

**Доля К.**

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

**Доля О.Є.**

Харківський національний університет радіоелектроніки

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ МІЖМІСЬКИХ ПАСАЖИРСЬКИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

У роботі було розглянуто питання дослідження основи системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень. Встановлено, що системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень не ізольовані. Цим зумовлюється вплив середовища на кількісні показники параметрів функціонування таких систем, що відбувається завдяки можливості кількісних змін вхідних у систему параметрів. Визначено, що сучасний стан наукових підходів не повною мірою враховує взаємозв'язок елементів системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень під час розрахунку базових параметрів функціонування такої системи. Доведено, що питання подальшого розвитку наукових підходів щодо особливостей урахування взаємного впливу кількісних характеристик елементів системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень актуальне й підлягає дослідженню. Проведеним аналізом наукових підходів до обґрунтування теоретичних основ систем міжміських пасажирських маршрутних перевезень встановлено, що нині процес функціонування визначених перевезень не повною мірою враховує комплексність взаємозв'язків базових характеристик таких систем та їхнього взаємного впливу. Водночас підсистеми міжміських пасажирських маршрутних перевезень не ізольовані в загальному середовищі, й показники їхнього функціонування взаємозалежні, а теоретичні основи дослідження закономірностей функціонування системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень мають базуватися на наукових підходах, що враховують зміни вхідних у цю систему параметрів. Визначено, що сучасний стан розвитку наукових підходів до питання врахування взаємного впливу кількісних характеристик елементів системи міжміських пасажирських маршрутних перевезень актуальний і може позитивно вплинути на розвиток сучасної науки й практики.

**Ключові слова:** транспортна система, маршрут міжміського пасажирського транспорту, базові параметри перевезень, ефективність, модель.

**Постановка проблеми.** Питання прогнозування показників функціонування пасажирських міжміських транспортних систем розглянуто багатьма науковцями. У своїй праці [1] науковець розглядає останні тенденції в області пасажирських перевезень на далекі відстані в Європі. Мета полягає в тому, щоб дослідити, чи можливо визначити деякі перші ознаки піка поїздок на далекі відстані, і якщо так, то які можуть бути варіанти дій послідовної політики. Для простоти враховуються тільки автомобільні й повітряні способи пасажироперевезення. В роботах [2; 3] викладено сучасну наукову думку щодо планування транспортної мережі. Розглянуто, що планування транспортної мережі визначає форму транспортних мереж і характеристики мережевих елементів. Прикладами таких характеристик, на думку авторів [2; 3] є вирівнювання, швидкість, кількість смуг і тип керування на перехрестях. Планувальники транспорту розширюють наявну

мережу або змінюють характеристики чинного мережевого елемента або цілий розділ мережі.

На думку авторів робіт [2–6], доцільне врахування таких показників роботи пасажирських маршрутних систем, що спричиняють вплив на навколишнє середовище й відповідність чинної політики країн щодо їхнього вирішення. Робота зосереджена на автомобільних і повітряних перевезеннях, оскільки вони визначають основну частину впливів на навколишнє середовище розвинутих країн, принаймні з боку викидів парникових газів. Крім того, проїзд на автомобілі зберігає найбільшу частку загальної кількості поїздок, а авіаперевезення є динамічнішим в Європі режимом, що обґрунтовує увагу до обох режимів. Обговорюються перспективи досягнення максимального або «плато» для поїздок на великі відстані, виходячи з того, що в багатьох країнах Європи існують надійні докази, що свідчать про високі показники, хоча й неприємні

з боку сталого розвитку. Щодо авіаперевезень, основним викликом для забезпечення стабільності є стійке зростання попиту, зумовлене стратегією багатьох аеропортів і авіакомпаній, спрямованою на збільшення попиту на низькі тарифи. На думку авторів робіт [3; 4], обидві тенденції потребують дій урядів. Потреба в акціях більш виправдана двома соціально-економічними тенденціями: населення, яке зосереджене саме на тих країнах, які мають більші моделі довгострокової мобільності, й наявний дохід, тобто середні показники стагнації протягом багатьох років. Перша приведе до необхідності здійснення заходів з управління попитом, зосереджуючи увагу на країнах з вищим попитом. Остання кине виклик традиційному розумінню, який пов'язує потреби міжміського транспорту в збільшенні доходів і економічному процвітанні.

