

УДК 656.132

ОЦІНКА ПАРАМЕТРІВ ПОПИТУ НА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ МІЖ МІСТАМИ УКРАЇНИ

П.Ф. Горбачов, проф., д.т.н., О.Ю. Шевчук, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розроблено методику формування попиту на пасажирські перевезення між містами України, яка базується на гравітаційній моделі та стандартній 4-етапній процедурі моделювання транспортних потоків. Проведено оцінку точності розрахунку транспортних потоків на міжнародних та національних автомобільних дорогах загального користування.

Ключові слова: матриця кореспонденцій, міжміські перевезення, пасажир, гравітаційна модель.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СПРОСА НА ПЕРЕВОЗКУ ПАССАЖИРОВ МЕЖДУ ГОРОДАМИ УКРАИНЫ

П.Ф. Горбачев, проф., д.т.н., Е.Ю. Шевчук, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Разработана методика формирования спроса на пассажирские перевозки между городами Украины, основанная на гравитационной модели и стандартной 4-этапной процедуре моделирования транспортных потоков. Проведена оценка точности расчета транспортных потоков на международных и национальных автомобильных дорогах общего пользования.

Ключевые слова: матрица корреспонденций, междугородные перевозки, пассажир, гравитационная модель.

DEMAND PARAMETER ESTIMATION IN THE INTERCITY PASSENGER TRANSPORTATION

P. Gorbachov, Prof., D. Sc., O. Shevchuk, P. G.,
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The technique of demand model formation for intercity passenger transport based on the gravity model and the standard 4-stage modeling procedure of transport flows is given. The accuracy of calculation of traffic flows on the international and national public roads is carried out.

Key words: OD matrix, intercity transportation, passenger, intercity transportation, gravity model of demand matrix formation.

Вступ

Пасажирський автомобільний транспорт як частина транспортної системи країни забезпечує не лише задоволення життєвих потреб населення і реалізацію конституційних прав громадян на свободу переміщень, але є одним з чинників територіальної цілісності держави. Особливе значення при цьому на-

лежить міжміським автомобільним пасажирським перевезенням. Міжміські перевезення є дуже важливою сферою автотранспортної діяльності, й рівень конкуренції тут надзвичайно високий. На практиці це призводить до того, що на окремих маршрутах і напрямках спостерігається надлишок транспортних засобів, рухомий склад експлуатується недостатньо ефективно, ускладнюється процес

забезпечення безпеки пасажирських перевезень, створюються умови для виникнення недобросовісної конкуренції. Це призводить до того, що в Україні також існує доволі розвинений бізнес так званих «нелегалів», точно врахувати частку яких на загальному ринку надзвичайно складно, хоча й більшість перевезень пасажирів у міжміському сполученні виконуються на постійних маршрутах, що обслуговуються на пасажирських автобусних станціях.

Ефективним засобом формування раціональної мережі міжміських маршрутів та прогнозування пасажиропотоків на них є розрахунок загальноукраїнської матриці потреб населення в пересуваннях автобусним транспортом та визначення частки пасажиропотоку, що реалізується різними видами пасажирського транспорту [1].

Аналіз публікацій

Загальноукраїнська матриця пасажирських кореспонденцій є основою моделі попиту на пасажирські перевезення. Міжміські моделі попиту на перевезення пасажирів розпочали свій розвиток принаймні з початку 1960-х років, і, таким чином, вони майже так само тривалий час вивчаються, як і найбільш поширені моделі для міст. Але слід відзначити, що вони розвинулися набагато менше за минулі десятиліття, ніж міські моделі, хоча мають одну теоретичну основу. Зокрема вони не отримали вигоду від дуже швидко розвинутих «нових інформаційних технологій», завдяки яким відбувається більш глибоке вивчення міських перевезень пасажирів [1].

Зараз міжміські перевезення починаються й закінчуються на міських територіях, а оскільки великі міста зростають, то поїздки проходять практично через міста; межа між тим, що становить міжміські перевезення проти міської поїздки, є часто нечіткою. Тим не менш, моделі для міжміських перевезень можуть істотно відрізнитися від моделей для міських перевезень.

