

ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ (ЗА ВИДАМИ)

УДК 656.072

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).208-221](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).208-221)**М.Є. Кристопчук**, доц., канд. техн. наук*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна**e-mail: m.ie.krystopchuk@nuwm.edu.ua*

Аналіз індикаторів сталого розвитку міської пасажирської транспортної системи

Проведено аналіз результатів досліджень функціонування пасажирської транспортної системи громадського транспорту міста Рівне в розрізі розвитку принципів сталої міської мобільності. Використання системи індикаторів сталого розвитку міської пасажирської транспортної системи дозволяє провести оцінку поточної ситуації в місті та окреслити перспективні напрямки удосконалення системи громадського транспорту у взаємозв'язку з просторовим розвитком міських територій з метою забезпечення комфортного пересування мешканців для задоволення трудових та культурно-побутових пересувань.

міський пасажирський транспорт, транспортна система, сталий розвиток, індикативні показники, матриця пасажирських кореспонденцій, ефективність

Постановка проблеми. Встановлення основних атрибутів мобільності населення один із найважливіших показників розвитку міських територій, який досліджували вітчизняні і закордонні вчені для використання у практиці транспортного планування міст та розвитку сталих транспортних систем. Характеристики мобільності також є важливим джерелом та результатом для розроблення змін у генплані міста та створення нових управлінських рішень у експлуатації та функціонуванні маршрутної мережі міського пасажирського транспорту.

Однак, на сучасному етапі виконання транспортних досліджень пересувань міського населення потребує врахування показників сталого розвитку транспортних систем міст.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблему розподілу пасажирських переміщень між транспортними районами міст досліджували Горбачов П.Ф., Доля В.К., Вдовиченко В.А., Лобашов О.О., Любий Є.В., Россолов О.В. та інші дослідники. Відправною інформацією для оцінки матриць кореспонденцій у працях дослідників є кількість пасажирів, що входять і виходять з транспортного засобу на кожному зупиночному пункті пасажирського громадського транспорту. Серед закордонних науковців, що займалися цією тематикою, варто відзначити Н. Оппенхайма, Ю. Шеффі, Ж. Ортузара, Д. Лозе, Д. Дрю та інші.

Сучасні наукові дослідження закономірностей пересування населення базуються, в основному, на статистичних матеріалах, отриманих у результаті вибіркового комплексного транспортного обстеження міста [1 - 4]. Існують прямі методи отримання матриць через анкетні опитування мешканців міста (потребують багато часу, коштів та залежать від бажання людей брати участь в опитуванні) [5, 6] і непрямі, що передбачають розрахунок матриць кореспонденцій через обсяги відправлень і прибуття з використанням моделей розподілу пересувань між парами транспортних зон [3 - 7].

Моделі розподілу пересувань призначені для отримання даних прогнозування вибору місця призначення пересування на основі інформації про потужність генерування та привабливості кожної зони і загальної вартості пересування між ними.

У більшості випадків, попит населення на пересування з різною метою формується у вигляді матриць кореспонденцій – кількісної характеристики пересувань у межах території планування, елементами якої є обсяги пересувань (автомобілів чи пасажирів за годину) між кожною парою умовних транспортних зон. Всі кореспонденції, що здійснюються у мережі території планування, умовно поділяють на окремі групи - за цілями пересувань, за вибором типу та маршруту пересування [1 - 3].

Серед груп пересувань з різними цілями найбільш важливими є [1, 2, 3 - 7, 9 - 18]: пересування від місця проживання до місця прикладання праці (навчання) і в зворотному напрямку (трудова кореспонденція); пересування від місця проживання до місць культурно-побутового обслуговування і у зворотному напрямку; пересування між місцями праці (ділові поїздки); пересування між об'єктами культурно-побутового обслуговування.

Для кожної із цих груп пересувань будується окрема матриця міжзональних кореспонденцій, вхідною інформацією для побудови якої є загальні обсяги прибуття і відправлення у кожній зоні. Виділяють такі типи пересувань: громадським транспортом; власним автомобілем; велосипедом або пішки. Вибраний тип пересування не змінюється на етапі розподілу кореспонденцій по мережі. Процедура вибору користувачем маршруту пересування передбачає два етапи [4 - 9]. Перший - вибір типу пересування (модальний вибір). Другий - вибір маршруту пересування, який здійснюється на основі певного критерію оцінки маршруту (критеріальний вибір). Модальний вибір реалізується на етапі розрахунку кореспонденцій, критеріальний вибір – на етапі розподілу кореспонденцій по мережі.

Для моделювання комплексного завантаження мережі з урахуванням дії різних чинників всі користувачі поділені на класи, для кожного з яких розраховується окрема матриця кореспонденцій та здійснюється їх розподіл по мережі. Серед впливових чинників такі [4, 5], як: стохастичність процесів формування пасажирських потоків; відсутність математичного опису визначення основних причиннонаслідкових зв'язків процесу вибору суб'єктом пари «житло-робота»; нестационарність об'єктів у часі (зміни в планувальній структурі міста, міграції населення); складність збору початкової інформації про наміри суб'єктів, активність суб'єкту з його мотивами поведінки та цілями, невідтворюваність експериментів.

Існують, різні класифікації моделей та підходів до визначення попиту на послуги міського пасажирського транспорту, які можна сформувати в окремі групи [3 - 7, 9 - 14]: перша - моделі точкового попадання матриці кореспонденцій, до яких відносяться статистичні моделі, моделі сукупного попиту та дискретного вибору; друга група - інтервальна концепція формування матриці пасажирських кореспонденцій, згідно з якою попит на пересування описується певною кількістю матриць кореспонденцій.

