

В. К. Доля, д-р техн. наук, проф.,
Національний університет «Одеська політехніка»
orcid.org/0000-0002-9639-3640
e-mail: k.v.dolia@gmail.com;

К. В. Доля, д-р техн. наук, доц.
Національний аерокосмічний університет
імені М.С. Жуковського "Харківський авіаційний інститут"
orcid.org/0000-0002-4693-9158
e-mail: k.v.dolia@gmail.com;

О. Є. Доля, канд. техн. наук, доц.
Харківський національний університет радіоелектроніки
orcid.org/0000-0002-0364-988X
e-mail: olena.dolya@ukr.net

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ

Вступ

Сучасний стан наукової думки в питаннях дослідження параметрів пасажирських перевезень, встановлення взаємних зв'язків між такими параметрами доводять необхідність визначення майбутніх кількісних показників обсягів перевезень пасажирів. Розв'язання задач із визначення характеристик пасажиропотоку є актуальним завданням сучасної науки й полягло в мету значної кількості досліджень. Результати роботи доводять, що такі питання є актуальними для всіх видів транспорту при розгляді різних перевезень, від міських до міжконтинентальних.

Об'єкт дослідження – процес функціонування пасажирських транспортних систем в межах України.

Предмет дослідження – пасажирські транспортні системи, формування потоків пасажирів, перерозподіл пасажирів між альтернативними маршрутами в одному та багатьох видах транспорту.

Мета та методи дослідження

Ціллю дослідження є встановлення функції перерозподілу пасажирів між альтернативними маршрутами, розробити модель маршрутної мережі на прикладі України. Для отримання поставлених задач в роботі було використано методи наукового дослідження: емпіричний при спостереженні за діючою системою, вивченні системи, вимірюванні її параметрів, комплексний при аналізі літератури, моделюванні мережі, верифікації при аналізі отриманих резуль-

татів, первинні методи при вивченні джерел та математичний при отриманні функції.

Постановка проблеми

Для забезпечення комп'ютерного моделювання було розглянуто маршрутну мережу України. Автостанції та автовокзали обласних міст України – місця концентрації пасажирів прийнято вузлами, що мають певні характеристики прийняття та відправлення пасажирів, шлях – дуги сполучення. Запропоновано графоаналітичний підхід до певного етапу моделювання мережі. Запропонований підхід дозволяє розрахувати матрицю відстаней та матрицю розподілу потоку між вузлами.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В роботі Bao, Y., Yi, D., Xiong, T., Hu, Z., & Zheng, S. (2011) [1–8] проведено порівняльне дослідження гібридної лінійної та нелінійної моделі моделювання для прогнозування авіаційних перевезень. В роботі авторами було здійснено вибір моделі для проведення відповідних розрахунків параметрів пасажиропотоків. Запропоновано обрати модель із найменшими параметрами дисперсії можливих варіантів розрахунку. Результати демонструють, що значного покращення можна досягти за допомогою гібридної лінійної та нелінійної структури, зокрема, гібридної структури із урахування багатофакторності відповідного розрахункового параметру. Авторами Rodríguez-Doncel, V., Santos, C., & Casanovas, P. (2014) [9–15] в роботі визначається

важливість регулярності сполучень, недопущення невиконання рейсів й наслідки таких невиконань для пасажирів.

Математичне моделювання пасажиропотоків висвітлено в роботі авторів Marie-Sainte, S. L., Saba, T., & Alotaibi, S. (2019) [16–20]. Автори обрали підхід із математичного моделювання із одночасним використанням методів прогнозування лінійної регресії із використанням в цій моделі нейронних мереж. Автори зазначають, що питання розрахунків параметрів пасажиропотоку є базовим завданням для планування діяльності не лише авіаперевізника, а й в діяльності аеропорту. Зазначено, що урахування можливих відхилень від розрахункових параметрів пасажиропотоків при розробленні стратегії функціонування авіаційної галузі перевезень є обов'язковою частиною для ефективного управління процесом в умовах можливих ризиків. До аналогічних результатів у дослідженні прийшли й автори Dang, Y. Li, W. (2010) [20–25], якими в дослідженні було використано мережний підхід при вирішенні задач дослідження. На думку авторів мережне моделювання й аналіз характеристик мереж є фактором впливу на напрями пересувань пасажирів авіаційною мережею, а також на кількісні характеристики таких пересувань.