Ще однією рисою цих моделей є недостатній рівень оцінки точності отриманих моделей. У літературних джерелах практично відсутні дані щодо відповідності розрахункових та фактичних інтенсивностей руху транспортних засобів на мережі міжміських автомобільних доріг.

Однією з перших математичних моделей, яка використовувалася для оцінки кореспонденцій, була гравітаційна модель [2, 3]. Гравітаційна модель ґрунтується на простому твердженні, що кореспонденція з району i в район j є пропорційною щодо загального обсягу відправлення з району i , загального обсягу прибуття в район j та певної функції індивідуальних витрат на пересування c_{ij} , яка великою мірою залежить від відстані між районами i та j . Очевидною перевагою гравітаційних моделей є простота реалізації, а одним з головних недоліків – неврахування індивідуальних уподобань населення [4].

Але в міжміських пасажирських перевезеннях недоліки гравітаційної моделі мають проявлятися найменшою мірою, оскільки вплив загальної вартості перевезення на ймовірність його здійснення на великі відстані вочевидь є найбільшим. Тоді й вплив випадкових чинників на величину кореспонденцій буде найменшим, а тому гравітаційний підхід може бути основою, на якій можна побудувати модель попиту на пасажирські перевезення.

Більшість прикладів моделей попиту на міжміські пасажирські перевезення належить до іноземних джерел. Одна з таких моделей розроблялася, щоб передбачити, які вимоги висуває пасажир під час пересування між двома великими містами (наприклад, «Бостон–Нью-Йорк» або «Торонто–Оттава–Монреаль») [4]. Дослідження виявило високу чутливість пасажирів до дальності та вартості пересувань, що підтверджує справедливість гіпотези, яка лягла в основу гравітаційної моделі.

Мета і постановка завдання

Метою формування матриці кореспонденцій перевезення пасажирів між містами України в цій роботі є моделювання попиту в межах прогнозування інтенсивностей руху на міжнародних та національних автомобільних дорогах (АД) загального користування України.

Виходячи з мети дослідження, усі пасажирські автотранспортні засоби розподіляються на дві групи: легкі, що не здійснюють суттєвого впливу на дорожнє покриття, та важкі, які мають значну вагу та мають суттєвий

вплив на дорожнє покриття. До першої групи належать легкові автомобілі та автобуси загальною місткістю, меншою ніж 30 пасажирів; другу групу становлять автобуси місткістю, рівною або більшою ніж 30 пасажирів.

Першочерговим завданням у процесі побудови загальноукраїнської матриці пасажирських кореспонденцій є визначення місткостей транспортних районів [1]. Дослідження необхідні, щоб зрозуміти потреби учасників транспортного процесу та їх готовність обрати найбільш раціональний варіант серед багатьох існуючих видів пересування, таких як міжміський автобус, легковий автомобіль, високошвидкісна залізнична магістраль і літак [6].

В умовах України більше ніж 99 % міжміських пасажирських перевезень реалізуються залізничним та автомобільним транспортом [7], що створює можливість надалі розглядати як можливі альтернативи лише їх, без суттєвої втрати точності загальноукраїнської моделі попиту. Найбільш обґрунтованою, з точки зору вихідної інформації, є розробка моделі попиту на пасажирські кореспонденції на основі чисельності населення найбільш великих міст країни. Населення інших, менших за розміром населених пунктів, може вважатися рівномірно розподіленим по територіях, що їх оточують.

Завдяки тому, що саме населення є основним джерелом виникнення потреб у пересуванні, побудована таким чином загальна матриця пасажирських кореспонденцій може вважатися достатньо надійною підставою для оцінки інтенсивності руху на автомобільних дорогах загального користування.

При цьому основними питаннями, які можуть вважатися джерелом виникнення помилок у прогнозуванні автотранспортних потоків, є рухливість населення окремих міст, обсяги пересувань, що реалізуються залізничним транспортом, та розподіл пасажиропотоків між різними типами пасажирських ТЗ.