Крім того, залежно від груп населення міста та обсягу наявних даних, виділяють три групи математичних моделей для визначення обсягу кореспонденцій [3 - 7, 9 - 18]:

- детерміновані (розглядають пересування у вигляді однозначної функції визначальних чинників);
- ймовірнісні (розглядають пересування у вигляді випадкових величин, що підпорядковуються статистичним закономірностям);
- евристичні (визначають динаміку зростання обсягів пересувань на основі евристичного пересування).

У працях [15, 25] методи визначення попиту на пересування сформовані у дві групи - моделі сукупного (aggregate demand models) та роздільного попиту (disaggregate demand models).

У сучасній практиці для розрахунку транспортних кореспонденцій між зонами міста поширені різні типи гравітаційних моделей (модель Н. Генрі, логіт-гравітаційна). Такі моделі базуються на аналогії з законом всесвітнього тяжіння. В них величини кореспонденцій прямо пропорційні обсягам відправлень з однієї транспортної зони і прибуття в іншу, і обернено пропорційні відстаням між ними [3 - 7, 9 - 18]. Ці моделі більш повно враховують зміни в розміщенні житлових і промислових районів, транспортної мережі, в системі культурно-побутового обслуговування населення.

Загальний вигляд гравітаційної моделі розрахунку матриці кореспонденцій [3 - 7, 9 - 18]:

$$h_{ijk} = \frac{HO_i \cdot HP_{jk} \cdot k_{jk} \cdot D_{ij}}{\sum_{j=1}^n (HP_{jk} \cdot k_{jk} \cdot D_{ij})}, \quad (1)$$

де h_{ijk} - кореспонденція між зонами i і j на ітерації k ;

HO_i - обсяг відправлень з i -го центроїда;

HP_{jk} - обсяг прибуття в j -й центроїд;

k_{jk} - коефіцієнт балансування;

D_{ij} - функція тяжіння між i -м та j -м центроїдами;

n - кількість центроїдів мережі.

Введено також і обмеження для цієї формули, пов'язане з балансуванням за прибуттям та відправленням:

$$\sum HO_i = \sum HP_j. \quad (2)$$

Інший вигляд гравітаційної моделі [24] передбачає, що кореспонденції між районами визначаються за формулою:

$$h_{ij} = HO_i \cdot \frac{HP_j \cdot c_{ij} \cdot k_{ij}}{\sum_m HP_m \cdot c_{im} \cdot k_m}, \quad (3)$$

де HO - місткість транспортної зони за відправленням;

HP - місткість транспортної зони за прибуттям;

c_{ij} - функція тяжіння між i -ою і j -ою транспортними зонами;

k_{ij} - калібрувальний коефіцієнт.

Очевидними перевагами гравітаційних моделей є доступність початкової інформації (кількість мешканців, відстань між транспортними районами), простота виконання розрахунків, як для існуючих умов міста, так і для прогнозування на перспективу, простота реалізації. Одним із головних недоліків – неврахування індивідуальних запитів населення.

Поряд з поширеними гравітаційними та ентропійними моделями у закордонній практиці набули застосування й інші імовірнісні методи розрахунку, зокрема модель, що використовує методи регресійного аналізу. Регресійний аналіз дає можливість ввести в розрахунок додаткові незалежні змінні, які дають змогу враховувати не лише

чисельність населення зони, дальність пересування, але й показник використання території та рівень автомобілізації [16 - 22].

У моделі Л. Ейнгорна враховуються розміри місць прикладання праці, проживання працюючих, тривалість пересування, поява нових трудових зв'язків тощо. Модель відображає зв'язок чинників-аргументів у вигляді добутку статичних функцій, показники і розподіл яких визначаються для існуючого положення на основі результатів обстеження [16 - 22]:

$$P_{ij} = A_i^d \cdot B_j^u \cdot t_{ij}^{-h} \cdot \left(\sum_1^h \sum_1^m A_i^a \cdot B_j^h \cdot t_{ij}^{-h} \right), \quad (4)$$

де P_{ij} - кількість пересувань із зони i в зону j ;

A_i - трудове населення, що вибуває в інші зони до місць прикладання праці;

B_j - чисельність населення, яка проживає в зоні;

t - тривалість пересування;

a, i, h - емпіричні показники, які отримують на основі обстеження.

Перевагою таких моделей є врахування ними показника використання території і рівня автомобілізації. Серед недоліків - великий обсяг початкових даних та зниження точності прогнозу із збільшенням тривалості розрахунків [16 - 22].

Для прогнозування попиту на перевезення також використовуються моделі, які ґрунтуються на нечіткій логіці та генетичних алгоритмах [3 - 7, 9 - 18]. Дослідження кореспонденцій за цим методом, показують високу вірогідність результатів (розбіжності між реальними і розрахунковими пасажиропотоками незначні). Недоліком - суб'єктивний вибір функцій належностей.

Для розрахунку транспортних кореспонденцій між районами (зонами) міста використовується також модель «перешкоди – можливості» (intervening opportunities). Відповідно до неї [3 - 7, 9 - 18], обсяг кореспонденцій між двома зонами визначається не настільки відстанню між ними, а наскільки залежить від рівня задоволення цілей пересування:

$$T_{ij} = T_i (e^{-LT} - e^{-LT(T+T_j)}), \quad (5)$$

де T_{ij} – кількість пересувань з зони i в зону j ;

T – кількість пересувань, що є ближчими за часом здійснення до зони i , ніж до зони j ;

T_i – кількість пересувань, що завершуються в зоні i ;

T_j – кількість пересувань, що завершуються в зоні j .

