

УТОЧНЕННЯ ВИДУ ФУНКЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ТЯЖІННЯ У РОЗРАХУНКУ ТРАНСПОРТНИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ, ТРАНЗИТНИХ ДЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ МІСТА

Засядько Д. В.¹,

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. В статті розглянуті деякі види функції транспортного тяжіння та можливість їх застосування при розрахунку транспортних кореспонденцій, які проходять транзитом через центральну частину міста. Запропоновано критерій для вибору оптимального виду функції тяжіння, показано, що незалежно від значення константи, окрім нуля, на яку можна помножити функцію транспортного тяжіння, результат розрахунків матриці кореспонденцій не змінюється.

Ключові слова: транзитні транспортні кореспонденції, матриця транспортних кореспонденцій, функція транспортного тяжіння.

Вступ

Для зменшення транспортного навантаження на центральну ділову частину міста (ЦДЧМ) можна організувати відведення транзитних для ЦДЧМ транспортних потоків за допомогою системи кільцевих зв'язків, яка складається з окремих ділянок, які перехоплюють транспортні потоки на в'їзді в ЦДЧМ на радіальних магістральних вулицях [1, 2]. Для створення цієї системи слід розрахувати потрібну пропускну спроможність її майбутніх ділянок через значення інтенсивності потоків на них. Потоки утворюються транзитними відносно ЦДЧМ транспортними кореспонденціями. Матрицю цих кореспонденцій можна розрахувати за допомогою гравітаційної моделі, важливою складовою якої є функція транспортного тяжіння.

Аналіз публікацій

Різні дослідники пропонують різні види функції транспортного тяжіння [3-10]. Зокрема, вважається, що транспортне тяжіння зворотно залежить від відстані між транспортними районами, L_{ij} , або часу на пересування між районами, або грошових витрат на пересування. Крім того, запропоновані різні форми залежності транспортного тяжіння від цих параметрів, зокрема, зворотна залежність

$$\frac{1}{L_{ij}} \quad (1)$$

Зворотна залежність з калібрувальним коефіцієнтом

$$a \cdot \frac{1}{L_{ij}}, \quad (2)$$

де a – калібрувальний коефіцієнт.

Зворотна квадратична залежність

$$\frac{1}{L_{ij}^2}, \quad (3)$$

Зворотна ступенева із калібрувальними коефіцієнтами

$$a \cdot \frac{1}{L_{ij}^b}, \quad (4)$$

де a, b – калібрувальні коефіцієнти.

Зворотна експоненційна залежність виду

$$a \cdot e^{-b \cdot L_{ij}} \quad (5)$$

та

$$a \cdot e^{b \cdot L_{ij}^2}. \quad (6)$$

Німецькі дослідники [10] пропонують такий вигляд

$$\frac{1}{(1 + L_{ij})^{\varphi(L)}}, \quad (7)$$

при цьому

$$\varphi(L_{ij}) = \frac{E}{1 + e^{(F-G \cdot L_{ij})}}, \quad (8)$$

де E, F, G – калібрувальні коефіцієнти.

Мета та постановка завдання

Відсутність одностайності дослідників щодо виду функції транспортного тяжіння та необхідність процедури калібрування деяких видів цієї функції спонукає до подальших досліджень у цьому напрямку, оскільки вид функції транспортного тяжіння впливає на розрахунок матриці кореспонденцій та врешті, на результати розрахунків потрібної пропускної спроможності кільцевих ділянок.

Метою даного етапу досліджень є визначення вірного виду функції транспортного тяжіння для задачі розрахунку матриці транспортних кореспонденцій, транзитних для ЦДЧМ.

Визначення виду функції транспортного тяжіння

Для експериментальної перевірки придатності різних видів функції транспортного тяжіння було зроблено спробу розрахувати

матрицю транспортних кореспонденцій через ЦДЧМ на прикладі міста Харків. Для цього було зроблено макрорайонування [1, 2] та проведено відеомоніторинг транспортних потоків у контрольних точках на в'їздах/виїздах з ЦДЧМ у різні дні тижня та години доби, визначені транспортні ємності мегарайонів, які формують транспортні кореспонденції через ЦДЧМ.