Усі ці питання можуть бути вирішені лише на етапі калібрування моделі за допомогою реальних та сталих значень фактичної добової інтенсивності руху пасажирських автотранспортних засобів на ділянках автомобільних доріг (АД). Методика моделювання попиту на міжміські пасажирські перевезен-

ня ґрунтуються на стандартній 4-етапній процедурі та принципі дезагрегування, коли спочатку формується загальна модель потреб у перевезеннях пасажирів для основних видів пасажирського транспорту України – автомобільного та залізничного, яка в подальшому розділяється на окремі матриці на підставі звітної інформації Укрзалізниці.

Для побудови відповідної добової матриці кореспонденцій автомобілів відповідних систем пасажирського транспорту необхідно виконати такі етапи:

- 1) сформувати загальноукраїнську матрицю кореспонденцій перевезення пасажирів, тобто визначити величину пасажирських кореспонденцій, що здійснюються як залізничним, так і автомобільним транспортом;
- 2) виділити із загальноукраїнської матриці матрицю кореспонденцій перевезення пасажирів автомобільним транспортом;
- 3) визначити матриці регулярних маршрутів, тобто добову кількість поїздок автобусів між містами на підставі розкладу руху на міжміських маршрутах;
- 4) розрахувати матрицю індивідуальних перевезень, тобто кількість індивідуального транспорту під час пересувань на мережі АД загального користування державного значення.

Методика формування моделі попиту на міжміські перевезення

Моделювання пасажирських кореспонденцій проводиться безпосередньо для транспортних районів, центрами яких обрані міста країни державного та обласного значення.

У процесі формування методики моделювання попиту на першому етапі вважається, що добова рухливість населення в міжміському сполученні не залежить від конкретного міста та є постійною для всієї країни. У цьому випадку річні місткості транспортних районів з відправлення та прибуття пасажирів дорівнюють одна одній

$$DP_i = AP_i = \eta \cdot N_{жi}, \quad (1)$$

де DP_i , AP_i – річні місткості i -го міста з відправлення пасажирів та їх прибуття відпо-

відно, тис. пас.; η – середньодобова рухливість населення у міжміському сполученні, од./добу; N_{ji} – чисельність мешканців i -го міста.

Але $\eta = \text{const}$ може виявитися занадто грубим припущенням, тому на етапі калібрування моделі можна використовувати різні значення рухливості для різних міст. Наприклад, може виявитися, що мешканці великих міст виконують менше поїздок за рік, ніж мешканці малих міст, або навпаки.

У стандартному варіанті транспортного планування на другому етапі створення моделі передбачається розрахунок матриці пасажирських кореспонденцій, але така послідовність виконання робіт потребує дуже детальної інформації про напрямки поїздок залізничним транспортом з урахуванням пересадок, отримання якої є практично неможливим.

Для модального розподілу існує достатньо надійна та достовірна інформація про обсяги перевезень пасажирів залізничним транспортом. Обсяги перевезень на всіх видах автомобільних перевезень, за частковим винятком регулярних, не піддаються достовірному обліку, а загальні закономірності формування попиту на міжміські пасажирські пересування можна вважати достатньо коректними. Тому саме цей шлях, від побудови загальних місткостей транспортних районів до місткостей пасажирських автомобільних перевезень, через відокремлення залізничних перевезень, є найбільш надійним [8].

Тобто на другому етапі моделювання попиту виконується модальний розподіл місткостей транспортних районів, а вже на третьому – розрахунок матриці пасажирських автомобільних кореспонденцій. Цей розрахунок виконується за допомогою гравітаційної моделі, показник функції спротиву якої визначається на етапі калібрування моделі шляхом порівняння розрахункових та фактичних значень інтенсивності транспортних потоків на ключових ділянках мережі автомобільних доріг.

Пасажирська частина автомобільних перевезень містить два окремих елементи: автобусні перевезення та перевезення пасажирів легковими автомобілями. З іншого боку, автобусні перевезення поділяються на регулярні, які виконуються на постійних міжобласних та міжнародних маршрутах, та разові,

тобто службові, туристичні, екскурсійні, рекреаційні та інші, що виконуються організованими групами громадян. Слід також пам'ятати про наявність так званих нелегальних перевізників, які на свій страх та ризик перевозять пасажирів на найбільш прибуткових маршрутах, без отримання офіційних дозвільних документів.