Заслугує уваги інтервальна концепція визначення попиту на послуги пасажирського транспорту, яка ґрунтується на гіпотезі про випадковий характер вибору суб'єктами напрямків пересувань. Основними параметрами такої функції виступають місткості транспортних зон великих міст щодо відправлення і прибуття. Довжина інтервалу можливих варіантів матриць пасажирських кореспонденцій оцінюється за формулою:

$$\Delta W = \sum_{d=1}^{N_{TP}} \sum_{e=1}^{N_{TR}} h_{de} \cdot L_{de} - \sum_{d=1}^{N_{TP}} \sum_{e=1}^{N_{TR}} h'_{de} \cdot L_{de}, \quad (6)$$

де N_{TP} - кількість транспортних зон;

h_{de} - величина кореспонденцій між районами d і e у початковій (базовій) матриці;

L_{de} - мінімальна відстань між зонами d і e ;

h'_{de} - величина кореспонденції між районами d і e у експериментальній (новій) матриці.

Основною перевагою інтервального моделювання є можливість отримання найімовірніших варіантів МПК, які максимально наближені до реального стану попиту на послуги МПТ. Однак, модель потрібно адаптувати до особливостей використання її у середніх містах.

На основі виконаного аналізу встановлено основні вимоги до моделей пасажирських кореспонденцій [3 - 7, 9 – 18, 23, 25]: гнучкість (можливість введення додаткових параметрів для врахування змін транспортної ситуації в містах); універсальність (можливість описувати різні типи пересувань); відносна простота (широке застосування в різних умовах проектування з використанням обчислювальної техніки та без неї).

Постановка завдання. Метою даної роботи є аналіз закономірностей зміни індикативних показників сталого розвитку міської мобільності з урахуванням змін у міській пасажирській транспортній системі.

Виклад основного матеріалу. До поняття «пересування населення» відноситься ряд конкретних показників транспортного планування. Ці параметри визначають на 4-х етапах розрахунку класичної моделі транспортного планування через обсяги пересувань; обсяги кореспонденцій пересувань; обсяги пересувань за типами та через визначення обсягів пересувань на мережі. Таким чином, оцінка пересування населення в межах території планування визначається з використанням конкретних числових даних. Відповідно до традиційного підходу, процес транспортного планування системи пасажирських перевезень складається з чотирьох етапів [3 - 7, 9 – 18, 23, 25]: генерування пересувань (trip generation) – оцінка загальних обсягів прибуття та відправлення з кожної транспортної зони території планування; кореспонденції пересувань (trip correspondence) – отримання матриць кореспонденцій, які визначають обсяги пересувань між кожною парою зон, що досліджуються; розподіл кореспонденцій за типом пересування (modal split); розподіл кореспонденцій за шляхом пересувань (network assignment).

Рівне - місто обласного значення в Україні, обласний центр Рівненської області, центр Рівненського району Рівненської області. Місто розташоване на північному заході країни. Площа - 64 км². Чисельність населення міста складає 248,8 тис. чол., з них 115,3 тис. - чоловіки (46 %) і 133,5 тис. жінки (54 %). Щільність населення - 3913 осіб/км²

В місті функціонує 12 тролейбусних маршрутів, (тролейбусний парк налічує 78 одиниць) та функціонує 28 маршрутів автобусів та маршрутних таксі (щоденно автобусну маршрутну мережу обслуговує 280 одиниць транспортних засобів).

Для аналізу функціонування транспортної системи міста використано метод мікрорайонування, згідно з яким територія міста розбивається на транспортні райони з зазначеними центрами.

Для дослідження пересувань населення у м. Рівне була розроблена анкета та здійснено опитування громадян стосовно їх пересувань протягом дня. Опитування проводилося як онлайн так і «face to face», загалом участь взяло 669 респондентів віком від 18 до 70 років. Анкета складена за 14 розділами, зокрема:

1. Загальні відомості, які стосуються місць роботи або навчання. Вікові та гендерні характеристики.

2. Загальні питання щодо поїздок, які розривають вид транспорту, переваги, оцінювання умов поїздки в громадському транспорті.

3. Питання щодо автомобілекористування.

4. Основна частина щодо переміщень протягом дня, ця частина включає:

- кількість поїздок;
- початковий і кінцевий пункти поїздок;
- вид транспорту;
- часові і просторові параметри поїздки.

За гендерним розподілом кількість респондентів склала 47,5% жінок і 52,5% чоловіків. В статевому-віковому зрізі, можна відзначити, що працездатна молодь (18-35) дещо більш мобільна, ніж діти та люди середнього віку, а літні люди менш мобільні, а у статевому зрізі дівчата та жінки середнього віку здійснюють дещо більшу кількість переміщень за день, ніж чоловіки, тоді як для решти груп подібної відмінності немає.

Загалом кількість пересувань коливалася від 1 до 6 за добу. Найбільше відсоток припадає на 1-2 пересування. Найбільше поїздок, серед опитаних респондентів, здійснюється за допомогою громадського транспорту (71,2%); на другому місці за популярністю - переміщення автомобілем (14,2%).

Вибір режимів переміщення відрізняється в статевому зрізі: чоловіки частіше використовують індивідуальний транспорт, як-от легковий автомобіль чи велосипед, тоді як жінки частіше здійснюють переміщення пішки (це може бути зумовлено розподілом цілей подібних переміщень). Значно менша частка жінок, що використовують для пересування велосипед, оскільки за відсутності відповідної інфраструктури вважають це небезпечним.