Авторами роботи Jing He, J., Xu, L., Ning Guo, X., & Hu, Y. (2021) [25] розглянуто фактори якості сервісного обслуговування, як такі фактори що впливають на кількість відправлень пасажирів з аеропорту. Авторами отримано висновки, що якість обслуговування пасажирів є фактором прийняття рішення при виборі способу переміщення пасажирів. Такий вибір, на думку авторів, пасажирів робили не лише між аеропортами, а й між видами транспорту. Визначено, що частка пасажирів приймає рішення при плануванні поїздки опираючись певною мірою на комфортність їздки, а інші параметри вважає другорядними. Згадане дослідження проведено в Китаї та має на меті визначити вплив підвищення комфортності обслуговування в аеропортах на кількість пасажирів, які скористаються послугами таких портів. Багатофакторність моделей із визначення кількості пасажирів авіаційних перевезень розглянуто в роботі авторів Liang, X., Guo, Z., Zhang, Q., Yang, M., & Wang, S. (2020) [24]. Результатом роботи обрано ентропійний підхід до моделювання настання прийняття рішень пасажирів при виборі способу їздки. Авторами Huang, F., Peng, J., You, M. (2016) [20] в роботі отримано висновки, що мережа авіакомпаній має обмеження для пасажирів, які подорожують, що призводить до того, що розподіл довжини групової подорожі більш

узгоджується з розтягнутим експоненційним розподілом. Час інтервалу поїздки пасажирів задовольняє усічений розподіл по степеневому закону, а не розподілу по степеневому закону. Тим часом, свята мають великий вплив на пасажирів, які подорожують. Зокрема, під час свята весни, літніх канікул та національного свята кількість пасажирів набагато більше, ніж в будь-який інший час. В роботі Ida, Y. (1993) [18] розкрито питання авіаційної мобільності пасажирів залежно від відстані між аеропортом та місцем життєдіяльності пасажирів. Reyna, O. S., De La Mota, I. F. (2018) в роботі [11] звернули увагу, що важливо враховувати кількість інформації, яка створюється може бути нелегкою для аналізу безпосередньо пасажирів. Визначено, що складно подана інформація про характеристики (умови) перельоту може призвести до прийняття рішення про скасування намірів пасажирів в отриманні таких послуг.

Сучасні методи визначення параметрів системи

Зростаючий попит на послуги аеропортів цивільної авіації створив у світі актуальним питання визначення параметрів даного попиту. Накопичені бази даних параметрів експлуатації портів та пасажирських перевезень, демонструють значні відмінності між окремими аеропортами в одній й той самий час. Цим обумовлено потребу визначення параметрів експлуатації аеропортів та засобів транспорту авіаційної галузі у часі. Визначення таких параметрів на певний проектний час забезпечить процеси планування діяльності окремого порту у певному часовому інтервалі. Це є необхідним для створення стратегії роботи аеропортів із задовільним рівнем якості обслуговування пасажирів та організації експлуатаційних заходів засобів транспорту. Подібні питання й підходи до їхнього вирішення вже було висвітлено в роботах сучасників [12–14]. Авторами роботи [15] запропоновано підхід до визначення пропускної здатності аеропорту та коливань пасажиропотоку за допомогою введеного ними індексу авіапасажирів.

Індекс авіапасажирів (API): Встановлення значення X_t як пасажиропотік аеропорту за одиницю періоду, API для цього періоду визначається як X_t^* :

$$X_t^* = \frac{X_t - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (1)$$

де X_{\min} та X_{\max} – мінімальна та максимальна кількість авіапасажирів за одиницю часу відповідно, тоді як X_t^* коливається від 0 до 1.

Рівень індексу авіапасажирів (LAPI): Набір $\{p_1, p_2, p_3 \dots p_i\}$ це набір послідовності API з кількох одиниць часу. Після кластеризації створений кластер $\{N_i\}$ це сукупність об'єктів даних. Коли період API становить 1 місяць, і місячний API аеропорту складає X_i^* , рівень індексу авіапасажирів (LAPI) виводиться як:

$$N_{X_i^*} = \left\{ \begin{array}{l} 1, p_i \in (0, i) \\ 2, p_i \in (i, j) \\ 3, p_i \in (j, k) \\ \dots \\ N, p_i \in (\theta, 1) \end{array} \right\}, \quad (2)$$

де p_1, p_2, p_i є одиницями часу, тоді як i, j, k, θ є граничними значеннями кластера.

Інформаційну ентропію можна використовувати для вимірювання ступеня невизначеності системи (або ступеня впорядкованості). Виводиться за такою формулою:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) \quad (3)$$

де $P(x_i)$ – ймовірність вибірки x_i , і n – кількість зразків.

Можна помітити, що чим менше ймовірність виникнення події, тим вищі значення інформаційної невизначеності та ентропії. Авторами запропоновано прийняти спільний розподіл ймовірностей випадкового вектору (X, Y) буде p_{ij} , потім двовимірна спільна ентропія вектора (X, Y) є:

$$H(X, Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log p_{ij} \quad (4)$$

Вважаючи, що спільні розподіли ймовірностей X і Y є p_{ij} та p_{gj} , відповідно, умовну ентропію можна визначити як:

$$H(X/Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log \frac{p_{ij}}{p_{gj}} \quad (5)$$

$$H(X/Y) = -\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} \log \frac{p_{ij}}{p_{ig}}$$

Таким чином, можна виразити значення ентропії, для якого змінна X (або Y) зменшується через появу змінної Y (або X).

$$\begin{aligned} I(X; Y) &= H(X) - H(X|Y) \\ &= H(Y) - H(Y|X) \\ &= H(X) + H(Y) - H(X, Y) \end{aligned} \quad (6)$$

Комбінуючи формули (3)–(6), повний вираз можна звести до такого вигляду:

$$I(X; Y) = \sum_{i,j} p_{ij} \log_2 \frac{p_{ij}}{p_{ig} p_{gj}}. \quad (7)$$

Регресія опорного вектора є широко використовуваним методом прогнозування. Загальну модель лінійної регресії можна виразити так:

$$f(x) = w^T x + b, \quad (8)$$

де w – вектор нормалі вхідного вектора API, і b – значення відхилення.