Нерегулярні автобусні перевезення мало чим відрізняються від звичайних легкових з точки зору можливостей їх прогнозування. Окрім того, абсолютну перевагу в кількості на вказаному сегменті ринку мають автобуси малої місткості, які, з точки зору впливу на дорожнє полотно, мало чим відрізняються від легкових автомобілів.

Тому, з метою отримання адекватних значень потоків пасажирів, загальну матрицю пасажирських кореспонденцій доцільно розподілити лише за видами перевезень – на регулярні та нерегулярні перевезення та отримати дві відповідні матриці кореспонденцій. Причиною цього є можливість отримання об'єктивної інформації про напрямки та інтенсивність руху автобусів на регулярних маршрутах. У цих випадках напрямком пасажиропотоку визначається трасою регулярного маршруту, а значення кореспонденцій може бути визначене, виходячи з місткості ТЗ, коефіцієнта використання їх пасажиромісткості та кількості відправлень у відповідних напрямках.

Тому для автобусних регулярних перевезень значення кореспонденції h_p визначається як

$$h_p = \bar{q} \cdot \bar{\gamma} \cdot N_p, \quad (2)$$

де \bar{q} – середня пасажиромісткість автобуса, що використовується для перевезення пасажирів між містами України, пас.; $\bar{\gamma}$ – середній коефіцієнт заповнення салону автобуса; N_p – кількість рейсів, виконаних між містами України, од.

Матриця нерегулярних перевезень визначається як різниця між загальною матрицею пасажирських кореспонденцій автомобільного транспорту та матрицею кореспонденцій регулярних автобусних перевезень

$$H_{ij} = H_A - H_P, \quad (3)$$

де H_{ij} – матриця нерегулярних перевезень; H_A – кореспонденції пасажирів між містами України, що здійснюють пересування нерегулярним автобусним сполученням та легковими автомобілями; H_P – кореспонденції пасажирів між містами України, що здійснюють пересування всіма видами автомобільного транспорту та регулярними автобусними маршрутами відповідно, пас.

Отримані таким чином матриці пасажирських кореспонденцій є підставою для прогнозування інтенсивності транспортних потоків у міжміському сполученні між містами України. Для застосування моделі пасажирських пересувань між містами України необхідно використовувати середню наповненість салону кожного типу пасажирського автотранспортного засобу.

Четвертий етап транспортного моделювання – розрахунок потоків пасажирських автотранспортних засобів – повинен ґрунтуватися на об'єктивній оцінці параметрів вибору водіями маршрутів пересування між містами України.

Розрахунок матриць кореспонденцій та оцінка точності моделі попиту

З метою формування загальної матриці міжміських пасажирських перевезень в Україні, яка б відображала потреби в перевезеннях автомобільним і залізничним транспортом, спочатку необхідно виконати перший етап 4-етапної процедури моделювання транспортних потоків, тобто отримати місткості ТР з відправлення та прибуття пасажирів, які разом з відстанями між ТР є вихідними даними для розрахунку матриці кореспонденцій.

Для визначення місткостей міст України з відправлення та прибуття пасажирів відповідно до обраної залежності потрібно знати чисельність населення згаданих міст N_{ji} та середньодобову рухливість населення у міжміському сполученні η . Чисельність населення у транспортному районі є доступною, а середньодобова рухливість у міжміському сполученні потребує розрахунку, який доцільно виконати за такою залежністю:

$$\eta = \eta_3 + \eta_p + \eta_n, \quad (4)$$

де η_3 – середньодобова рухливість населення, яка реалізується на залізничному транспорті в міжміському сполученні, од./добу; η_p – середньодобова рухливість населення, яка реалізується на регулярних міжміських автобусних маршрутах, од./добу; η_n – середньодобова рухливість населення, яка реалізується в міжміському сполученні на нерегулярних автобусних маршрутах та легковими автомобілями, од./добу.