Індикатори та показники сталої міської мобільності є корисним інструментом для міст та міських районів для виявлення сильних та слабких сторін їхньої системи мобільності та зосередження уваги на чинниках, що потребують вдосконалення. Оскільки міста та міські поселення продовжують розробляти плани стійкої міської мобільності (SUMP) та працювати над досягненням цілей політики ЄС, важливо, щоб цей прогрес був задокументований, для забезпечення можливості кількісної оцінки таких досягнень. Європейські практики та рекомендації, загалом виділяють 18 індикативних показників, з них, 13 основних та 5 допоміжних. До основних належать: доступність громадського транспорту за показником найбільш вразливих верств населення; показник доступності громадського транспорту для груп з обмеженими фізичними можливостями; індекс забрудненості повітря; індикатор перешкоди шуму; показник смертності на дорогах; індикатор доступу до послуг мобільності; показник викидів парникових газів; індикатор заторів та затримок; показник енергоефективності; індикатор можливості активної мобільності; індикатор мультимодальної інтеграції; показник задоволеності громадським транспортом; індикатор активних режимів безпеки дорожнього руху. До допоміжних, віднесено: показник якості громадських площ; показник функціональної різноманітності міст; індикатор часу в дорозі; індикатор використання простору мобільності; індикатор безпеки.

Індикатор доступу до послуг мобільності – це частка населення, що має відповідний доступ до послуг мобільності (громадського транспорту). Відсоток населення з відповідним доступом до громадського транспорту (автобус, тролейбус, електричка) визначається з виразу:

$$Accl = \frac{\sum_i PR_i \cdot W_i}{cap}, \quad (7)$$

де $Accl$ - відповідний індекс доступу (% від населення);

PR_i - кількість осіб, які проживають у зоні типології доступу i , визначена комбінацією рівня доступності громадського транспорту;

W_i - вага, що визначає, чи є доступність послуг мобільності відповідною (залежно від комбінації рівня доступності громадського транспорту). Вага диференційована для невеликих (тобто менше 100 000 жителів) або великих міських районів.

Вага W_i є заздалегідь визначеною (не змінюється користувачем) та визначає, чи є доступність відповідною, наступним чином: 1 – повністю відповідає; 0,5 – частково відповідає; 0 – не відповідає; cap - кількість жителів на міській території.

Індикатор можливості активної мобільності відображає інфраструктуру для активної рухливості, а саме ходьби та їзди на велосипеді та визначається за формулою:

$$R_{am} = \frac{(L_{pv} + L_{bl} + L_{z30} + L_{pz})}{L_{rn}}, \quad (8)$$

де R_{am} - частка довжини дороги, пристосована для активної рухливості;

L_{pv} - довжина дорожньої мережі з тротуарами (не в пішохідній зоні), (км);

L_{bl} - довжина дорожньої мережі з велодоріжками (не в зоні 30 км/год), (км);

L_{z30} - довжина дорожньої мережі в зоні 30 км/год, (км);

L_{pz} - довжина пішохідної зони, (км);

L_{rn} - загальна довжина дорожньої мережі міста (крім автомагістралей), (км).

Довжина доріг та вулиць з тротуарами, велодоріжками, зонами обмеження швидкості 30 км/год (20 км/год) та пішохідними зонами, що відносяться до загальної довжини міської вулично-дорожньої мережі (крім автомагістралей).

Показник задоволеності громадським транспортом відображує відносний рівень задоволення від користування громадським транспортом.

Середній рівень задоволеності пересуванням у місті на громадському транспорті, визначається:

$$\overline{SAT} = \frac{\sum_m \overline{ASPECT}_m}{m}, \quad (9)$$

де m – кількість аспектів (вибірка).

$$\overline{ASPECT}_m = \sum_h \overline{AGREE}_{h,m}, \quad (10)$$

де h – чотири можливі варіанти відповідей: цілком згідний, частково згідний, частково не згідний, цілком не згідний, з відповідними оцінками: $C_h =$ цілком згідний = 10; $C_h =$ частково згідний = 6,66; $C_h =$ частково не згідний = 3,33; $C_h =$ цілком не згідний = 0.

Даний показник призначений для аналізу результатів міського аудиту – опитування сприйняття якості життя в містах, яке проводиться на основі телефонних інтерв'ю на регулярній основі. Параметр є усередненою оцінкою відповідей опитування щодо сприйняття респондентом задоволення від користування громадським транспортом.

Індикатор доступу до послуг мобільності – це частка населення, що має відповідний доступ до послуг мобільності (громадського транспорту). Вихідні дані PR_i

відносяться до населення, яке проживає в межах п'яти типологічних зон у місті, визначених комбінацією рівня доступності громадського транспорту. При цьому, усі зупиночні пункти, розташовані на відстані 50 м від інших, слід розглядати як один зупиночний пункт (наприклад, якщо автобусна зупинка розташована по обидва боки вулиці, по одній для кожного напрямку, пов'язаний зупиночний пункт слід розглядати як один - і відповідні поїздки повинні підсумовуватися за двома напрямками). Зони типології поділяються за рівнем доступності громадського транспорту з параметрами доступу:

- дуже високий - особи, які мешкають менш ніж за 5 хвилин (радіус 417м) від автобусної чи тролейбусної зупинки з більш ніж 10 відправленнями/годину і менше 10 хвилин (радіус 833 м) від залізничної станції з більш ніж 10 відправленнями/годину (обидві умови повинні бути дійсними);

- високий - особи, які мешкають менш ніж за 5 хвилин від автобусної або тролейбусної зупинки з більш ніж 10 відправленнями/годину або менш ніж за 10 хвилин ходьби від залізничної станції з більш ніж 10 відправленнями/годину (дійсна має бути лише одна умова);

- середній - особи, які мешкають менш ніж за 5 хвилин від автобусної або тролейбусної зупинки з якої відправляється від 4 до 10 транспортних засобів на годину або менш ніж за 10 хвилин ходьби від залізничної станції з 4-10 відправленнями/годину;

- низький - особи, які мешкають менш ніж за 5 хвилин від автобусної або тролейбусної зупинки з якої відправляється до 4 транспортних засобів на годину або менш ніж за 10 хвилин ходьби від залізничної станції з менш ніж 4 відправлень/годину;

- немає доступу - особи, які проживають на відстані більше 5 хвилин ходьби від автобусної або тролейбусної зупинки і більше 10 хвилин від залізничної станції (обидві умови повинні бути дійсними).

