

UDC 656.081

Dolia K., Ph.D. in Engineering

O. M. Beketov National University of Urban Economy
in Kharkiv / Ukraine

INFLUENCE OF THE SEASONAL FACTOR ON PASSENGER CORRESPONDENCE

ВПЛИВ ФАКТОРУ СЕЗОННОСТІ НА ПАСАЖИРСЬКІ КОРЕСПОНДЕНЦІЇ

Abstract: The process of transportation of passengers on inter-regional routes of general use is investigated in the article. It is established that long-distance passenger transport correspondences have fluctuations that are observed in time. Such variations can be attributed to changes in the volumes or directions of passenger transportation during the day, which are described by many researchers. In addition to the above, it is known that in the system of intercity passenger transport it is possible to observe the existence of processes for the formation of predicted changes when considering the period of transportation during the week. In this case, there is a corresponding change in the characteristics of volumes and directions of passenger correspondence on the days of the week. Similar fluctuations also occur in the consideration of the state of correspondence during the year.

Intercity passenger transport systems have as their objective the functioning of a qualitative transport system and safe satisfaction of the needs for the movement of people. The presence of a stable route network scheme can be considered one of the requirements to the quality of passenger service. This leads to the need to take into account the influence of the environment of the functioning of the system in the organization of its functioning, subject to the restrictions.

Keywords: transport system, gravity model, seasonal fluctuations of transport correspondences, long-distance transportation.

INTRODUCTION

In modern approaches to the organization of the provision of passenger transportation services, priority is given to improving the quality of transport services, making fundamental decisions regarding changes in the elements of the transport system itself. Such elements of long-distance route transportation system include the schedule, the number of vehicles, the type of rolling stock, the cost of transportation and the speed of connection. By changing certain characteristics of the transport process, it is possible to adjust the system of long-distance route passenger transportation.

According to the chosen approach, the following measures will be applied to the system: change in input parameters from the environment of its existence associated with seasonal fluctuations in the population's demand for transport services. This should secure the process of managing the long distance intercity transportation system to ensure the passengers' needs for travel, taking into account fluctuations in their correspondences.

Анотація: У роботі досліджено процес перевезення пасажирів на міжобласних маршрутах загального користування. Встановлено, що міжміські пасажирські транспортні кореспонденції мають коливання, які спостерігаються у часі. До таких коливань можна віднести описані багатьма дослідниками зміни обсягів або напрямів перевезень пасажирів протягом доби. Одночасно із викладеним відомо, що в системі міжміських пасажирських маршрутних перевезень можна спостерігати наявність процесів формування прогнозованих змін й при розгляді періоду перевезень протягом тижня. У даному випадку спостерігається відповідна зміна в характеристиках обсягів й напрямів пасажирських кореспонденцій по днях тижня. Аналогічні коливання мають місце й при розгляді стану кореспонденцій при обранні досліджуванім періодом часу – рік.

Міжміські маршрутні пасажирські транспортні системи мають своєю метою функціонування якісне та безпечне задоволення потреб у переміщенні людей. Однією із вимог щодо якості обслуговування пасажирів можна вважати наявність стабільної схеми маршрутної мережі. Це призводить до необхідності врахування впливу середовища функціонування системи при організації її функціонування, із дотриманням обмежень.

Ключові слова: транспортна система, гравітаційна модель, сезонні коливання транспортних кореспонденцій, міжміські перевезення.

ВСТУП

У сучасних підходах до питань організації надання послуг з перевезень пасажирів визначається пріоритетність підвищення якості транспортних послуг, прийняття ґрунтовних рішень щодо змін елементів самої транспортної системи. До таких елементів міжміської маршрутної транспортної системи можна віднести розклад руху, кількість транспортних засобів, тип рухомого складу вартість перевезень та швидкість сполучення. Зміною визначених характеристик транспортного процесу можна корегувати систему міжміських маршрутних пасажирських перевезень.

Згідно визначеного підходу до системи застосовуватимуться заходи реагування на зміну вхідних параметрів із середовища її існування, які пов'язані із сезонними коливаннями попиту населення на транспортні послуги. Цим має забезпечитись процес управління системою міжміських маршрутних перевезень за для забезпечення потреб пасажирів у переміщенні із врахуванням коливань у їхніх

Taking into account seasonal changes in the parameters entering the system from the environment of its functioning, it is determined to change the parameters of the elements of the transport system. This should lead to the provision of an output parameter from the system in such a way that secures the satisfaction requirements, household, production and socio-economic needs of passengers in transit.

Simultaneously, the adoption of managerial decisions on changing the parameters of the system of long-distance transportation affects the effectiveness of the operation of the system itself. Thus, there are limitations on making managerial decisions to ensure the simultaneous satisfaction of the needs of passengers and maintaining a satisfactory level of functioning of the system over time.

PROBLEM STATEMENT

The object of the study is a modern long-distance passenger transport system in Ukraine. One of the most problematic areas is the study of the actual values of long-distance correspondences, which consists in the receipt of an undefined approach to justifying seasonal changes in the parameters of long-distance passenger transport system elements. The received knowledge gives an opportunity in thorough application of the considered method for the calculations of correspondence between cities in view of characteristic seasonal fluctuations of demand.

The aim of the work is to simulate the effect of the seasonality factor on long-distance passenger correspondences by formalizing an adequate function of gravity. Formalization of the parameters of the components of the attraction function will lead to the possibility of calculating the corresponding parameters of long-distance passenger correspondences within the investigated system.

To achieve the goal set in the work, the following tasks are supposed to be solved:

1. Set the seasonal parameters of the components of the attraction function for passenger transport correspondence between a set of cities.
2. Compare the theoretical and experimental data obtained.

MAIN ARTICLE

The question of calculating transport correspondence between settlements is that until now, the regularities of the parameters of passenger transport systems have not been studied at a sufficient level.

The authors of work Andronov A., & Santalova D. [1] proposed a model (1) for predicting the passenger flow between different geographical points (cities). Unknown parameters are estimated using aggregated data, when information is provided only about the number of passengers of each city. As an effective evaluation criterion a weighted sum of residual areas is used:

кореспонденціях.