Значення дорівнює нулю лише тоді, коли $f(x)$ є точно таким же, як справжнє значення. Таким чином, концепцію можна виразити так:

$$\min \frac{1}{2} w^2 + C \sum_{i=1}^m l_\epsilon(f(x_i) - y_i), C > 0 \quad (9)$$

де C є константою регуляризації для виконання компромісного розрахунку на передній та задній панелі.

$$l_\epsilon(z) = \begin{cases} 0 & \text{if } |z| \leq \epsilon \\ |z| - \epsilon & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

У фактичних даних API певне значення може перевищувати звичайну тенденцію через зовнішні причини. Тому в разі серйозних відхилень від фактичне значення, слабкі змінні ξ_i та ξ_i^* вводяться як інтервали «пом'якшення», що зводить формулювання до наступного вигляду:

$$\begin{aligned} &\min \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^m (\xi_i - \xi_i^*) \\ \text{s.t.} &\begin{cases} f(x_i) - y_i \leq \epsilon + \xi_i \\ y - f(x_i) \leq \epsilon + \xi_i^* \end{cases} \quad i=1, 2, \dots, m; \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

Використовуючи подвійний принцип і вводячи лагранжів мульти-наконечники α_i та α_i^* , подвійну проблему SVR можна сформулювати як:

$$\begin{aligned} &\max_{\alpha, \alpha^*} \sum_{i=1}^m y_i (\alpha_i^* - \alpha_i) - \frac{1}{2} \\ &\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m y_i (\alpha_i^* - \alpha_i) (\alpha_j^* + \alpha_j) x_i^T x_j \\ \text{s.t.} &\sum_{i=1}^m (\alpha_i^* - \alpha_i) = 0, \quad 0 \leq \alpha_i^*, \alpha_i \leq C. \end{aligned} \quad (12)$$

Коли передбачене значення API потрапляє в ϵ -м'який зона, α_i та α_i^* , може бути ненульовим значенням. Нарешті, функція прогнозування регресії SVR може бути виражена як:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m (\alpha_i^* - \alpha_i) x_i^T x + b \quad (13)$$

$$b = y_i + \epsilon - \sum_{i=1}^m (\alpha_i - \alpha_i^*) x_i^T x_i. \quad (14)$$

Для даних часового ряду API з нелінійною тенденцією SVR може відобразити вибірку у просторі високої розмірності через функцію нелінійного відображення $\phi(x)$, а потім замінити внутрішній векторний добуток простору високої розмірності $\phi(x_i) \cdot \phi(x_j)$ з функцією ядра $K(x_i, x_j)$. Найбільш часто використовуваною функцією ядра є функція ядра з радіальною базою Гауса (RBF), яку можна виразити таким чином:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\sigma^2}\right), \quad (15)$$

де γ є параметром функції ядра гаусового радіального базису ($\gamma = \frac{1}{2\sigma^2}$) та $\sigma > 0$ – пропускна здатність ядра Гауса.

Зрештою, функція регресії набуває такого вигляду:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m (\alpha_i^* - \alpha_i) K(x, x_i) + b. \quad (16)$$

Щоб проаналізувати результати прогнозування різних моделей, у цьому дослідженні використовували середню абсолютну відсоткову помилку (MAPE) і середньоквадратичну помилку (RMSE), які можна отримати за допомогою таких рівнянь:

$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{|y_i - y_i^*|}{y_i}}{n} \times 100\% \quad (17)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^m (y_i - y_i^*)^2} \quad (18)$$

де y_i і y_i^* – це фактичні та прогнозовані значення.

Запропонований авторами метод обчислення прогнозованих значень, в свою чергу, опирається на досягнення попередніх досліджень та може бути використаний при рішенні задач з організації перевезень пасажирів в частині станційного обслуговування та планування станційної діяльності. До переваг запропонованого методу можна віднести можливість планування навантажень на станційні зали очікування, місця стоянки засобів транспорту та їхній рух територією авіаційного порту. Недоліками запропонованого методу є

короткострокове планування, неврахування коливань пасажиропотоку та відсутність в моделі інших видів транспорту. Відомо, що авіаційний транспорт, у певній мірі, може міняти розклади руху в режимі реального часу, що здебільш пов'язано із переносом рейсів до настання льотних погодних умов. Однак, такі ризики авторами не розглянуто й не введено до запропонованої моделі.

В умовах зміни розкладів руху пасажир має можливість у користуванні не лише іншими авіаційними рейсами (альтернативними маршрутами), а й має можливість обрати інші види транспорту. Такі дії пасажирів обумовлені підсвідомим вибором між варіантом очікування настання сприятливих умов для здійснення авіарейсів та реалізацією потреби в переміщенні іншим видом транспорту із більшим часом їздки. При таких процесах вибору пасажир підсвідомо обирає, як для нього комфортніше й ефективніше здійснити їзду. З аналізу даного питання можна стверджувати, що у такому випадку питання комфорту та ефективності часто є похідною від часу, а вибір пасажирів є підсвідомим у випадках наявності можливості у такому виборі.

