

С.Е. Лифенко, Д.П. Понкратов, В.В. Сабадаш

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

ДО ПИТАННЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТАЛОСТІ МІСЬКОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

У статті запропоновано критерій ефективності оцінки проектних рішень щодо забезпечення сталості транспортної системи міста, що сприяють зменшенню використання індивідуального автомобільного транспорту. На підставі опрацювання статистичних даних встановлено розподіл легкових автомобілів за видами палива, який у подальшому має бути врахований під час визначення показників економічної та екологічної ефективності.

Ключові слова: транспортна система міста, сталий розвиток, управління попитом на транспортні послуги, індивідуальний автомобільний транспорт, вид палива.

Постановка проблеми

Сучасні транспортні проблеми у багатьох містах світу викликані високим рівнем автомобілізації їх населення та високою частотою користування індивідуальними автомобілями. Незважаючи на низку переваг застосування індивідуальних автомобілів як засобу пересування (висока швидкість сполучення, можливість вибору маршруту та здійснювати пересування у зручний час, висока комфортабельність тощо), невідповідність розвитку автомобілізації наявній транспортній інфраструктурі призводить до формування транспортних заторів, що мають низку негативних наслідків, які роблять використання індивідуальних автомобілів менш ефективними. До таких наслідків відносять зростання часу транспортних затримок, зменшення швидкостей руху та відповідно зростання часу пересування, більш інтенсивне споживання не відновлювальних джерел енергії. Не менш нагальними є питання забезпечення безпеки дорожнього руху та покращення екологічної ситуації у містах. На теперішній час перспективним способом вирішення транспортних проблем міст вважається застосування концепції сталого розвитку транспортних систем міст та методології управління попитом на транспортні послуги.

Обґрунтування проектних рішень щодо забезпечення сталості транспортних систем міст має бути засновано на модельному підході та передбачати всебічну їхню оцінку за низкою соціальних, економічних та екологічних показників ефективності. Адекватність транспортних моделей та точність оцінки наслідків проектних рішень мають вирішальне значення для вибору найбільш доречного комплексу заходів щодо забезпечення сталості транспортних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Під час встановлення причин виникнення транспортних проблем міст оперують такими поняттями як автомобіле-центричне планування (*car-centric planning*) та залежність від легкових автомобілів (*car dependency*) [1-3].

Залежність від легкових автомобілів має прояв у високому рівні автомобілізації населення та переважаючій питомій вазі пересувань з використанням індивідуальних автомобілів у загальному обсязі міської мобільності. За даними Eurostat [4] у 2022 році середня кількість легкових автомобілів на 1000 жителів у Європейському Союзі склала 560 од., що є на 14,3 % більше ніж у порівнянні з 2012 р. (490 од.).

Автомобіле-центричне планування являє собою різновид транспортної політики за якої акцент робиться на планування міської території та розвиток інфраструктури транспорту з першочерговим фокусом на користування індивідуальними автомобілями. Така політика зазнала значного поширення у країнах західної Європи та США та згодом показала свою недосконалість, оскільки удосконалення умов дорожнього руху шляхом реконструкції та розвитку вулично-дорожньої мережі міст, створення сприятливих умов для паркування транспортних засобів, впровадження системи міських швидкісних доріг, облаштування розв'язок у різних рівнях тощо, дає змогу покращити транспортну ситуацію в короткостроковій перспективі, але не сприяє вирішенню транспортної проблеми у довгостроковому плані. Створення сприятливих умов для використання легкових автомобілів робить цей спосіб пересування більш ефективним та відповідно спонукає подальший розвиток автомобілізації та підвищення частоти використання легкових

автомобілів. Такий підхід загалом не вирішує транспортну проблему, а відтермінує її вирішення на більш пізній період. Зазначений феномен відомий як замкнене коло розвитку автомобіле-центричних міст [1].

