

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗМІНИ МІСЦЯ РОЗТАШУВАННЯ МІЖМІСЬКОЇ АВТОСТАНЦІЇ НА ПАСАЖИРОПОТОКИ МІСЬКОГО ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Пашкевич С. М.¹, Свічинський С. В.²

¹Національний університет водного господарства та природокористування

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Проаналізовано наявні підходи до моделювання попиту на пасажирські пересування в містах і методи визначення різниці в матрицях кореспонденцій, що дало змогу обрати належні інструменти оцінювання наслідків зміни місця розташування міжміської автостанції для міської системи громадського транспорту. Визначено фактичний розподіл відстаней пересування населення до автостанцій м. Рівне та у зворотному напрямку, з використанням якого створено транспортну модель міста. Розроблена модель дозволила розрахувати кількісні показники обслуговування пасажирів громадського транспорту під час добирання до та з автостанції за умови їх наявного розташування, а також після планованого перенесення автостанції «Рівне» на східну околицю міста.*

***Ключові слова:** автостанція, транспортна система, громадський транспорт, транспортна модель, якість транспортного обслуговування, опитування, розподіл відстаней пересувань.*

Вступ

Міжміські автовокзали є одним із видів пасажирських транспортних вузлів, серед основних функцій яких є забезпечення пересадок пасажирів із внутрішньоміського на міжміський транспорт. Навіть у середніх містах з населенням від 150 тисяч мешканців вони стають досить великими пунктами взаємодії видів транспорту, генеруючи значний обсяг відправлень і прибуттів людей для міського пасажирського транспорту. Це робить відчутним їх вплив на розподіл пасажирських потоків територією міста, що узгоджується із тенденцією останніх років до використання місця розташування вокзалу як інструменту управління зазначеними потоками.

У процесі формування попиту міського населення на пересування до подібних міжміських транспортно-пересадочних (ТПВ) вузлів важливо брати до уваги таку їх особливість, як відносно рівномірний розподіл обсягів генерації та поглинання поїздок упродовж доби. Це серйозно вирізняється з-поміж більшості інших місць тяжіння в місті, що мають яскраво виражені пікові періоди навантажень, і чинить вплив на міські потоки пасажирів, що ним користуються. Більша рівномірність пасажиропотоків у цьому разі зумовлена розкладом руху на міжміських маршрутах, для яких конкретне місто є лише одним із багатьох пунктів на шляху прямування. Водночас перевезення пасажирів на приміських маршрутах, які

також часто обслуговуються автовокзалами, є ближчими за своєю нерівномірністю до внутрішньоміських перевезень, що підвищує загальну нерівномірність обсягів генерації та поглинання пасажиропотоків упродовж доби, і вивчення цього явища потребує відповідних обстежень у кожному конкретному випадку.

Зміну місця розташування таких вузлів на території міста як захід з управління транспортними й пасажирськими потоками до них найлегше реалізувати для автовокзалів, що до того ж є найпоширенішим видом вокзалів як в Україні, так і в усьому світі. Таке значне поширення автовокзалів зумовлене властивістю автомобільного транспорту, що полягає у використанні загальнодоступної автодорожньої мережі країн для міжміських маршрутних перевезень пасажирів.

Значне поширення автовокзалів і відносна простота їх створення або перенесення до практично будь-якої частини міста роблять актуальним завдання визначення впливу місця розташування міжміського автовокзалу на території великого міста на розподіл пасажиропотоків у міській транспортній системі (ТС).

З огляду на це доцільно проаналізувати наявні підходи до моделювання попиту міського населення на пересування до та з автовокзалів і, відповідно, оцінити різницю в станах попиту в процесі порівняння альтернативних місць розташування вокзалу.

Аналіз публікацій

На сьогодні можна виокремити чотири основні групи моделей прогнозування транспортного попиту та створюваних ним пасажиропотоків [1]:

- моделі, основані на поданні попиту у вигляді ланцюгів пересувань (*Trip Chaining Demand Models, TCDM*);

- моделі, у яких попит на пересування подається як наслідок конкретної діяльності людей (*Activity Based Demand Models, ABDM*);

- класична чотирьохетапна транспортна модель (*Four-Stage Transport Model, FSTM*);

- моделі безпосереднього попиту (*Direct Demand Models, DDM*).

У *TCDM* пересування людини протягом певного періоду часу (наприклад, доби) розглядається як сукупність послідовних пов'язаних поїздок, що складним чином впливають одна на одну та утворюють так званий «ланцюг» [1]. Для його моделювання запропонована незначна кількість моделей, що не мають стандартизованої математичної структури [2]. Серед них найбільш схожою на традиційні підходи до моделювання транспортного попиту є модель, основана на концепції основного виду діяльності або основного пункту призначення [3].

Моделі *TCDM* наразі є малопоширеними через складний математичний апарат. Окрім цього, вони залишають поза увагою фактори, що визначають формування певних ланцюгів поїздок, а також прогнозують вибір лише серед наперед заданого набору ланцюгів.

Для подолання зазначених недоліків були розроблені *ABDM*-моделі, що передбачають ретельний розгляд саме видів діяльності, якими займається особа або домогосподарство [4]. Моделі цієї групи дають змогу зрозуміти та спрогнозувати як формування ланцюгів поїздок, так і вибір серед них. *ABDM* деагреговано розглядають домогосподарство та окремих осіб, з яких воно складається, як суб'єктів прийняття рішень про певну діяльність і з нею пов'язані пересування. Для моделювання планів діяльності та транспортної поведінки використовується математичний апарат економетрики, теорії корисності, теорії ймовірностей, математичної статистики, комп'ютерної ймовірнісної симуляції для відбиття протоколів дій домогосподарств [1]. Основними модулями *ABDM* є симулятори довгострокових і середньострокових рішень населення та домогосподарств,

а також симулятор типового дня окремої особи.

