

4. V. Volkov, N. Vnukova, I. Taran, O. Pozdnyakova, T. Volkova. Influence of diesel vehicles on the biosphere / *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, № 5. – P.94-99. (ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2021, No 5. <https://doi.org/10.33271/nvngu/20215/094>) Scopus.

5. V. Volkov, M. Sklyarov, I. Taran, O. Shapovalov, A. Yaruta, T. Volkova. Characterization of Light Commercial Vehicles' Brake Booster Operations from In-math Simulation *Transport Means 2024. Proceedings of the 28th International Scientific Conference*. P. 1002-1007 <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2024.P1002-1007>

6. Volkov, V., Kuzhel, V., Volkova, T. (2025). Determination of the Environmental Component Life Cycle of a Vehicle. In: Slavinska, O., Danchuk, V., Kunytska, O., Hulchak, O. (eds) *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort. ITSESQC 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1335. P. 320-331. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8\\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-031-87376-8_28).

УДК 656.072

**БАГАТОРІВНЕВА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЗУПИННОГО ПУНКТУ МПТ НА СЕРВІСНО-РЕСУРСНІ ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ РУХОМОГО СКЛАДУ**

Вдовиченко В., д.т.н., професор кафедри  
транспортних технологій

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет*

У системі міського пасажирського транспорту (МПТ) ефективність функціонування рухомого складу значною мірою залежить від умов обслуговування пасажирів на зупинних пунктах. Саме ці елементи транспортної інфраструктури є точками інтенсивної взаємодії пасажирських потоків і транспортних засобів, де відбувається посадка, висадка, а також формуються затримки, що впливають на дотримання графіків руху, стабільність маршрутної мережі й загальну якість транспортного обслуговування. Особливо актуальним є питання оцінки впливу завантаження зупинного пункту на сервісно-ресурсні характеристики роботи рухомого складу в умовах нерівномірного попиту, обмежених пропускних можливостей та змін зовнішнього середовища.

Традиційні підходи до аналізу ефективності роботи громадського транспорту часто базуються на середньостатистичних показниках [1-4], які не враховують складну багаторівневу взаємозалежність між інтенсивністю пасажиропотоку, часом обслуговування на зупинках, втратами рухомого часу та зростанням експлуатаційних витрат. У той же час сучасні умови експлуатації вимагають точнішої діагностики критичних точок транспортної системи, що впливають на її стабільність, надійність та економічну доцільність.

У дослідженні пропонується підхід до багаторівневої оцінки впливу завантаження зупинного пункту на ефективність роботи рухомого складу, що охоплює як сервісні показники (середній час затримки, регулярність руху, комфортність обслуговування пасажирів), так і ресурсні характеристики (витрати пального або електроенергії, знос транспортних засобів, потреба в резервних одиницях). Запропонована модель дозволяє здійснити системний аналіз з урахуванням змін у структурі пасажиропотоку, часу доби, типу транспорту та особливостей інфраструктури. Мета дослідження полягає у розробці науково обґрунтованого підходу до оцінки впливу завантаженості зупинок на загальну

ефективність роботи рухомого складу МПТ, а також у формуванні практичних рекомендацій для диспетчеризації, планування інтервалів руху та підвищення рівня обслуговування в умовах змінного попиту.

Проблематика взаємозв'язку між інтенсивністю пасажиропотоку на зупинках міського пасажирського транспорту (МПТ) та ефективністю експлуатації рухомого складу досліджується у багатьох роботах, присвячених транспортному моделюванню, оптимізації маршрутної мережі та підвищенню якості транспортного обслуговування. Зокрема, акцентується увага на важливості урахування часу затримки на зупинках у системах диспетчеризації та при побудові прогнозних моделей заторів. Дослідження показали, що перевантажені зупинки стають вузьким місцем, яке викликає каскадні затримки в русі транспорту по маршруту.

