are studied. A forecast of European air passenger transport market is developed by time series extrapolation method and regression analysis.

A simulation model is proposed for short-term forecasting of airport operational activity based on the available post-failure dynamics of key indicators.

Key words: *air transportation, European region, critical failure, forecast, multiple regression model, simulation modeling.*