Глибокий розгляд причин виникнення транспортного попиту викликає значні труднощі у зборі інформації та валідації моделі, крім традиційних транспортних обстежень для отримання інформації про генерацію та поглинання поїздок, час пересувань та використані види транспорту можуть знадобитися результати детального обстеження заявлених переваг та діяльності домогосподарств.

Практика свідчить про застосування *ABDM* щодо окремих домогосподарств із подальшим агрегуванням результатів, що потребує дуже детальної інформації про домогосподарства та осіб, які їх складають [1]. Через це використання *ABDM* для моделювання поїздок до та з міського ТПВ є суттєво ускладненим, особливо зважаючи на українські реалії дефіциту фінансування транспортних обстежень та обмеженого доступу до інформації про активності населення. Це вказує на обґрунтованість розгляду завдання прогнозування пов'язаних із ТПВ міських поїздок як окремої, для рішення якої доцільно застосувати більш прості моделі.

FSTM, що на сьогодні можна вважати найбільш поширеною у світі, передбачає моделювання попиту з допомогою виконання розрахунків за чотирма етапами.

- Перший етап – генерація поїздок – покликаний оцінити загальну кількість відправлень та прибуттів з та до транспортних районів (ТР) у досліджуваній області. Для його виконання зазвичай використовуються доволі прості регресійні моделі та коефіцієнти росту, отримані на основі показників демографічної та соціально-економічної статистики з огляду на поточні та плановані зміни в досліджуваній області.

- Другий етап – розподіл поїздок – присвячений розрахунку матриці кореспонденцій (МК). На сьогодні для цього існує значна кількість напрацювань, найбільш відомими серед яких є методи коефіцієнтів росту, гравітаційна та ентропійна моделі, модель зустрічних можливостей.

- Третій етап – поділ за видами транспорту – призначений відтворити частки видів транспорту в реалізації поїздок у межах ділянки моделювання. Для виконання цього завдання найчастіше застосовуються моделі дискретного вибору (МДВ).

- Четвертий етап – розподіл пересувань між маршрутами прямування – слугує для моделювання поділу поїздок за шляхами

(трасами) їх здійснення. Для розв'язання цього завдання застосовуються різні методи щодо індивідуального та громадського транспорту (ГТ). У випадку пасажиропотоків на ГТ користуються розподілами, основаними на МДВ, та понятті узагальненої вартості пересування [5].

На відміну від чотирьохетапного підходу до оцінювання потреб населення в пересуваннях, *DDM* дозволяють поєднати перші три перелічені етапи в одному математичному виразі. Здебільшого *DDM* є мультиплікативними та тісно пов'язаними із загальними економетричними моделями, оскільки спираються на соціально-економічні характеристики ТР. Попри привабливість з огляду на можливість охоплення одразу трьох етапів моделювання, врахування характеристик видів транспорту, доступних для виконання поїздок, і соціально-економічних атрибутів, *DDM* мають суттєві недоліки. Один з них – це потреба отримання значної кількості параметрів на основі фактичної інформації, інший – більша придатність моделей для застосування щодо міжміських пересувань [5, 6], аніж пересувань у межах міста.

З погляду формалізації потреб населення у пересуваннях міським транспортом зміна місця розташування міжміського автовокзалу за інших фіксованих умов роботи ТС означає відповідну зміну місткостей з відправлення та прибуття пасажирів для пари ТР: одного – де є поточне розташування вокзалу; другого – куди його планується передислокувати. У моделі попиту на міські пересування ця зміна впливатиме на два рядки та два стовпці МК, що відбивають пересування до наявного та нового місця дислокації автовокзалу та у зворотному напрямку. Відповідно, дослідження впливу зміни локації міжміського ТПВ на міську ТС потребують аналізу методів оцінювання відповідних змін у МК. З огляду на фіксованість інших умов роботи ТС інтерес викликають методи порівняння матриць однакової розмірності.

Аналіз літературних джерел, присвячених питанням застосування таких методів, дозволив виявити низку показників схожості МК, які можна об'єднати у дві групи:

– метрики чисельної схожості матриць, які вважаються традиційними і до яких належать дисперсійна похибка [7], звичайна та нормалізована середньоквадратична похибка [8], абсолютна різниця в кореспонденціях [9], коефіцієнт середньої абсолютної похибки, відносна похибка [10], відхилення в сумар-

ному попиті [11], міра згоди Тейла [12], міра ентропії [13], різниця в транспортній роботі з реалізації МК [9];

– метрики структурної схожості матриць, до яких належать індекс структурної схожості [14], відстань Васерштайна [15] та відстань Левенштайна [16].

Мірами, що застосовуються на практиці, є середньоквадратична похибка, міра згоди Тейла, міра ентропії, індекси структурної схожості, а також відстань Васерштайна. Остання є мінімумом витрат часу на реалізацію кореспонденцій, пов'язаних із такими змінами цих кореспонденцій в одній матриці, щоб вона повністю відповідала іншій матриці [15].

Окремо варто зазначити дві міри, які використовуються в межах інтервальної концепції визначення станів МК [9], що оцінюють різницю між модельованими матрицями:

– відхилення значень кореспонденцій, що може належати до метрик чисельної схожості;

– різниця в транспортній роботі з реалізації матриць, яку можна вважати метрикою структурної схожості.

За результатами аналізу поточних досліджень можна стверджувати, що для оцінювання впливу зміни місця розташування міжміського ТПВ на модель попиту на пересування в міській ТС можна обрати такі метрики, як відстань Васерштайна та різниця у транспортній роботі з реалізації МПК з огляду на їх інформативність та цікавість з практичного погляду.

Стосовно ж отримання самої МК варто зазначити, що найбільш поширені моделі її розрахунку призначені для опису пересувань людей у масштабах, більших за породжувані автовокзалом як об'єктом міської інфраструктури. Їх пряме застосування в такому разі є проблематичним, адже проаналізовані моделі часто потребують доволі значних фінансових, трудових і часових витрат для оцінювання і налаштування їх параметрів, що в дослідженні пересувань до та з автовокзалу є невиправданим.

