

А. А. Кочина, доц., канд. техн. наук, І. С. Наглюк, проф., д-р техн. наук,

Л. С. Абрамова, проф., д-р техн. наук, С. А. Сахно

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, Україна

e-mail: kochina.tsl@gmail.com

Оцінювання результатів розрахунку моделі транспортного попиту на пересування пасажирів

У статті розглянуто питання оцінювання результатів моделювання транспортного попиту на пересування пасажирів у різних сполученнях. Побудовано модель транспортної мережі, сформовано матриці пасажирських кореспонденцій та здійснено розподіл поїздок за відстанню. Проведено порівняння розрахункових і фактичних пасажиропотоків, визначено середні та максимальні відхилення. Отримані результати підтверджують достовірність і практичну придатність розробленої методики.

матриця кореспонденцій, приміський транспорт, регіональна транспортна система, транспортний попит

Постановка проблеми. Сучасний етап розвитку транспортних систем характеризується змінам характером мобільності населення, ускладненням просторової структури поїздок та підвищенням вимог до якості транспортного обслуговування. У цих умовах моделі транспортного попиту на пересування пасажирів стають ключовим інструментом обґрунтування управлінських рішень у сфері планування маршрутної мережі, розвитку інфраструктури та оптимізації роботи громадського транспорту (ГТ). Водночас практичне застосування таких моделей неможливе без об'єктивного оцінювання результатів їх розрахунку, оскільки саме на цьому етапі визначається ступінь відповідності модельних показників реальним умовам функціонування транспортної системи та фактичній поведінці пасажирів. Проблематика оцінювання результатів моделювання транспортного попиту на пересування пасажирів ГТ полягає в обмеженості та неоднорідності вихідних даних, наявності альтернативних видів транспорту, впливі соціально-демографічних і просторових факторів, а також у необхідності врахування стохастичного характеру пасажирських пересувань. Невизначеність цих чинників ускладнює інтерпретацію отриманих матриць пасажирських кореспонденцій і потребує застосування спеціальних підходів до перевірки точності та надійності результатів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У науковій літературі проблематика оцінювання результатів розрахунку моделей транспортного попиту на пересування пасажирів розкривається з кількох ключових позицій, що дозволяє бачити сучасний стан досліджень у цій сфері. Так, у фундаментальних оглядах [1-5] сучасних методів формування моделей попиту на перевезення пасажирів ГТ, а також дисертаційних дослідженнях за обраною тематикою [6-9], підкреслюється важливість створення та аналізу матриць пасажирських кореспонденцій як основи для подальшого оцінювання прогнозів розвитку транспортних систем, де сучасні підходи удосконалюють традиційні практики побудови моделей і спрямовані на підвищення точності та надійності оцінювання результатів моделювання.

У прикладних дослідженнях також порівнюються різні техніки прогнозування транспортного попиту, наприклад, порівняння чотирьохетапних моделей зі статистичними регресійними підходами для оцінки кількості поїздок у майбутньому,

що свідчить про різний вплив вибору методології на якість прогнозів та відповідність фактичним даним [10]. Сучасні українські практики також спрямовані на використання чотирьохетапних моделей транспортного моделювання, де здебільшого матриці пасажирських кореспонденцій формуються на основі результатів вибіркового натурного спостереження з подальшим використанням синтетичних моделей розрахунку пасажирських кореспонденцій. Моделювання роботи системи ГТ проводиться з використанням програмного продукту PTV VISUM, де передбачено можливість калібрування розрахункової моделі транспортного попиту. Таке калібрування, за сенсом, і є певним проявом первинного оцінювання точності результатів моделювання матриці, оскільки налаштування відбувається за рахунок використання фактичних даних про пасажиропотоки на ключових ділянках вулично-дорожньої мережі або ж обсяги перевезення пасажирів на маршрутах [11-17].

Інші роботи зосереджують увагу на поведінкових аспектах моделювання: у сфері вибору маршруту чи режиму пересування застосовуються дискретні логіт-моделі, моделі на основі теорії корисності, а також порівнюються класичні підходи з сучасними алгоритмами машинного навчання, що впливають на інтерпретацію і точність модельних результатів та вимагають відповідної оцінки їх поведінкової адекватності й прогнозного потенціалу [18]. В українському контексті наукові праці розглядають специфіку моделювання транспортного попиту на пересування в умовах міських і приміських транспортних систем, підкреслюючи потребу адаптації методів обстеження пасажиропотоків та обґрунтування статистичних і модельних показників, які надалі використовуються для оцінювання результатів моделювання [6, 7, 9].