Враховуючи сезонні зміни вхідних у систему параметрів із середовища її функціонування визначено змінювати параметри елементів транспортної системи. Це має призвести до забезпечення вихідного параметру із системи у такому прояві, при якому забезпечено додержання вимог щодо задоволення, побутових, виробничих та соціально-економічних потреб пасажирів у переміщенні.

Одночасно, прийняття управлінських рішень про зміну параметрів системи міжміських маршрутних перевезень впливатиме на результативність функціонування самої системи. Враховуючі потребу забезпечення вимог щодо збереження параметрів ефективності функціонування системи міжміських пасажирських перевезень. Таким чином отримується обмеження щодо прийняття управлінських рішень зі забезпеченням одночасності задоволення потреб пасажирів й збереженням задовільного рівня функціонування протягом часу.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Об'єкт дослідження – сучасна міжміська пасажирська транспортна система в Україні. Одним з найбільш проблемних місць є дослідження фактичних значень міжміських кореспонденцій, яке полягає в отриманні донині не визначеному підході щодо обґрунтування сезонних змін параметрів елементів міжміської пасажирської транспортної системи. Отримані знання надають змогу в ґрунтовному застосуванні розглянутого методу розрахунків кореспонденції між містами з урахуванням характерних сезонних коливань попиту.

Мета роботи полягає у моделюванні впливу фактору сезонності на міжміські пасажирські кореспонденції шляхом формалізації адекватної функції тяжіння. Формалізація параметрів складових функцій тяжіння призведе до можливості проведення розрахунків відповідних параметрів міжміських пасажирських кореспонденцій в межах дослідженої системи.

Для досягнення поставленої в роботі мети передбачається вирішити наступні задачі:

1. Встановити сезонні параметри складових функцій тяжіння для пасажирських транспортних кореспонденцій між набором міст.
2. Порівняти отримані теоретичні та експериментальні дані.

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Питання щодо розрахунку транспортних кореспонденцій між населеними пунктами полягає у тому, що досі на достатньому рівні не досліджено закономірності параметрів пасажирських транспортних систем.

Авторами роботи Andronov, A., & Santalova, D. [1] запропоновано модель (1) для прогнозування пасажирського потоку між різними географічними пунктами (містами). Невідомі параметри оцінюються з використанням агрегованих даних, коли інформація надається тільки про кількість пасажирів кожного міста. Як ефективний критерій оцінки використовується зважена сума залишкових площ:

$$H_{di,j} = \frac{(H_{pi} H_{pj})^\theta}{(l_{i,j})^\tau} \exp(a + (c(i) + c(j))P_{com} + g(i,j)\gamma_c + V_{i,j}), \quad (1)$$

where: $H_{di,j}$ – the number of departures from the transport area i to the j area for the estimated period of time;

$a, P_{com} = (P_{com 1} P_{com 2} \dots P_{com m})$ и $\gamma_c = (\gamma_c 1 \gamma_c 2 \dots \gamma_c m)$ – unknown regression parameters;

P_{com} – general mobility of the population;

γ_c – the average rate of capacity utilization;

$c(i) = (c_{i,1} \dots c_{i,m})$ and $g(l,l) = (c_{i,1} c_{j,1} \dots c_{i,m} c_{j,m})$ – m data sets;

$V_{i,j}$ – are independent and identically distributed random variables with zero mean and unknown variance σ^2 ;

$l_{i,j}$ – distance between areas i and j ;

H_{pi}, H_{pj} – the number of residents in the areas i and j respectively.

The disadvantage of this method is the neglect of seasonal fluctuations of correspondences. This prevents its use for solving the study objectives.

The authors Baik, H., Trani, A., Hinze, N., Swingle, H., Ashiabor, S., & Seshadri, A. [2] proposed a model (2) of the analysis of transport systems, which uses the «four-step» simulation process of transport systems for calculating correspondence, allocating travel and selecting a mode of travel for each point of arrival and departure. The model includes a graphical user interface with the ability of usage of geographical information systems. Potential application areas of the model are nationwide studies of the impact of transport policies and transport technologies.

де: H_{bij} – кількість відправлень з транспортного району i в j район за розрахунковий період часу;

$a, P_{заг} = (P_{заг 1} P_{заг 2} \dots P_{заг m})$ и $\gamma_c = (\gamma_c 1 \gamma_c 2 \dots \gamma_c m)$ – невідомі параметри регресії;

$P_{заг}$ – загальна рухливість населення;

γ_c – коефіцієнт середньостатистичного використання місткості салону;

$C_{(l)} = (C_{i,1} \dots C_{i,m})$ и $g_{(l,l)} = (C_{i,1} C_{j,1} \dots C_{i,m} C_{j,m})$ – m масиви даних;

V_{ij} – є незалежними і однаково розподіленими випадковими величинами з середнім нульовим і невідомою дисперсією σ^2 ;

l_{ij} – відстань між районами i і j ;

H_{mi}, H_{mj} – кількість мешканців в районах i і j відповідно

Недоліком даного методу є неврахування сезонних коливань кореспонденцій. Це унеможливує її застосування для вирішення поставлених у дослідженні цілей.

Дослідниками Baik, H., Trani, A., Hinze, N., Swingle, H., Ashiabor, S., & Seshadri, A. [2] запропоновано модель (2) аналізу транспортних систем, яка використовує процес моделювання транспортних систем «чотирьох кроків» для розрахунку кореспонденції, розподілу поїздки і вибору режиму пересування для кожного пункту прибуття та відправлення. В модель включений графічний користувальницький інтерфейс з можливістю географічних інформаційних систем. Потенційні області застосування моделі є загальнонаціональними дослідженнями впливу політики перевезень і технологій перевезень.

$$H_{ij} = H_{di} \left[\frac{H_{a_j} F_{\tau ij} F_{ij}}{\sum_j H_{a_j} F_{\tau ij} F_{ij}} \right], \quad (2)$$

where: H_{ij} – number of trips from area i to area j ;

H_{a_i} – the number of departures from the transport area i for the estimated period of time;

H_{a_j} – the number of arrivals in the transport area j for the estimated period of time;

$F_{\tau ij}$ – travel resistance factor;

F_{ij} – factor of socio-economic adaptation for the exchange of ij .