Модель функціонування авіаційної маршрутної мережі

Авіаційна мережа України не є розвинутою між всіма вузлами мережі. Дослідження та моделювання відбувались між наявними обласними центрами, що з'єднано маршрутами авіаційного транспорту. До міст, що містять авіапорти з міжміськими маршрутами з таких портів в рамках дослідженої транспортної мережі можна віднести: Київ, Бориспіль, Харків, Дніпро, Львів, Одеса, Ужгород, Донецьк, Луганськ, Сімферополь,

Між окремими портами існують маршрути загального користування пасажирів. Між певними містами маршрути досліджено й змодельовано. Результат обстеження маршрутів показали, що на внутрішніх авіаційних мережах країни (України) здебільш використовуються такі засоби транспорту, як:

1. Марка – БОЇНГ, модель – 737-800; вартість – 106,1 млн. у о.; швидкість – 940 км/год; кількість посадкових місць до 186; витрати палива 250 л/год.
2. Марка – EMBRAER; модель – 190; вартість – 42 млн. у.о.; швидкість – 890 км/год; кількість посадкових місць – 104 од.; витрати палива 1850 л/год.
3. Марка – БОЇНГ; модель – 737; вартість 90 млн. у.о.; кількість посадкових місць – 189/215 од.; витрати палива 2600 л/год.

4. Маєрка – EMBRAER; модель –195; кількість посадкових місць – 116 од.; вартість – 45 млн. у.о.; витрати палива – 1940 л/год.

Обстеження проводилось у вузлах: 1, 4, 5, 2, 25, 23. Цим вузлам відповідають міста з авіапортами: Київ Харків Одеса Донецьк, Симферопіль. Таким чином було охоплено всі маршрути мережі на їхніх кінцевих зупинках.

В роботу зведено часткові результати моделювання для спрощення сприйняття. В таблицю 1 відомості розрахунків про моделювання періоду окупності в авіаційній межі пасажирської транспортної системи України для маршруту номер 2.

Таблиця 1

Відомості розрахунків про моделювання періоду окупності в залізничній межі пасажирської транспортної системи України

№ з/п	Квартал, №	Імовірність окупності, k_i	Середній дохід, у.о.*доб.	Пасажиропотік, Q_t пас. кв.
Маршрут № 2				
1	2	3	4	5
1	18	0,0043	10870612,5	41610
2	17	0,04463	10870612,5	41610
3	16	0,16585	10870612,5	41610
4	15	0,33897	10870612,5	41610
5	14	0,32724	10870612,5	41610

Маршрут номер два з'єднує вузли 1 та 5, що відповідає обстеженому маршруту Київ–Львів. Імовірність окупи проекту із закупівлі засобів транспорту на даний маршрут змінюється в часі від 14-го до 18-го кварталу бо в часі змінюються параметри вартості грошових потоків. За експоненціальна залежністю змінюється вартість грошей, параметри потоків мають стохастичний характер [мать дис], потоки мають закономірності коливальні. Урахування таких факторів призводить

до наявності песимістичного й оптимістичного термінів окупності проектів. Наше моделювання надає результатом 14-й квартал, як оптимістичний квартал окупності й 18-й квартал – песимістичний.

В даному моделюванні розраховано, що найімовірніше проект окупиться у 15-му кварталі. На рис. 1 наведено графік розрахунків періоду окупності в авіаційній межі пасажирської транспортної системи України.



Рис. 1. Графік періоду окупності в залізничній межі пасажирської транспортної системи України

Наведене моделювання передбачає вартість засобів транспорту в проекті яка дорівнює 949850000 у.о., а функція перерозподілу пасажирів між маршрутами (1) показала значення

4,989. Таким чином 4,989 % від загального обсягу Q_t на маршруті Київ–Одеса моделлю перерозподілено на авіаційний транспорт.

Параметри перерозподілу пасажирів при зміні вартості транспорту змінювались від 0,012 % до 0,45 %, що не впливало на проектну кількість засобів транспорту, персоналу, інтервалу руху та інше.

Вартість засобів транспорту впливає на комфортність, шляхи залучення транспорту, вік транспорту та інші експлуатаційні характеристики.

Комфортність засобу транспорту зменшується при його здешевшанні, втомлюваність збільшується. Показники швидкості при зниженні комфортності не знижуються тому зменшення потоку пасажирів на маршруті відбувається при незмінності вказаних параметрів.

Чистий грошовий потік в проектах авіаційного транспорту розраховано на 200 кварталів. Прийнято, що авіаційний транспорт є актуальним для експлуатації протягом 200 кварталів [а х.]. Прийнято, що життєвий цикл проекту складає 200 кварталів, .Опираючись на даний факт модель має п'ять варіантів окупності маршруту номер 2 авіаційної маршрутної мережі для кожного з яких розраховано чистий фінансовий потік на 200 кварталів існування проекту.