Таблиця 1 – Результати розрахунку індикатора доступу до послуг мобільності

Населення, що проживає в кожній типологічній зоні доступу, i		Великий міський район	Малий міський район	Розрахункові параметри			
i	Рівень доступу до громадського транспорту	W_i		PR_i	$W_i \cdot PR_i$	C_{ap}	A_{ccl}
1	Немає доступу	0	0	12 196	0	243 934	75%
2	Низький доступ	0	0,5	24 394	0		
3	Середній доступ	0,5	1	48 787	24393		
4	Високий доступ	1	1	141 481	73180		
5	Дуже високий доступ	1	1	17 076	85377		
Всього населення, осіб				243 934			

Джерело: розроблено автором

Вага W_i є попередньо визначеною (не змінюється користувачем) та визначає, чи є доступність послуг мобільності доречною: 1, де це цілком доречно; 0,5, де це не повністю доречно; 0 там, де це недоречно.

В результаті отримуємо індикатор доступності до послуг мобільності, відносне значення якого становить 73% або 0,73.

Індикатор активної мобільності - надає оцінку, отриману із сукупної частки загальної дорожньої мережі, пристосованої як для пішої руху, так і для їзди на велосипеді.

Протяжність дорожньої мережі, пристосованої до пішого руху, обчислюється на основі довжини тротуарів плюс довжина пішохідних зон, як частка загальної дорожньої мережі.

Довжина дорожньої мережі, пристосована до їзди на велосипеді, розраховується на основі довжини дорожньої мережі з велодоріжками плюс довжини доріг в зоні обмеження швидкості руху 30 км/год, як частка загальної дорожньої мережі.

Рекомендується використовувати для розрахунку мінімальну ширину дорожніх покриттів (0,6 м) та мінімальну ширину велодоріжок (0,75 м). Протяжність пішохідної зони стосується лише пішохідних вулиць. Площа пішохідних зон (наприклад, ринкові площі) не враховується в розрахунку - можна врахувати лише довжину доріг, які потрапляють у пішохідну зону або навколо неї.

Значення індикатора активної мобільності - це середнє значення довжини дорожньої мережі, пристосованої до пішого руху і довжина дорожньої мережі, адаптована до їзди на велосипеді. Значення показника виражається за шкалою 1 - 10. В результаті досліджень, для міста Рівне індикатор активної мобільності складає, відповідно: параметр - 0,57; показник - 2,83.

Індикатор задоволеності громадським транспортом призначений для аналізу результатів опитування сприйняття якості життя в місті, яке проводилося за допомогою анкетного опитування «Дослідження мобільності населення у місті Рівне».

Параметр є усередненою оцінкою відповідей опитування про сприйняття респондентом задоволення від користування громадським транспортом. У анкеті були поставлені такі групи питань:

П1.1. Будь ласка, дайте відповідь, чи ви (1) задоволені, (2) скоріше задоволені, (3) досить незадоволені, (4) зовсім не задоволені, або (5) не знаєте / (немає відповіді), пересуваючись на громадському транспорті (наприклад, автобусі, маршрутному таксі чи тролейбусі) у місті.

П2. Громадський транспорт у вашому місті, виходячи з вашого досвіду та сприйняття, будь ласка, дайте відповідь на запитання, чи ви (1) повністю згодні, (2) дещо згодні, (3) дещо не згодні, (4) категорично не згодні або (5) не знаєте (немає відповіді), на кожне з цих тверджень.

Громадський транспорт у вашому місті:

П2.1 Недорогий;

П2.2 Безпечний;

П2.3 Доступний;

П2.4 Частий (велика кількість відправлень транспортних засобів від зупиночних пунктів);

П 2.5 Регулярний (чітко виконується розклад руху).

Результати опитування, відсоток задоволеності громадським транспортом, значення перевідних коефіцієнтів та розрахункові бали подані в табл. 2 - 5.

Таблиця 2 – Результати анкетного опитування щодо рівня задоволеності громадським транспортом

Індикатор	Аспект	Питання	Кількість респондентів	Не знаю / немає відповіді	Повністю згідний (h_1)	Частково згідний (h_2)	Частково не згідний (h_3)	Повністю не згідний (h_4)
Задоволеність громадським транспортом	Загальне задоволення	П1.1	669	45	36	257	272	59
	Недорогий	П2.1	669	28	190	315	82	54
	Безпечний	П2.2		36	27	182	326	98
	Доступний	П2.3		21	227	258	117	46
	Частий	П2.4		19	116	228	209	97
	Регулярний	П2.5		33	61	296	219	93

Джерело: розроблено автором

Таблиця 3 – Розрахунок відсотка задоволеністю громадським транспортом по кожному аспекту

Повністю згідний (h_1)	Частково згідний (h_2)	Частково не згідний (h_3)	Повністю не згідний (h_4)
0,06	0,41	0,44	0,09
0,30	0,49	0,13	0,08
0,04	0,29	0,52	0,15
0,35	0,40	0,18	0,07
0,18	0,35	0,32	0,15
0,09	0,44	0,33	0,14