де: H_{ij} – кількість поїздок з району i в район j ;

H_{a_i} – кількість відправлень з транспортного району i за розрахунковий період часу;

H_{a_j} – кількість прибуття в транспортний район j за розрахунковий період часу;

$F_{\tau ij}$ – фактор опору поїздки;

F_{ij} – фактор соціально-економічної адаптації для обміну ij .

In this case, the authors do not take into account the features of the destination and departure points and seasonality of the characteristics of transport correspondence. However, the presence of a socio-economic correspondence between the calculation areas is taken into account.

Ibrahim Seedat in work [3] proposed to provide calculation of potential departures between cities i and j by means of the dependence (3)

В даному випадку авторами не враховуються особливості пунктів призначення, відправлення та сезонність характеристик транспортної кореспонденції. Однак враховано наявність соціально-економічної відповідності між розрахунковими районами

Ibrahim Seedat в роботі [3] запропоновано забезпечити розрахунок потенційних відправлень між містами i та j за допомогою залежності (3)

$$H_{ij} = \frac{P_i P_j}{L_{ij}^2}, \quad (3)$$

where L_{ij} – the distance between cities i and j ;
 P_i and P_j – the number of residents of the cities i and j respectively.

In this case, the authors do not take into account the features of the destination and departure points.

Similarly with the predecessors, the authors mention the travel resistance factor, but its definition has not been adequately disclosed.

In the work of the authors Terekhov, I., Ghosh, R., & Gollnick, V. [4], prediction of air passenger flows at the global level is determined using socio-economic aspects of the development of society. The method consists of two stages: forecasting the topology of the initial and final points of the demand network, forecasting the number of passengers on existing and new connections. In work, the attraction between cities is represented through an adapted model of gravity:

where L_{ij} – the distance between cities i and j ;
 P_i and P_j – the number of residents of the cities i and j respectively.

In this case, the authors do not take into account the features of the destination and departure points.

In case Andronov, A., Santalova, D. in their work [1] considered the distance as a factor of correspondence resistance similar to the approach set by Ibrahim Seedat in [3].

Similarly with the predecessors, the authors mention the travel resistance factor, but its definition has not been adequately disclosed.

In the work of the authors Terekhov, I., Gollnick, V. [4], prediction of air passenger flows at the global level is determined using socio-economic aspects of the development of society. The method consists of two stages: forecasting the topology of the initial and final points of the demand network, forecasting the number of passengers on existing and new connections. In work, the attraction between cities is represented through an adapted model of gravity:

де L_{ij} – відстань між містами i та j ;
 P_i та P_j – кількість мешканців міст i та j відповідно.

В даному випадку авторами не враховуються особливості пунктів призначення та відправлення.

У роботі авторів Andronov, A., Santalova, D. [4] описано нелінійну регресивну модель для прогнозування пасажирського потоку між різними географічними пунктами (містами). Невідомі параметри оцінюються з використанням агрегованих даних, коли інформація надається тільки про кількість пасажирів кожного міста. Як ефективний критерій оцінки використовується зважена сума залишкових площ.

$$H_{ij} = \frac{P_i P_j}{L_{ij}^2}, \quad (3)$$

де L_{ij} – відстань між містами i та j ;
 P_i та P_j – кількість мешканців міст i та j відповідно.

В даному випадку авторами не враховуються особливості пунктів призначення та відправлення.

У випадку Andronov, A., Santalova, D. в своїй роботі [1] розглянули відстань в якості чинника супротиву кореспонденції аналогічно до підходу викладеному Ibrahim Seedat в роботі [3].

Аналогічно із попередниками авторами згадано про фактор опору поїздки, однак його визначення не було розкрито у достатній мірі.

В роботі авторів Terekhov I., Gollnick V. [4] визначено прогнозування повітряних пасажирських потоків на глобальному рівні з використанням соціально-економічних аспектів розвитку суспільства. Метод складається з двох етапів: прогнозування топології вихідної і кінцевої точки мережі попиту, прогнозування кількості пасажирів на існуючих і нових з'єднаннях. У роботі привабливість між містами представлена через адаптовану модель гравітації:

$$F_i = \frac{VVP_i \times H_{di} \times VVP_j \times H_{dj}}{(l_{ij} \times T_{comij})^2}, \quad (4)$$

where: F_i – the attractiveness factor of the i -th district for expressing the number of potential passengers, which possibly came to the city i from the city j ;

VVP_i , VVP_j – GDP of cities i and j respectively, in the pair x ;

H_{pi} , H_{pj} – the number of residents of the cities i and j respectively;

T_{com} – the average cost of air tickets between city i and city j .

Analogously to the approaches considered in the calculations, the authors Terekhov I., Gollnick V. [4]

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;

$T_{сер}$ – середня вартість авіа білетів між містом i та містом j .

Аналогічно до розглянутих підходів у розрахунках авторами Terekhov I., Gollnick V. [4] визначено відстань між районами i і j в якості фактору

determined the distance between regions i and j as a factor in reducing the number of potential passengers, which possibly came to city i from city j . At the same time, as an additional factor of resistance to the number of potential passengers, the average cost of air tickets between city i and city j is introduced.

In the work by Ata M Khan, Brands T. [5,6], the authors proposed to calculate the passenger correspondence between cities using the classical gravitational model (5):

$$H_{ij} = H_{di} H_{aj} d_{ij} \quad (5)$$

where H_{di} – the number of departures from the city i ;

H_{aj} – the number of arrivals in the city j ;

d_{ij} – function of attraction from city i to city j .

The disadvantage of this method is accounting, as a factor of correspondence resistance, only the distance between cities i and j .

In the material by the authors [7] it is proposed to provide surveys of available correspondence to establish the actual values of empirical constants, resistance factors, balancing coefficients and other calibration constants.

It can be noted that the authors of the works Grigorova T., Davidich Yu., Dolya V. [8], [9], [10] proposed carrying out surveys of existing passenger correspondence to establish actual values in the equations proposed by them.

Yves Crozet proposed another method for calculating H_{ij} – potential correspondence between cities, which is given in equation [11].

зменшення кількості потенційних пасажирів, що можливо приїхали в місто i із міста j . Разом із цим, в якості додаткового фактору опору кількості потенційних пасажирів введено середню вартість авіа білетів між містом i та містом j .