В окремих роботах продемонстровано зв'язок між середнім часом перебування транспортного засобу на зупинці та коефіцієнтом заповнення салону, часом посадки/висадки одного пасажирів та геометрією зупинного пункту. Вони також зазначили, що перевищення критичного рівня завантаження призводить до нелінійного зростання часу простою й витрат енергії, а це безпосередньо впливає на загальні експлуатаційні показники.

У роботах європейських дослідників окрему увагу приділено показникам регулярності руху, яка порушується внаслідок скупчення пасажирів на зупинках у години пік. Ці дослідження підкреслюють, що для забезпечення стабільного руху необхідне динамічне регулювання інтервалів і гнучке управління потоком транспортних засобів.

Окрему групу досліджень становлять роботи, присвячені оптимізації роботи рухомого складу на основі обліку мікропараметрів зупинок, таких як довжина посадкової платформи, наявність технологічного відстою, тип організації посадки (одностороння чи двостороння). Дослідження показали, що правильне планування часу обслуговування на зупинках може зменшити до 15 % експлуатаційних витрат автобусного парку при незмінному обсязі перевезень.

Проте, незважаючи на наявність значної кількості робіт, більшість з них зосереджені на окремих аспектах проблеми - або на сервісних показниках, або на ресурсних витратах. Недостатньо уваги приділено комплексному, багаторівневому підходу, який одночасно враховує вплив завантаження зупинок на комфорт пасажирів, регулярність руху та техніко-економічні показники роботи рухомого складу. Таким чином, існує потреба у розробці цілісної моделі, яка дозволить об'єктивно оцінити та збалансувати ці аспекти в єдиному аналітичному середовищі.

Для оцінки впливу завантаження зупинного пункту на сервісно-ресурсні показники ефективності роботи рухомого складу міського пасажирського транспорту (МПТ) у даному дослідженні застосовано багаторівневий методичний підхід, який поєднує елементи транспортного моделювання, імітаційного аналізу та мультикритеріального оцінювання.

Перший рівень передбачає збір і попередню обробку емпіричних даних, які охоплюють:

- обсяг пасажиропотоку на зупинному пункті (у розрізі годин доби);
- середню тривалість посадки та висадки одного пасажирів;
- технічні характеристики рухомого складу (тип, місткість, дверний проріз тощо);
- параметри інфраструктури зупинки (довжина, ширина, кількість смуг, наявність кишені);
- фактичний час простою транспортних засобів.

На другому рівні здійснюється формалізація показників, що відображають ефективність функціонування рухомого складу. До сервісних показників віднесено:

- середній час очікування пасажирів;
- частоту відхилень від графіка;
- коефіцієнт регулярності руху;
- середній рівень заповнення транспортного засобу.

До ресурсних показників:

- витрати енергії (паливного або електроенергії) на кожну поїздку;
- середню кількість зупинок із перевищенням нормативного часу простою;
- показники зносу транспортного засобу, пов'язані з частими стартами й гальмуванням;

- потребу у резервному русі або дублюванні маршруту в пікові години.

На третьому рівні застосовується імітаційна модель, яка дозволяє аналізувати зміну сервісно-ресурсних показників залежно від ступеня завантаження зупинки. Для цього розроблено комп'ютерну модель, що імітує обслуговування пасажирів на зупинці в різних сценаріях (низьке, середнє, високе навантаження). Змінними параметрами моделі є інтенсивність прибуття пасажирів, інтервали руху, тривалість операцій посадки/висадки.

На четвертому рівні реалізується багатокритеріальне оцінювання впливу з використанням методу аналітичної ієрархії та нормалізації показників за шкалою корисності. Це дозволяє оцінити сумарний ефект від зміни завантаження зупинки на сукупну ефективність роботи транспортної одиниці з урахуванням вагових коефіцієнтів для кожного з критеріїв (визначених експертним шляхом або з використанням статистичного аналізу чутливості).

Такий підхід дозволяє не лише кількісно оцінити наслідки надмірного завантаження окремих зупинок, але й сформулювати практичні рекомендації щодо їхньої оптимізації: зміни конфігурації, організації посадки/висадки, регулювання графіків руху, перерозподілу пасажиропотоку або застосування транспортних засобів більшої місткості.