Натомість сучасним підходом щодо вирішення транспортних проблем з акцентом на довгострокову перспективу є концепція сталого розвитку. Рішення, що приймаються в межах цієї концепції мають бути ефективними в трьох аспектах: соціальному, економічному та екологічному. Згідно з цією концепцією акцент робиться на забезпечення міської мобільності з використанням більш сталих порівняно з індивідуальними автомобілями способів пересувань, до яких відносять активні пересування (пересування пішки, велосипедом), користування громадським транспортом, розповсюдження шерингової мобільності (сумісного використання транспортних засобів) у різних способах її реалізації [5-7].

Методологічною основою забезпечення керуючих впливів щодо поширення сталих способів пересувань є управління попитом на транспортні послуги. За характером впливу заходи з управління попитом поділяють на ті, що стримують застосування індивідуальних автомобілів та ті, що сприяють переходу на більш сталі способи пересування [8, 9].

Оцінювання результативності проектних рішень щодо забезпечення сталості міської транспортної системи здебільшого передбачає окремий аналіз їх наслідків за низкою економічних, соціальних та екологічних показників ефективності. Натомість більш прийнятним є застосування багатокритеріального підходу, що передбачає формування комплексного критерію ефективності [10]. Також, під час оцінювання вагомості значення має встановлення окремих специфічних чинників, що впливають на точність оцінки та мають місцевий контекст. Одним з таких чинників є розподіл легкових автомобілів за видом палива, що споживається.

Мета статті

Формування комплексного критерію оцінки ефективності проектних рішень щодо забезпечення сталості міської транспортної системи та встановлення специфічних чинників точності оцінних розрахунків.

Виклад основного матеріалу

Впровадження заходів з управління попитом на транспортні послуги сприяє скороченню використання індивідуальних автомобілів, та, як наслідок, зменшенню рівня заторів, підвищенню швидкостей руху, зниженню викидів шкідливих

речовин у відпрацьованих газах автомобілів. Такі зміни забезпечують корисний ефект не тільки в сфері пересувань приватними автомобілями, але й позначаються на підвищенні ефективності роботи наземного маршрутного пасажирського транспорту та міських вантажних автомобільних перевезень.

Під час оцінки результативності проектних рішень щодо забезпечення сталості функціонування транспортних систем міст та їхнього впливу на параметри роботи індивідуального автомобільного транспорту слід враховувати соціальні, економічні та екологічні показники ефективності. До економічних показників слід віднести експлуатаційні витрати власників транспортних засобів. Як соціальні слід розглядати витрати часу користувачів індивідуальних автомобілів на пересування. Під час оцінки екологічних наслідків має бути встановлено рівень викидів шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів.

Для сукупної оцінки зазначених показників ефективності їх потрібно привести до загальних одиниць вимірювання. У цьому випадку доцільно виконувати приведення показників витрат часу та екологічних наслідків до грошового вимірювання.

Відповідно комплексний критерій ефективності може бути представлений у наступному вигляді:

$$C_{\text{сукуп}}^{IAT} = C_{\text{год}}^{IAT} + C_{\text{експл}}^{IAT} + C_{\text{еколог}}^{IAT} \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $C_{\text{год}}^{IAT}$ - вартісна оцінка витрат часу користувачів індивідуальних автомобілів на пересування, грн.;

$C_{\text{експл}}^{IAT}$ - експлуатаційні витрати власників індивідуальних автомобілів, грн.;

$C_{\text{еколог}}^{IAT}$ - вартісна оцінка екологічних наслідків транспортного процесу, грн.

Вартісна оцінка витрат часу користувачів індивідуальних автомобілів на пересування може бути встановлена виходячи із залежності:

$$C_{\text{год}}^{IAT} = \sum_i^n \sum_j^n \sum_k^K \frac{L_{ij}^k}{V_{ij}^{IATk}} \cdot h_{ij}^k \cdot \beta_{\text{год}}^{IAT} \cdot \gamma^{IAT}, \quad (2)$$

де V_{ij}^{IATk} - середня швидкість руху легкових автомобілів між транспортними районами i та j шляхом пересування k , км/год;

L_{ij}^k - пробіг легкових автомобілів під час здійснення пересування між транспортними районами i та j шляхом k , км;

h_{ij}^k - величина транспортної кореспонденції, що реалізується між транспортними районами i та j шляхом пересування k , авт.;

$\beta_{год}^{LAT}$ - вартісна оцінка витрат часу на пересування користувачів індивідуального автомобільного транспорту, грн./год.

