

УДК 004.94:656

МОДЕЛЮВАННЯ ПАСАЖИРОПОТОКІВ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Демченко Д.О., Урняєва І.А.

e-mail: dmytro.demchenko3@nure.ua, inna.urniaieva@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. СТ
м. Харків, Україна

This work is dedicated to assessing the efficiency of public transportation systems through the application of queuing theory to model passenger flows and optimize service schedules. The study examines key factors influencing public transport operations, such as passenger waiting times, vehicle occupancy levels, and the economic feasibility of adjusting transport frequency. A comparative analysis of different scheduling strategies is conducted, focusing on the balance between service costs and passenger satisfaction. The findings indicate that an optimized transport system, which dynamically adjusts vehicle allocation based on projected demand, can minimize costs while maintaining an adequate level of service.

Громадський транспорт відіграє ключову роль у функціонуванні міських систем, забезпечуючи мобільність населення та зменшуючи навантаження на дорожню інфраструктуру [1, 2]. Ефективне управління транспортними потоками та оптимізація маршрутів можуть значно покращити рівень обслуговування пасажирів і водночас знизити витрати. В даній роботі пропонується розглянути застосування методів теорії черг для аналізу пасажиропотоків та економічної доцільності змін у графіках руху громадського транспорту [3, 4].

Модель громадського транспорту ґрунтується на зупинках із унікальними ідентифікаторами, транспортних засобах із фіксованими маршрутами та графіками, а також системі збору даних про пасажиропотік. В рамках моделювання пасажиропотоків система дозволяє аналізувати завантаженість транспортних засобів і зупинок, використовуючи реальні вхідні дані, такі як кількість пасажирів, що зайшли на певній зупинці в конкретний транспортний засіб, унікальні ідентифікатори рейсів та маршрути.

У транспортних засобах використовуються валідатори, що фіксують кількість пасажирів, які здійснили посадку, та камери відеоспостереження, що допомагають визначати загальне завантаження транспорту в конкретний момент часу. GPS-трекери забезпечують моніторинг місцезнаходження транспортних засобів у реальному часі.

Оскільки система отримує усереднені дані щодо пасажиропотоків за різні періоди дня (наприклад, будні дні протягом одного місяця), можна припустити, що транспортні засоби курсують у певній послідовності, змінюючи

свою місткість відповідно до прогнозованого навантаження. Введення змінних для оптимізації заповнюваності транспортних засобів дозволяє оцінити ефективність змін у розкладі руху. Це також дає можливість адаптивного планування ресурсів, що сприяє зменшенню простоїв транспорту та значному підвищенню рівня обслуговування пасажирів.

Для оцінки ефективності роботи системи громадського транспорту використовується теорія черг, яка дозволяє моделювати взаємозв'язок між частотою руху транспорту, кількістю пасажирів на зупинках та рівнем завантаженості транспортних засобів. Основними параметрами є [5]:

- середній час очікування пасажирів на зупинці,
- середнє завантаження транспортного засобу,
- рівень незадоволеності пасажирів через переповненість транспорту.

Класична теорія черг описує ситуації, в яких клієнти (пасажирів) перебувають у систему обслуговування (громадський транспорт) і очікують на обслуговування (поїздки).

Основна відмінність між класичними чергами, такими як черга до каси чи в медичній установі, та громадським транспортом полягає в тому, що в останньому випадку пасажирів не просто чекають на вільний ресурс, а також враховують комфорт та швидкість обслуговування. У класичній системі черг час очікування може бути безпосередньо зменшений шляхом збільшення кількості серверів (каси, лікарів), у той час як у транспортній системі додавання більшої кількості одиниць транспорту має економічний ліміт, оскільки перевантаження транспортної мережі також може знижувати ефективність системи.

Крім того, у громадському транспорті пасажирів можуть змінювати свій вибір маршруту або виду транспорту залежно від рівня завантаженості, що робить систему ще більш динамічною. Таким чином, ефективне планування та прогнозування пасажиропотоків є необхідним для забезпечення збалансованої роботи транспортної мережі.

Економічна оцінка системи враховує такі компоненти:

1. Витрати на закупівлю та утримання транспортних засобів.
2. Витрати на експлуатацію (паливо, електроенергія, заробітна плата персоналу).
3. Витрати на страхування, оренду інфраструктури.
4. Непрямі витрати, зокрема витрати міста на розвиток альтернативних видів мобільності у разі незадоволеного попиту на громадський транспорт.

Важливим інструментом для аналізу економічної ефективності є графічне представлення залежності між витратами на постачання транспортного сервісу та рівнем задоволеності пасажирів. Як показано на графіку (рис. 1), загальна ціна системи є сумою витрат на обслуговування транспортних засобів та витрат, пов'язаних із незадоволеністю пасажирів.



Рисунок 1 – Графічне представлення

При недостатній частоті транспорту зростає рівень незадоволеності пасажирів, що може призводити до переходу частини населення на особистий транспорт, збільшуючи навантаження на інфраструктуру міста. Оптиміальна точка знаходиться на перетині мінімальних витрат і достатнього рівня обслуговування.

Список використаних джерел:

1. Dupas R., Grebennik I., Litvinchev I., Romanova T., Chorna O. Solution Strategy for One-to-One Pickup and Delivery Problem Using the Cyclic Transfer Approach // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 2020. Vol. 7, Issue 27, e5. URL: <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.13-7-2018.164110> (дата звернення: 12.03.2025).
2. Grebennik I., Dupas R., Lytvynenko O., Urniaieva I. Scheduling Freight Trains in Rail-rail Transshipment Yards with Train Arrangements // International Journal of Intelligent Systems and Applications (IJISA). 2017. Vol. 9, No. 10. P.12–19. URL: [10.5815/ijisa.2017.10.02](https://doi.org/10.5815/ijisa.2017.10.02) (дата звернення: 12.03.2025).
3. Вакуленко К. Є., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/33759816.pdf> (дата звернення: 05.03.2025).
4. Ільчук Н. І. Міський транспорт : навч. посіб. Луцьк : РВВ ЛНТУ, 2010. 96 с. URL: <https://lib.lntu.edu.ua/sites/default/files/2021-03/Посібник%20МТ.pdf> (дата звернення: 05.03.2025).
5. Frederick S. Hillier, Gerald J. Lieberman. Introduction to Operations Research. 7th Edition. McGraw-Hill Science, 2002. 1214 p.