Джерело: розроблено автором

Таблиця 4 – Перевідні коефіцієнти до розрахунку балів

c_1	c_2	c_3	c_4
10	6,66	3,33	0

Джерело: розроблено автором

Таблиця 5 – Результати розрахунку балів за встановленими аспектами

Повністю згідний (h_1)	Частково згідний (h_2)	Частково не згідний (h_3)	Повністю не згідний (h_4)	Бали
0,58	2,74	1,45	0	4,8
2,96	3,27	0,43	0	6,7
0,43	1,91	1,71	0	4,1
3,50	2,65	0,60	0	6,8
1,78	2,34	1,07	0	5,2
0,91	2,95	1,09	0	4,9

Джерело: розроблено автором

В результаті розрахунків, отримуємо показник рівня задоволеності від користування громадським транспортом, значення якого становить 54%, тобто, значення індикатора задоволення від користування громадським транспортом становить 5,4.

Висновки.

Система показників та індикаторів сталої міської мобільності, відповідно до Європейських практик та рекомендацій, загалом виділяє 18 індикативних показників, з них, 13 основних та 5 допоміжних. В якості вихідних даних для визначення індикативних показників функціонування пасажирської транспортної системи громадського транспорту міста Рівне, в розрізі сталого її розвитку, використовувалася анкета «Дослідження мобільності населення у місті Рівне» [19, 21, 24]. До розрахунку прийнято три індикативних параметри, а саме:

1. Індикатор доступу до послуг мобільності, показник, який дозволяє визначити частку населення, що має відповідний доступ до послуг мобільності (громадського транспорту). Для поточного стану розвитку системи громадського транспорту міста Рівне становить 73% або 0,73.

2. Індикатор можливості активної мобільності, що надає оцінку, отриману із сукупної частки загальної дорожньої мережі, пристосованої як для пішої прогулянки, так і для їзди на велосипеді, згідно розрахунків становить 0,57. Чисельне розрахункове значення показника (значення, виражене за шкалою 1 – 10) становить 2,83.

3. Показник рівня задоволеності громадським транспортом – індикатор, що дає можливість оцінити відносне задоволення від користування громадським транспортом та середній рівень задоволеності пересуванням у місті на громадському транспорті становить – 54%, тобто значення показника становить 5,4.

В цілому, ґрунтуючись на розрахункових значеннях індикативних показників, можна підсумувати, що окремі індикатори сталої міської мобільності для міста Рівне мають посереднє значення. Це вказує на необхідність розробки стратегічних заходів щодо удосконалення системи громадського пасажирського транспорту міста у взаємозв'язку з його просторовим розвитком для підвищення комфорту пересування мешканців всіх груп.

Список літератури

1. *Horizon 2020 - Smart, Green and Integrated transport. Important Notice on the Second Horizon 2020.* (2016). Work Programme: European Commission.
2. Li, Y., Voegelé, T. Mobility as a Service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required. *Journal of Transportation Technologies.* 2017. Vol. 7. P. 95-106. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72007>.
3. Yatskiv, I., Pticina, I., Savrasovs, M. Urban Public Transport System's Reliability Estimation Using Microscopic Simulation. *Transport and Telecommunication Journal.* 2012. Vol. 13(3). P. 219-228. <https://doi.org/10.2478/v10244-012-0018-4>
4. *Public Transport Assignment.* (2013). Transport Analysis Guidance: Department for Transport, London.
5. Ortuzar, J. de D., Willumsen, L. G. Modelling transport. Third edition. John Wiley & Sons Ltd., 2006. 499 p.
6. Winston, C., Small, K. A. The Demand for Transportation: Models and Applications. C.: University of California, 1998. 51 p.
7. Любий Є. Визначення попиту на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2012. 19 с.
8. Горбачев П. Ф., Россолов А. В. Моделирование спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах : монография. Харьков : ХНАДУ, 2012. 152 с.
9. Горбачов П. Ф. Нова концепція моделювання потреб населення у трудових пересуваннях міським пасажирським транспортом. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* 2009. №27. С. 210-214.
10. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. Приміські пасажирські перевезення : навч. пос. Харків : НТМТ, 2012. 224с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/11277/1/Приміські_пасажи́рські_перевезення.pdf. (дата звернення: 25.03.2021)