У процесі розрахунку матриці слід дотримуватися умови рівності суми значень кореспонденцій, що прямують у певний район, та заданої транспортної ємності по прибуттю для цього району. Для цього використовується розрахункова процедура Шацького-Шелейховського [11]. Однак, після розрахунків за цією процедурою значення кореспонденцій змінюються і перестають відповідати заданій функції транспортного тяжіння, рис. 1 [12].

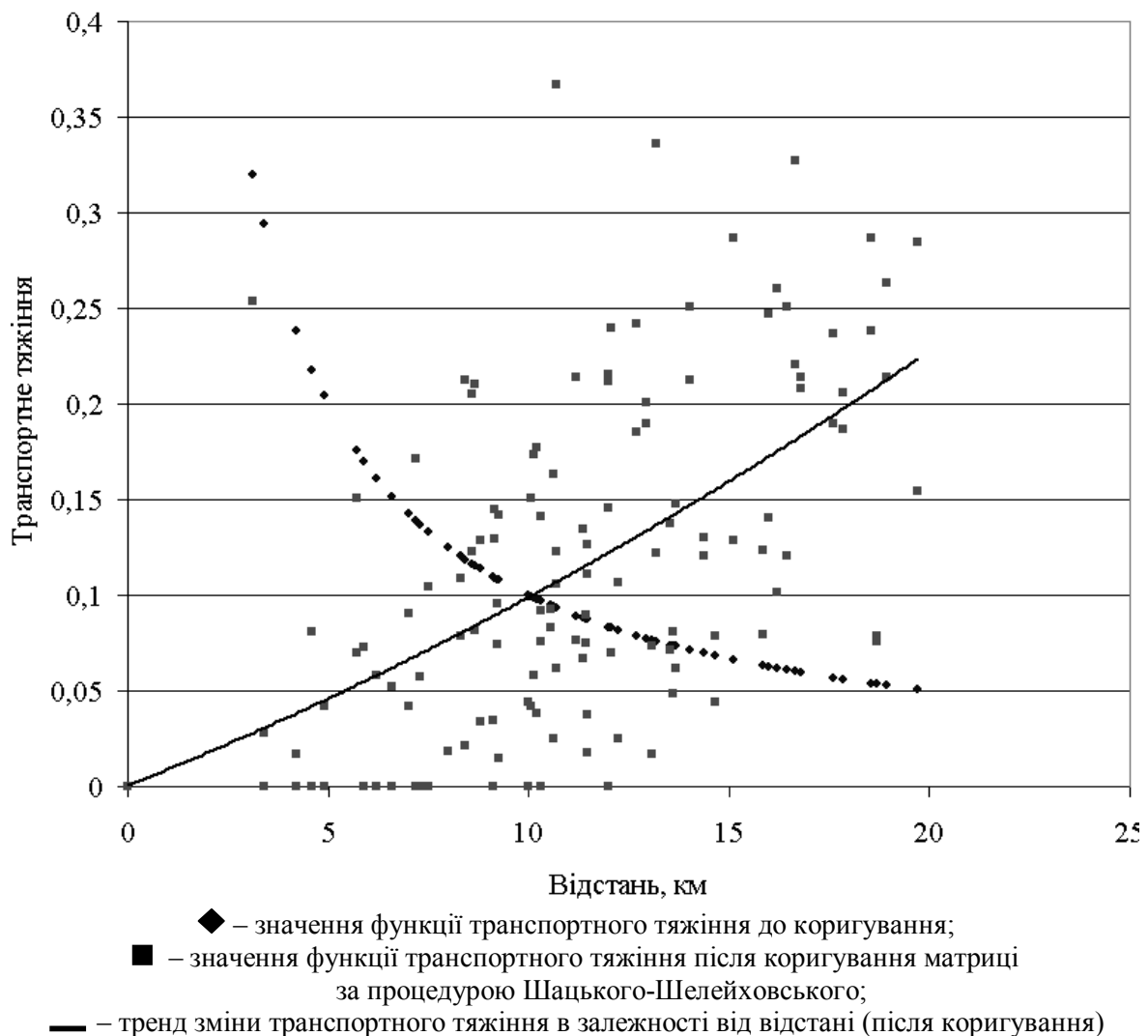


Рис. 1. Залежність функції транспортного тяжіння від відстані поїздки

На рис. 1 кожна точка відповідає кореспонденції між певними мегарайонами до та після балансування (з урахуванням калібрувальних коефіцієнтів). Значення функції тяжіння після коригування розраховані за формулою [3, 11]

$$d'_{ij} = \frac{z_{ij}}{HP_j}, \quad (9)$$

де z_{ij} – елемент коригувальної матриці Z ; HP_j – ємність району по прибуттю, авт./год.

Елемент коригувальної матриці Z :

$$z_{ij} = K_j \cdot h_{ij}. \quad (10)$$

де K_j – балансувальний коефіцієнт; h_{ij} – величина кореспонденції, авт./год.

Видно, що після коригування залежність між відстанню поїздки та транспортним тяжінням виявляється не зворотною, а прямою. Аналогічні залежності були отримані і для інших видів функції транспортного тяжіння, де також після балансування матриці залежність змінювалася зі зворотної на пряму.

Подібна ситуація спостерігається як для вранішнього, так і для вечірнього пікових періодів. Для остаточного вибору функції транспортного тяжіння та її коефіцієнтів було запропоновано наступне. Після першого розрахунку матриці кореспонденцій перед початком балансування для кожного району i сума кореспонденцій, що відправляються з району i , завжди дорівнює заданому значенню обсягу відправлення для району i . Але сума кореспонденцій, що прибувають у кожен