Багаторівнева оцінка впливу завантаження зупинного пункту міського пасажирського транспорту (МПТ) знаходить практичне застосування у транспортному плануванні низки міст, де актуальними є проблеми нерівномірного пасажиропотоку, затримок на маршрутах та перевитрат експлуатаційних ресурсів. Один з показових прикладів реалізації такого підходу спостерігається в місті Варшава (Польща), де на основі даних з електронного квитка, GPS-моніторингу рухомого складу та відеоаналітики було здійснено оцінку впливу пасажиронавантаження на ключових зупинках трамвайної мережі на загальний графік руху. Результати аналізу виявили, що понад 18 % зупинок у години пік спричиняють систематичні відхилення у розкладі більше ніж на 2 хв., що вимагає динамічного регулювання інтервалів руху та зміни типу транспортних засобів на маршрутах з найвищим навантаженням. У відповідь на ці дані транспортний оператор впровадив систему прогнозування затримок на основі багаторівневої моделі, яка враховує завантаженість зупинок, швидкість руху та погодні умови. Інший приклад спостерігається у місті Гельсінкі (Фінляндія), де проведено оцінювання ефективності роботи автобусів з урахуванням інтенсивності пасажиропотоку на зупинках центральної частини міста. Багаторівневий підхід дозволив визначити перелік «критичних» зупинок, на яких надмірне скупчення пасажирів призводило до втрати регулярності та збільшення циклічного часу рейсів.

На основі отриманих даних було оптимізовано логіку роботи світлофорного регулювання, а також змінено конфігурацію зупинок - зокрема запроваджено двосекційні платформи з диференційованим обслуговуванням. У результаті середній час затримки на критичних зупинках скоротився на 12 %, а загальні витрати пального зменшились на 6 %. Усі зазначені приклади демонструють практичну ефективність застосування багаторівневої методики аналізу завантаження зупинок МПТ. Такий підхід дозволяє не лише точно ідентифікувати «вузькі місця» в мережі, але й формувати збалансовані техніко-організаційні рішення, що водночас покращують сервіс для пасажирів і зменшують експлуатаційні витрати операторів транспорту.

У результаті проведеного дослідження було обґрунтовано науковий підхід до багаторівневої оцінки впливу завантаження зупинного пункту міського пасажирського транспорту на ефективність роботи рухомого складу. Встановлено, що зупинки з підвищеним пасажиронавантаженням мають суттєвий вплив не лише на сервісні характеристики транспортного обслуговування, такі як час очікування, регулярність руху та комфорт пересування, а й на ресурсні параметри — витрати пального, знос обладнання, потребу в додаткових транспортних одиницях.

Отримані результати можуть бути використані при прийнятті управлінських рішень щодо реконструкції зупинок, оптимізації маршрутних схем, регулювання інтервалів руху та впровадження адаптивних систем диспетчеризації. Перспективи подальших досліджень пов'язані з інтеграцією даних в реальному часі, моделюванням поведінки пасажирів і прогнозуванням динаміки завантаження з урахуванням сезонних та соціально-економічних факторів.

### Література

1. Nagorny Y.V., Ivanov I.E. Structure of passenger transport service utility for population. *Science and Transport Progress*. 2021. №2(92). 5-16. <https://doi.org/10.15802/stp2021/237286>
2. Daraio C., Diana M., Di Costa F., Leporelli C., Matteucci G., Nastasi A. Efficiency and effectiveness in the urban public transport sector: a critical review with directions for future research. *European Journal of Operational Research*. 2016. 248(1). 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.059>
3. Świdorski A., Jóźwiak A., Jachimowski R. Operational quality measures of vehicles applied for the transport services evaluation using artificial neural networks. *Eksploracja i Niezawodność - Maintenance and Reliability*. 2018. 20(2). 292-299. <https://doi.org/10.17531/ein.2018.2.16>
4. Ayadi A., Hammami S. An analysis of the performance of public bus transport in Tunisian cities. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2015. 75. 51-60. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.03.009>