Спільною концепцією планування дорожньої мережі є структура доріг залежно від функції дороги [7–9]. Дороги з великою часткою дорожнього руху, що зв'язують далекі або важливі місця, мають іншу функцію, ніж міські основні дороги або міські під'їзні шляхи. Це приводить до питомої щільності мережі й конструктивних характеристик. Планування мережевих транспортних складників, таким чином, визначає форму мережі не тільки шляхом додавання нової мережі, але й головним чином призначаючи функцію дороги, яка впливає на дорожній проєкт [10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [3; 5] авторами визначено, що модель повітряної транспортної мережі, а також дані про повітряний рух розглядаються як одне з найпростіших критеріїв оцінки стану розвитку світової міської мережі.

Представлені в роботі [4] гравітаційні моделі можуть бути використані для прогнозування обсягу пасажирів між містами. Моделі використовують в основному гео економічні змінні як незалежні фактори.

Авторами роботи [7] розглянуто модель (1) для визначення привабливості авіаційного транспорту на основі методу розрахунку найбільшого числа міст, які будуть з'єднані авіарейсами:

$$F^i = \sum \left[ Q_{\text{бп}} / \exp(k_L \times T_{ij}) \right], \quad (1)$$

де  $F^i$  – фактор привабливості  $i$ -го регіону для вираження кількості потенційних пасажирів, які ймовірно приїхали в місто  $i$  із міста  $j$ ;

$Q_{\text{бп}}$  – кількість пасажирів, які бажають здійснити поїздку;

$k_L$  – коефіцієнт опору кореспонденції від  $L$ ;

$j$  – місце прибуття;

$T_{\text{сер}ij}$  – середній тариф поїздки між містами  $i$  та  $j$ .

$$Q_{\text{бп}} = \frac{d}{1 - be^{-cy}}, \quad (2)$$

де  $b, c, d$  – параметри, які оцінені на основі історичних даних.

$$k_L = \ln \left( \frac{H_{ij}}{H_{ej} H_{nj}} \right) / T_{\text{сер}ij}, \quad (3)$$

де  $H_{ij}$  – кількість кореспонденції з  $i$  в  $j$ ;

$H_{ei}$  – кількість відправлень з  $i$ -го району чи ємність району  $j$  за відправленнями;

$H_{nj}$  – кількість прибуттів у район  $i$  чи ємність району  $j$  по прибуттях.

$$T_{ij} = \sum_{n=N} S_{ji}^{n_{\text{авіо}}} \cdot (T_{\text{сер}ij} + C_{\text{тс}} \cdot V_{\text{поїзд}}), \quad (4)$$

де  $n$  – кількість авіаперевізників;

$S_{ji}^{n_{\text{авіо}}}$  – частка ринку, зайнятого  $n_{\text{авіо}}$  під час виконання сполучень між містами  $i$  та  $j$ ;

$V_{\text{поїзд}}$  – час поїздки в точку знаходження на маршруті;

$C_{\text{тс}}$  – тимчасова вартість повітряного транспорту.

Авторами роботи [8] запропоновано новий метод прогнозування повітряних пасажирських потоків на глобальному рівні з використанням соціально-економічної картини. Метод складається з двох етапів: прогнозування топології вихідної та кінцевої точки мережі попиту; прогнозування кількості пасажирів на наявних і нових з'єднаннях. Теорія мереж застосовується для імітації з'єднання попиту між містами з використанням алгоритмів на основі зваженої подібності. Число пасажирів визначається за допомогою кількісних аналогій. Математична інтерпретація розрахунку найкоротшої відстані  $l_{mij}$  між парами міст у розрахунковому і базовому році представлена таким чином (5):

$$\min_{1 \leq y \leq m} l_{mij} = \sqrt{(i_1 - j_1)^2 + (i_1 - j_2)^2 + \dots + (i_n - j_n)^2}, \quad (5)$$

де  $l_{mij}$  – загальна довжина маршруту між початковою  $i$  та кінцевою  $j$  точками руху;

$i_n$  – умова  $n$  міської пари  $x$  впродовж прогнозованого періоду;

$j_n$  – вираження стану  $n$  міста пари  $x$  в прогнозованому періоді;

$m$  – кількість зв'язків в базисному році;

$u$  – стан міста  $n$  пари  $x$  в прогнозованому періоді.

