

С. В. Козак, доц., канд. екон. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

e-mail: s.v.kozak@nuwm.edu.ua

Дослідження операцій в транспортних системах міського пасажирського транспорту

У статті розглянуто застосування методів дослідження операцій у транспортних системах міського пасажирського транспорту. Проаналізовано особливості функціонування міських транспортних систем як складних соціально-технічних систем, визначено основні задачі оптимізації, що виникають у процесі їх планування та управління. Особливу увагу приділено математичним моделям, методам оптимізації, імітаційному моделюванню та використанню сучасних інформаційних технологій для підвищення ефективності перевезень пасажирів. Також комплексно розглянуто теоретичні та прикладні аспекти застосування методів дослідження операцій у транспортних системах міського пасажирського транспорту. Обґрунтовано доцільність використання оптимізаційних та імітаційних моделей для планування маршрутної мережі, розкладів руху та розподілу рухомого складу. Наведено приклади математичних моделей і критеріїв оптимальності, а також проаналізовано роль сучасних інформаційних технологій у підвищенні ефективності міських пасажирських перевезень.

дослідження операцій, міський пасажирський транспорт, транспортні системи, оптимізація, моделювання, управління перевезеннями

Постановка проблеми. Сучасні міста характеризуються високою інтенсивністю переміщення населення, що створює значне навантаження на систему міського пасажирського транспорту. Ефективність функціонування цієї системи безпосередньо впливає на економічний розвиток міста, рівень мобільності населення, екологічний стан та якість життя громадян. Однією з основних проблем є невідповідність між існуючими параметрами функціонування транспортної системи та реальними потребами пасажирів. Це проявляється у перевантаженості транспортних засобів у години пік, нерівномірності пасажиропотоків, тривалому часі очікування транспорту, нераціональному розподілі рухомого складу по маршрутах, а також у підвищених експлуатаційних витратах транспортних підприємств. Існуюча організація роботи міського пасажирського транспорту часто базується на застарілих підходах або емпіричних рішеннях, що не враховують повною мірою складність і динамічність транспортних процесів. В умовах обмеженості ресурсів, зростання вартості енергоносіїв та збільшення попиту на перевезення виникає необхідність у застосуванні науково обґрунтованих методів управління транспортними системами. Особливої актуальності набуває застосування методів дослідження операцій, які дозволяють формалізувати транспортні процеси у вигляді математичних моделей, врахувати наявні обмеження та визначити оптимальні параметри функціонування системи. Це дає можливість оптимізувати маршрути руху, інтервали руху транспортних засобів, розподіл рухомого складу та зменшити загальні витрати часу і ресурсів. Таким чином, проблема полягає у необхідності розробки та застосування математичних моделей і методів дослідження операцій для оптимізації функціонування системи міського пасажирського транспорту з метою підвищення ефективності перевезень, зменшення витрат та покращення якості обслуговування пасажирів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Публікації з цієї тематики висвітлюють як фундаментальні аспекти дослідження операцій в транспортних системах, так і інноваційні підходи, спрямовані на мінімізацію ризиків транспортної діяльності. Зважаючи на потребу інтеграції в європейське та світове співтовариство, Україна приділяє значну увагу питанням безпеки міського автомобільного транспорту [1, 2]. У роботах багатьох дослідників акцентується увага на важливості технічного стану транспорту [3-5]. Ряд публікацій присвячено вивченню методів підвищення ефективності безпечної організації дорожнього руху та безпечності перевезень [6-8]. Неодноразово підкреслюється важливість людського чинника у забезпеченні безпеки [9-10]. Аналіз досліджень демонструє, що ефективне забезпечення безпечності транспортної діяльності вимагає комплексного підходу. Подальші дослідження мають бути зосереджені на узагальненні стратегій розвитку максимально безпечного транспортного середовища.

Постановка завдання. До найбільш поширених задач, що формалізуються в рамках дослідження операцій, належать: оптимізація маршрутної мережі з урахуванням попиту на перевезення; формування та оптимізація розкладів руху; розподіл рухомого складу між маршрутами; мінімізація експлуатаційних витрат транспортних підприємств; зменшення часу очікування та поїздки пасажирів; підвищення надійності та регулярності руху. У більшості випадків ці задачі мають суперечливі критерії оптимальності, що потребує застосування багатокритеріальних методів оптимізації.