Для визначення цих складників загальної рухливості населення потрібна інформація про кількість перевезених пасажирів у міжміському сполученні залізничним та автомобільним транспортом. Стосовно міжміських перевезень залізничним транспортом та регулярними автобусними маршрутами, то таку інформацію можна отримати з видань Держстату [7, 8]. На підставі цієї інформації величини η_3 та η_p визначаються за формулами

$$\eta_3 = \frac{1}{365} \cdot \frac{Q_3}{N_3} = \frac{1}{365} \cdot \frac{Q_3}{\sum_{i=1}^{25} N_{ji}}, \quad (5)$$

$$\eta_p = \frac{1}{365} \cdot \frac{Q_p}{N_3} = \frac{1}{365} \cdot \frac{Q_p}{\sum_{i=1}^{25} N_{ji}}, \quad (6)$$

де Q_3 – загальна кількість пасажирів, перевезена залізничним транспортом у міжміському сполученні протягом року, пас./рік; Q_p – загальна кількість пасажирів, перевезена на регулярних автобусних маршрутах у міжміському сполученні, пас./рік; N_3 – загальна чисельність населення України, осіб; N_{ji} – чисельність населення в k -му місті України, осіб.

Об'єктивних даних для точного визначення рухливості η_n знайдено не було, причиною чого є відсутність точного обліку кількості перевезених пасажирів у міжміському сполученні на нерегулярних автобусних маршрутах та легковими автомобілями в Україні.

Ця величина може бути визначена виходячи з припущення про те, що рівень автомобілізації відповідає відсотку використання населенням легкових автомобілів, з метою здійснення пересувань у міжміському сполученні. Тоді відсоток використання населенням громадського транспорту під час міжміських пересувань та, відповідно, питома вага відповідної рухомості становитимуть

$$\frac{\eta_3 + \eta_p}{\eta} = 1 - \frac{N_a}{1000}, \quad (7)$$

де N_a – забезпеченість населення приватними легковими автомобілями, тобто рівень автомобілізації, автомобілів / 1000 осіб.

На даному етапі розрахунків на підставі інформації зі Статистичного збірника Державної служби статистики України [7] і з використанням залежності (7) орієнтовну оцінку величини η_n можна обчислити за формулою

$$\eta_n = (\eta_3 + \eta_p) \cdot \left(\frac{N_a}{1000 - N_a} \right). \quad (8)$$

Оскільки у Статистичному збірнику Державної служби статистики України відсутня інформація про забезпеченість населення легковими автомобілями у 2013 р., а наявні дані стосовно 2003–2011 рр., тобто за 9 років поспіль, можливим є прогнозування цього показника на підставі статистичної інформації.

Наступним кроком формування загальноукраїнської матриці перевезень пасажирів є визначення місткостей з відправлення та прибуття пасажирів для міжнародних та міждержавних пунктів пропуску (пограничних переходів). З цією метою зі Статистичного збірника Державної служби статистики України було отримано інформацію про пропуск осіб через державний кордон на в'їзд та виїзд з України за кожною ділянкою державного кордону, яку можна взяти за основу для визначення місткостей пунктів пропуску з відправлення (у напрямку України) та прибуття (з метою залишити територію України) пасажирів відповідно. Для розподілу між пунктами пропуску осіб, які перетнули державний кордон в обох напрямках, за основу пропонується взяти співвідношення сумарної пропускної здатності пункту пропуску та суми пропускних здатностей усіх пунктів, які знаходяться на певній ділянці кордону [9].

$$DP_z = \frac{1}{365} \cdot D_b \cdot \frac{C_z}{\sum_{z=1}^B I_{\{z \in b\}} C_z}, \quad (9)$$

$$AP_z = \frac{1}{365} \cdot A_b \cdot \frac{C_z}{\sum_{z=1}^B I_{\{z \in b\}} C_z}, \quad (10)$$

де DP_z – місткість z -го пункту пропуску з відправлення пасажирів, пас./доб.; D_b – кількість осіб, пропущених через b -ту ділянку державного кордону на в'їзд в Україну, пас./доб.; b – множина митних переходів між Україною та сусідніми державами, оскільки Україна межує із сімома державами; C_z – пропускна здатність z -го пункту пропуску, од./доб.; $I_{\{z \in b\}}$ – індикатор приналежності z -го пункту пропуску b -й ділянці державного кордону.

Після розрахунку матриць кореспонденцій, які відображають попит на пересування пасажирськими автотранспортними засобами, наступним кроком, згідно з 4-етапною процедурою моделювання транспортних потоків, повинен стати розподіл кореспонденцій мережею автомобільних доріг і розрахунок інтенсивності транспортних потоків.