Для прогнозів підключення гравітаційна модель Ньютона була прийнята для визначення привабливості між парами міст. Рівняння (6) представляє залежність між двома масами, зменшену на відстань між ними.

$$F_{ij} = \frac{m_i * m_j}{l_{ij}^2} * G, \quad (6)$$

де  $F_{ij}$  – сила тяжіння між тілами  $i$  та  $j$ ;

$m_i, m_j$  – маси тіл  $i$  та  $j$ ;

$G$  – гравітаційна стала.

У рамках попереднього розрахунку ця гравітаційна постійна дорівнює 1 для кожного міста. На основі цього рівняння привабливість між містами представлена через адаптовану модель гравітації (7):

$$F_i = \frac{VVP_i * H_{mi} * VVP_j * H_{mj}}{(l_{ij} * T_{серij})^2}, \quad (7)$$

де  $F_i$  – фактор привабливості  $i$ -го району для вираження кількості потенційних пасажирів, що можливо приїхали в місто  $i$  із міста  $j$ ;

$VVP_i, VVP_j$  – внутрішній валовий продукт міст  $i$  та  $j$  відповідно, в парі  $x$ ;

$H_{mi}, H_{mj}$  – кількість жителів в місті  $i$  та  $j$  відповідно;

$T_{серij}$  – середня вартість поїздки між містом  $i$  та  $j$ .

Для розрахунку кількості пасажирів на дугах маршрутної мережі кількісний підхід (3) був адаптований у (8):

$$Q_{Dij} = \sqrt{(VVP_{ix} - VVP_{my})^2 + (VVP_{jx} - VVP_{ny})^2 + (H_{mix} - H_{my})^2 + (H_{mjx} - H_{mny})^2 + (T_{серix} - T_{серiy})^2 + (l_{ijx} - l_{ijy})^2}, \quad (8)$$

де  $Q_{Dij}$  – кількість пасажирів на дугах маршрутної мережі;

$X_{ij}$  – міста в прогнозованому році пари  $x$ ;

$Y_{m,n}$  – міста в базисному році пари.

Авторами роботи [9] запропоновано прогнозування кількості пасажирів на авіаційному транспорті з використанням методів гравітаційного моделювання. На думку авторів, модель (9) підходить для прогнозування обсягу пасажирських перевезень між містами  $i$  та  $j$ .

$$H_{ij} = \kappa \cdot \frac{(f_i f_j)^{Pr}}{l_M^{\Phi_{mp}}}, \quad (9)$$

де  $H_{ij}$  – обсяг пасажирських перевезень між містами  $i$  та  $j$  ( $i \neq j$ );

$f_i, f_j$  – фактори привабливості для міст  $i$  та  $j$ ;

$l_M$  – загальна довжина маршруту між початковим і кінцевим пунктами маршруту;

$k$  – константа;

$\Phi_{тр}$  – коефіцієнт користування транспортом;

$p_j$  – параметр привабливості для поїздки.

**Постановка завдання.** Мета дослідження полягає в проведенні розрахунків параметрів функціонування міжміських пасажирських маршрутних транспортних систем.