γ^{LAT} - коефіцієнт використання пасажиромісткості легкових автомобілів.

Загальні експлуатаційні витрати власників індивідуальних автомобілів можуть бути визначені виходячи з такої залежності:

$$C_{експл}^{LAT} = \sum_i^n \sum_j^n \sum_k^K \left(C_{зм}^{LAT} + \frac{C_{пост}^{LAT}}{V_{ij}^{LATk}} \right) \cdot L_{ij}^k \cdot h_{ij}^k, \quad (3)$$

де $C_{зм}^{LAT}$ - змінна складова експлуатаційних витрат, грн./км;

$C_{пост}^{LAT}$ - постійна складова експлуатаційних витрат, грн./год.

Показники середньої швидкості руху, пробігу легкових автомобілів та розподілу кореспонденцій між альтернативними шляхами пересування визначаються на підставі проведення модельного розрахунку. Значення змінної та постійної складових експлуатаційних витрат мають бути обґрунтовані виходячи з усередненого транспортного засобу в транспортному потоці.

Оцінка екологічних наслідків ($C_{еколог}^{LAT}$) транспортного процесу передбачає визначення загальних витрат палива на рух транспортних засобів по мережі та проведення вартісної оцінки питомих викидів p -ої забруднюючої речовини в розрахунку на одиницю спожитого q -го виду палива.

Під час встановлення величини експлуатаційних витрат легкових автомобілів та екологічних наслідків транспортного процесу слід враховувати вид двигуна та палива. Для встановлення відсоткового розподілу легкових автомобілів за видом палива, що споживається, було використано інформацію щодо надання адміністративних послуг, пов'язаних з обліком транспортних засобів (первинна реєстрація, вторинна перереєстрація, зняття з обліку тощо), що знаходяться у відкритому доступі на інформаційному ресурсі [11].

На першому етапі було проведено систематизацію масиву даних за видом автомобіля,

видом палива, та підрозділом, яким надавались адміністративні послуги (територіальна ознака).

Поділ легкових автомобілів на групи виконувався за ознакою виду палива, що споживається. Первинний аналіз даних показав, що наявними є певні групи автомобілів питома вага яких є незначною в загальному масиві даних (не перевищує 0,65 %). Наприклад, автомобілі, що працюють виключно на природному газі.

Окрім цього, поширеною групою є автомобілі з бензиновим та дизельним двигуном на яких встановлено газобалонне обладнання. Також наявною є група гібридних автомобілів, що комбінують споживання бензину, дизелю, природного газу та електричної енергії. Внаслідок цього, було прийнято рішення щодо укрупнення масиву даних. Для груп автомобілів, що споживають виключно бензин чи дизельне паливо агрегація не проводилась через значну питому вагу в загальному масиві даних. Остаточо було виділено чотири групи автомобілів за ознакою виду палива, що споживається: бензин, дизель, природний газ, електроенергія. За результатами обробки даних встановлено відсотковий розподіл легкових автомобілів у м. Харкові за видом палива в період з 2013 по жовтень 2024 року (рис. 1).

Виходячи з наведених даних (рис. 1), найбільша частка припадає на бензинові автомобілі, за усіма роками періоду, що аналізується. Відсоток цих автомобілів змінюється від 37,72 (2018 р.) до 64,29% (2013 р.).

Відсоток автомобілів, що працюють на дизельному паливі не суттєво змінюється за роками аналізованого періоду: мінімальна частка – 11,60% (2015 р.), максимальна – 16,75% (2023 р.). Окремої уваги заслуговує аналіз зміни обсягів встановлення газобалонного обладнання на автомобілі з бензиновим двигуном, особливо з 2014 по 2018 роки.