11. Khitrov, I., Tkhoruk, Y. Formation and Distribution Flows of External Transport in the City. *In Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Selected Papers from the 19th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'19, 16-19 October 2019*, Riga, Latvia (Vol. 117, p. 141). Springer Nature.
12. Wegener M. Operational urban models: state of the art. *APA Journal*. 1994. - P.55-61.
13. Пашкевич С. М., Кристопчук М. Є. Аналіз параметрів функціонування об'єктів транспортної інфраструктури на формування транспортних та пасажирських потоків у містах. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2018. № 1. С. 66-72. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_13. (дата звернення: 20.03.2021)
14. Россолов О. В. Моделирование попути на услуги городского пассажирского транспорта при проведении массовых заходів у містах. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. Вип. 3/63. С. 22-25.
15. Fratar, T. J. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation. *Traffic Quarterly*. 1954. Vol. 8. P. 53-65.
16. Кристопчук М. Є. Соціально-економічна ефективність пасажирської транспортної системи приміського сполучення : монографія. Рівне : НУВГП, 2012. 158 с. URL: http://ep3.nuwm.edu.ua/1645/1/Кристопчук_Соціально-економічна_zah.pdf (дата звернення: 22.03.2021)
17. Любий С. В., Россолов О. В. Формування моделі попути на пересування населення малих міст маршрутним пасажирським транспортом. *Комунальне господарство міст*. 2013. № 107. С. 422-426.
18. Дмитриченко М.Ф. Концепція проектування систем міських пасажирських перевезень. *Проблеми транспорту: зб. наук. пр.* Київ: НТУ. 2011. Вип.8. С. 3-8.
19. Кристопчук М. Є. Вплив місць розташування об'єктів транспортної інфраструктури на просторовий розвиток міста. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка». Сер. Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. 2017. Вип. 866. С. 166-171.
20. Berlingerio M. AllAboard: a system for expioring urban mobility and optimizing public transport using cellphone data. *Mobile Phone Data for Development: The main conference on the scientific analysis of mobile phone datasets*. Italy. 2013. P. 397-411.
21. Кристопчук М. Є. Оцінка параметрів сталої міської мобільності. *Інжиніринг криз та ризиків транспортних послуг = Crisis and Risk Engineering for Transport Services* : зб. доповідей Міжнар. науково-метод. конф. Маріуполь, 20–21 січня 2021 р. ДВНЗ «ПДТУ» [та ін.]. Маріуполь : ПДТУ, 2021. С. 355-362.
22. Daamen W. Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities. *Trail Thesis Series*. The Netherlands TRAIL Research School. 2004. P. 377.
23. Kalis M., Teodorovic D. Trip distribution modeling using fussy logic and a genetic algorithm. *Transportation Planning and Technology*. 2003. Vol. 26, № 3. P. 213–238.
24. Кристопчук М. Є. Європейські підходи до оцінки сталої міської мобільності. *Четверта Всеукраїнська науково-теоретична конференція «Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання», 25 – 26 березня 2021 року: Тези доповідей*. Львів: Галицька видавнича спілка, 2021. С. 18-20.
25. Amini A. The Differing Tribal and Infrastructural Influences on Mobility in Developing and Industrialized Regions. *Mobile Phone Data for Development*. 2013. 849 p.

References

1. *Horizon 2020 - Smart, Green and Integrated transport. Imporant Notice on the Scond Horizon 2020*. (2016). Work Programme: European Comission.
2. Li, Y., & Voegel, T. (2017). Mobility as a Service (MaaS): Challenges of Implementation and Policy Required. *Journal of Transportation Technologies*, Vol. 7, 95-106. <https://doi.org/10.4236/jtts.2017.72007>.
3. Yatskiv, I., Pticina, I., & Savrasovs, M. (2012). Urban Public Transport System's Reliability Estimation Using Microscopic Simulation. *Transport and Telecommunication Journal*, 13(3), 219-228. doi: <https://doi.org/10.2478/v10244-012-0018-4>
4. *Public Transport Assignment*. (2013). Transport Analysis Guidance: Department for Transport, London.
5. Ortuzar, J. de D., & Willumsen, L. G. (2006). *Modelling transport*. (3d ed.). John Wiley & Sons Ltd.
6. Winston, C., & Small, K. A. (1998). *The Demand for Transportation: Models and Applications*. C.: Univesity of California.