Оцінювання результатів розрахунку моделей транспортного попиту розглядається і в дослідженнях, що аналізують роботу транспортної мережі в умовах змін, наприклад, у контексті зменшення кількості пасажирів або перевізників, де підкреслюється необхідність коригування матриць кореспонденцій для збереження адекватності моделювання реальних потоків у нових умовах [19].

Результати огляду літератури показують, що сучасні наукові підходи до моделювання транспортного попиту поєднують традиційні методи, поведінкові моделі та нові інструменти. Це свідчить про необхідність реалізації комплексних процедур оцінювання та валідації результатів розрахунків моделей транспортного попиту на пересування пасажирів для забезпечення їх практичної цінності.

Постановка завдання. Основною метою статті є оцінювання та аналіз результатів застосування запропонованої в [9] методики моделювання матриці пасажирських кореспонденцій на реальному прикладі.

Для досягнення мети дослідження необхідно виконати наступні задачі:

- сформулювати модель транспортної пропозиції системи ГТ приміської зони м. Харкова з використанням спеціалізованого програмного комплексу PTV VISUM;
- розрахувати модель транспортного попиту на пересування пасажирів у приміському сполученні;
- здійснити процедуру перерозподілу пасажиропотоків з використанням розробленої транспортної моделі та перевірити точність результатів моделювання матриці пасажирських кореспонденцій.

Виклад основного матеріалу.

Формування моделі транспортної пропозиції. Практична реалізація запропонованої в [9] методики проводилась на прикладі транспортної мережі громадського транспорту м. Харків та області. Вхідною інформацією стали дані про характеристики існуючих маршрутів у приміському та внутрішньобласному сполученні, розклад руху, схеми маршрутів [20].

Моделювання проводилось у програмному пакеті VISUM німецької компанії PTV AG. З використанням програми було побудовано модель транспортної мережі окремо в приміському та внутрішньобласному сполученнях (рисунок 1). На завантажений «фон», який представляє карту Харківської області, було нанесено точкові об'єкти, що визначають просторове положення перехресть – «вузли», які також є початковими або кінцевими точками відрізків. Наступним кроком моделювання було нанесення «відрізків» – спрямованих ребер, які характеризують прямий і зворотний напрямки і є самостійними об'єктами мережі. Відрізки з'єднують вузли і таким чином описують структуру дорожньої мережі системи громадського транспорту на території, що оточує місто. Структура дорожньої мережі громадського транспорту визначена на основі розташування кінцевих зупиночних пунктів, які представляють автостанції міста, розташовані практично в центральній частині міста та кінцеві пересадочні вузли тільки в приміському сполученні, розташовані поблизу станцій метро та на околиці міста, де відсутній метрополітен.

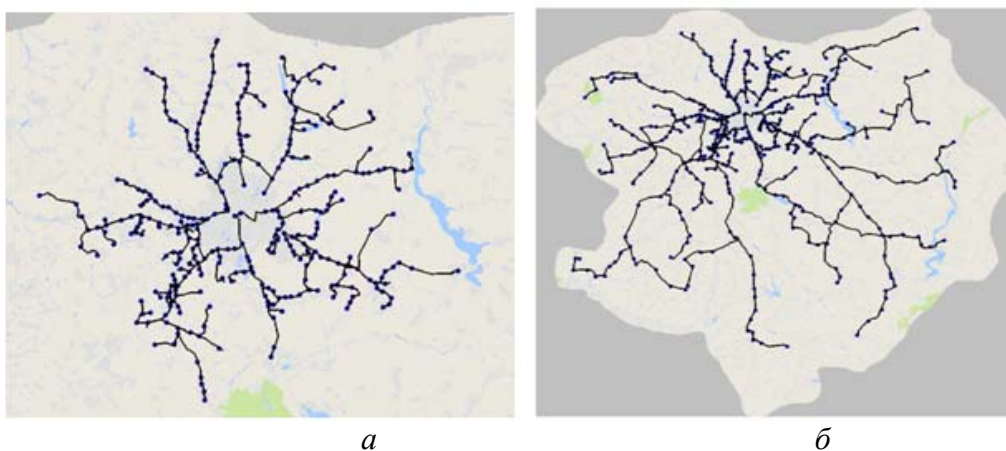


Рисунок 1 – Структура дорожньої мережі громадського транспорту
(а – приміське сполучення, б – внутрішньобласне сполучення)

Джерело: розроблено авторами самостійно

Наступним кроком було моделювання системи зупиночних пунктів, рисунок 2.

