DOI: https://doi.org/10.32782/2524-0072/D2026-86-154

УДК 330.342.3

ЕКОНОМІКА МІСЬКОЇ МОБІЛЬНОСТІ: МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАМВАЯ З УРАХУВАННЯМ ІНФРАСТРУКТУРИ, ЧАСУ ТА ІНТЕГРАЦІЇ

URBAN MOBILITY ECONOMICS: MODELING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF TRAM TRANSPORT CONSIDERING INFRASTRUCTURE, TIME, AND INTEGRATION

Палант Олексій Юрійович
доктор економічних наук, доцент,
професор кафедри підприємництва та бізнес-адміністрування
Харківський національний університет міського
господарства імені О. М. Бекетова
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8178-6874

Джабраілов Арсен Магомедович
доктор філософії, сертифікований інженер-проектувальник,
фізична особа-підприємець,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1371-0127

Palant Oleksii
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

Dzhabrailov Arsen
Certified Design Engineer (Cost Estimation); Sole Proprietor

У статті досліджено економічну ефективність функціонування трамвая в умовах сучасної економіки міської мобільності з урахуванням стану інфраструктури, попиту на перевезення та рівня інтеграції транспортної системи. Актуальність дослідження обумовлена зростанням експлуатаційних витрат, високим рівнем зношеності колійного господарства та обмеженістю тарифних і інвестиційних ресурсів у більшості міст України. Запропоновано економіко-математичну модель, яка формалізує взаємозв'язок між інфраструктурою, швидкістю руху, часом поїздки, узагальненою вартістю перевезення та попитом. Доведено, що економічна ефективність формується під впливом комплексної взаємодії зазначених факторів, а інфраструктура виступає системоутворюючим елементом моделі. Встановлено, що ефективність має нелінійний характер і обмежується соціально допустимим рівнем тарифів, що зумовлює спадну граничну віддачу інвестицій. Обґрунтовано існування порогового рівня стану інфраструктури, нижче якого функціонування трамвая є економічно недоцільним. Показано, що інтеграція транспортної системи дозволяє підвищити попит без значного зростання витрат, виступаючи важливим інструментом підвищення ефективності.

Ключові слова: економіка міської мобільності, економічна ефективність, громадський транспорт, узагальнена вартість поїздки, попит на перевезення, транспортна інтеграція, інфраструктура, тарифна політика.

The article examines the economic efficiency of tramway systems within the framework of urban mobility economics, taking into account infrastructure conditions, transport demand, travel time, pricing policy, and the level of system integration. The relevance of the study is driven by increasing operating costs, the deterioration of track infrastructure, and the limited financial capacity of municipalities, which constrain both tariff adjustments and large-scale investments. The paper develops an economic and mathematical model that formalizes the relationship between infrastructure quality, operational speed, travel time, generalized travel cost, and passenger demand. It is demonstrated that infrastructure acts as a system-forming factor, influencing economic performance indirectly through its impact on travel time and perceived service quality. The concept of generalized travel cost is used as a key integrative indicator that captures not only monetary expenses but also time-related and behavioral components

© Палант О. Ю., Джабраілов А. М., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

of passenger choice. The model incorporates a nonlinear demand response and introduces a socially acceptable fare constraint, reflecting the dual economic and social nature of public transport systems. It is shown that while improvements in infrastructure initially lead to significant increases in both demand and revenue, the effect becomes limited once the fare reaches its socially acceptable upper bound. This results in diminishing marginal returns on investment and highlights the existence of a threshold level of infrastructure quality below which tram operations become economically inefficient. Special attention is given to the role of transport system integration, which is modeled as a multiplier of effective demand. The results indicate that integration – through coordinated routes, seamless transfers, and unified ticketing – can significantly increase ridership without substantial capital investment, making it a critical policy instrument under financial constraints. The findings suggest that the economic performance of tram systems cannot be explained by isolated parameters but is determined by the complex interaction of infrastructure, pricing, time costs, and behavioral responses. The proposed model provides a conceptual and analytical basis for evaluating investment decisions, optimizing operational strategies, and designing sustainable urban transport policies.