В таблицю 2 зведено розрахункові данні чистого прибутку на маршруті номер 2 авіаційної маршрутної мережі, при вартості засобів транспорту 949850000 у.о.

Таблиця 2

Розрахункові данні чистого прибутку на маршрутів номер 2 авіаційної маршрутної мережі

№ кварталу окупності проекту	Розмір грошового потоку чистого прибутку по кварталах, ЧП у.о.				
	1	2	–	199	200
18	54601507,46	56359044,79	–	180678762,7	180720374,5
17	54820282,11	56582741,86	–	181258986,5	181300720,7
16	55914155,34	57701227,25	–	184160105,5	184202451,3
15	59852098,99	61727774,63	–	194604134	194648681,8
14	64446366,58	66425413,24	–	206788833,9	206835950,7

Використаємо відомості таблиці 2 для побудови графіка розрахункових даних чистого прибутку відображеного на рисунку 2.

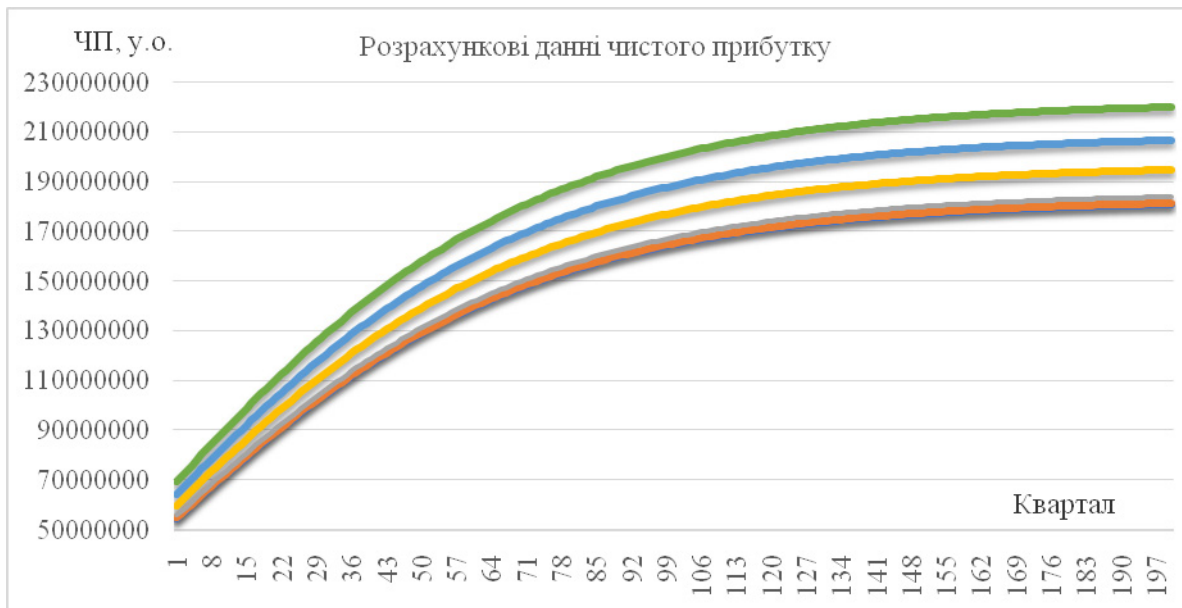


Рис. 2. Графік зміни ЧП

З візуальних моделей–графіків зміни ЧП по кварталах, які демонструють, що в частині функ-

ціонування проекту понад 120 кварталів ЧП змінюється поступово й з меншою інтенсивністю ніж

до 120-го кварталу. Такий розподіл ЧП можна пояснити витратами проекту на амортизацію.

При цьому, графік ЧП на рисунку 2 імовірно можна описати функцією. В таблиці 3 зведено

данні визначення функції якій можна описати графіки ЧП наведені на рисунку 2.

Таблиця 3

Функції якими можна описати графіки ЧП наведені на рис. 2

Тип функції	Функція	Величина достовірної апроксимації, R^2
Експоненціальна	$y^{ЧП} = 1E+08e^{0,0043x}$	0,7401
Лінійна	$y^{ЧП} = 628240x + 1E+08$	0,827
Логарифмічна	$y^{ЧП} = 4E+07\ln(x) - 5E+06$	0,9474
Поліноміальна	$y^{ЧП} = -5413,2x^2 + 2E+06x + 7E+07$	0,9907
Ступенева	$y^{ЧП} = 5E+07x^{0,2982}$	0,9677

де: $y^{ЧП}$ – ЧП (у.о.).

Аналогічні висновки можна зробити й з графіків розподілу ДЧП та C_n , які наведено на рисунках 3 та 4 відповідно.