район j , у загальному випадку не збігається із заданим значенням ємності по відправленню для цього району. Причому ці розбіжності можуть бути різними для різних районів, і залежать від обраного виду функції транспортного тяжіння. Отже, пропонується критерій вибору виду функції транспортного тяжіння як сума модулів розбіжностей сум розрахованих значень кореспонденцій та заданих значень обсягів по прибуттю для всіх районів разом

$$K = \sum_{j=1}^n \left(\left| \sum_{i=1}^n h_{ij} - HP_j \right| \right) \rightarrow \min. \quad (11)$$

Розрахунки показали, що найліпшою функцією тяжіння є квадратична залежність

транспортного тяжіння від відстані поїздки, табл. 1.

Привертає увагу те, що ті види функції, де транспортне тяжіння зменшується зі збільшенням відстані, дають більшу сумарну розбіжність K , ніж ті види, де транспортне тяжіння збільшується зі збільшенням відстані. трудові чи бізнесові поїздки вранці та увечері, фактор дальності поїздки не є найважливішим фактором для виборі місця роботи, на відміну від тих трудових пересувань, що здійснюються на громадському транспорті.

Таблиця 1 – Результати розрахунків критерію K для вибору функції транспортного тяжіння

Функція тяжіння, d_{ij}	Значення критерію K , авт./год
$\frac{1}{L_{ij}}$	11415
$\frac{1}{L_{ij}^2}$	15431
$a \cdot \frac{1}{L_{ij}}$	11415
$\frac{1}{L_{ij}^a}$ (при $a=-1,21767$)	3840
$a \cdot \frac{1}{L_{ij}^b}$ (при $b=-1,21767$)	3840
$a \cdot e^{-b \cdot L_{ij}}$ (при $b=-0,11656$)	4139
$a \cdot e^{b \cdot L_{ij}^2}$ (при $b=0,005096$)	4480
$\frac{1}{(1 + L_{ij})^{\varphi(L)}}$ де $\varphi(L_{ij}) = \frac{E}{1 + e^{(F-G \cdot L_{ij})}}$ ($E=0,733724$; $F=-0,5989$; $G=5$)	4890
$a \cdot L_{ij} + b$, $b = -1,64968 \cdot a$	3787
$a \cdot L_{ij}^2 + b \cdot L_{ij} + c$ $a=-0,21058$; $b=9,459199$; $c=-28,3028$	3563