Модальний розподіл місткостей ТР між конкуруючими автомобільним та залізничним видами транспорту був здійснений на другому кроці зазначеної 4-етапної процедури, розрахунок матриць кореспонденцій – на третьому. Результати виконання четвертого етапу виявилися дуже проблемними, оскільки після порівняння розрахункових інтенсивностей руху ТЗ із фактичними значеннями транспортних потоків на 491 ділянці міжнародних та національних автомобільних доріг коефіцієнт лінійної кореляції між ними не перевищував 10 %. Це засвідчило необхідність калібрування вихідних матриць кореспонденцій для їх приведення відповідно до фактичних інтенсивностей руху пасажирських ТЗ. Як виявилось протягом експериментальних досліджень, рухливість населення різних міст не може суттєво змінювати матрицю кореспонденцій та впливати на інтенсивність транспортних потоків навіть у випадку багатократної зміни її значень [8]. Тому основним засобом є управління параметром функції спротиву гравітаційної моделі, унаслідок чого змінюються транспортні

потоки на ділянках АД. Ефективність цього заходу наочно зображено на рис. 1.

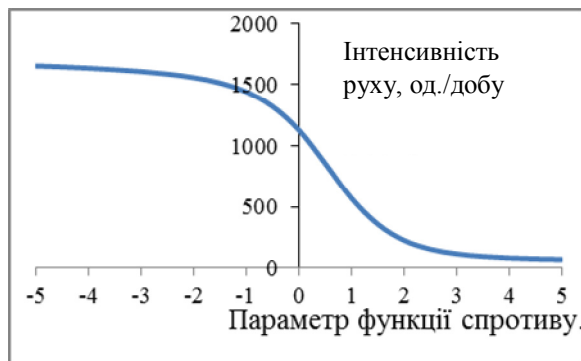


Рис. 1. Залежність середнього значення інтенсивності руху автомобілів від коефіцієнта гравітаційної моделі

З використанням параметра функції спротиву гравітаційної моделі були проведені подальші розрахунки інтенсивності транспортних потоків на АД загального користування. Для кожного з них розраховувався свій коефіцієнт кореляції між розрахунковими інтенсивностями руху ТЗ та фактичними значеннями транспортних потоків на ділянках міжнародних та національних автомобільних доріг (рис. 2).

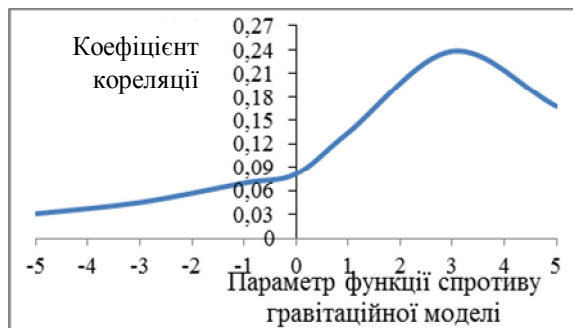


Рис. 2. Залежність середнього значення коефіцієнта кореляції від коефіцієнта гравітаційної моделі

Результати розрахунків, наведені на рис. 2, свідчать про часткову результативність цього методу калібрування матриці пасажирських кореспонденцій, оскільки спостерігається досить стійка тенденція до зростання відповідності розрахункових потоків фактичній інтенсивності руху за підвищення параметра функції спротиву гравітаційної моделі. Однак вважати ці результати цілком задовільними ще зарано та необхідно досягти суттєво більшої відповідності результатів розрахунку фактичному стану справ. Причинами занадто

низької прогностичної спроможності гравітаційної моделі можуть вважатися багато факторів, наприклад постійна транспортна рухливість населення різних міст у міжміському сполученні. Кожний з таких факторів має бути використаний для налаштування моделі попиту на фактичні значення транспортних потоків.

Висновки

Моделювання попиту на пасажирські пересування в міжміському сполученні зазвичай ґрунтується на тих же принципах, що й побудова моделей у місцевому сполученні, але потенційно має набагато більше причин для застосування апріорних моделей, оскільки вплив транспортних факторів на частоту здійснення поїздок у міжміських пересуваннях вочевидь має бути набагато більшим, ніж у місцевих поїздках.