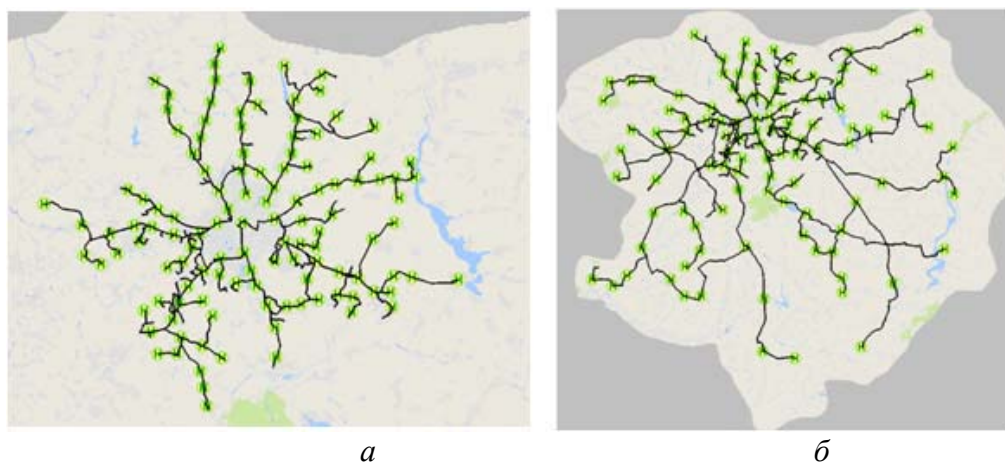


Рисунок 2 – Мережа зупинок громадського транспорту
(а – приміське сполучення, б – внутрішньобласне сполучення)

Джерело: розроблено авторами самостійно

За транспортні райони запропоновано розглядати населені пункти, розташовані у приміській зоні та на території області, які охоплені існуючими приміськими та внутрішньобласними маршрутами. Центр транспортного району визначено в конкретних

населених пунктах згідно основних напрямків пасажиропотоку приблизно з однаковою площею обслуговування. З мережею вони з'єднуються через «примикання». Примикання з'єднують транспортні райони з транспортною мережею. Для кожної окремої транспортної системи вони відповідають кінцевому та початковому пішохідним підходам між центром транспортного району і вузлом транспортної мережі, рисунок 3.

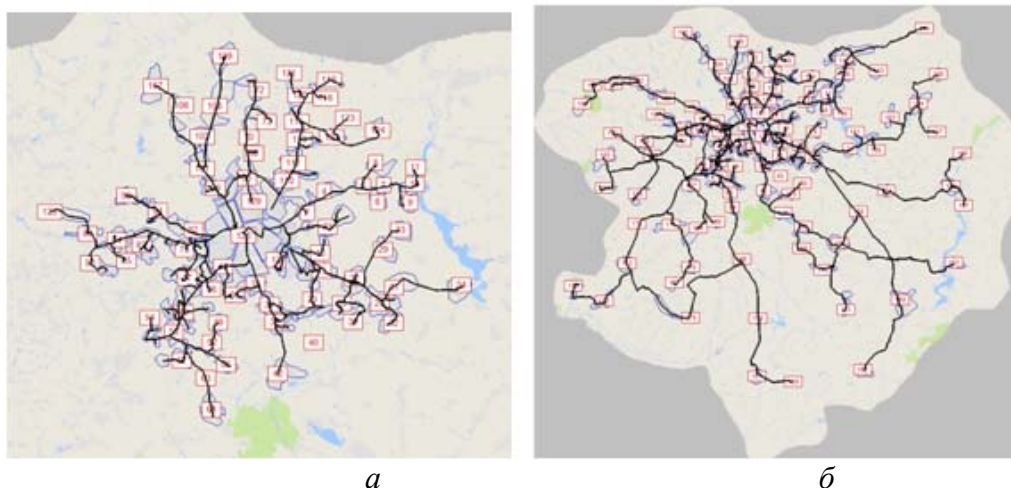


Рисунок 3 – Структура змодельованої транспортної системи
(а – приміське сполучення, б – внутрішньообласне сполучення)

Джерело: розроблено авторами самостійно

Слід зазначити, що у випадку, коли населений пункт розташований на деякій відстані від транспортної мережі громадського транспорту, центр транспортного району визначався в місці розташування відповідного зупиночного пункту. Це обумовлюється тим, що в реальній ситуації існування приміського сполучення саме так здійснюється функціонування системи громадського транспорту. Тобто мешканці таких населених пунктів здійснюють піші переміщення до зупиночних пунктів, які описуються «примиканнями». Також при моделюванні транспортних районів, у деяких випадках, було здійснено об'єднання невеликих населених пунктів, які розташовані на відстані один від одного до 1 км. Загальна характеристика змодельованої транспортної мережі представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристика моделі транспортної мережі громадського транспорту Харківської області