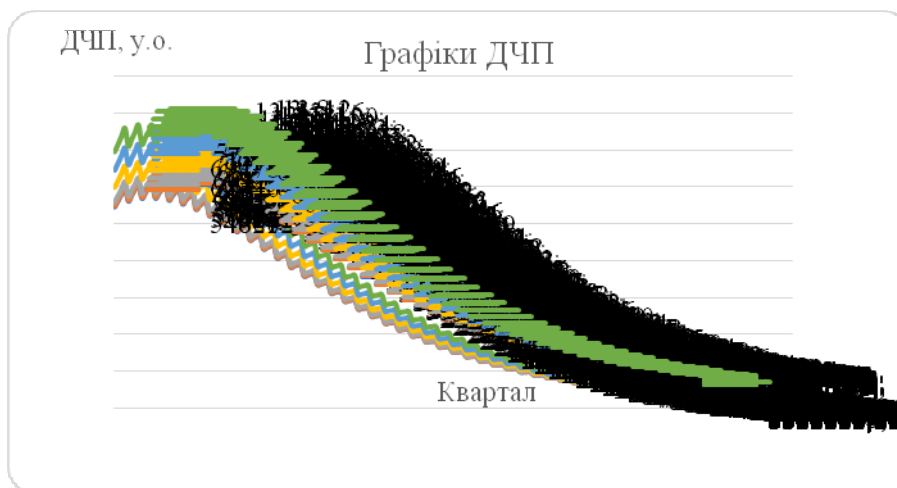


Рис. 3. Графіки ДЧП у другому кварталі проектів при досягненні періоду окупності

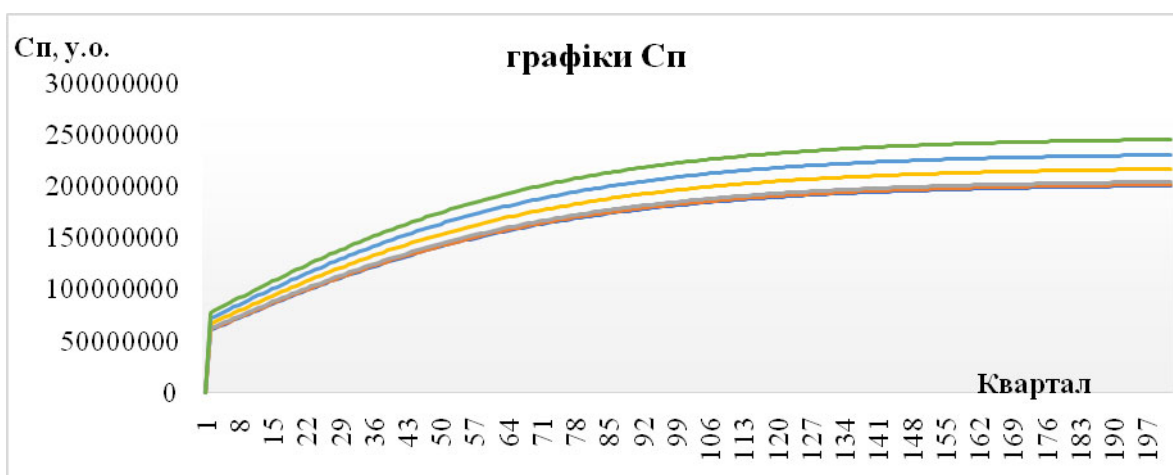


Рис. 4. Графіки C_n у другому кварталі проектів при досягненні періоду окупності.

Графіки C_n у другому кварталі проектів при досягненні періоду окупності передбачають особливості витрат на заробітну платню, а саме: індексація, врахування стажу, зміна вартості в

часі. Цим можна обумовити зміни в C_n у другому кварталі проектів при досягненні періоду окупності при прийнятті, що C_n відноситься до постійних витрат, як відрахування на аморти-

зацію. Сучасна транспортна наука визначає, що змінними є витрати, які залежать від пробігу. Можна стверджувати, опираючись на дослідження, Що змінними витратами є й ті що залежать від інших ресурсів проекту: витрати на амортизацію, заробітну плату, податки та інші.

Моделювання доводить, що система перевезень пасажирів є складною. Підсистеми даної системи впливають одна на одну та взаємо регулюють вхідні й вихідні параметри таких систем.

До постійних витрат у класичному розумінні даного фінансового потоку можна віднести відрахування на оподаткування, що залежить від врахованого в роботі параметру зборів на прибуток й дохід, тариф залежить від витрат, які залежать від оподаткування та обсягів перевезень, які в свою чергу залежать й від тарифу.

Висновки

Можливо проводити моделювання маршрутних мереж та визначати їхні параметри функціонування. Параметри функціонування транспорту є взаємозалежними. Фінансові потоки не є постійними в часі. Термін окупності проекту залежить від вартості рухомого складу;

Якість засобів транспорту впливає на перерозподіл пасажирів менше ніж інтервал руху;

Можливо розробити модель мережі засобами комп'ютерного моделювання ;