З огляду на це для моделювання міських пересувань до та з міжміського автовокзалу доцільно обрати більш гнучкий інтервальный підхід до розрахунку МК – коли попит на пересування описується не однією, а багатьма МК, кожна з яких відбиває один з можливих станів попиту – на основі фактичних характеристик пересувань пасажирів. Характеристики пересувань городян можна отри-

мати, організувавши відповідне обстеження на автовокзалі, що дозволить підвищити точність розрахунку МК та забезпечити більшу відповідність дійсним пересуванням населення.

Мета та постановка завдання

Одним із найбільш надійних джерел інформації для дослідження параметрів попиту на міські пересування до та з автовокзалів є опитування пасажирів перед їх відправленням у міжміську поїздку або одразу після висадки із автобуса по її завершенню. Будь-яка інформація, отримана таким чином, буде вибірковою, адже вкрай мало ймовірно, що вона охоплюватиме поїздки населення з або до кожного ТР у місті. Однією із значущих причин цьому є суттєва різниця між кількістю міського населення і обсягами відправлень та прибуттів міжміських пасажирів. Через це прагнення визначити безпосередньо під час обстеження обсяг генерації та поглинання міських частин міжміських поїздок для кожного окремого ТР виглядає нерациональним – за умови подібного підходу обсяг вибірки із пасажирів на автовокзалі має бути розподілений між ТР із наступним суцільним обстеженням усіх рейсів ГТ і пересувань індивідуальним транспортом (ІТ), що мають кінцевим пунктом автовокзал, для отримання характеристик як мінімум одного пересування із кожного ТР. Навіть якщо виходити зі стандартних вимог математичної статистики до прийнятої точності визначення середнього значення будь-якої кількісної характеристики пересування з кожного ТР, потрібно буде зробити сотні опитувань.

З огляду на це цілком раціональним виглядає організація вибіркового опитування, яке б дало змогу оцінити розподіл величини дальності міських пересувань до та з вокзалу. Такий розподіл дозволить прогнозувати ймовірність виникнення пересування будь-якої практично можливої відстані.

Як об'єкт експериментальних досліджень такого розподілу доцільно обрати середнє або велике місто із значущими обсягами міжміських відправлень пасажирів для: 1) забезпечення достатнього обсягу вибірки із міжміських пасажирів; 2) можливості поширення його результатів на аналогічні об'єкти, де можуть виникати питання щодо релокації наявних або будівництва нових автовокзалів. Відповідь на подібні питання та кількісну оцінку впливу зміни місця розташування вокзалу на розподіл міських пасажиропото-

ків можна отримати із застосуванням транспортної моделі міста.

Результати опитування пасажирів міжміських маршрутів

Для дослідження характеристик пересувань міського населення до міжміського автовокзалу та у зворотному напрямку було обрано м. Рівне – обласний центр на заході України. Станом на 01.01.2022 це є середнє місто з чисельністю населення 243,9 тис. осіб [17, 18]. У місті є три значущі пункти відправлення автобусів міжміських маршрутів:

– автостанція (АС) «Рівне»;

– АС «Чайка»;

– пункт відправлення автобусів «Залізничний» (надалі – п. Залізничний).

Наявність подібних інфраструктурних об'єктів поряд із чисельністю населення міста не залишають сумнівів щодо значущих обсягів відправлень і прибуттів пасажирів міжміських маршрутів та, відповідно, міських пересувань, які передують міжміським поїздкам або завершують їх.

Для дослідження характеристик міських частин міжміських пересувань на кожній із зазначених АС у період з 24.04.2021 до 19.05.2021 і з 02.10.2021 до 27.10.2021 було проведено опитування пасажирів, що прибувають до міста та виїжджають з нього. Зазначені періоди були обрані як такі, протягом яких життєдіяльність міста можна схарактеризувати як типову – тобто на яку не впливають масові відпустки населення, канікули в школярів і студентів, тривалі свята, погіршення погодних умов тощо. В опитуванні було задіяно два обліковці, які збирали показники з 07:00 до 19:00. Ці години перетинаються зі значною частиною часу роботи міського ГТ, що забезпечило можливість визначення часток пасажирів, які виконують міську частину міжміського пересування індивідуальним і громадським транспортом. Також зазначені години були обрані з міркувань безпеки як такі, що відповідають світлій порі доби.

За результатами опитування були отримані показники від 809 пасажирів. Їх розподіл за напрямком та використаним видом транспорту наведений у табл. 1 і 2.

Як видно з наведених таблиць, частка пересувань до та з АС міським ГТ коливається у межах (73,0–83,1) %, що вказує на його основну роль у добираннях, пов'язаних із потребою міжміської поїздки. Через це подальші зусилля щодо дослідження характерис-

тик міських пересувань до та з АС були зосереджені саме на пересуваннях, які реалізуються громадським транспортом.

Таблиця 1 – Розподіл опитаних пасажирів за напрямком та видом транспорту, використаним для пересування

Автостанція	Кількість пасажирів, що прибувають на АС з міста			Кількість пасажирів, що прямують з АС до міста		
	ГТ	ІТ	Σ	ГТ	ІТ	Σ
Рівне	104	38	142	108	40	148
Чайка	102	29	131	104	30	134
п. Залізничний	103	21	124	105	25	130
Загалом	309	88	397	317	95	412

Таблиця 2 – Відсоткове співвідношення опитаних пасажирів за видом транспорту, використаним для пересування

Автостанція	Кількість пасажирів, що прибувають на АС з міста		Кількість пасажирів, що прямують з АС до міста	
	ГТ	ІТ	ГТ	ІТ
Рівне	73,2	26,8	73,0	27,0
Чайка	77,9	22,1	77,6	22,4
п. Залізничний	83,1	16,9	80,8	19,2
Загалом	77,8	22,2	76,9	23,1

Для цього були сформовані окремі масиви із відстаней пересувань ГТ:

- з території міста до АС «Рівне»;
- з АС «Рівне» на територію міста;
- з території міста до АС «Чайка»;
- з АС «Чайка» на територію міста;
- з території міста до п. Залізничний;
- з п. Залізничний на територію міста.