Характеристика транспортної мережі		Вид сполучення	
		Приміське	Обласне
Кількість зупиночних пунктів, од.		540	689
Кількість транспортних районів, од.		135	199
Кількість населених пунктів, які охоплені мережею ГТ, од.		125	218
Кількість населених пунктів, які мають залізничне сполучення од.		28	8
Кількість мешканців населених пунктів, осіб	мінімальна	16	119
	максимальна	32454	56655
Загальна чисельність населення, тис. осіб		422,591	878,485
Площа населеного пункту, км ²	мінімальна	0,06	0,618
	максимальна	56,026	48,62
Щільність населення, осіб/км ²	мінімальна	5,3	4,85
	максимальна	369	214

Розрахунок матриці пасажирських кореспонденцій. Згідно з методикою, представленою в [9], матриця пасажирських кореспонденцій формується на основі поєднання обмежених фактичних даних про пасажирські перевезення та модельного підходу до оцінки потреб у пересуваннях. Вхідною інформацією є місткості транспортних районів з відправлення та прибуття пасажирів, які визначалися за результатами звітно-статистичного обстеження. Проте з огляду на неможливість проведення суцільних обстежень на всій мережі приміського сполучення було застосовано розрахункову методику, що базується на визначенні потенційної кількості мешканців населених пунктів, які здійснюють пересування в напрямку міста.

Місткість транспортних районів з відправлення визначається як функція чисельності населення населеного пункту, його віддаленості від міста та ступеня впливу міського центру на інтенсивність пересувань автомобільним громадським транспортом з урахуванням наявності альтернативних видів сполучення, насамперед залізничного. Такий підхід дозволяє перейти від фіксації фактичних перевезень до оцінки попиту на поїздки, що є принципово важливим для прогнозування пасажиропотоків. Достовірність отриманих розрахункових значень перевіряється шляхом їх порівняння з результатами вибірових табличних обстежень на основних напрямках руху та зі звітними даними квитково-касових відомостей з урахуванням пільгового контингенту і можливих перевезень без квитків. Встановлені відхилення знаходяться в допустимих межах, що підтверджує доцільність застосування запропонованої методики [9].

На наступному етапі сформовано матрицю найкоротших відстаней між транспортними районами, яка є просторовою основою для розподілу поїздок. Відповідно до експериментально встановлених закономірностей дальності пересувань та параметрів показникового розподілу було визначено ймовірності потрапляння поїздок у задані інтервали відстаней і кількість поїздок у кожному з них [9]. Ці величини використано як вихідні дані для побудови системи обмежень, що забезпечує узгодження сум відправлень транспортних районів із розподілом кореспонденцій за відстанями. Реалізація алгоритму розрахунку в середовищі MS Excel дозволила отримати матриці пасажирських кореспонденцій, які відображають просторову структуру попиту на перевезення та відповідають заданим демографічним і транспортним умовам.

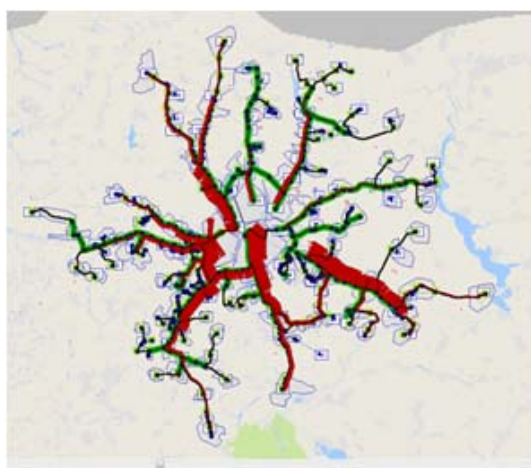
Оцінювання та аналіз результатів розрахунку моделі транспортного попиту на пересування пасажирів. Для оцінки відповідності сформованої матриці пасажирських кореспонденцій фактичному розподілу відстаней пересування на території приміської зони м. Харкова були розраховані відхилення в межах заданих інтервалів групування. Згідно з розрахунками максимальне відхилення у значеннях кореспонденцій $\sum_{\substack{i,j \\ i \neq j}} h_{ij}^{(\Delta_r)}$ в межах інтервалів групування відстаней складає 19,62 %, середнє – 6,3 % (табл. 2). Треба зазначити, що найбільше відхилення спостерігається на відстані понад 120 км і більше. Це може пояснюватись тим, що вплив міста суттєво знижується по мірі віддаленості населених пунктів від міста і обмежує дію приміського сполучення. У приміському сполученні точність розрахунку матриці пасажирських кореспонденцій значно більша, середній відсоток відхилення не перевищує 1,4 %, при цьому також спостерігається зниження точності розрахунків в мірі віддаленості від міста.