У роботі Ata M Khan та Brands T. [5,6] авторами запропоновано проводити розрахунок пасажирських кореспонденцій між містами із застосуванням класичної гравітаційної моделі (5):

де H_{di} – кількість відправлень з міста i ;

H_{aj} – кількість прибуття в місто j ;

d_{ij} – функція тяжіння від міста i до міста j .

Недоліком даного методу є врахування, у якості фактору опору кореспонденції лише відстань між містами i та j .

У викладеному матеріалі роботи авторами [7] передбачається проведення обстежень наявних кореспонденцій для встановлення фактичних значень емпіричних констант, факторів опору, балансуєчих коефіцієнтів та інших калібрувальних констант.

Можна зазначити, що авторами робіт Grigorova T., Davidich Yu., Dolya V. [8] запропоновано проведення обстежень наявних кореспонденцій пасажирів для встановлення фактичних значень в запропонованих ними рівняннях. В роботах Dolya C. [9] та Grigorova T., Davidich Yu., Dolya V. [10].

Yves Crozet запропонував інший метод розрахунку H_{ij} – потенційної кореспонденції між містами, який наведено в рівнянні (2009) [11] запропоновано (3).

$$H_{ij} = S_{ij} d_{ij}, \quad (6)$$

where S_{ij} – potential departure from city i to the city j .

At the same time, the author does not consider the components of the gravity function.

Indrajit Ghosh in the work [12] proposed a relationship for the calculation of potential correspondence between cities i and j , in which it was proposed to consider the correspondence resistance factor as a complex function. The definition or components of this complex attraction function is not suggested. Joseph Schwieterman [13] prepared the distribution of correspondence between cities for workers and entertainment flows. The proposed approach by the named authors does not disclose the difference between the gravity function from point i to point j and the complex gravity function from point i to point j . The authors of the Zuse Institute; Markus Reuther; Zuse Institute; Kerstin Waas [14] and Tao Li [15], in their works proposed to conduct a survey of available correspondence between cities to calculate the calibration coefficients which they introduced in dependence.

Materials and methods of research

In order to establish the actual values of passenger traffic between cities in Ukraine, the following method was chosen: it consists in obtaining the relevant quantitative indicators from the records of the transfer services provided to passengers. These documents and materials include information from the system of selling bus and train tickets.

де S_{ij} – потенціальне відправлення з міста i в місто j .

При цьому автором не розглянуто складові функції тяжіння.

Indrajit Ghosh у роботі [12] запропоновано залежність для розрахунку потенційної кореспонденції між містами i та j , в якій запропоновано розглядати фактор опору кореспонденції, як комплексну функцію. Визначення або складові даної функції комплексного тяжіння не запропоновано. Joseph Schwieterman [13] опрацював питання розподілу кореспонденцій між містами на робочі та розважальні потоки. Запропонований підхід авторами не розкрито питання різниці між функцією тяжіння від пункту i до пункт j та комплексною функцією тяжіння з пункту i в пункт j . Авторами Zuse Institute; Markus Reuther; Zuse Institute; Kerstin Waas [14] та Tao Li [15] в своїх роботах пропонується проведення обстеження наявних кореспонденцій між містами для вирахування калібрувальних коефіцієнтів, які було ними введено в залежності.

Матеріали та методи дослідження

Для встановлення фактичних значень пасажиропотоків між містами в Україні було обрано спосіб, який полягає в отриманні відповідних кількісних показників з матеріалів обліку наданих пасажиром послуг з переміщення. До таких документів та матеріалів можна віднести відомості з системи продажу автобусних та залізничних квитків.

Fig. 1 shows the proposed model of the transport network in Ukraine, taking into account connections of interregional significance.

На рис.1 зображено запропоновану модель транспортної мережі України з урахуванням сполучень міжобласного значення.

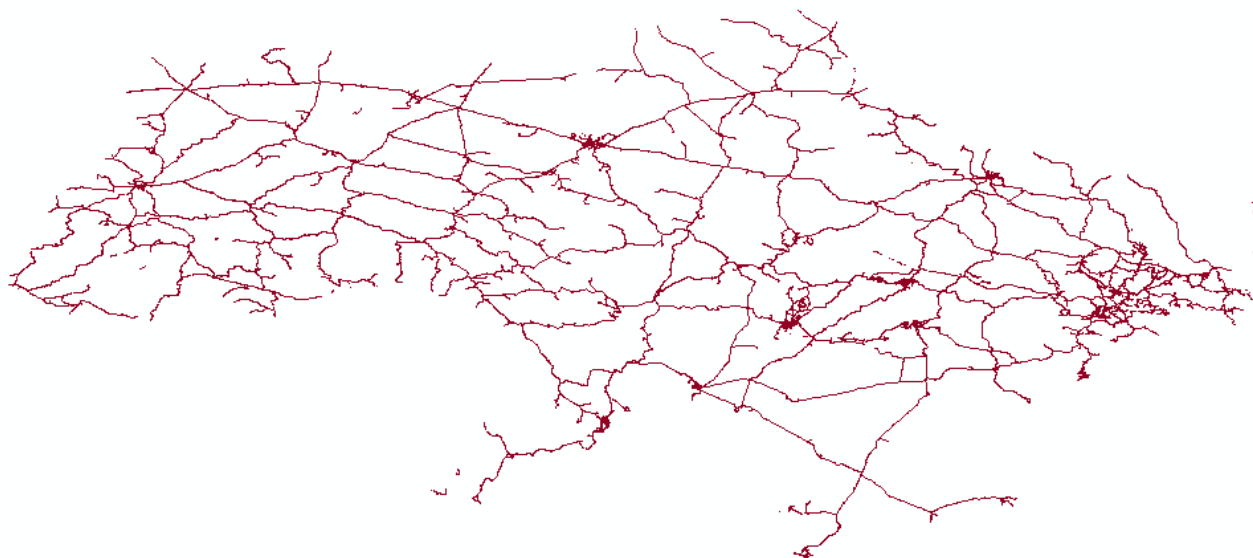


Fig. 1 - Model of the transport network of Ukraine, authors'/ *Модель транспортної мережі України, авторська розробка*

Dependence (5) was chosen as a dependence for calculating the correspondence of passengers between cities from point i to point j . In our case, it is proposed to calculate the function of attraction of correspondence between cities by the following relationship:

В якості залежності для розрахунку кореспонденції пасажирів між містами від пункту i до пункт j було обрано залежність (5). В нашому випадку пропонується функцію тяжіння кореспонденції між містами розрахувати за наступною залежністю:

$$d_{ij} = \frac{a}{L_{ij}^x}, \quad (7)$$

where a – empirical constant;
 L_{ij} – the distance between cities i and j ;
 x – calibration coefficient.