Ймовірною причиною такої тенденції є відмінність у співвідношенні вартості бензинового та газового палива.

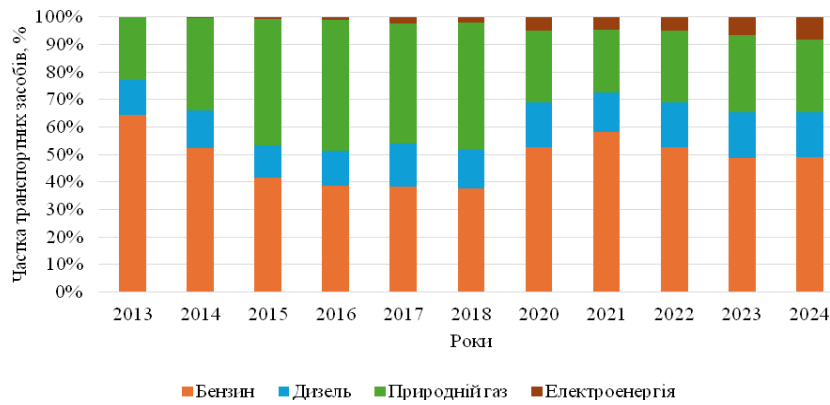


Рис. 1. Розподіл легкових автомобілів у м. Харкові за видом палива

На рис. 2 представлено динаміку вартості палива в Україні за період, що розглядається. Статистичні дані були взяті з інформаційного ресурсу [12]. Для більш коректного, з точки зору, порівняльного аналізу відображення динаміки вартості палива у часі його представлено у доларах

США, згідно до середнього курсу обміну за кожен аналізований рік.

Згідно зі світовими тенденціями спостерігається поступове збільшення частки електричних автомобілів. Мінімальне значення складає – 0,08% (2013 р.), максимальне – 8,04% (2024 р.).

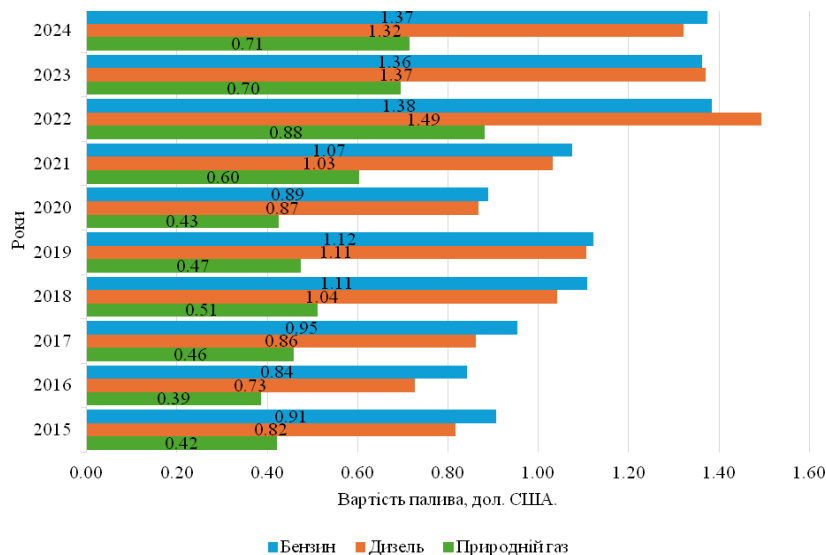


Рис. 2. Динаміка вартості палива в Україні в період з 2015 по 2024 роки

На підставі усереднення даних щодо розподілу легкових автомобілів за видами палива, що споживається було отримано такі результати:

- автомобілі з бензиновим двигуном – 48,58%;
- дизельні автомобілі – 14,63%;
- автомобілі з газобалонним обладнанням – 33,58%;
- електричні автомобілі – 3,21%.

Графічну інтерпретацію отриманих результатів зображено на рис. 3.