**Об'єкт дослідження** – пасажирські маршрути міжобласного сполучення.

**Методи дослідження:** системного аналізу під час аналізу сучасних наукових підходів у розв'язанні задач.

**Викладення основного матеріалу.** Запропоновані підходи до розрахунку базових показників ефективності функціонування міжміських пасажирських перевезень дозволяють сформулювати основні етапи проведення розрахунків для визначення параметрів:

I етап – розподіл обсягів перевезень пасажирів між автомобільною та залізничною маршрутними системами;

II етап – дослідження матриць найкоротших відстаней у мережах;

III етап – дослідження матриць пасажирських транспортних кореспонденцій між вузлами мереж;

IV – розгляд базових показників функціонування маршрутних мереж, а саме: кількість перевезень в мережі –  $P$ , (од); обсягу перевезень –  $Q$ , (пас.); коефіцієнту пересаджуваності –  $k_{пер.}$ ; транспортної роботи –  $W$ , (пас./км.); середньої дальності маршрутної поїздки –  $l_{сер.м.}$  (км.); середньої дальності мережної поїздки –  $l_{сер.мер.}$  (км.); коефіцієнту середньо системного використання пасажиромісткості; потрібної кількості автобусів/вагонів –  $A$ , (од.).

Проведені розрахунки для визначення впливу середньо системного коефіцієнту використання пасажиромісткості вхідного ( $k'_{сал.мер.вх.}$ ) в маршрутній мережі на автомобільному й залізничному видах транспорту на базові показники функціонування, а саме: кількості пересувань пасажирів; обсягу перевезень; коефіцієнту пересаджуваності; транспортної роботи; середньої дальності маршрутної поїздки, середньої дальності мережної поїздки; середньо системного коефіцієнту використання пасажиромісткості й потрібної кількості транспортних засобів. Згідно з отриманими результатами розрахунків у програмному продукті Statistica визначено значення t-критерію Стьюдента (t-value), що дозволяє стверджувати про наявність статистичного зв'язку між значеннями середньо системного коефіцієнту використання

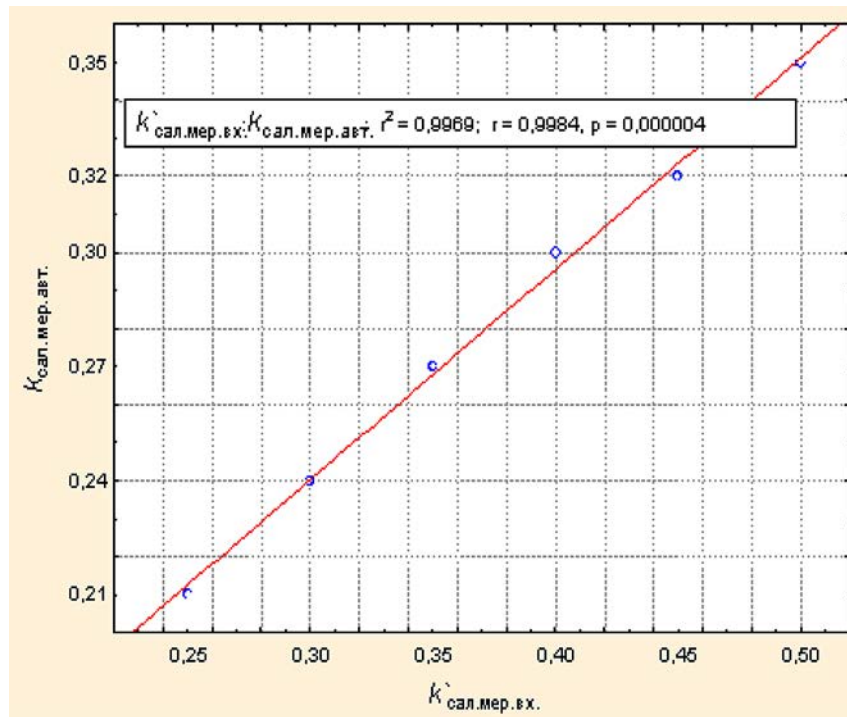


Рис. 1. Графік зміни середньо системного коефіцієнта використання пасажиромісткості  $k_{\text{сал.мер.авт.}}$  від  $k_{\text{сал.мер.вх.}}$