де a – емпірична константа;
 L_{ij} – відстань між містами i та j ;
 x – калібрувальний коефіцієнт.

Taking into account the dependence (6), equation (5) takes the following form:

З урахуванням залежності (6) рівняння (5) набуває наступного вигляду:

$$H_{ij} = H_{di} H_{aj} \frac{a}{L_{ij}^x}. \quad (8)$$

Results of research of parameters of passenger traffic between cities in summer and winter transportation times.

Результати досліджень параметрів пасажиропотоків між містами в літній та зимовий час перевезень.

To carry out potential correspondence calculations according to the dependence (6), the following value of the empirical constant was established - a : 1; 5, 35, 65, 95, 125 and 155. The calibration factor x in the calculations took the following quantitative indicators: 0.8; 1, 1.2; 1.4; 1.6; 1.8; 1.9 and 2.5. Potential correspondence between cities i and j has been calculated for all possible combinations between a and x . In accordance with the chosen values of the empirical constant and the calibration factor, potential correspondence between cities i and j was calculated for all possible combinations between a and x .

Для проведення розрахунків потенційної кореспонденції за залежністю (6) обрано значення емпіричної константи – a : 1; 5, 35, 65, 95, 125 та 155. Калібрувальний коефіцієнт x , в проведених розрахунках, приймав наступні кількісні показники: – 0,8; 1; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 1,9 та 2,5. Проведено розрахунки потенційної кореспонденції між містами i та j для всіх можливих комбінацій між a та x . Відповідно до обраних значень емпіричної константи та калібрувального коефіцієнту було проведено розрахунки потенційної кореспонденції між містами i та j для всіх можливих комбінацій між a та x .

From the obtained data of actual quantitative indicators of potential correspondence between cities, there were 14 pairs of cities and correspondence

З отриманих даних фактичних кількісних показників потенційної кореспонденції між містами було 14 пар міст кореспонденцій між якими

between them were investigated. In turn, each of the selected variants of the pairs provided information about the correspondence of passengers between the cities in both directions. As the values of the distance between the cities i and $j - L_{ij}$, the previously calculated values from the matrix of shortest distances were taken.

The obtained calculated values of H_{ij} – potential correspondence between cities i and j are summarized in Table 1.

досліджувались. В свою чергу, кожен з обраних варіантів пар надавав відомості щодо кореспонденції пасажирів між містами в обидва напрямки. В якості значень відстані між містами i та $j - L_{ij}$ було прийнято попередньо розраховані значення з матриці найкоротших відстаней.

Отримані розрахункові значення H_{ij} – потенційної кореспонденції між містами i та j було зведено в таблицю 1.

Table 1
Estimated and actual values of potential correspondence between the cities H_{ij} (thousand pass.) during summer transportation, authors / Розрахункові та фактичні значення потенційної кореспонденції між містами H_{ij} (тис. пас) в літній час перевезень, авторська розробка

№ s/n	№ of transport node of the (city) i	№ of transport node of the (city) j	Actual H_{ij}	H_{ij} for, $a=1$ $x=-0,8$	H_{ij} for, $a=1$ $x=1,0$	...	H_{ij} for, $a=155$ $x=1,8$	H_{ij} for, $a=155$ $x=1,9$	H_{ij} for, $a=155$ $x=2,5$
№ п/п	№ транспортного вузла (міста) i	№ транспортно го вузла (міста) j	Фактичні H_{ij}	H_{ij} при, $a=1$ та $x=-0,8$	H_{ij} при, $a=1$ $x=1,0$	...	H_{ij} при, $a=155$ $x=1,8$	H_{ij} при, $a=155$ $x=1,9$	H_{ij} при, $a=155$ $x=2,5$
1	8	22	18,908	24,23	22,79	...	18,63	17,97	13,66
2	8	15	74,53	79,21	83,86	...	71,34	69,05	53,71
3	13	14	117,16	121,97	131,65	...	114,64	111,27	87,12
4	13	8	38,396	23,97	39,76	...	41,89	41,78	38,92
5	13	15	38,86	26,39	48,17	...	54,45	54,90	55,40
6	13	22	51,272	81,73	35,81	...	19,01	17,34	9,50
7	14	8	589,62	553,13	634,95	...	701,85	710,95	761,24
8	14	20	13,34	28,52	19,41	...	13,08	12,35	8,48
...
20	20	18	17,284	12,52	...	...	17,32	17,75	19,86
21	20	15	1,624	4,63	...	...	1,39	1,17	0,40
22	22	14	489,52	548,11	...	...	479,82	470,67	409,68
23	22	8	271,44	172,57	...	...	287,24	301,24	376,38
24	22	13	5,568	13,43	...	...	4,79	4,13	1,59
25	20	18	9,976	16,89	...	...	9,06	8,30	4,65
26	20	15	3,016	7,22	...	...	2,95	2,59	1,14
27	22	14	161,472	158,83	...	...	160,24	159,96	156,58
28	22	8	7,656	13,96	...	...	6,88	6,20	3,11

The agreement between the values of the calculated potential correspondence H_{ij} between cities i and j to the actual value of the correspondence of passengers (obtained as a result of the carried out research) is carried out according to the dependence (8). The obtained value ϵ – the deviation of the obtained calculated quantitative index from the actual one in percent makes it possible in the analysis of the quality of use of the combination of the value of the empirical constant – a and the value of the calibration coefficient – x .

Згоду між значеннями розрахункової потенційної кореспонденції H_{ij} між містами i та j до фактичного значення кореспонденції пасажирів отриманого за результатом проведеного дослідження здійснено за залежністю (8). Отримане значення ϵ – відхилення отриманого розрахункового кількісного показника від фактичного у відсотках надає можливість в здійсненні аналізу якості використання комбінації значення емпіричної константи – a та значення калібрувального коефіцієнту – x .

$$\varepsilon' = \frac{|H_{ij} - H_{ij}|}{H_{ij}}, \quad (9)$$

Table 2.