Забезпечення безпечної транспортної діяльності є однією з пріоритетних задач сучасного транспортного сектору. Розвиток безпечного автомобільного транспорту, підвищення інтенсивності перевезень і насиченості транспортних потоків вимагають системного підходу до аналізу та управління безпекою. Постановка завдання у цій сфері передбачає визначення ключових проблем, цілей і шляхів їхнього вирішення. Це дозволить досягти балансу між ефективністю перевезень і мінімізацією ризиків у транспортній сфері.

Виклад основного матеріалу. Міський пасажирський транспорт є складною соціально-економічною та технічною системою, функціонування якої визначає рівень мобільності населення, ефективність економічної діяльності та якість життя в місті. Сучасні умови урбанізації, зростання щільності населення та інтенсивності транспортних потоків зумовлюють необхідність застосування науково обґрунтованих підходів до управління транспортними системами. Одним із найбільш ефективних інструментів вирішення задач планування та управління міським пасажирським транспортом є методи дослідження операцій, що дозволяють формалізувати процеси функціонування транспортної системи, аналізувати різні варіанти її розвитку та визначати найбільш ефективні управлінські рішення.

Транспортна система міського пасажирського транспорту характеризується складною структурою, яка включає маршрутну мережу, рухомий склад, зупиночні пункти, транспортну інфраструктуру та систему управління перевезеннями. Усі ці елементи взаємодіють між собою та формують єдиний транспортний процес, ефективність якого залежить від узгодженості їх функціонування.

Особливістю транспортної системи є також наявність значної кількості випадкових факторів, таких як нерівномірність пасажиропотоків, вплив дорожньої ситуації, погодні умови та технічний стан транспортних засобів. Це обумовлює необхідність застосування методів, що дозволяють враховувати невизначеність та варіативність параметрів системи. Однією з ключових задач дослідження операцій у транспортних системах є оптимізація маршрутної мережі. Раціональна організація маршрутів дозволяє забезпечити максимальне охоплення території міста транспортним

обслуговуванням при мінімальних витратах ресурсів. При цьому враховуються такі фактори, як розташування житлових районів, місць прикладання праці, навчальних закладів, об'єктів соціальної інфраструктури, а також інтенсивність пасажиропотоків між різними районами міста.

Оптимізація маршрутної мережі сприяє скороченню часу поїздки пасажирів, зменшенню кількості пересадок та підвищенню загальної ефективності транспортної системи. Важливим напрямом застосування дослідження операцій є оптимізація розкладів руху транспортних засобів. Рационально складений розклад дозволяє забезпечити рівномірний інтервал руху транспортних засобів, зменшити час очікування пасажирів та підвищити надійність транспортного обслуговування. При цьому враховуються нерівномірність пасажиропотоків у різні періоди доби, пропускна здатність транспортної мережі та технічні характеристики рухомого складу

Оптимізація розкладу руху дозволяє підвищити ефективність використання транспортних засобів та зменшити експлуатаційні витрати. Ще однією важливою задачею є оптимізація використання рухомого складу. Вона полягає у визначенні необхідної кількості транспортних засобів для забезпечення заданого рівня транспортного обслуговування при мінімальних витратах. Недостатня кількість транспортних засобів призводить до перевантаження транспорту та зниження якості обслуговування, тоді як надлишкова кількість спричиняє неефективне використання ресурсів. Застосування методів дослідження операцій дозволяє визначити оптимальний баланс між якістю обслуговування та економічною ефективністю.

Особливе значення має дослідження пасажиропотоків, які є одним з основних факторів, що визначають параметри функціонування транспортної системи. Аналіз пасажиропотоків дозволяє визначити найбільш завантажені ділянки транспортної мережі, оцінити рівень використання транспортних засобів та виявити проблемні зони. На основі отриманих даних можуть прийматися рішення щодо зміни маршрутів, коригування розкладів руху або перерозподілу транспортних засобів.

Для вирішення зазначених задач застосовуються різноманітні методи дослідження операцій, зокрема методи оптимізації, моделювання та аналізу систем. Важливе місце займає моделювання транспортних процесів, яке дозволяє досліджувати поведінку транспортної системи в різних умовах без втручання у її реальне функціонування. Це дає можливість оцінити ефективність різних управлінських рішень, прогнозувати наслідки змін у транспортній системі та обирати найбільш ефективні варіанти її розвитку.