Перевірка відповідності цих відстаней теоретичному закону розподілу, отриманому внаслідок аналітичного моделювання в статті [19] у межах гіпотези про двомірну нормальність розташування на території міста точок відправлень і прибуттів пасажирів, створить основу для розрахунку МК, що відбиватиме досліджувані пересування.

Перевірка відповідності між теоретичним та емпіричним розподілом відстаней пересувань до та з автостанцій міста Рівне

З метою перевірки відповідності теоретичному розподілу, отриманому в роботі [19], зібрані відстані міських пересувань. Окрім поділу за ознакою автостанції, на якій проводилось опитування, були згруповані за ознакою напрямку пересування – до або з АС.

Це дозволяє дослідити специфіку генерації та поглинання пересувань кожною із охоплених опитуванням автостанцій м. Рівне.

Ступінь узгодження між емпіричним і теоретичним розподілами досліджуваних відстаней оцінювалась у MS Excel із застосуванням критерію Колмогорова – Смирнова, оскільки він належить до точних критеріїв згоди [20]. Результати побудови теоретичного й емпіричного розподілів відстаней пересувань до та з АС «Рівне» наведені на рис. 1 і 2.

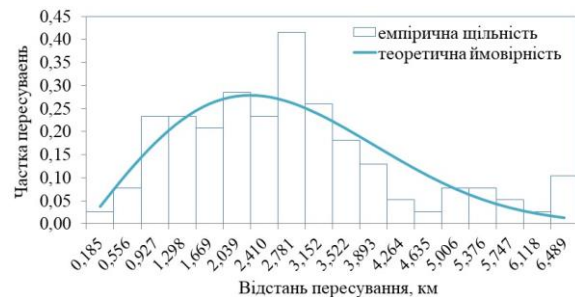


Рис. 1. Розподіл відстаней пересувань з території міста до АС «Рівне»

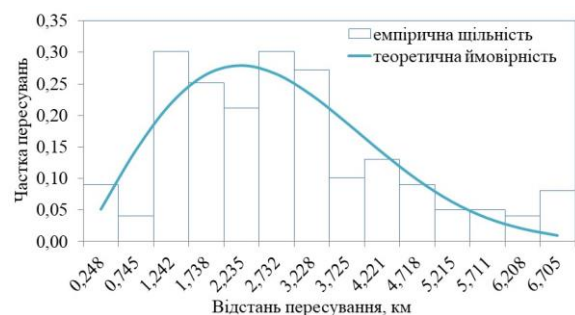


Рис. 2. Розподіл відстаней пересувань з АС «Рівне» до міста

Для інших АС міста графіки розподілів виявились принципово схожими. Значення критерію Колмогорова – Смирнова наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати оцінювання відповідності між емпіричним і теоретичним розподілами відстаней пересувань до та з автостанцій м. Рівне

Напрямок пересування	Значення критерію Колмогорова – Смирнова	
	розрахункове	критичне за рівня значущості 5 %
до АС «Рівне»	0,048	0,309
з АС «Рівне»	0,053	0,349
до АС «Чайка»	0,227	0,454
з АС «Чайка»	0,310	0,454
до п. Залізничний	0,136	0,483
з п. Залізничний	0,195	0,483

Як видно з наведеної таблиці, розрахункове значення критерію Колмогорова – Смирнова не перевищує критичного, і тому гіпотеза про відповідність між емпіричним і теоретичним розподілом досліджуваних відстаней не відхиляється на рівні значущості 5 %. Це підтверджує можливість використання теоретичного розподілу для моделювання транспортного попиту, зокрема як функції опору шляху пересування.

Оцінювання впливу розташування міжміської автостанції на території міста на пасажиропотоки громадського транспорту

Досягнуті результати відкривають можливість кількісного оцінювання впливу розташування АС як об'єкта інфраструктури на функціонування міської ТС та розподіл потоків пасажирів транспортною мережею. Для цього була створена транспортна модель ГТ міста Рівне.

Розроблення транспортної моделі м. Рівне потребувало збору інформації про транспортну пропозицію ГТ, що є його інфраструктурою та подана трасами маршрутів усіх видів ГТ, рухомим складом та розкладами руху, зупиночними пунктами тощо. Її моделювання було виконано, спираючись на інформацію з відкритих джерел, якими для м. Рівне були:

а) офіційний портал Рівненської міської ради, на якому наявна карта громадського транспорту м. Рівного [21], інформація про моделі, кількість і розклад руху автобусів на маршрутах [22];

б) офіційний сайт КП «Рівнеелектроавто-транс» Рівненської міської ради, на якому доступні траси тролейбусних маршрутів і розклад руху тролейбусів [23].

Для створення моделі ТС ГТ м. Рівне була використана німецька програма *VISUM*. У процесі моделювання було виконано такі роботи [24]:

- додано системи ГТ міста та швидкості руху ТЗ;
- додано вузли та сформовані відрізки ВДМ;
- визначено вузли ВДМ, що є зупинками ГТ;
- додано траси маршрутів ГТ;
- указано тип ТЗ, які працюють на маршрутах, та розклади руху.

Щодо моделі транспортного попиту, ключовим елементом якої є МК, то для її отримання були використані добові обсяги відправлень пасажирів з АС м. Рівне, інформація

щодо кількості виборців по виборчих дільницях міста та аналітичний вираз розподілу відстаней пересувань [19], можливість застосування якого була підтверджена показниками, поданими в табл. 3.

З метою розрахунку МК територія міста була поділена на ТР з огляду на межі виборчих дільниць та функціональне призначення території. Унаслідок були отримані 29 ТР, подані на рис. 3.