Deviation of calculated values of potential correspondence between cities in the summer time from the actual obtained one as a result of the conducted study in percent, authors / Відхилення розрахункових значень потенційної кореспонденції між містами в літній час від фактичного отриманого за результатом проведеного дослідження у відсотках, авторська розробка

№ s/n	№ of transport node of the (city) i	№ of transport node of the (city) j	ε for, a=1 та x=-0,8	ε for, a=1 x=1,0	...	ε for, a=155 x=1,6	ε for, a=155 x=1,8	ε for, a=155 x=1,9	ε for, a=155 x=2,5
№ п/п	№ транспортного вузла (міста) i	№ транспортного вузла (міста) j	ε при, a=1 та x=-0,8	ε при, a=1 x=1,0	...	ε при, a=155 x=1,6	ε при, a=155 x=1,8	ε при, a=155 x=1,9	ε при, a=155 x=2,5
1	8	22	0,28	0,21	...	0,05	0,01	0,05	0,28
2	8	15	0,06	0,13	...	0,01	0,04	0,07	0,28
3	13	14	0,04	0,12	...	0,03	0,02	0,05	0,26
4	13	8	0,38	0,04	...	0,09	0,09	0,09	0,01
5	13	15	0,32	0,24	...	0,37	0,40	0,41	0,43
...
26	20	15	5,40	1,39	...	0,25	0,02	0,14	0,62
27	22	14	0,32	0,02	...	0,01	0,01	0,01	0,03
28	22	8	2,29	0,82	...	0,10	0,10	0,19	0,59
ε _{com} / ε _{сер}			2,14	0,59	...	0,11	0,09	0,15	0,41

The obtained value makes it possible to estimate the deviation of the calculated quantitative indices from the actual ones in percent when applying a certain combination of values of the empirical constant – a and the value of the calibration coefficient – x. The obtained calculation results provided an opportunity to establish empirically the parameters of the attraction function for passenger correspondence between cities during summer and winter periods, at which the calculated values of potential correspondence are close to the actual ones.

With the quantitative indices available in each calculation a, x and ε_{com} we obtain the possibility of constructing the surface of the dependence of ε_{сер} for the variables a and x. The resulting surface is shown in Fig. 2.

Отримане значення надає можливість провести оцінку відхилення отриманих розрахункових кількісних показників від фактичних у відсотках при застосуванні певної комбінації значень емпіричної константи – a та значення калібрувального коефіцієнту – x. Отримані результати розрахунків надали можливість емпірично встановити параметри функції тяжіння для кореспонденцій пасажирів між містами в протягом літнього та зимового періодів, при яких розрахункові значення потенційної кореспонденції наближуються до фактичних.

При наявних у кожному розрахунку кількісних показниках a, x та ε_{сер} отримуємо можливість побудови поверхні залежності ε_{сер} від змінних a та x. Отриману поверхню наведено на рис. 2.

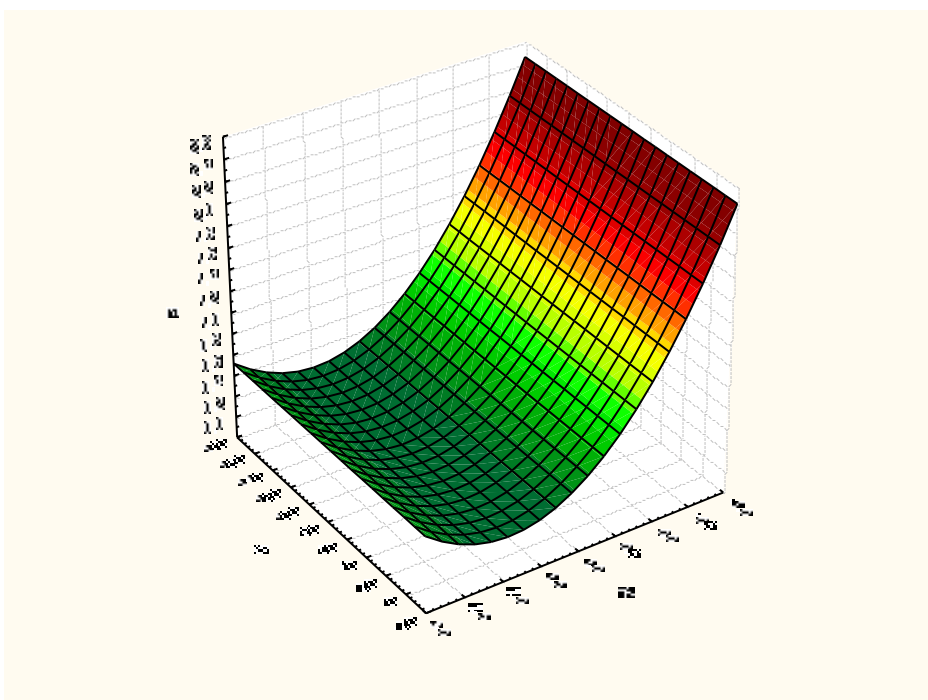


Fig. 2 - The surfaces of the dependence ξ_{com} in the summer period of transportation for the variables a and x , authors' / Поверхні залежності $\xi_{сер}$ у літній період перевезень від змінних a та x , авторська розробка

Let us carry out analogous calculations for the investigated system on condition of considering winter long-distance passenger transportations and reflect the constructed corresponding surface of the dependence $\xi_{сер}$ for the variables a and x in Fig. 3.

Проведемо аналогічні розрахунки для дослідженої системи з умови розгляду зимових міжміських пасажирських перевезень та відобразимо побудовану відповідну поверхню Поверхні залежності $\xi_{сер}$ від змінних a та x на рис. 3.