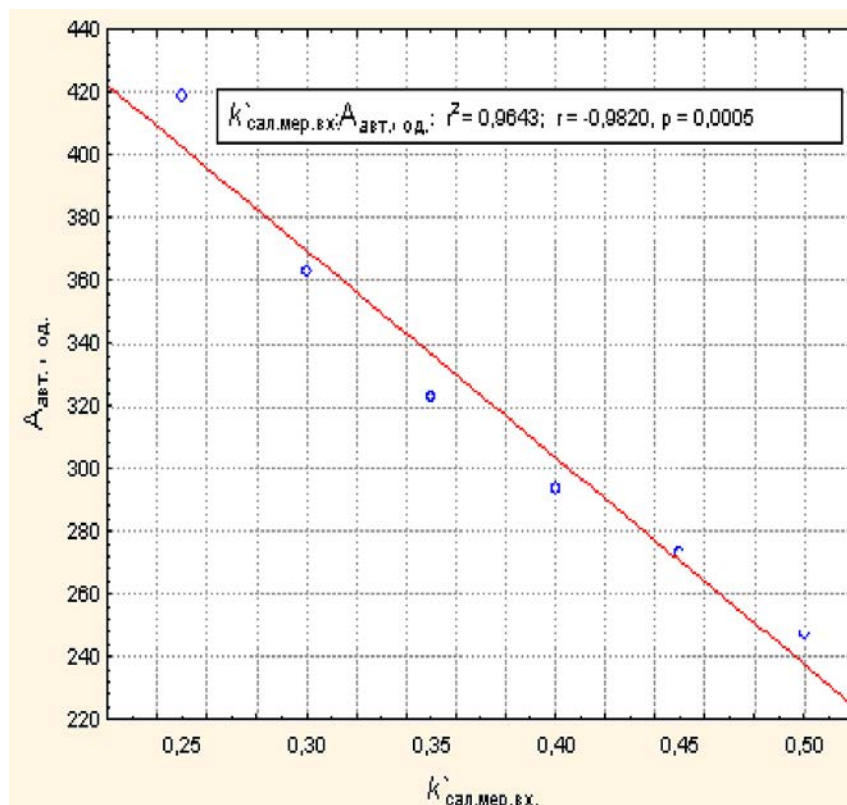


Рис. 2. Графік функції залежності кількості автобусів ( $A_{\text{авт.}}$ ) від значень вхідного середньо системного коефіцієнта використання пасажиромісткості ( $k_{\text{сал.мер.вх.}}$ )



пасажиромісткості вхідного ( $k'_{\text{сал.мер.вх.}}$ ) та наведеними параметрами.

За отриманими результатами проведених розрахунків із використанням кількісних значень розрахованих базових показників функціонування мереж отримано можливість побудови графіків змін визначених параметрів і функцій для їхнього розрахунку.

У наведених таблицях висвітлено, що  $P_{\text{авт.}}$ ;  $Q_{\text{авт.}}$ ;  $k_{\text{пер.}}$ ;  $W_{\text{авт.}}$ ;  $l_{\text{сер.м.авт.}}$  та  $l_{\text{сер.мер.авт.}}$  є такими показниками функціонування автомобільної маршрутної мережі, які кількісно не залежать від  $k'_{\text{сал.мер.вх.}}$ .

На рис. 1 наведено графік зміни середньо системного коефіцієнта використання пасажиромісткості –  $k_{\text{сал.мер.авт.}}$  від значень вхідного середньо системного коефіцієнта використання пасажиромісткості ( $k'_{\text{сал.мер.вх.}}$ ) та залежність 10 для розрахунку  $k_{\text{сал.мер.авт.}}$ .

$$k_{\text{сал.мер.авт.}} = 0,0738 + 0,5543k'_{\text{сал.мер.авт.}}, \quad (10)$$

Визначимо функцію (11) залежності кількості автобусів ( $A_{\text{авт.}}$ ) від значень вхідного середньо системного коефіцієнта використання пасажиромісткості ( $k'_{\text{сал.мер.вх.}}$ ) та побудуємо її графік (рис. 2).

$$A_{\text{авт.}} = 567,2867 - 659,2286k'_{\text{сал.мер.вх.}}, \quad (11)$$

Отримано результати розрахунків різниці між  $A_{\text{авт.}}$  та  $A'_{\text{авт.}}$  за запропонованою залежністю 11, визначено можливість розрахунку  $A_{\text{авт.}}$  із відхиленням (3,06%), а також результати проведених розрахунків значень базових показників функціонування залізничної маршрутної мережі під час зміни середньо системного коефіцієнта використання пасажиромісткості вхідного ( $k'_{\text{сал.мер.вх.}}$ ).