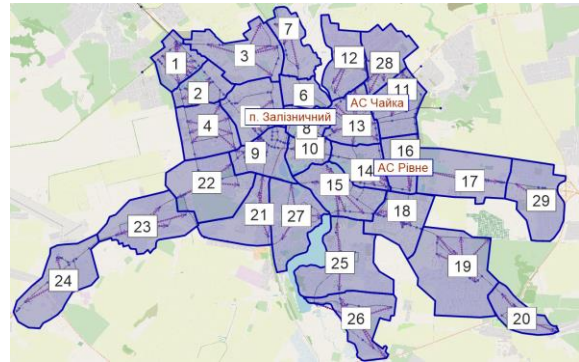


Рис. 3. Транспортні райони в моделі системи ГТ м. Рівне

Надійність прогнозу потреб населення в пересуваннях була забезпечена використанням фактичних показників, а саме: кількість виборців по виборчих дільницях та добові обсяги відправлень пасажирів з АС міста. На цій підставі були отримані оцінки пасажирогенеруючої та пасажиропоглинаючої здатності ТР. Для розрахунку МК із застосуванням експериментально підтвердженого аналітичного виразу закону розподілу відстаней пересувань, який у цьому разі буде використаний як функція опору шляху пересування, потрібно мати матрицю найкоротших відстаней між ТР. Ця матриця була розрахована у *VISUM* і використана для визначення ймовірності виконання пересувань до та з кожної АС і розподілу кореспонденцій між клітинками матриці. Унаслідок була отримана МК, що відбиває транспортний попит, пов'язаний із добираннями до АС м. Рівне та у зворотному напрямку.

Для вивчення впливу місця розташування міжміського ТПВ на роботу системи ГТ на початку були розраховані пасажиропотоки, що відповідають наявним локаціям АС у м. Рівне (рис. 4). Для цього у *VISUM* була впроваджена процедура перерозподілу за інтервалом. Щодо адекватності цього розрахунку варто зазначити, що її оцінювання є значно утрудненим через практичну неможливість виокремити саме користувачів АС із

загального пасажиропотоку на ГТ. Водночас варто зазначити, що наведена картограма пасажиропотоків цілком може розглядатися як потенційно реальна з двох причин:

а) транспортний попит є випадковим і має варіацію, спричинену значною кількістю факторів;

б) наявні провізні можливості ГТ, безумовно, здатні повністю забезпечити пересування населення до та з АС, оскільки величина відповідного пасажиропотоку на ділянках маршрутної мережі не перевищує 5,7 % від провізної спроможності ГТ (для 99,5 % ділянок – не перевищує 5 %, окрім тих, що безпосередньо прилягають до АС «Рівне»).

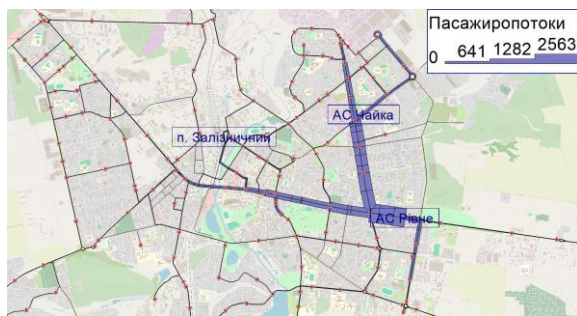


Рис. 4. Пасажиропотоки громадського транспорту, утворювані пересуваннями населення до та з наявних автостанцій міста Рівне

На основі результатів перерозподілу пасажиропотоків були отримані показники якості транспортного обслуговування користувачів АС та функціонування системи ГТ, що зведені до табл. 4.

З метою оцінювання впливу місця розташування міжміського автовокзалу на функціонування рівненської системи ГТ було прийнято рішення про вивчення транспортних наслідків релокації АС «Рівне». Вирішальним фактором для цього було те, що такий захід передбачений генеральним планом (ГП) міста [25]. До того ж його розгляд буде найбільш показовим щодо змін у роботі ТС ГТ, оскільки зазначена АС є найбільшим міжміським ТПВ у місті.

Згідно з ГП планується перенести АС «Рівне» на східну околицю міста, на в'їзд з боку Києва, та розташувати її практично навпроти Рівненського зоопарку [25]. Відстань між поточним і пропонуванним розташуванням АС становить приблизно 3,4 км.

У транспортній моделі нова локація АС «Рівне» розташована в межах ТР 29, і тому для оцінювання зміни місця розташу-

вання АС наявні місткості по відправленню та прибуттю на автостанцію та кореспонденції у відповідних рядках і стовпчиках МПК були переміщені до ТР 29.

Після цього була виконана процедура перерозподілу із новим станом транспортного попиту, унаслідок чого отримані оновлені показники якості транспортного обслуговування користувачів АС та функціонування міської системи ГТ. Результати їх порівняння із показниками, що відповідають поточному розташуванню АС, наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Показники функціонування системи ГТ та якості транспортного обслуговування населення до та після релокації АС «Рівне»

Показник	Значення		Різниця
	за умови поточного розташування АС	після релокації АС	
Середній час пересування, хв.	23,50	39,20	+ 66,8 %
Середня відстань пересування, км	2,78	4,91	+ 76,6 %
Коефіцієнт пересадочності	1,003	1,192	+ 18,8 %
Пасажиро-години, витрачені на прямування до та з АС, пас.-год	3766,63	6279,66	+ 66,7 %
Транспортна робота ГТ із забезпечення пересувань до та з АС, пас.-км	21225,83	40492,66	+ 90,8 %

Показники табл. 4 вказують на можливість суттєвого погіршення якості обслуговування пасажирів, які добиратимуться до та з переміщеної АС «Рівне» громадським транспортом, через ймовірне зростання:

– середнього часу пересування в межах (46–67) %;

– середньої відстані пересування – у межах (42–77) %;

– частки пересувань із пересадками – у межах (18–19) %;

– кількості пасажиро-годин, що витрачаються на пересування – у межах (55–67) %;

– транспортної роботи ГТ із забезпечення досліджуваних пересувань – у межах (54–91) %.