7. Lyubiy Ye. V. (2012). Любий Є. Vyznachennia popytu na peresuvannia naselennia malykh mist marshrutnym pasazhyrskym transportom [Determining the demand for the movement of the population of small towns by scheduled passenger transport]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kharkiv [in Ukrainian].
8. Gorbachov, P.F., & Rossolov A.V. (2012). *Modelyrovanye sprosa na usluhy passazhyrskoho marshrutnoho transporta v krupnykh horodakh* [Modeling the demand for passenger route transport services in large cities]. Kharkiv: KhNADU [in Russian].
9. Gorbachov, P.F. (2009). Горбачов П. Ф. Nova kontsepsiia modeliuvannia potreb naselennia u trudovykh peresuvanniakh miskym pasazhyrskym transportom [A new concept of modeling the needs of the population in labor movements by urban passenger transport]. *Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named Academician V. Lazaryan*. Vol. 27, 210-214 [in Ukrainian].
10. Krystopchuk, M.YE., & Lobashov, O.O. (2012). *Prymiski pasazhyrski perevezennia* [Suburban passenger traffic]. Kharkiv: NTMT [in Ukrainian].
11. Khitrov, I., & Tkhoruk, Y. (2020). *Formation and Distribution Flows of External Transport in the City*. In Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Selected Papers from the 19th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication, RelStat'19, 16-19 October 2019, Riga, Latvia (Vol. 117, p. 141). Springer Nature.
12. Wegener, M. (1994). Operational urban models: state of the art. *APA Journal*, 55-61.
13. Pashkevych, S.M., & Krystopchuk, M.YE. (2018). Analiz parametriv funktsionuvannia obyektiv transportnoyi infrastruktury na formuvannya transportnykh ta pasazhyrskykh potokiv u mistakh [Analysis of the parameters of the functioning of transport infrastructure facilities for the formation of transport and passenger flows in cities]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti – Modern technologies in mechanical engineering and transport*, 1, 66-72. nbuv.gov.ua. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/ctmbt_2018_1_13 [in Ukrainian].
14. Rossolov, O.V. (2013). Modeliuvannia popytu na posluhy miskoho pasazhyrskoho transportu pry provedenni masovykh zakhodiv u mistakh [Modeling the demand for urban passenger transport services during mass events in cities]. *Eastern European Journal of Advanced Technology*. Vol. 3/63, 22-25 [in Ukrainian].
15. Fratar, T. J. (1954). Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation. *Traffic Quarterly*. Vol. 8. 53-65.
16. Krystopchuk, M.YE. (2012). *Sotsialno-ekonomichna efektyvnist pasazhyrskoi transportnoi systemy prymiskoho spoluchennia* [Socio-economic efficiency of the suburban passenger transport system]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
17. Lyubiy, Ye. V., & Rossolov, O.V. (2013). Formuvannia modeli popytu na peresuvannia naselennia malykh mist marshrutnym pasazhyrskym transportom [Formation of a model of demand for the movement of the population of small towns by scheduled passenger transport]. *Municipal utilities*. Vol. 107, 422-426. [in Ukrainian].
18. Dmytrychenko, M.F. (2011). Kontsepsiia proektuvannia system miskykh pasazhyrskykh perevezen [The concept of designing urban passenger transport systems]. *Transport problems*. Vol. 8, 3-8. [in Ukrainian].
19. Krystopchuk, M. (2017). Vplyv mista roztashuvannia obyektiv transportnoi infrastruktury na prostorovyi rozvytok mista [The impact of transport infrastructure locations on the spatial development of the city]. *Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic"*, Vol. 866, 166-171. [in Ukrainian].
20. Berlingerio, M. (2013). AllAboard: a system for exploring urban mobility and optimizing public transport using cellphone data. *Mobile Phone Data for Development: The main conference on the scientific analysis of mobile phone datasets*. Italy. 397-411.
21. Krystopchuk, M. (2021). Otsinka parametriv staloi miskoi mobilnosti [Estimation of parameters of sustainable urban mobility]. Proceedings from Crisis and Risk Engineering for Transport Services. *Mizhnarodna nauково-praktychna konferentsiia (20-21 sichnia 2021 roku) - International Scientific-Practical Conference*. (pp. 355-362). Mariupol: PSTU [in Ukrainian].
22. Daamen, W. (2004). Modelling Passenger Flows in Public Transport Facilities. *Trail Thesis Series. The Netherlands TRAIL Research School*. 377.
23. Kalis, M. & Teodorovic, D. (2003). Trip distribution modeling using fuzzy logic and a genetic algorithm. *Transportation Planning and Technology*. Vol. 26, № 3. 213–238.
24. Krystopchuk, M. (2021). Yevropeiski pidkhody do otsinky staloi miskoi mobilnosti [European approaches to the assessment of sustainable urban mobility]. Proceedings from Problems with Traffic Flows and Ways to Solve Them 'Chetverta Vseukrainska nauково-teoretychna konferentsiia (25–26 bereznia 2021 roku) – 4th International Scientific-Practical Conference. (pp. 18-20). Lviv: Galician Publishing Union [in Ukrainian].
25. Amini, A. (2013). *The Differing Tribal and Infrastructural Influences on Mobility in Developing and Industrialized Regions*. Mobile Phone Data for Development.

Mykhailo Krystopchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

Analysis of Indicators of Sustainable Development Urban Passenger Transport System

Establishing the main attributes of population mobility is one of the most important indicators of urban development, which has been studied by domestic and foreign scientists for use in the practice of urban transport planning and the development of sustainable transport systems. Mobility characteristics are also an important source and result for the development of changes in the city master plan and the creation of new management decisions in the operation and operation of the route network of urban passenger transport.

However, at the present stage of implementation of transport studies of urban population movement requires consideration of indicators of sustainable development of urban transport systems. In this regard, a study of the functioning of the passenger transport system of public transport in the city of Rivne in terms of the development of the principles of sustainable urban mobility. The use of the system of indicators of sustainable development of urban passenger transport system allows to assess the current situation in the city and outline promising areas for improving the public transport system in conjunction with the spatial development of urban areas to ensure comfortable movement of residents to meet labor and cultural movements.

The questionnaire "Study of mobility of the population in the city of Rivne" was used as initial data for definition of indicative indicators of functioning of passenger transport system of public transport of the city of Rivne, in the context of its sustainable development. Three indicative parameters are taken into account, namely: the indicator of access to mobility services, the indicator of the possibility of active mobility and the indicator of the level of satisfaction with public transport. Based on the calculated values of indicative indicators, it can be argued that some indicators of sustainable urban mobility for the city of Rivne are of mediocre importance. This indicates the need to develop strategic measures to improve the city's public passenger transport system in conjunction with its spatial development to increase the comfort of movement of residents of all groups.

urban passenger transport, transport system, sustainable development, indicative indicators, matrix of passenger correspondence, efficiency

Одержано (Received) 18.03.2021

Прорецензовано (Reviewed) 30.03.2021

Прийнято до друку (Approved) 26.04.2021

УДК 656.025

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4\(35\).221-231](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2021.4(35).221-231)

О. В. Россолов, доц., канд. техн. наук, **С. Е. Лифенко**

Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, м. Харків, Україна

e-mail: rossolovalex@gmail.com

Оцінка сценаріїв сталого розвитку транспортних систем міст з автомобіле-орієнтованою мобільністю

В статті представлено результати експериментальних досліджень з розробки сценаріїв сталого транспортного обслуговування населення міст. Зроблено акцент на автомобіле-орієнтовану мобільність, яка є небажаною з точки зору плану сталої мобільності. Розроблено модель транспортної пропозиції, яка враховує пропускну спроможність вуличної дорожньої мережі міста Бровари. Поряд з цим проведено моделювання попиту на транспортне обслуговування з імплементацією процедури агрегування площі жилої забудови міста. Проведено оцінку альтернативних сценаріїв транспортного обслуговування, які відрізняються рівнем жорсткості заходів щодо обмежень на пересування в центральній частині міста.

автомобіле-орієнтована мобільність, модель транспортного попиту, модель транспортної пропозиції, екологічний ефект

© О. В. Россолов, С. Е. Лифенко, 2021