Сучасний розвиток інформаційних технологій значно розширив можливості застосування методів дослідження операцій у транспортних системах. Використання автоматизованих систем збору даних, систем супутникової навігації та інформаційних систем управління транспортом дозволяє отримувати детальну інформацію про функціонування транспортної системи в режимі реального часу. Це створює умови для оперативного управління транспортними процесами, підвищення ефективності використання ресурсів та покращення якості транспортного обслуговування.

Важливим напрямом розвитку є інтеграція методів дослідження операцій з інтелектуальними транспортними системами. Такі системи забезпечують автоматизований аналіз транспортної ситуації, прогнозування пасажиропотоків та підтримку прийняття управлінських рішень. Це дозволяє підвищити адаптивність транспортної системи до змінних умов функціонування та забезпечити більш ефективне використання транспортної інфраструктури.

Застосування методів дослідження операцій у транспортних системах міського пасажирського транспорту має важливе практичне значення. Воно дозволяє підвищити ефективність функціонування транспортної системи, зменшити витрати на її експлуатацію, покращити якість транспортного обслуговування населення та підвищити рівень задоволеності пасажирів. Крім того, оптимізація транспортних процесів сприяє зменшенню негативного впливу транспорту на навколишнє середовище шляхом зниження рівня перевантаження транспортної мережі та більш ефективного використання ресурсів.

Таким чином, дослідження операцій є важливим інструментом підвищення ефективності функціонування транспортних систем міського пасажирського транспорту. Його застосування дозволяє обґрунтовано вирішувати задачі планування, управління та розвитку транспортних систем, забезпечуючи їх ефективність, надійність та відповідність сучасним вимогам міського середовища. У практиці управління міським пасажирським транспортом застосовується широкий спектр методів дослідження операцій, які дозволяють аналізувати, прогнозувати та оптимізувати транспортні процеси без надмірної математичної формалізації. Оптимізаційні методи використовуються для прийняття управлінських рішень щодо формування маршрутної мережі, вибору кількості транспортних засобів та визначення інтервалів руху. Основною метою є досягнення балансу між витратами перевізника та рівнем транспортного обслуговування пасажирів.

Таблиця 1– Основні критерії оптимізації в міському пасажирському транспорті

| Критерій оптимізації | Характеристика |
|-----------------------------|---|
| Час поїздки | Середній час пересування пасажира від пункту відправлення до пункту призначення |
| Інтервал руху | Час між прибуттям транспортних засобів на зупинку |
| Експлуатаційні витрати | Витрати на паливо, електроенергію, технічне обслуговування |
| Комфорт пасажирів | Рівень заповнення салону, умови поїздки |

Теорія масового обслуговування застосовується для аналізу роботи зупинок громадського транспорту, терміналів та пересадкових вузлів. Вона дозволяє оцінити середній час очікування пасажирів, рівень завантаження транспортних засобів та пропускну спроможність елементів транспортної інфраструктури.

Імітаційне моделювання дає змогу відтворювати роботу транспортної системи в умовах, максимально наближених до реальних. Такі моделі враховують випадкові затримки, зміну пасажиропотоків протягом доби та вплив зовнішніх факторів. Для оцінювання ефективності роботи міського маршруту доцільно використовувати систему показників, що характеризують як інтереси перевізника, так і потреби пасажирів.

Таблиця 2 – Основні показники ефективності роботи маршруту

| Показник | Опис |
|-------------------------|--|
| Середній час очікування | Час перебування пасажирів на зупинці |
| Коефіцієнт заповнення | Відношення фактичної кількості пасажирів до місткості салону |
| Регулярність руху | Відхилення фактичного графіка від планового |
| Продуктивність маршруту | Кількість перевезених пасажирів за певний період |

Аналіз зазначених показників дозволяє виявити «вузькі місця» в роботі маршруту та обґрунтувати управлінські рішення щодо його вдосконалення. Використання GPS-моніторингу, автоматизованих систем обліку пасажирів та аналітики великих даних дозволяє підвищити точність моделей та забезпечити адаптивне управління транспортними процесами в реальному часі.