Це означає, що релокація АС «Рівне» без супутніх заходів із раціоналізації роботи міського ГТ негативно вплине на зручність добирання до неї.

На завершення оцінювання наслідків зміни місця розташування АС «Рівне» була розрахована відстань Васерштайна, яка після порівняння станів МПК до та після релокації виявилась рівною 1112,39 пас.-год. Матриця часів пересування між ТР, яка зробила можливою цей розрахунок, була обчислена у *VISUM*. Вказане значення відстані показує суттєвість додаткової роботи ГТ із забезпечення пересувань до нового місця розташування АС, оскільки зазначені пасажиро-години становлять 29,5 % від усіх годин, що витрачаються пасажиром для добирання до та з поточних локацій АС у м. Рівне.

За підсумками виконаного дослідження можна сформулювати конкретні практичні рекомендації та положення для осіб і органів, що приймають рішення про розташування на території міста ТПВ:

– переміщення наявного або будівництво нового міжміського ТПВ на території міста має супроводжуватися забезпеченням провізних спроможностей ГТ, достатніх для задоволення як потоків користувачів АС, так і пасажирських потоків, утворюваних буденними пересуваннями городян;

– для забезпечення зручності добирання до та з релокованої АС доцільно переглядати траси наявних маршрутів або впроваджувати нові для покриття якомога більшої частини міської території, скорочення часу пересування та забезпечення безпересадкових сполучень з АС;

– зупиночні пункти ГТ біля переміщеної АС та в зоні її впливу необхідно облаштовувати з огляду на потреби всіх користувачів станції;

– для прийняття рішення щодо релокації наявної або будівництва нової міжміської АС доцільно всебічно проаналізувати позитивний та негативний вплив як на міський, так і на міжміський і транзитний рух транспорту;

– перед прийняттям рішення про зміну місця розташування наявного або будівництво нового міжміського ТПВ доцільно виконати моделювання роботи ТС для її нинішнього та зміненого станів, що дасть змогу кількісно та графічно оцінити наслідки заходів, планованих щодо ТПВ;

– практично придатними джерелами показників для транспортного моделювання є натурні обстеження пересувань городян, опитування пасажирів на АС і державна статистика щодо роботи транспорту.

Висновки

Розроблена модель маршрутної мережі ГТ м. Рівне забезпечила можливість кількісного оцінювання впливу перенесення АС «Рівне» на східну околицю міста, що передбачене генеральним планом. Унаслідок встановлено, що подібний захід може спричинити погіршення якості обслуговування пасажирів, які добираються до та з АС громадським транспортом, через імовірне суттєве збільшення середнього часу пересування на 66,8 %, відстані пересування – на 76,6 %, частки пересувань з пересадками – на 18,8 %, кількості пасажиро-годин, що витрачаються на пересування – на 66,7 %, транспортної роботи ГТ із забезпечення досліджених пересувань – на 90,8 %. Крім цього, відстань Васерштайна після порівняння станів МК до та після релокації виявилась рівною 1112,39 пас.-год. Це значення вказує на суттєвість додаткової роботи ГТ із забезпечення пересувань до нового місця розташування АС, оскільки наведені пасажиро-години становлять 29,5 % від усіх годин, що за умови поточного розташування АС у м. Рівне витрачаються пасажиром для добирання до та з них.

Отримані результати вказують на потребу зваженого прийняття рішень щодо зміни місця розташування ТПВ, для чого потрібен усебічний аналіз їх переваг і недоліків, зокрема з огляду взаємного впливу руху міського та міжміського й транзитного транспорту. Для цього можна використати інструменти на зразок сценарного планування, дослідницького моделювання й аналізу, ретрополяції, а також аналізу витрат і вигод.

За підсумками проведеного дослідження були сформульовані практичні рекомендації для прийняття рішень щодо розташування ТПВ на території міста, які покликані допомогти органам місцевого самоврядування, міським і транспортним планувальникам належним чином зібрати інформацію та спланувати заходи із забезпечення швидкого, зручного та комфортного добирання міського населення до та з вокзалу, кількісно оцінити їх та взяти до уваги інтереси інших учасників транспортного процесу.

Література

1. Cascetta E. *Transportation Systems Analysis: Models and Applications* / [2nd Ed.]. New York: Springer, 2009. 742 p. DOI: 10.1007/978-0-387-75857-2.
2. Esztergár-Kiss D. Trip Chaining Model with Classification and Optimization Parameters. *Sus-*