Встановлено функцію перерозподілу пасажирів між альтернативними маршрутами в рамках розглянутої системи для 2012 року дослідження.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Bao, Y., Yi, D., Xiong, T., Hu, Z., & Zheng, S. A comparative study on hybrid linear and nonlinear modeling framework for air passenger traffic forecasting. *Advances in Information Sciences and Service Sciences*. 2011. 3(5). 243–254. doi:10.4156/aiss.vol3.issue5.28.
- [2] Rodríguez-Doncel, V., Santos, C., & Casanovas, P. A model of air transport passenger incidents and rights. 2014. 6. 22–41. doi:10.3233/978-1-61499-468-8-55
- [3] Marie-Sainte, S. L., Saba, T., & Alotaibi, S. Air passenger demand forecasting using particle swarm optimization and firefly algorithm. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. 2019. 16(9), 3735–3743. doi:10.1166/jctn.2019.8242
- [4] Dang, Y., & Li, W. Air passenger flow structure analysis with network view. *Jiaotong Yunshu Xitong Gongcheng Yu Xinxi/Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*. 2010. 10(5), 167–174.
- [5] Jing He, J., Xu, L., Ning Guo, X., & Hu, Y. Air passengers' purchasing behavior of specialty products at airport: An empirical study. Paper presented at the ACM International Conference Proceeding Series. 2021. 13–17. doi:10.1145/3503491.3503494
- [6] Liang, X., Guo, Z., Zhang, Q., Yang, M., & Wang, S. (2020). An analysis and decomposition ensemble prediction model for air passenger demand based on singular spectrum analysis. *Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian. System Engineering Theory and Practice*. 2020. 40(7), 1844–1855. doi:10.12011/1000-6788-2019-1010-12
- [7] Huang, F., Peng, J., & You, M. Analyses of characteristics of air passenger group mobility behaviors. *Wuli Xuebao. Acta Physica Sinica*. 2016 65(22) doi:10.7498/aps.65.228901.
- [8] Ida, Y. Changes of air passenger distribution patterns in japan. *Japanese Journal of Human Geography*. 1993.45(3), 221–243. doi:10.4200/jjhg1948.45.221.
- [9] Reyna, O. S. S., & De La Mota, I. F. Complex networks of the air passenger traffic in Culiacan's airport. Paper presented at the 30th European Modeling and Simulation Symposium, 2018. EMSS 2018, 123–128.
- [10] Afaq, A., Gaur, L., Singh, G., & Dhir, A.. COVID-19: Transforming air passengers' behaviour and reshaping their expectations towards the airline industry. *Tourism Recreation Research*, 2021.6. 22-37-49 doi:10.1080/02508281.2021.200821.
- [11] Zuo, P., Li, H., Liu, W., & Liu, D.. Development of 8 kW charging generator for railway air-conditioned passenger car. *Zhongguo Tiedao Kexue/China Railway Science*, 2010 31(2), 137–140.
- [12] Niu, W. Intelligent air passenger transportation system utilizing integrated space-ground information network. *Aeronautica Et Astronautica Sinica*, 2019. 40(1) doi:10.7527/S1000-6893.2018.22415.
- [13] Dang, Y., & Song, S. Invulnerability analysis of chinese air passenger flow network based on centrality. *Complex Systems and Complexity Science*, 2013. 10(1), 75–82.
- [14] Sharma, H. K., Kumari, K., & Kar, S. (2019). Short-term forecasting of air passengers based on the hybrid rough set and the double exponential smoothing model. *Intelligent Automation and Soft Computing*, 2019. 25(1), 1–14. doi:10.31209/2018.100000036.
- [15] Valutyte, R. Striking a healthier balance between air passenger rights and air carriers' vital interests in the light of COVID-19. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 2020. 8(2), 546–558. doi:10.9770/jesi.2020.8.2(33)
- [16] Bravo, A., Vieira, D. R., & Ferrer, G. The boeing 737 max return to service and competition: How passengers' preferences would change due to the latent fear of flying. *Journal of Modern Project Management*, 2020 8(3), 113–123. doi:10.19255/JMPM02510

- [17] Raheja, D., & Zhong, Z. W. The causal relationship between GDP and air passenger traffic: Evidence from singapore. *International Journal of Transport Economics*, 2018 45(1), 83–95. doi:10.19272/201806701005.
- [18] Fassiaux, S. The difficult balance between the crisis of the aviation sector and air passenger rights in the era of covid-19. [*Le difficile equilibre entre la crise du secteur de l'aviation et les droits des passagers aeriens a l'ere du covid-19; El difìcil equilibrio entre la crisis del sector aereo y los derechos de los pasajeros en la era de la covid-19*] *Revista De Derecho Comunitario Europeo*, 2021(68), 185–225. doi:10.18042/cepc/rdce.68.06.
- [19] Lukyanov, S., Thyssen, E., & Kislyak, N. The market of passenger air transportation in russia: Quasi-competition or...? *Voprosy Ekonomiki*, 2007(11), 120–138. doi:10.32609/0042-8736-2007-11-120-138.
- [20] Saifei, N., & Renxu, G. The spatial and temporal dimensions of the interdependence between the air passenger industry and regional economy in the yangtze river delta. *Tropical Geography*, 2021 41(2), 340–350. doi:10.13284/j.cnki.rddl.003324.
- [21] Zhang, J., Sun, Y., Zhang, X., & Wang, S. Time-varying forecast averaging for air passengers in china. *Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian/System Engineering Theory and Practice*, 2020. 40(6), 1509–1519. doi:10.12011/1000-6788-2020-0443-11.
- [22] Leixian, G., Xiaoli, W., Xiaofang, G., Xuejun, Z., & Changcheng, K.. Urban functions of guangzhou and shenzhen focusing on the city network relationship: A comparative analysis on the original places of air passenger flow. *Tropical Geography*, 2021 41(2), 229–242. doi:10.13284/j.cnki.rddl.003323.
- [23] Cai, J., & Zhang, N.. The dynamic correlation between civil aviation passenger traffic volume and its influential factors based on DCC-GARCH model . 2020 .2. 35–46 doi:10.1007/978-981-13-9406-5_76.
- [24] Liang, X., Qiao, H., Wang, S., & Zhang, X. (2017). An integrated forecasting model for air passenger traffic in china based on singular spectrum analysis. *Xitong Gongcheng Lilun Yu Shijian.System Engineering Theory and Practice*, 2017. 37(6), 1479–1488. doi:10.12011/1000-6788(2017)06-1479-10.
- [25] Neretin, A. S. (2017). Spatial structure of air passenger transport in european russia. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk.Seriya Geograficheskaya* 2017, (6), 19–38. doi:10.7868/S0373244417060032.