Крім того, в ході досліджень було виявлено, що якщо з функції транспортного тяжіння можна винести константу, помножену на решту функції, то значення цієї константи не впливає на результат подальшого розрахунку матриці кореспонденцій окрім випадку, коли константа дорівнює нулю. Доведемо це.

Гравітаційна модель у загальному вигляді [3]

$$h_{ij} = G \cdot HO_i \cdot HP_j \cdot d_{ij}, \quad (12)$$

де G – балансувальний коефіцієнт; HO_i – ємність транспортного району i по відправленню, авт./год; d_{ij} – функція транспортного тяжіння.

Гравітаційна модель після перетворень з урахуванням умови збалансованості обсягів відправлень та прибуттів має вигляд [3, 11]

$$h_{ij} = HO_i \frac{d_{ij} \cdot HP_j \cdot k_j}{\sum_{m=1}^n d_{im} \cdot HP_m \cdot k_m}. \quad (13)$$

Якщо функцію тяжіння можна виразити як $d_{ij} = C \cdot f(L_{ij})$ при $C \neq 0$, то

$$h_{ij} = HO_i \frac{C \cdot f(L_{ij}) \cdot HP_j \cdot k_j}{\sum_{m=1}^n C \cdot f(L_{im}) \cdot HP_m \cdot k_m}. \quad (14)$$

Виносимо константу C у знаменнику за знак суми

$$h_{ij} = HO_i \frac{C \cdot f(L_{ij}) \cdot HP_j \cdot k_j}{C \cdot \sum_{m=1}^n f(L_{im}) \cdot HP_m \cdot k_m}. \quad (15)$$

Константа C у числівнику та знаменнику скорочується

$$h_{ij} = HO_i \frac{f(L_{ij}) \cdot HP_j \cdot k_j}{\sum_{m=1}^n f(L_{im}) \cdot HP_m \cdot k_m}. \quad (16)$$

Отже, значення константи не впливає на подальші розрахунки матриці кореспонденцій.

Висновки

Зі збільшенням відстані пересування збільшується мотивація до використання індивідуального транспорту. Функція транспорт-

ного тяжіння для кореспонденцій, що проходять через ЦДЧМ, зі збільшенням відстані поїздки не зменшується, як передбачено існуючими моделями, а навпаки, зростає. Це пояснюється тим, що для учасників дорожнього руху (а це у більшості люди на власних легкових автомобілях), які роблять трудові чи бізнесові поїздки вранці та увечері, фактор дальності поїздки не є найважливішим фактором для виборі місця роботи, на відміну від тих трудових пересувань, що здійснюються на громадському транспорті.

Якщо функцію транспортного тяжіння помножити на константу, то значення константи не впливає на подальші розрахунки матриці кореспонденцій окрім випадку, коли константа дорівнює нулю. Отже, калібрувати функцію транспортного тяжіння підбором цієї константи немає сенсу.