Результат оцінки розрахунку моделі транспортного попиту дає змогу стверджувати про можливість використання розрахованих матриць на практиці та вважати відтворення ними просторового розподілу переміщень навколо міста, тобто відповідність виявленим закономірностям розподілу відстаней пересувань на території, що оточує м. Харків.

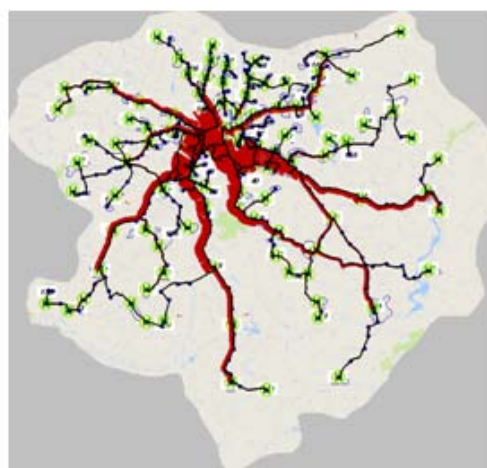
Для додаткової оцінки результатів моделювання потреб у послугах громадського транспорту за допомогою процедури перерозподілу в середовищі PTV VISUM було отримано розрахункові пасажиропотоки, які наочно представлено на рисуюнок 4.

Таблиця 2 – Оцінка розрахунку матриці кореспонденцій на території Харківської області

Інтервал групування	Нижня межа, км	Верхня межа, км	Кількість пересувань, од			
			Фактична	Розрахункова	Відхилення	%
Приміська зона						
1	0	20	42 230	41650	-579	1,37
2	20	40	14 089	14379	289	2,06
3	40	60	8 279	8569	290	3,5
Внутрішньообласне сполучення						
1	0	20	41 393	40409	984	2,38
2	20	40	26 707	26854	-147	0,55
3	40	60	20 444	20327	117	0,57
4	60	80	13 318	12525	793	5,95
5	80	100	10 438	10051	387	3,71
6	100	120	7 919	8499	-580	7,33
7	120	140	3 743	3348	395	10,56
8	140	160	9 934	11883	-1949	19,62



а



б

Рисунок 4 – Мережа маршрутів ГТ з відображенням епюр пасажиропотоків
(а – приміське сполучення, б – внутрішньообласне сполучення)

Джерело: розроблено авторами самостійно

Для оцінки розрахункових пасажиропотоків необхідно здійснити їх зіставлення з фактичними даними. Проведення суцільних обстежень на території області потребує значних витрат і в рамках даної роботи практично нездійсненно на такій великій території. Оцінити ступінь відповідності фактичних значень можливо при зіставленні розрахункових пасажиропотоків, які характеризують кількість мешканців населених пунктів, що виїжджають у напрямку міста. Отримати дану величину можливо як різницю між кількістю пасажирів у кожному населеному пункті, який представлений у моделі відповідним транспортними районами. У свою чергу пасажиропотоки розраховуються між транспортними вузлами, і величина різниці пасажиропотоку між

вхідними та вихідними відрізками в моделі відповідного транспортного району буде визначати кількість пасажирів, які виїжджають з нього. Оцінку моделювання пасажиропотоків доцільно проводити на території Харківської області враховуючи, що відхилення розрахунків у приміському сполученні незначні.

Результати аналітичного моделювання роботи транспортної мережі громадського транспорту Харківської області на основі закономірностей розподілу відстаней поїздок [9] показали, що відхилення між розрахунковими та фактичними пасажиропотоками практично відсутнє, що спостерігається на більшості ділянках. Середнє значення відхилення складає 5,4 %, максимальна похибка розрахунку пасажиропотоків склала 18,11 % на відстані від 20 км до 40 км, про що свідчать дані таблиці 3.