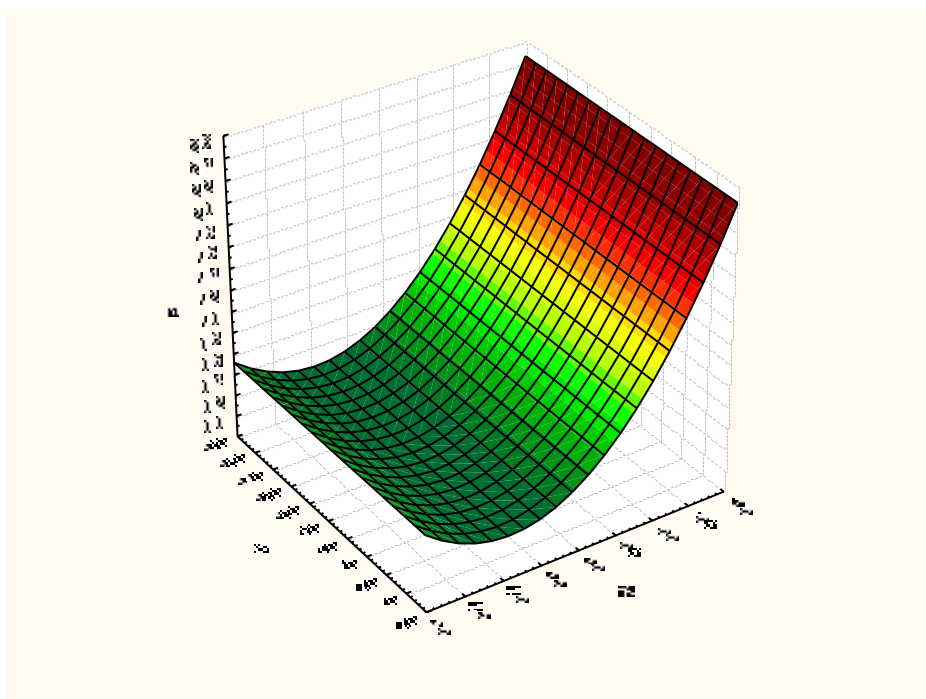


Fig. 3 - The surfaces of the dependence ξ_{com} in the summer period of transportation for the variables a and x , authors' / Рис. 3. Поверхні залежності $\xi_{сер}$ у літній період перевезень від змінних a та x , авторська розробка

From the obtained results of calculations, it is established that $\dot{\epsilon}_{com}$ does not significantly depend on the change of a .

The applied approaches to the modeling of long-distance passenger transport correspondences indicate the possibility of their application to the studied system. At the same time, they mostly rely on the gravitational analogy, they have common interpretations and are based on arrays of the number of departures and arrivals of passengers in cities i and j with the definition of the attraction function between them. At the same time, the adequacy of models as a whole depends on the accuracy of determining these arrays and the invention of quantitative indicators of their calibration coefficients.

The formalization of the value of the calibration factor – x in dependence (7) for the considered model was achieved using the applied above method, taking into account the seasonal fluctuations of correspondence between cities during the winter and summer periods.

By using the method, the calibration factor – x was attained in the dependence (7) for the model in question, taking into account the seasonal fluctuations in correspondence between cities during the winter and summer periods.

The attraction function between cities i and j depends on the distances between pairs of cities L_{ij} in the degree of 1,6 for summer correspondences and 1,8 for winter correspondences. That is, in this case, the relative deviation $\dot{\epsilon}_{cep}$ of the calculated parameter H_{ij} from the actual indicator is from 9% to 11%. Such accuracy of passenger transport correspondence H_{ij} can satisfy the needs of science and practice for modeling the parameters of the functioning of passenger transport systems for long-distance communication.

The indicator of the deviation of the calculated values of potential correspondence between the cities from the actual obtained from the results of the conducted study provided an opportunity to assess the possibility of using the calibration coefficient x for winter and summer correspondences.

CONCLUSIONS

1. The analysis of modern scientific approaches to the calculation of passenger transport correspondence found that this issue is not sufficiently studied. There is a need to conduct experimental studies of the parameters of the functioning of the experimental system and further establishment of the corrective coefficients of the known dependencies of predicting passenger correspondence in the system. The gravitational modeling of passenger transport correspondence is chosen as acceptable for the studied system.

2. The results of establishing a correction factor for the investigated system of long-distance passenger traffic in Ukraine are obtained. From the obtained values of the calibration coefficient – x in the dependence (9) the values 1.6 for summer and 1.8 for winter correspondences can be taken. The obtained information on the parameters of the investigated correspondences supplemented the known scientific approaches to predicting the parameters of the functioning of the process of transporting passengers with the determination of the peculiarities of seasonal fluctuations in demand for transportation, which provides an opportunity for forecasting the correspondence of passengers in the studied system using gravitational modeling.

З отриманих результатів розрахунків встановлено, що $\dot{\epsilon}_{cep}$ не суттєво залежить від зміни a .

Застосовані підходи щодо моделювання міжміських пасажирських транспортних кореспонденцій свідчить про можливість їх застосування для дослідженої системи. В той же час вони здебільш спираються на гравітаційну аналогію, мають спільні трактування і базуються на масивах кількостях відправлень та прибуття пасажирів по містах i та j з визначенням функції тяжіння між ними. При цьому від точності визначення зазначених масивів та винайдення кількісних показників їх калібрувальних коефіцієнтів залежить адекватність моделей в цілому.

Застосованим методом було досягнуто формалізації значення калібрувального коефіцієнту – x в залежності (7) для розглянутої моделі із урахуванням сезонних коливань кореспонденцій між містами в зимовий та літній періоди.

Функція тяжіння між містами i та j залежить від відстаней між парами міст L_{ij} в ступені 1,6 для літніх кореспонденцій та 1,8 для зимових. Тобто, при цьому відносно відхилення $\dot{\epsilon}_{cep}$ розрахункового показника H_{ij} від фактичного становить від 9% до 11%. Така точність пасажирської транспортної кореспонденції H_{ij} може задовільнити потреби науки і практики для моделювання параметрів функціонування пасажирських транспортних систем для міжміського сполучення.

Показник відхилення розрахункових значень потенційної кореспонденції між містами від фактично отриманого за результатом проведеного дослідження забезпечив можливість оцінки можливості використання калібрувального коефіцієнту x для зимових та літніх кореспонденцій.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз сучасних наукових підходів щодо розрахунків пасажирських транспортних кореспонденцій виявив, що дане питання не є достатньо вивченим. Наявна потреба проведення експериментальних досліджень параметрів функціонування піддослідної системи й подальше встановлення корегувальних коефіцієнтів відомих залежностей прогнозування пасажирських кореспонденцій у системі. Обрано гравітаційне моделювання пасажирських транспортних кореспонденцій, як прийнятне для дослідженої системи.