Література

1. Гецович Е. М., Засядько Д. В. Определение интенсивностей и направлений транзитных транспортных потоков в центральной деловой части города. *Коммунальное хозяйство городов. ХНАМГ*. Киев: «Техника». 2009. № 86. С. 350–357.
2. Гецович Е. М., Казакова М. О., Холодов О. А. Задача делимитации центральной деловой части мегаполиса. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. Харьков: «Издательство ХНАДУ». 2009. № 45. С. 52–54.
3. Брайловский Н. О., Грановский Б. И. Моделирование транспортных систем. М.: Транспорт. 1978. 125 с.
4. Grange L. E., Fernandez A. J., J. de Cea. A Consolidated Model of Trip Distribution. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2010. № 46 (1), P. 61–75.
5. Ortuzar, J. D., Willumsen L. G. Modeling Transport. Wiley. 2011. 4th ed. 606 p.
6. Voorhees, A. M. A General Theory of Traffic Movement. *Transportation*. 2013. Vol. 40. № 6. pp. 1105–1116.
7. Ye X., Cheng W., Jia X. A Synthetic Environment to Evaluate Alternative Trip Distribution Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board of National Academies*, Washington, D.C. 2012. №. 2784. pp. 111–120.
8. Duffus L. N., Alfa A. Sule, Soliman A. H. The Reliability of Using the Gravity Model for Forecasting Trip Distribution. *Transportation*. 1987. Vol. 14, № 3. pp. 175–192.
9. Barnes G., Davis G. Understanding Urban Travel Demand: Problems, Solutions, and the Role of Forecasting. University of Minnesota Center for

- Transportation Studies: Transportation and Regional Growth Study. 2000. 113 p.
10. Schnabel W., Lohse D., Latzsch L. Grundlagen der Straenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung. Band 2: Verkehrsplanung 2. neu bearbeitete. Auflage.: Berlin. 1997. 432 p
 11. Шацкий Ю. А. Расчет схемы расселения и трудовых корреспонденций при разработке генерального плана города. *Развитие системы городского транспорта*. Киев. 1971. № 4. С. 3–14.
 12. Гецович Є. М., Засядько Д. В. Побудова матриці транспортних кореспонденцій, транзитних для центральної ділової частини мегаполіса. *Автомобільний транспорт*. Харків: ХНАДУ. 2014. Вып. 34. С. 60–67.

References

1. Getsovich E. M., Zasiadiko D. V. (2009) Opredelenie intensivnostey I napravleniy tranzitnyh transportnyh potokov v tsentralnoy delovoy chasti goroda [Determination of intensities and directions of transit traffic flows in the central business district of the city]. *Kommunalnoye hoziaystvo gorodov KhNAMG, Kyiv: «Tehnika»*, 86, 350-357 [in Russian].
2. Getsovich E. M., Kazakova M. O., Holodova O. A. (2009) Zadacha delimitacii tsentralnoi delovoy chasti megapolisa [The task of delimiting the central business part of the metropolis]. *Vestnik Kharkovskogo nacionalnogo avtomobilno-dorozhnogo universiteta, Kharkiv: "Izdatelstvo HNADU"*, 45, 52-54 [in Russian].
3. Braylovskiy N. O., Granovskiy B. I. (1978) Modelirovanie transportnyh system [The Modelling of transportation Systems]. M.: Transport, 125 [in Russian].
4. Grange L. E., Fernandez A. J., J. de Cea (2010) A Consolidated Model of Trip Distribution. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46, no. 1, 61–75.
5. Ortuzar, J. D., Willumsen L. G. (2011) Modeling Transport. *Wiley*, 4th ed., 606.
6. Voorhees A. M. (2013) A General Theory of Traffic Movement. *Transportation*, 40, 6, 1105-1116.
7. Ye X., Cheng, X. Jia (2012) A Synthetic Environment to Evaluate Alternative Trip Distribution Models. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board of National Academies, Washington, D.C.*, 2784, 111–120.
8. Duffus L. N., Sule Alfa A., Soliman A. H. (1987) The Reliability of Using the Gravity Model for Forecasting Trip Distribution. *Transportation*, 14, 3, 175–192.
9. Barnes G. Davis G. (2000) Understanding Urban Travel Demand: Problems, Solutions, and the Role of Forecasting. *University of Minnesota Center for Transportation Studies: Transportation and Regional Growth Study*, 113.
10. Schnabel W., Lohse D., Latzsch L. (1997) Grundlagen der Straenverkehrstechnik und der