Висновки. У результаті дослідження встановлено, що застосування методів дослідження операцій є ефективним інструментом підвищення ефективності функціонування міського пасажирського транспорту. Використання математичних моделей дозволяє формалізувати процеси перевезення пасажирів, врахувати обмеження ресурсів і визначити оптимальні параметри роботи транспортної системи. Було визначено, що оптимізація маршрутної мережі та розкладу руху дозволяє: зменшити час очікування пасажирів; підвищити рівень обслуговування населення; знизити експлуатаційні витрати транспортних підприємств; підвищити ефективність використання рухомого складу; забезпечити більш раціональний розподіл транспортних ресурсів. Методи лінійного програмування, теорії масового обслуговування та імітаційного моделювання дозволяють отримати оптимальні або близькі до оптимальних рішення в умовах складної транспортної системи. Таким чином, застосування дослідження операцій у системах міського пасажирського транспорту є важливим науковим і практичним напрямом, який дозволяє підвищити ефективність управління транспортними процесами, покращити якість перевезень та забезпечити сталий розвиток міської транспортної інфраструктури. Вирішення цієї проблеми дозволить забезпечити раціональне використання транспортних ресурсів, підвищити ефективність управління транспортною системою та покращити рівень транспортного обслуговування населення міста.

Список літератури

1. Хіллер Ф., Ліберман Дж. Вступ до дослідження операцій. Київ : Видавництво НТУ, 2015. 856 с.
2. Цедер А. Планування та експлуатація громадського транспорту. Львів : ЛНУ, 2018. 412 с.
3. Вучик В. Міські транспортні системи та технології. Київ : Транспорт України, 2016. 520 с.
4. Ортузар Х., Віллумсен Л. Моделювання транспортних систем. Харків : ХНАДУ, 2017. 486 с.
5. Про затвердження Державної стратегії розвитку міського електричного транспорту : Постанова Кабінету Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua> [in Ukrainian].
6. Кристочук М. Є., Хітров І. О. Організація пасажирських перевезень у містах. Рівне : НУВГП, 2021. 198 с.
7. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В. Критерії ефективності функціонування транспортних систем. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». 2018. Вип. 62. С. 12–16.
8. Ceder A. Public Transit Planning and Operation. CRC Press, 2016. 626 p.
9. Ortúzar J., Willumsen L. Modelling Transport. Wiley, 2011. 607 p.
10. Vuchic V. Urban Transit Systems and Technology. Wiley, 2007. 602 p.

References

1. Hillier, F. & Lieberman, G. (2015). Introduction to Operations Research. Kyiv: NTU Publishing House [in Ukrainian].
2. Ceder, A. (2018). Public transport planning and operation. Lviv [in Ukrainian].
3. Vuchic, V. (2016). Urban transport systems and technologies. Kyiv [in Ukrainian].
4. Ortúzar, J. & Willumsen, L. (2017). Modelling transport systems. Kharkiv [in Ukrainian].
5. Cabinet of Ministers of Ukraine. State strategy for the development of urban electric transport. Retrieved from: <https://zakon.rada.gov.ua> [in Ukrainian].
6. Krystopchuk, M. & Khitrov, I. (2021). Organization of passenger transportation in cities. Rivne [in Ukrainian].
7. Aulin, V., Holub, D. & Hrynkiv, A. (2018). Criteria for transport system efficiency. Scientific Notes. 62, 12–16 [in Ukrainian].
8. Ceder, A. (2016). Public Transit Planning and Operation. CRC Press.
9. Ortúzar, J. & Willumsen, L. (2011). Modelling Transport. Wiley.
10. Vuchic, V. (2007). Urban Transit Systems and Technology. Wiley.

Svetlana Kozak, Assoc. Prof., PhD econ.. sci.

National University of Water and Environmental Engineering, Ukraine

Operations Research in Urban Passenger Transport Systems

The article examines the application of operations research methods in urban passenger transport systems. Urban transport systems are considered as complex socio-technical systems characterized by dynamic operation, multicriteria decision-making, and stochastic passenger demand. The main optimization problems arising in the planning and management of passenger transportation are identified, including the design of route networks, timetable development, and allocation of rolling stock. The feasibility of using optimization methods and simulation modeling to improve the efficiency of urban passenger transport operation is substantiated. The role of modern information technologies in enhancing service quality and ensuring rational use of transport resources is analyzed.

operations research, urban passenger transport, transport systems, optimization, modeling, transport management

Одержано (Received) 26.02.2026

Прорецензовано (Reviewed) 04.03.2026

Прийнято до друку (Approved) 12.03.2026