Використання на кожному етапі побудови моделі попиту на міжміські пасажирські перевезення об'єктивних показників соціально-економічного розвитку регіонів, основу яких становить чисельність населення міст країни, залишає можливість калібрування матриці кореспонденцій лише за допомогою рухливості населення у міжміському сполученні та параметра гравітаційної моделі.

Рухливість населення різних міст не може коливатися в широких межах та суттєво впливати на матрицю кореспонденцій, а ось параметр гравітаційної моделі значною мірою впливає на результати розрахунку матриці, але навіть він не дозволяє досягти прийнятної точності розрахунку транспортних потоків. Тому, незважаючи на потенційну привабливість гравітаційної моделі для формування матриці міжміських пасажирських кореспонденцій, слід зробити висновок про доцільність використання інших підходів до формування моделі попиту в цьому сегменті транспортного ринку та необхідність більш детального вивчення зв'язку відстані між містами країни з кількістю пересувань між ними.

Основою для розробки моделі попиту на міжміські пересування пасажирів має стати інтервальна концепція моделювання, оскільки вона дозволяє врахувати випадкові, з точки зору проектувальника, фактори формування попиту, що призводять до втрати

точності моделі попиту. Але для випадку міжміського сполучення інтервальна концепція повинна бути доповнена додатковими умовами, що враховують вплив відстані пересування на ймовірність його здійснення.

Література

1. Васильева Е.В. Оптимизация планирования и управления транспортными системами / Е.В. Васильева, Р.В. Игудин, В.Н. Лившиц. – М.: Транспорт, 1987. – 208 с.
2. Carrothers G.A. P. An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction / G.A. Carrothers // J. American Instit. Planners. – 1956. – Vol. 22. – P. 94–102.
3. Voorhees A.M. A general theory of traffic movement. Institute of Traffic Engineers Past Presidents' Award Paper / A.M. Voorhees // New Haven: ITE, 1955. – P. 46–56.
4. Wilson A.G. A statistical theory of spatial distribution models / A.G. Wilson // Transpn. Res. – 1967. – Vol. 1. – P. 253–270.
5. Лившиц В.В. Математическая модель случайно-детерминированного выбора и ее применение для расчета трудовых корреспонденций / В.В. Лившиц // Автоматизация процессов градостроительного проектирования. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1973. – С. 39–57.
6. Transport Planning and Traffic Engineering / M.G.H. Bell, P.W. Bonsall, G.R. Leake, A.D. May. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 1997. – 544 p.
7. Транспорт і зв'язок України 2013: статистичний збірник Державної служби статистики України. – К., 2014. – 222 с.
8. Про державну статистику: Закон України за станом на 17.09.1992. – Верховна Рада України. – Офіц. вид. – К.: Парлам. вид-во, 1993. – 15 с. – (Бібліотека офіційних видань).
9. Behrens C. Intermodal Competition in the London-Paris Passenger Market: High-Speed Rail and Air Transport / C. Behrens, E. Pels // Tinbergen Institute Discussion Paper TI - 2009-051/3.
10. VISUM 10.0 User Manual [Електронний ресурс]. – 80 min / 700 MB. – 2007. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium; 32 Mb RAM; CD-ROM Windows 98/2000/NT/XP.– Назва з контейнера.
11. Schnabel W. Grundlagen der Strassenverkehrs-technik und der Verkehrsplanung / W. Schnabel, D. Lohse. – [3 volstaendig ueber arbeitete Auflage]. – Kirschbaum, Beuth, Berlin, Wien, Zuerich, 2011. – [Band 1]. – 619 s.
8. Розроблення методики прогнозування автотранспортних потоків на автомобільних дорогах загального користування державного значення та розроблення вимог до даних, що використовуються при прогнозуванні, порядку їх збирання і обробки, вимоги до вихідних даних прогнозів для занесення до Єдиної інформаційної геобазы даних автомобільних доріг України: Звіт про ДКР (проміжний) / Державне агентство автомобільних доріг України, ХНАДУ; № держ. реєстрації 0114U004631. – Х., 2015. – 99 с.

Рецензент: Є.В. Нагорний, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 29 січня 2016 р.