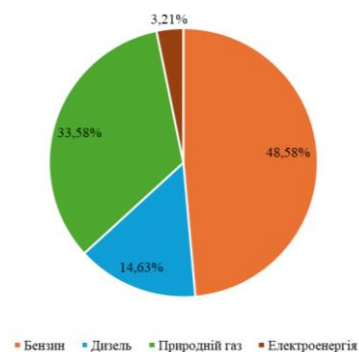


Рис. 3. Усереднений розподіл легкових автомобілів за видами палива, що споживається

Зазначений розподіл легкових автомобілів за видами палива, що споживається, є підставою для встановлення усереднених значень змінних та постійних експлуатаційних витрат власників індивідуальних автомобілів та має бути врахований під час оцінки екологічних наслідків транспортного процесу.

Висновки

У статті запропоновано критерій ефективності оцінки проектних рішень щодо забезпечення сталості транспортної системи міста, що сприяють зменшенню використання індивідуального автомобільного транспорту. Зазначений критерій передбачає комплексну оцінку результативності проектних рішень з позиції економічних, соціальних та екологічних показників ефективності.

На підставі опрацювання статистичних даних встановлено, що для м. Харкова є характерним наступний розподіл легкових автомобілів за видами палива, що споживається: автомобілі з бензиновим двигуном – 48,58%; дизельні автомобілі – 14,63%; автомобілі з газобалонним обладнанням – 33,58%; електричні автомобілі – 3,21%.

Встановлений розподіл легкових автомобілів за видами палива, що споживається, є підставою для встановлення усереднених значень змінних та постійних експлуатаційних витрат власників індивідуальних автомобілів та має бути врахований під час оцінки екологічних наслідків транспортного процесу. Зазначене складає напрямок подальших досліджень.

Література

1. Hrelja, R., Rye, T. (2023). Decreasing the share of travel by car. Strategies for implementing 'push' or 'pull' measures in a traditionally car-centric transport and land use planning. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 446-458.
2. Miner, P., M. Smith, B., Jani, A., McNeill, G., Gathorne-Hardy, A. (2024). Car harm: A global review of automobility's harm to people and the environment. *Journal of Transport Geography*, 115, 103817, 1-17.
3. Saeidizand, P., Fransen, K., Boussauw, K. (2022). Revisiting car dependency: A worldwide analysis of car travel in global metropolitan areas. *Cities*, 120, 1-33.
4. Eurostat. Режим доступу: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240117-1>
5. Janic, M. (2006). Sustainable transport in the European Union: A review of the past research and future ideas. *Transport Reviews*, 26(1), 81-104.
6. Rassafi, A. A., Vaziri, M. (2005). Sustainable transport indicators: definition and integration. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2, 83-96.

7. Gudmundsson, H., Höjer, M. (1996). Sustainable development principles and their implications for transport. *Ecological economics*, 19(3), 269-282.
8. Aytekin, A., Korucuk, S., Görçün, Ö. F. (2024). Determining the factors affecting transportation demand management and selecting the best strategy: A case study. *Transport policy*, 146, 150-166.
9. Qin, X., Ke, J., Wang, X., Tang, Y., Yang, H. (2022). Demand management for smart transportation: A review. *Multimodal Transportation*, 1(4), 1-15.
10. Beria, P., Maltese, I., Mariotti, I. (2012). Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. *European Transport Research Review*, 4, 137-152.
11. Портал відкритих даних. Відомості про транспортні засоби та їх власників. Режим доступу: <https://data.gov.ua/dataset/06779371-308f-42d7-895e-5a39833375f0>
12. Мінфін. Вартість палива на АЗС України. Режим доступу: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/>