Таблиця 3 – Оцінка ступеню відповідності пасажиропотоків

Інтервал групування відстані	Номер транспортного району у моделі VISUM	Віддаленість від міста, км	Кількість виїжджаючих мешканців з транспортного району, пас.		Відносна похибка розрахунку, %
			згідно моделі VISUM	розрахунковий	
1	4	14,1	6	5	16,67
2	25	24,2	911	1076	18,11
3	62	51,1	26	25	3,85
4	140	71,9	441	426	3,4
5	184	95,3	454	452	0,44
6	165	103	2741	2738	0,11
7	173	137	336	334	0,6
8	187	143	760	759	0,04

Точність розрахунків пасажиропотоків збільшуються по мірі віддаленості населених пунктів від міста, що говорить про доцільність застосування запропонованої методики на території області. Відхилення значень розрахункових пасажиропотоків по мірі наближення до міста може бути пояснено збільшенням щільності транспортних зв'язків і перерозподілом пасажиропотоків на окремих ділянках транспортної мережі громадського транспорту.

Висновки. 1. Застосування розробленої методики моделювання потреб у послугах громадського транспорту на прикладі Харківської області дало можливість сформулювати матриці кореспонденцій пасажирів, які можна використовувати на практиці, що підтверджується їх відповідністю фактичним закономірностям розподілу відстані поїздок з максимальним відхиленням 19,62 % та середнім відхиленням 6,3 %. Збільшення відхилення спостерігається на відстані понад 120 км і більше. Це може пояснюватися зниженням впливу міста по мірі віддаленості населених пунктів.

2. У результаті моделювання транспортної мережі громадського транспорту Харківської області ступінь відповідності розрахунків вхідних пасажиропотоків склала 5,4 %, максимальна похибка розрахунку пасажиропотоків спостерігається на відстані від 20 км до 40 км. Зростання похибки у розрахункових пасажиропотоках у міру наближення до міста можуть бути пояснені збільшенням щільності транспортних зв'язків.

3. Отримані матриці пасажирських кореспонденцій можуть бути використані для оцінювання рівня транспортного обслуговування пасажирів, що пересуваються у приміському сполученні.

Список літератури

1. Qasim, R.A., Asmael, N.M. Review different methods for estimating the origin-destination matrix. *Kufa Journal of Engineering*, 2025, 16(4), 540-557. <https://doi.org/10.30572/2018/KJE/160431>
2. Цинь, С., Любий, Є. Аналіз існуючих методів формування моделей потреб пасажирів у пересуваннях. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*, 2025, 11(42), Частина 2, 394-409. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.394-409](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.394-409)
3. Білоус А.Б., Демчук І.А. Analysis methods and models of calculation of passenger correspondence. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. 3(3(69)) (2014). С. 53–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24545>.
4. Willumsen, L. (1978) *Estimation of an O-D Matrix from Traffic Counts – A Review*. Leeds: University of Leeds, Inst. Transp. Stud., WP 99. Retrieved from https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/2415/2/Wp99_protected.pdf
5. Bera, Sh., Rao, K. V. K. Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art. *European Transport / Trasporti Europei*. 2011, issue 49, pages 2-23. Retrieved from <https://www.openstarts.units.it/server/api/core/bitstreams/f0019ad1-6022-4c1e-a06c-29d5bbdceed9/content>.
6. Гончаренко С.Ю. Визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту в середніх містах : дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук : спец. 05.22.01. Харків, 2015. 182 с.
7. Пашкевич С.М. Дослідження впливу розташування міжміської автостанції на розподіл міських пасажиропотоків: дис. ... доктора філософії: 275. Харків, 2024. 222 с.
8. Акбар Джан Полад Закономірності функціонування системи міського пасажирського транспорту міста Кабул : дис. на здоб. наук. ступ. канд. техн. наук : спец. 05.22.01. Харків, 2017. 189 с.
9. Кочина А.А. Формування пасажиропотоків у приміському сполученні на автомобільному транспорті : дис. канд. техн. наук : 05.22.01. Харків: ХНАДУ, 2020. 227 с.
10. Sumitsawan, P., Sangsrirachan, C., Amorndechaphon, D., Lueatnakrop, P., Pochan, J., Sungtrisearn, P., Punchum, N. Performance evaluation of travel demand forecasting models for transportation network analysis. *Engineering and Applied Science Research*, 2025, 52(6), 609–617. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/261110>.
11. Аналіз діючої транспортної мережі м. Конотоп. Проведення обстеження пасажиропотоків. Обробка матеріалів обстеження пасажиропотоків по маршрутах. Розробка заходів щодо оптимізації транспортної мережі м. Конотоп: звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № державної реєстрації 0121U112782. Харків, 2021. 124 с.
12. Проведення аналізу та оптимізації транспортних систем міста Краматорськ: звіт про НДР (кінцевий). ХНАДУ, № державної реєстрації 0116U006995. Харків, 2016. 220 с.
13. Розробка комплексної схеми руху транспорту м. Луцька: звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № державної реєстрації 0117U006848. Харків, 2018. 309 с.
14. Розробка схеми руху громадського транспорту в місті Суми: звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № держ. реєстрації 0108U006961. Харків, 2008. 51 с.
15. Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі міста Кіровоград: звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № держ. реєстрації 0112U00692. Харків, 2012. 115 с.
16. Розробка раціонального варіанту маршрутної мережі м. Олександрія : звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № держ. реєстрації 0113U005179. Харків, 2013. 130 с.
17. Моделювання та аналіз маршрутної мережі громадського транспорту міста Нікополя: звіт про НДР (заключний). ХНАДУ, № держ. реєстрації 0115U004775. Харків, 2015. 197 с.
18. Martín-Baos, J.Á., López-Gómez, J.A., Rodríguez-Benitez, L., Hillel, T., García-Ródenas, R. A prediction and behavioural analysis of machine learning methods for modelling travel mode choice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 2023, 156, 104318. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104318>.
19. Славич, В.П. Transport system management model in the conditions of a reduction in the number of passengers or carriers. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025, том 1, 2(93), с. 248-251. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.32>.
20. Автобус. Приміські та міжміські маршрути. *Офіційний портал «Харків транспортний»*. URL: <https://gortransport.kharkov.ua/bus/suburban/> (дата звернення 02.02.2026).