- tainability. 2020. Vol. 12(16). 6422. DOI: 10.3390/su12166422.
3. Antonisse R.W., Daly A., Gunn A. The Primary Destination Tour Approach to Modelling Trip Chains. *Transportation Planning Methods: Proceedings of the 14th PTRC summer annual meeting* (Vol. P282), Falmer, 14–17 July 1986. London: PTRC Education and Research Services, 1986. P. 165–177.
 4. Bowman J.L. Historical development of activity-based models: theory and practice. *Traffic Engineering and Control*. 2009. Vol. 50. P. 314–318.
 5. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling Transport* / [4th Ed.]. Chichester: John Wiley & Sons, 2011. 586 p.
 6. Li G. Intercity Travel Demand: A Utility-Consistent Simultaneous Trip Generation and Mode Choice Model: PhD dissertation: Transportation. New Jersey, 2004. 147 p.
 7. Cascetta E. Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: A Generalized Least Squares Estimator. *Transportation Research Part B: Methodological*. 1984. Vol. 18, № 45. P. 289–299. DOI: 10.1016/0191-2615(84)90012-2.
 8. Hellinga B., Aerde M.V. A Statistical Analysis of the Reliability of Using RGS Vehicle Probes as Estimators of Dynamic O-D Departure Rates. *IVHS Journal*. 1994. Vol. 2, № 1. P. 21–44. DOI: 10.1080/10248079408903813.
 9. Горбачов П.Ф. Концепція формування систем маршрутного пасажирського транспорту в містах: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.01. Харків, 2009. 370 с.
 10. Gan L., Yang H., Wong S.C. Traffic Counting Location and Error Bound in Origin-Destination Matrix Estimation Problems. *Journal of Transportation Engineering*. 2005. Vol. 131, Issue 7. P. 524–534. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:7(524).
 11. Bera S., Rao K. Estimation of Origin-Destination Matrix from Traffic Counts: The State of the Art. *European Transport \ Trasporti Europei*. 2011. № 49. P. 2–23.
 12. Barcelo J., Montero L., Bullejos M., Serch O., Carmona C. A Kalman Filter Approach for Exploiting Bluetooth Traffic Data when Estimating Time-Dependent OD Matrices. *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*. 2013. Vol. 17(2), P. 123–141. DOI: 10.1080/15472450.2013.764793.
 13. Ros-Roca X., Montero L., Schneck A., Barceló J. Investigating the Performance of SPSA in Simulation-Optimization Approaches to Transportation Problems. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 34. P. 83–90. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.11.017.
 14. Pollard T., Taylor N., Van Vuren T. Comparing the Quality of OD Matrices: In Time and between Data Sources. *European Transport Conference: Strands*, 30 September – 2 October, 2013, Frankfurt. London: AET, 2013. 15 p.
 15. Ruizde Villa A., Casas J., Breen M. OD Matrix Structural Similarity: Wasserstein Metric. *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting: Proceedings*, 12–16 January 2014, Washington. Washington: TRB, 2014. Paper 14-3987.
 16. Behara K.N.S., Bhaskar A., Chung E. Levenshtein Distance for the Structural Comparison of OD Matrices. *Australasian Transport Research Forum: Proceedings*, 30 October – 1 November, Darwin, 2018. Melbourne: ATRF, 2018. P. 1–5.
 17. Чисельність наявного населення України на 1 січня 2022 року: статистичний збірник / за ред. М. Тімоніної. Київ: Державна служба статистики України, 2022. 84 с.
 18. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування та забудова територій. [введ. 2019-01-10]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2019. 185 с.
 19. Пашкевич С.М., Макарічев О.В., Свічинський С.В., Козак С.В. Аналітичний опис розподілу дальності міських пересувань до міжміського автовокзалу. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2023. № 4(87). С. 100–109. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2023.4.12.
 20. e-Handbook of Statistical Methods / The National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce. Gaithersburg: NIST & SEMATECH, 2012. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/> (last accessed: 21.02.2024).
 21. Інтерактивні карти міста: Офіційний портал Рівненської міської ради. URL: <https://rivnerada.gov.ua/portal/maps> (дата звернення 19.01.2024).
 22. Перелік укладених договорів: Офіційний портал Рівненської міської ради. URL: <https://rivnerada.gov.ua/portal/content-list/13/213> (дата звернення 19.01.2024).
 23. Маршрути. Схема руху тролейбусів м. Рівне: Офіційний сайт КП «Рівнеелектроавтотранс» РМР. URL: <https://trolleybusrivne.pp.ua/marshrutu> (дата звернення 19.01.2024).
 24. PTV Visum 2023 Manual. Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2022. 2773 p.
 25. Генеральний план забудови: Управління містобудування та архітектури виконавчого комітету Рівненської міської ради. URL: <https://arhrv.gov.ua/map/gen> (дата звернення 21.01.2024).

References

1. Cascetta E. *Transportation Systems Analysis: Models and Applications*, 2nd ed. New York: Springer, 2009. DOI: 10.1007/978-0-387-75857-2.
2. Esztergár-Kiss D., “Trip Chaining Model with Classification and Optimization Parameters,” *Sustainability*, Vol. 12(16), 6422, 2020. DOI: 10.3390/su12166422.
3. Antonisse R.W., Daly A., Gunn A., “The Primary Destination Tour Approach to Modelling Trip Chains,” in *Transportation Planning Methods*:

- PTRC summer annual meeting*, Falmer, 14–17 July 1986, Vol. P282, pp. 165–177.
4. Bowman J.L., “Historical development of activity-based models: theory and practice,” *Traffic Engineering and Control*, Vol. 50. pp. 314–318, 2009.
 5. Ortuzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling Transport*, 4th ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2011.
 6. Li G., “Intercity Travel Demand: A Utility-Consistent Simultaneous Trip Generation and Mode Choice Model,” PhD dissertation: Transportation. New Jersey, 2004.
 7. Cascetta E., “Estimation of Trip Matrices from Traffic Counts and Survey Data: A Generalized Least Squares Estimator,” *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 18, № 45. pp. 289–299, 1984. DOI: 10.1016/0191-2615(84)90012-2.
 8. Hellenga B., Aerde M.V., “A Statistical Analysis of the Reliability of Using RGS Vehicle Probes as Estimators of Dynamic O-D Departure Rates,” *IVHS Journal*, Vol. 2, № 1, pp. 21–44, 1994. DOI: 10.1080/10248079408903813.
 9. Horbachov P. *Kontseptsia formuvannia system marshrutnoho pasazhyrskoho transportu v mistakh*. Dys. ... doktora tekhn. nauk [The concept to develop public transport systems in cities. DSc diss.]. Kharkiv, 2009. 370 p.
 10. Gan L., Yang H., Wong S.C., “Traffic Counting Location and Error Bound in Origin-Destination Matrix Estimation Problems,” *Journal of Transportation Engineering*, vol. 131, issue 7, pp. 524–534, 2005. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:7(524).
 11. Bera S., Rao K., “Estimation of Origin-Destination Matrix from Traffic Counts: The State of the Art,” *European Transport \ Trasporti Europei*, № 49. pp. 2–23, 2011.
 12. Barcelo J., Montero L., Bullejos M., Serch O., Carmona C., “A Kalman Filter Approach for Exploiting Bluetooth Traffic Data when Estimating Time-Dependent OD Matrices,” *Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations*, vol. 17(2), pp. 123–141, 2013. DOI: 10.1080/15472450.2013.764793.
 13. Ros-Roca X., Montero L., Schneck A., Barceló J., “Investigating the Performance of SPSA in Simulation-Optimization Approaches to Transportation Problems,” *Transportation Research Procedia*, vol. 34, pp. 83–90, 2018. DOI: 10.1016/j.trpro.2018.11.017.
 14. Pollard T., Taylor N., Van Vuren T., “Comparing the Quality of OD Matrices: In Time and between Data Sources,” in *European Transport Conference*, Frankfurt, 30 September – 2 October 2013. 15 p. Available at: <https://aetransport.org/public/downloads/VsiK/-/10-52a0eddd392a8.pdf>.
 15. Ruizde Villa A., Casas J., Breen M., “OD Matrix Structural Similarity: Wasserstein Metric,” in *Transportation Research Board 93rd Annual Meeting*, Washington, 12–16 January 2014, Paper 14-3987.
 16. Behara K.N.S., Bhaskar A., Chung E., “Levenshtein Distance for the Structural Comparison of OD Matrices,” in *Australasian Transport Research Forum: Darwin*, 30 October – 1 November 2018, pp. 1–5.
 17. *Number of Present Population of Ukraine, as of January 1*, Statistical collection. Kyiv: State Statistics Service of Ukraine, 2022.
 18. *DBN B.2.2-12:2019. Planuvannia ta zabudova terytorii* [Planning and development of territories, State Construction Norms B.2.2-12:2019]. Kyiv: Ministry of Communities and Territories Development, 2019.
 19. Pashkevych S., Makarichev O., Svichynskyi S., Kozak S., “Analitichnyi opys rozpodilu dalnosti miskykh peresuvan do mizhmiskoho avtovokzalu. [Analytical Description of the Trip Length Distribution For Urban Trips to Intercity Bus Station],” *Visnyk of Kherson National Technical University*, № 4(87), pp. 100–109, 2023. DOI: 10.35546/kntu2078-4481.2023.4.12.
 20. *e-Handbook of Statistical Methods* [Online]. Available at: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.
 21. *Interaktyvni karty mista* [Interactive city maps]. Офіційний портал Рівненської міської ради. Available at: <https://rivnerada.gov.ua/portal/maps> (accessed 19 January 2024).
 22. *Perelik ukladenykh dohovoriv* [List of concluded agreements]. Available at: <https://rivnerada.gov.ua/portal/content-list/13/213> (accessed 19 January 2024).
 23. *Marshruty. Skhema rukhu troleibusiv m. Rivne* [Routes. Scheme of trolleybus traffic in Rivne]. Available at: <https://trolleybusrivne.pp.ua/marshruty> (accessed 19 January 2024).
 24. *PTV Visum 2023 Manual*. Karlsruhe: PTV Planung Transport Verkehr GmbH, 2022.
 25. *Heneralnyi plan zabudovy* [Master Plan]. Available at: <https://arhrv.gov.ua/map/gen> (accessed 21 January 2024).
- Пашкевич Світлана Михайлівна**¹, старша викладачка кафедри транспортних технологій і технічного сервісу, s.m.pashkevych@nuwm.edu.ua, тел. +38 068-060-33-68,
- Свічинський Станіслав Валерійович**², к.т.н., доцент, доцент кафедри транспортних систем і логістики, stas_svichinsky@ukr.net, тел. +38 050-609-00-00.
- ¹Національний університет водного господарства та природокористування, 33028, Україна, м. Рівне, вул. Соборна, 11.
- ²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Assessment of the Impact of Intercity Bus Station Relocation on Passenger Flows in Urban Public Transport

Abstract. Problem. The analysis of existing studies on transport hub operation in a city as well as on the methods for modelling the transport demand they generate showed that there are no specific recommendations for assessing the impact of the intercity bus station location on the trip patterns in urban transport system. This caused the need to search for a tool suitable to assess the influence of intercity bus station relocation on passenger service and passenger flows in the urban transport system. This paper shows the results of addressing this issue respective to urban public transport operation. **Goal.** The goal of the paper is to model the passenger flows to and from intercity bus stations considered transport anchors in urban public transport system as well as estimate the impact of station relocation on passenger flows and quality of service. **Methodology.** To achieve the stated goal, a survey of intercity passengers at the bus stations in the city of Rivne was made. This allowed for collecting the distances of the trips to and from existing bus stations and fitting the theoretical distribution to describe them. This distribution was used as the deterrence function during trip matrix calculation, which was required for the development of the public transport model. The model made it possible to quantify the potential impact of the Bus Station "Rivne" relocation on the urban transport system. **Results.** The considered bus station reloca-

tion can cause a decrease in the quality of service for passengers travelling to and from the station by public transport due to a probable significant increase in the average travel time and distance, the number of transfers, the passenger hours spent on travelling, and the passenger-kilometres covered to ensure the trips under study. **Originality** For the first time, the quantitative estimation of the impact of bus station relocation based on the regularities in the lengths of the trips to and from the stations was obtained. **Practical value.** The obtained trip length distribution can be used to calculate the origin-destination matrix, develop the public transport model, and quantify the probable consequences of the transport hub relocation.

Keywords: bus station, transport system, public transport, transport model, quality of transport service, survey, trip length distribution.

Pashkevych Svitlana¹, senior lecturer at the Department of Transport Technologies and Technical Service, s.m.pashkevych@nuwm.edu.ua, tel. +38 068-060-33-68,

Svichynskiy Stanislav², PhD, associate professor at the Transport Systems and Logistics Department, stas_svichinsky@ukr.net, tel. +38 050-609-00-00.

¹National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna Str., Rivne, 33028, Ukraine.

²Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho Str., Kharkiv, 61002, Ukraine.