References

1. Hrelja, R., Rye, T. (2023). Decreasing the share of travel by car. Strategies for implementing 'push' or 'pull' measures in a traditionally car-centric transport and land use planning. *International Journal of Sustainable Transportation*, 17(5), 446-458.
2. Miner, P., M. Smith, B., Jani, A., McNeill, G., Gathorne-Hardy, A. (2024). Car harm: A global review of automobility's harm to people and the environment. *Journal of Transport Geography*, 115, 103817, 1-17.
3. Saeidizand, P., Fransen, K., Boussauw, K. (2022). Revisiting car dependency: A worldwide analysis of car travel in global metropolitan areas. *Cities*, 120, 1-33.
4. Eurostat. Access mode: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240117-1>
5. Janic, M. (2006). Sustainable transport in the European Union: A review of the past research and future ideas. *Transport Reviews*, 26(1), 81-104.
6. Rassafi, A. A., Vaziri, M. (2005). Sustainable transport indicators: definition and integration. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 2, 83-96.
7. Gudmundsson, H., Höjer, M. (1996). Sustainable development principles and their implications for transport. *Ecological economics*, 19(3), 269-282.
8. Aytekin, A., Korucuk, S., Görçün, Ö. F. (2024). Determining the factors affecting transportation demand management and selecting the best strategy: A case study. *Transport policy*, 146, 150-166.
9. Qin, X., Ke, J., Wang, X., Tang, Y., Yang, H. (2022). Demand management for smart transportation: A review. *Multimodal Transportation*, 1(4), 1-15.
10. Beria, P., Maltese, I., Mariotti, I. (2012). Multicriteria versus Cost Benefit Analysis: a comparative perspective in the assessment of sustainable mobility. *European Transport Research Review*, 4, 137-152.
11. Open data portal. Information about vehicles and their owners. Access mode: <https://data.gov.ua/dataset/06779371-308f-42d7-895e-5a39833375f0>

12. Ministry of Finance. Fuel prices at gas stations in Ukraine. Access mode: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/>

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю.О. Давідіч, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків.

Автор: ЛИФЕНКО Сергій Едуардович аспірант Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, E-mail – lyfenkosergii@gmail.com ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9418-3033>

Автор: ПОНКРАТОВ Денис Павлович доктор технічних наук, доцент Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, E-mail – dpponkratov@gmail.com ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3777-040X>

Автор: САБАДАШ Володимир Вікторович кандидат технічних наук, доцент Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, E-mail – volodymyr.sabadash@kname.edu.ua

ON THE ISSUE OF ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF DESIGN SOLUTIONS TO ENSURE THE SUSTAINABILITY OF THE URBAN TRANSPORT SYSTEM

S. Lyfenko, D. Ponkratov, V. Sabadash

O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

Modern transport problems in many cities around the world are caused by the high level of motorisation of their population and the high frequency of private car use. Despite a number of advantages of using private cars as a means of transport (high speed of communication, the ability to choose a route and travel at a convenient time, high comfort, etc.), the mismatch between the development of motorisation and the existing transport infrastructure leads to traffic congestion, which has a number of negative consequences that make the use of private cars less efficient. These consequences include increased transport delays, reduced traffic speeds and, consequently, increased travel time, and more intensive consumption of non-renewable energy sources. Equally urgent are the issues of road safety and improving the environmental situation in cities. At present, a promising way to solve urban transport problems is to apply the concept of sustainable development of urban transport systems and the methodology of transport demand management.

The justification of design solutions to ensure the sustainability of urban transport systems should be based on a model approach and include a comprehensive assessment of a number of social, economic and environmental performance indicators. The adequacy of transport models and the accuracy of the assessment of the consequences of design decisions are crucial for choosing the most appropriate set of measures to ensure the sustainability of transport systems.

The article proposes an efficiency criterion for evaluating design solutions to ensure the sustainability of the city's transport system, which contribute to reducing the use of private car. This criterion provides for a comprehensive assessment of the effectiveness of design solutions in terms of economic, social and environmental performance indicators.

Based on the analysis of statistical data, it was found that the following distribution of passenger cars by type of fuel consumed is typical for Kharkiv: cars with petrol engines - 48.58%; diesel cars - 14.63%; cars with gas cylinder equipment - 33.58%; electric cars - 3.21%. The established distribution of passenger cars by type of fuel consumed is the basis for establishing average values of variable and fixed operating costs of private car owners and should be taken into account when assessing the environmental impact of the transport process. This is the direction of further research.

Keywords: urban transport system, sustainable development, transport demand management, private car, fuel type.