- Verkehrsplanung. Band 2: Verkehrsplanung 2. neu bearbeitete. Auflage.: Berlin, 432.
11. Shatskiy U. A. (1971) Raschot skhemy rasseleniya I trudovyh korrespondency pri razrabotke generalnogo plana goroda [Calculation of the settlement scheme and labor correspondence when developing the city general plan]. *Razvitiye sistemy gorodskogo transporta*, Kyiv, 4, 3–14 [in Russian].
 12. Getsovich E. M., Zasiadiko D. V. (2014) Pobudova matryci transportnyh korespondency, tramzitnyh dlya tsentralnoyi dilovoyi chastyny megapolisa [Composing of origin-destination trip matrix for transit traffic flow across the central business parts of the metropolis]. *Avtomobilniy transport, Kharkiv: KhNAHU*, 34, 60-67 [in Ukrainian].

Засядько Дмитро Володимирович¹, асистент кафедри організації і безпеки дорожнього руху.
¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38-067-29-06-304, zdv964235@ukr.net

Adjustment of a type of traffic function for calculation of origin-destination transit flows across the central part of the city

Abstract. Problem. The article refers to the problem of the concentration of traffic flows in the central business part of a large city. The transport problem in the city center can be solved by the creation of transport ring roads. To do this, it is necessary to know the capacity of the sections of the ring road, and for this purpose it is necessary to calculate traffic flows along the ring. To do this, we use a gravitational model for calculating the origin-destination trip matrix. This matrix is needed for future traffic assignment on the constructed transport ring. There are several types of transport gravity functions proposed by the different authors and we need to choose the right one or create a new type of the function to solve the current task. **Goal.** The goal is to suggest a criterion for choosing the optimal form of transport gravity function in a given problem. **Methodology.** We use the gravity model of transport trip distribution along the road network and the Shatsky-Sheleyhovsky calculation procedure. The proposed criteria for choosing the proper gravity function is the sum of absolute values of the differences between the sum of origin-destination trip values for certain destination mega-region and the given arriving capacity of this mega-region. **Results:** A criterion for choosing the optimal form of transport gravity function is developed. Several forms of gravity function were considered and estimated by the proposed criteria. The best type of the gravity function for the given task is the quadratic function. With increasing travel distance, the motivation for using individual transport also increases. **Originality.** It is shown that multiplying the function of transport gravitation by a constant (except zero) does not affect the calculation

of the matrix. **Practical value.** The obtained results are used in the developed method of calculating the required capacity of the sections of the transport ring, which can be constructed in a large city to reduce the traffic load on the central part of the city. This is explained by the fact that for those who drive their own cars and make trips in the morning and in the evening, the travel factor is not the most defining factor in choosing the job, as opposed to those who use the public transport.

Key words: transit origin-destination flows, origin-destination trip matrix, transport traffic gravity function.

Dmytro Zasiadiko¹, assistant of the Department of traffic management and safety,

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine, +38-067-29-06-304, zdv964235@ukr.net

Уточнение вида функции транспортного тяготения в расчёте транспортных корреспонденций, транзитных для центральной части города

Аннотация. В статье рассмотрены некоторые виды функции транспортного тяготения и возможность их применения при расчёте транспортных корреспонденций, которые проходят транзитом через центральную часть города. Предложен критерий для выбора оптимального вида функции тяготения, показано, что независимо от значения константы, кроме нуля, на которую можно умножить функцию транспортного тяготения, результат расчетов матрицы корреспонденций не меняется.

Ключевые слова: транзитные транспортные корреспонденции, матрица транспортных корреспонденций, функция транспортного тяготения.

Засядько Дмитрий Владимирович¹ ассистент кафедры организации и безопасности дорожного движения,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38-067-29-06-304, zdv964235@ukr.net.