References

1. Qasim, R.A. & Asmael, N.M. (2025) Review different methods for estimating the origin-destination matrix. *Kufa Journal of Engineering*. 16(4), 540-557. <https://doi.org/10.30572/2018/KJE/160431>.

2. Qin, X. & Liubiyi, Ye. (2025) Analysis of Existing Methods of Forming Models of Passenger Travel Needs. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Science*. 11(42), P. 2, 394-409. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.394-409](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.394-409) [in Ukrainian].
3. Bilous, A.B. & Demchuk, I.A. (2014) Analysis methods and models of calculation of passenger correspondence. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 3(3(69), 53–57. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.24545> [in Ukrainian].
4. Willumsen, L. (1978) *Estimation of an O-D Matrix from Traffic Counts – A Review*. Leeds: University of Leeds, Inst. Transp. Stud., WP 99. Retrieved from https://eprints.whiterose.ac.uk/id/eprint/2415/2/Wp99_protected.pdf
5. Bera, Sh. & Rao, K. V. K. (2011) Estimation of origin-destination matrix from traffic counts: the state of the art. *European Transport / Trasporti Europei*. 49, 2-23. Retrieved from <https://www.openstarts.units.it/server/api/core/bitstreams/f0019ad1-6022-4c1e-a06c-29d5bbdceed9/content>.
6. Honcharenko, S.Yu. (2015). *The demand determining for passenger route transport service in the middle cities*. PhD thesis. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
7. Pashkevich, S.M. (2024) *Research on the impact of the location of intercity bus stations on the distribution of urban passenger flows*. PhD thesis. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
8. Akbar, D.P. (2017) *Patterns of functioning of the urban passenger transport system in Kabul*. PhD thesis. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
9. Kochina, A.A. (2020) *Formation of passenger flows in suburban motor transport*. PhD thesis. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
10. Sumitsawan, P., Sangsrachan, C., Amorndechaphon, D., Lueatnakrop, P., Pochan, J., Sungtrisearn, P. & PUNCHUM, N. (2025) Performance evaluation of travel demand forecasting models for transportation network analysis. *Engineering and Applied Science Research*. 52(6), 609–617. Retrieved from <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/easr/article/view/261110>
11. R&D report 0121U112782. (2021). *Analysis of the existing transport network of Konotop. Conducting a passenger flow survey. Processing of passenger flow survey materials by routes. Development of measures to optimize the transport network of Konotop city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
12. R&D report 0116U006995 (2016). *Analysis and optimization of transport systems of Kramatorsk city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
13. R&D report 0117U006848. (2018). *Development of a comprehensive traffic scheme for the Lutsk city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
14. R&D report 0108U006961. (2008). *Development of a public transport route plan for the Sumy city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
15. R&D report 0112U00692. (2012). *Development of a rational variant of the route network in Kirovograd city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
16. R&D report 0113U005179. (2013). *Development of a rational variant of the route network in Oleksandriia city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
17. R&D report 0115U004775. (2015). *Modeling and analysis of the public transport route network in Nikopol city*. Kharkiv: KhNAHU [in Ukrainian].
18. Martín-Baos, J.Á., López-Gómez, J.A., Rodríguez-Benitez, L., Hillel, T. & García-Ródenas, R. (2023) A prediction and behavioural analysis of machine learning methods for modelling travel mode choice. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 156, 104318. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2023.104318>.
19. Slavych, V.P. (2025) Transport system management model in the conditions of a reduction in the number of passengers or carriers. *Bulletin of Kherson National Technical University*. T. 1, 2(93), 248-251. <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.32>. [in Ukrainian].
20. Bus. Suburban and intercity routes. *Official portal «Kharkiv Transport»*. URL: <https://gortransport.kharkov.ua/bus/suburban/> (date of access 02.02.2026).