**Висновки.** Значення коефіцієнту використання пасажиромісткості, яким зумовлено рівень соціально-економічного розвитку суспільства, впливає на середньо системний коефіцієнт використання пасажиромісткості й кількість транспортних засобів.

#### Список літератури:

1. Dolya C.V. Gravity Model Formalization for Parameter Calculation of Intercity Passenger Transport Correspondence. *SCIENCE & TECHNIQUE*. 2017. Т. 16. №. 5. P. 437–443.
2. Dolya C. et al. Influence of features of the transport network pattern on the haul cycle length between its nodes on the example of the transport network of Ukraine. *Technology audit and production reserves*. 2017. Т. 5. №. 2 (37). P. 54–58.
3. Gyulyev N., Dolia C. The Issue of Probability of Traffic Road Accident on the Elements of the Transport Network. *American Journal of Social Science Research*. 2017. Т. 3. №. 5. P. 17–24.
4. Dolia K. Influence of the Seasonal Factor on the Long-Distance Passenger Correspondence. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery*. 2017. Т. 2. №. 4. P. 96–101.
5. Dolia K. et al. Modeling of polygons of maximum passenger route transport accessibility by the example of the transport system of Ukraine. *Technology audit and production reserves*. 2017. Т. 6. №. 2 (38). P. 28–33.
6. Dolia K. Variativity of the Transport System at Intercity Passenger Transport from the Demand. *International Journal of Data Science and Analysis*. 2017. Т. 3. №. 6. P. 77.
7. Dolia K. et al. Management of Freight Transport Projects in Cities in Assessing Their Effectiveness. *Software Engineering*. 2018. Т. 6. №. 2. P. 63.
8. Galkin A., Dolia C., Davidich N. THE ROLE OF CONSUMERS IN LOGISTICS SYSTEMS. *Transportation Research Procedia*. 2017. Т. 27. P. 1187–1194.
9. Galkin A., Dolya C. Influencing financial flows on logistics technology solutions (case study on transportation mode selection). *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej. Transport*. 2017. Т. 117. P. 61–73.
10. Gyulyev N., Dolia K., Dolia O. Engineering Patterns of Changes in the Parameters of Functioning of Intercity Passenger Transportation System. *International Journal of Intelligent Information Systems*. 2019. Т. 7. №. 6. P. 48.

#### **Dolia K., Dolia O.Ye. DETERMINATION OF THE GRAVITATIONAL MODEL AND ITS PARAMETERS FOR FORECASTING THE NUMBER OF VISITORS TO TRADE OBJECTS BY THE EXAMPLE OF KHARKOV**

*The paper examines the issues of studying the basis of intercity passenger route services. It is established that long-distance passenger transportation systems are not isolated. This determines the influence of the environment on the quantitative parameters of the parameters of the functioning of the data system, due to the possibility of quantitative changes to the parameters input. It is determined that the current state of the native approaches does not fully take into account the interconnection of the elements of the system of long-distance*

*passenger route transportation when calculating the basic parameters of the functioning of this system. It is proved that the issue of further development of scientific approaches regarding the peculiarities of taking into account the mutual influence of quantitative characteristics of elements of the system of intercity passenger route transportation is relevant and subject to research. The conducted analysis of scientific approaches to the substantiation of the theoretical foundations of systems of intercity passenger route services has established that the process of functioning of certain transportations does not fully take into account the complexity of interconnections of the basic characteristics of such systems and their mutual influence. In this case, subsystems of intercity passenger route transportation are not isolated in the general environment and the indicators of their operation are interdependent, and the theoretical basis for studying the basic laws of the functioning of the system of interurban passenger route transportation should be based on scientific approaches that take into account changes in the parameters input into this system. It is determined that the current state of the development of scientific approaches to the issue of taking into account the mutual influence of the quantitative characteristics of elements of the system of long-distance passenger route transportation is relevant and can positively affect the development of conventional science and practice.*

**Key words:** *transport system, route intercity passenger transport, basic parameters of transportation, efficiency, model.*