2. Отримані результати встановлення корегувального коефіцієнту для дослідженої системи міжміських пасажирських перевезень в Україні. За отриманими значеннями калібрувального коефіцієнту – x в залежності (9) можуть прийматись 1,6 для літніх та 1,8 для зимових кореспонденцій. Отримані відомості щодо параметрів досліджених кореспонденцій доповнили відомі наукові підходи щодо прогнозування параметрів функціонування процесу перевезень пасажирів із визначенням особливостей сезонних коливань попиту на перевезення, що забезпечує можливість в прогнозуванні кореспонденції пасажирів в дослідженій системі із застосуванням гравітаційного моделювання.

REFERENCES

- [1] Andronov, A., & Santalova, D. (2009). On Nonlinear Regression Model for Correspondence Matrix of Transport Network. In *Selected papers of the International Conference Applied Stochastic Models and Data Analysis*, 90-94.
- [2] Baik, H., Trani, A., Hinze, N., Swingle, H., Ashiabor, S., & Seshadri, A. (2008). Forecasting model for air taxi, commercial airline, and automobile demand in the United States. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2052, 9-20.
- [3] Seedat, I. (1973). Implementing the 2007 Public Transport Strategy and Action Plan: transportation. *Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese*, 15(9), 13-16.
- [4] Terekhov, I., Ghosh, R., & Gollnick, V. (2015). A concept of forecasting origin-destination air passenger demand between global city pairs using future socio-economic scenarios. In *53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting*.
- [5] Brands, T., de Romph, E., Veitch, T., & Cook, J. (2014). Modelling public transport route choice, with multiple access and egress modes. *Transportation research procedia*, 1(1), 12-23.
- [6] Khan, A. M. (1981). II. Intercity passenger transportation: energy efficiency and conservation case study. *Transportation Planning and Technology*, 7(1), 1-9.
- [7] Dolya, C., Botsman, A., & Kozhyna, V. (2017). Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system. *Technology audit and production reserves*, 4(2 (36)), 24-28.
- [8] Grigorova, T., Davidich, Y., & Dolya, V. (2015). Transport Fatigue Simulation of Passengers in Suburban Service. *International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems*, 1 (2), 87-99.
- [9] Dolya, C. (2017). Modeling of intercity passenger transportation system. *Technology audit and production reserves*, (2 (2)), 37-43.
- [10] Grigorova, T., Davidich, Y., & Dolya, V. (2015). Assessment of elasticity of demand for services of suburban road passenger transport. *Technology audit and production reserves*, 3(2 (23)), 13-16.
- [11] Crozet, Y. (2009). *The prospects for inter-urban travel demand* (Vol. 14). OECD Publishing.
- [12] Nokandeh, M. M., Ghosh, I., & Chandra, S. (2015). Determination of Passenger-Car Units on Two-Lane Intercity Highways under Heterogeneous Traffic Conditions. *Journal of Transportation Engineering*, 142(2), 04015040.
- [13] Joseph Schwieterman (2016) Intercity Buses: 2015 Was A Smooth Ride. *New Geography*
- [14] Zuse Institute Berlin,; Markus Reuther Affiliation: Zuse Institute; Kerstin Waas Affiliation (2016): Integrated Optimization of Rolling Stock Rotations for Intercity Railways, *Transportation Science*, vol. 50 (3).
- [15] Li, T. (2016). A Demand Estimator Based on a Nested Logit Model. *Transportation Science*.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

- [1] Andronov A., Santalova D. On Nonlinear Regression Model for Correspondence Matrix of Transport Network //Selected papers of the International Conference Applied Stochastic Models and Data Analysis. – 2009. – С. 90-94.
- [2] Baik H. et al. Forecasting model for air taxi, commercial airline, and automobile demand in the United States //Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. – 2008. – №. 2052. – С. 9-20.
- [3] Seedat I. Implementing the 2007 Public Transport Strategy and Action Plan: transportation //Civil Engineering= Siviele Ingenieurswese. – 1973. – Т. 15. – №. 9. – С. 13-16.
- [4] Terekhov I., Ghosh R., Gollnick V. A concept of forecasting origin-destination air passenger demand between global city pairs using future socio-economic scenarios //53rd AIAA Aerospace Sciences Meeting. – 2015.
- [5] Brands T. et al. Modelling public transport route choice, with multiple access and egress modes //Transportation research procedia. – 2014. – Т. 1. – №. 1. – С. 12-23.
- [6] Khan A. M. II. Intercity passenger transportation: energy efficiency and conservation case study //Transportation Planning and Technology. – 1981. – Т. 7. – №. 1. – С. 1-9.
- [7] Dolya C., Botsman A., Kozhyna V. Investigation of approaches to modeling of intercity passenger transportation system //Technology audit and production reserves. – 2017. – Т. 4. – №. 2 (36). – С. 24-28.
- [8] Grigorova T., Davidich Y., Dolya V. Transport Fatigue Simulation of Passengers in Suburban Service //International Journal of Automation, Control and Intelligent Systems, 1 (2). – 2015. – С. 87-99.
- [9] Dolya C. Modeling of intercity passenger transportation system //Technology audit and production reserves. – 2017. – №. 2 (2). – С. 37-43.
- [10] Григорова Т. М., Давідич Ю. О., Доля В. К. Assessment of elasticity of demand for services of suburban road passenger transport //Technology audit and production reserves. – 2015. – Т. 3. – №. 2 (23). – С. 13-16.
- [11] Crozet Y. et al. The prospects for inter-urban travel demand. – OECD Publishing, 2009. – Т. 14.
- [12] Nokandeh M. M., Ghosh I., Chandra S. Determination of Passenger-Car Units on Two-Lane Intercity Highways under Heterogeneous Traffic Conditions //Journal of Transportation Engineering. – 2015. – Т. 142. – №. 2. – С. 04015040.
- [13] Schwieterman J. Intercity Buses: 2015 Was A Smooth Ride //New Geography. – 2016.
- [14] Borndörfer R. et al. Integrated optimization of rolling stock rotations for intercity railways //Transportation Science. – 2015. – Т. 50. – №. 3. – С. 863-877.
- [15] Li T. A Demand Estimator Based on a Nested Logit Model //Transportation Science. – 2016.