Anastasia Kochina, Assoc. Prof., PhD tech. sci, **Ivan Nahliuk**, Prof., DSc., **Liudmyla Abramova**, Prof., DSc., **Serhii Sakhno**

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

Evaluation of the Results of Passenger Trip Demand Model Calculation

The paper addresses the problem of evaluating the results of passenger travel demand modelling in suburban and interregional public transport systems. Reliable origin–destination (O–D) matrices are a fundamental element of transport planning; however, their practical application requires systematic validation under conditions of incomplete and heterogeneous empirical data. The study aims to assess the accuracy and practical applicability of a methodology for modelling passenger correspondence matrices using a real-world case study of the suburban and intra-regional transport network surrounding Kharkiv. The research methodology

combines limited statistical observations with a model-based estimation of travel demand. A transport supply model was developed in the PTV VISUM environment, including the representation of nodes, links, stop locations, transport zones, and access connections. Transport zones were defined at the level of settlements, taking into account spatial distribution, population size, distance from the city centre, and the availability of alternative modes, particularly railway services. The capacity of origin zones was estimated as a function of demographic characteristics and the influence intensity of the urban core. The O–D matrix was generated using a distance-based exponential distribution model reflecting empirically observed trip length patterns. A system of constraints ensured consistency between total departures from each transport zone and the probabilistic distribution of trips across distance intervals. Model validation was performed in two stages: comparison of calculated and observed trip distributions by distance groups, and comparison of simulated and reported passenger flows derived from assignment procedures within the network model. The results demonstrate that the average deviation between calculated and observed trip distributions equals 6.3%, with a maximum deviation of 19.62% for long-distance intervals exceeding 120 km. For passenger flows, the mean relative error is 5.4%, while the maximum deviation (18.11%) occurs in the 20–40 km distance range. The accuracy improves with increasing distance from the city, whereas larger discrepancies near the urban core are attributed to higher network density and flow redistribution effects. The findings confirm the adequacy of the proposed methodology for practical applications in regional transport planning, service level assessment, and route network optimisation.

origin–destination matrix, suburban transport, regional transport system, trip demand

Одержано (Received) 05.03.2026

Прорецензовано (Reviewed) 16.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 01.04.2026

УДК 656.13

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14\(45\).331-338](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2026.14(45).331-338)

Р. І. Петрусенко, Н. О. Семченко, доц., канд. техн. наук

Криворізький національний університет, м. Кривий Ріг, Україна

e-mail: nat-semchenko@ukr.net

Підвищення безпеки руху на нерегульованих пішохідних переходах

Стаття присвячена дослідженню взаємодії конфліктуючих транспортних і пішохідних потоків в зоні нерегульованих пішохідних переходів і розробці рекомендацій щодо підвищення їх безпеки. В якості об'єкту дослідження в роботі розглядається взаємодія потоків транспорту і пішоходів на нерегульованих пішохідних переходах. Дорожньо-транспортні пригоди на нерегульованих пішохідних переходах є предметом дослідження.

Проведений аналіз організації руху на нерегульованих пішохідних переходах. Виконана оцінка можливості запобігання наїзду на пішохода на нерегульованому переході при оглядовості, обмеженій нормативним трикутником видимості. Проведені експериментальні дослідження швидкості руху пішоходів на нерегульованому переході. Виконана оцінка можливості запобігання наїзду на пішохода на нерегульованому переході при обмеженій оглядовості. Запропоновані додаткові заходи для зниження аварійності на нерегульованих пішохідних переходах, які стосуються: внесення змін в Правила дорожнього руху щодо обмеження швидкості, зупинок і стоянок в зоні пішохідних переходів; зміни геометрії проїжджої частини в зоні пішохідних переходів, що поліпшить оглядовість і зменшить час руху пішоходів через перехід.

Результати дослідження можна використати в практичній діяльності як інструмент удосконалення організації дорожнього руху і підвищення безпеки пішоходів.

безпека дорожнього руху, нерегульований пішохідний перехід, обмежена оглядовість, запобігання наїзду на пішохода