Доля В. К., Доля К. В., Доля О. Є.

МОДЕЛЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ АВІАЦІЙНОЇ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ

Проблематикою дослідження транспортних систем є вартість такого дослідження. Не можна поставити експеримент з вивчення змін пасажиропотоків на маршрутах при зміні вартості їздки на самому маршруті або на маршрутах конкурентах, бо такі досліді матимуть свій грошовий вплив на соціум та на транспортні підприємства. Важко проводити й рамках експерименту досліді стану системи при зміні рухомого складу, що також є значно вартісним при наявному науковому інтересі. Значна вартість для фінансового навантаження на транспортні підприємства чи суспільства може значно вплинути на фінансові потоки виробника чи суспільства, а тому такі досліді й висновки за дослідіами є проведеними не в повній мірі, що може призводити до невизначеності дій на певних етапах розвитку проекту із експлуатації засобу транспорту на маршруті. Для запобігання виникнення невизначеностей науковцями запропоновано моделювання певних процесів функціонування маршруту. Недоліками такого підходу є його фактична реалізація обмежена імітуванням певного набору факторів. В результаті отримані моделі, значною мірою, розглядають один маршрут та вплив на нього одного чи двох факторів. Запропонована модель транспортної маршрутної мережі враховує взаємопов'язаність при одночасному функціонуванні в мережі багатьох типів транспорту та їхніх маршрутів. Вперше запропоновано комплексний підхід до вивчення процесів транспорту з урахуванням залежності економічних показників від технічних та навпаки. Проведено моделювання маршрутної мережі всього регіону України при одночасному функціонуванні водного, повітряного, автомобільного та залізничного транспорту. В результатах проведеної роботи продемонстровано можливості моделі в плануванні функціонування маршруту на прикладі авіаційного транспорту. Визначено, що встановлення залежностей між часом та фінансовими потоками є можливим. Такий підхід надає можливість адмініструвати систему пасажирських перевезень в регіоні при ґрунтовному визначенні наслідків певних дій.

Ключові слова: маршрутна мережа, транспортна технологія, проект, період окупності, квартал, чистий прибуток, витрати.

Dolya V., Dolya K., Dolya O.

FUNCTIONING MODEL OF THE AVIATION ROUTE NETWORK

The problem of researching transportation systems is the cost of such research. It is impossible to conduct an experiment to study changes in passenger flows on routes when the cost of traveling on the route itself or on competitors' routes changes, because such experiments will have their own monetary impact on society and on transport enterprises. It is also difficult to conduct experiments on the state of the system when changing rolling stock, which is also very expensive given the existing scientific interest. A significant cost for the financial burden on transport enterprises or societies can significantly affect the financial flows of the manufacturer or society, and therefore such experiments and

conclusions from experiments are not fully conducted, which can lead to uncertainty of actions at certain stages of the project development for the operation of a vehicle on the route. To prevent the occurrence of uncertainties, scientists have proposed modeling certain processes of the route operation. The disadvantages of this approach are that its actual implementation is limited to simulating a certain set of factors. As a result, the obtained models largely consider one route and the impact of one or two factors on it. The proposed model of the transport route network takes into account the interconnectedness of the simultaneous operation of many types of transport and their routes in the network. For the first time, an integrated approach to the study of transport processes is proposed, taking into account the dependence of economic indicators on technical ones and vice versa. The modeling of the route network of the entire region of Ukraine with simultaneous operation of water, air, road and rail transport is carried out. The results of the work demonstrate the model's capabilities in planning the functioning of the route on the example of air transport. It is determined that it is possible to establish dependencies between time and financial flows. This approach makes it possible to administer the passenger transportation system in the region with a thorough determination of the consequences of certain actions.

Keywords: route network, transport technology, project, payback period, quarter, net profit, expenses.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2023 р.

Прийнято до друку 11.10.2023 р.