Keywords: urban mobility economics, economic efficiency, tram transport, generalized travel cost, transport demand, transport integration, infrastructure, pricing policy

---

Постановка проблеми. У світі за сучасних умов розвитку міст їхні транспортні системи трансформуються у більш складні соціально-економічні системи, що функціонують у межах концепції економіки міської мобільності. На відміну від традиційного підходу, орієнтованого на аналіз окремих видів транспорту, нова наукова парадигма передбачає дослідження інтегрованих процесів переміщення населення, у яких ключову роль відіграють час, зручність пересадок, доступність послуг та їх узгодженість.

У цих умовах трамвай розглядається не як ізольований елемент транспортної системи, а як складова інтегрованої мережі міської мобільності, ефективність функціонування якої визначається не лише технічними параметрами інфраструктури, але й взаємодією з іншими видами транспорту, рівнем організації пересадок та сприйняттям послуг з боку пасажирів.

Разом з тим, у більшості українських міст трамвайні системи функціонують в умовах значного зносу інфраструктури, обмеженого фінансування та недостатнього рівня інтеграції з іншими видами громадського транспорту. Це призводить до зниження швидкості руху, втрат пасажиропотоку та погіршення економічних показників діяльності трамвайних підприємств.

Існуючі наукові підходи до оцінки ефективності трамвая, як правило, зосереджуються на окремих факторах – стані інфраструктури або обсягах пасажироперевезень – без урахування комплексного впливу часу поїздки, тарифної політики та інтеграції транспортних систем. Такий підхід не дозволяє адекватно оцінити економічну ефективність функціонування трамвайних підприємств. Перехід до парадигми економіки міської мобільності передбачає зміну підходів до оцінки ефективності транспортних систем: від аналізу окремих видів транспорту до дослідження інтегрованих процесів переміщення та поведінки споживачів транспортних послуг. Отже, виникає необхідність розробки узагальненої економіко-математичної моделі, яка б дозволила інтегрувати ключові фактори економіки міської мобільності – інфраструктуру, час поїздки, тарифи та рівень інтеграції транспортних систем – і на цій основі оцінити економічну ефективність функціонування трамвайних господарств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематика функціонування міського транспорту в останні десятиліття все частіше розглядається у межах економіки сталої міської мобільності. Підходи до дослідження міського транспорту представлені у працях Vukan R. Vuchic [1], J.-P. Rodrigue [2], І.О. Башинської та В.Ю. Філіпова [3], Є.Н. Водовозова [4], В.К. Долі [5], де обґрунтовано роль, зокрема, рейкового транспорту у забезпеченні ефективних транспортних перевезень у містах, але автори основну увагу приділяють техніко-економічним характеристикам транспортних систем без достатнього врахування поведінкових аспектів попиту. Подальший розвиток наукових підходів, як виявив проведений аналіз, пов'язаний із формуванням концепції узагальненої вартості поїздки, що інтегрує грошові та часові витрати пасажирів. У працях Kenneth J. Button [6] та David A. Hensher [7] доведено, що вибір виду транспорту визначається не лише тарифами, але й витратами часу, зручністю пересадок та якістю обслуговування. Сучасні дослідження у сфері економіки міської мобільності акцентують увагу на інтеграції транспортних систем та формуванні мультимодальних перевезень. Зокрема, у зві-

тах International Transport Forum [8] та International Association of Public Transport (UITP) [9] підкреслюється, що ефективність транспортних систем визначається рівнем їх інтеграції, координацією маршрутів та впровадженням єдиних тарифних рішень. Вітчизняні дослідження (зокрема роботи [10-12]) присвячені проблемам функціонування міського електротранспорту в умовах обмежених фінансових ресурсів та високого рівня зношеності інфраструктури. Однак у більшості з них недостатньо враховується роль часових витрат та інтеграційних ефектів у формуванні попиту.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Незважаючи на наявність значної кількості наукових праць, питання комплексного моделювання економічної ефективності трамвая в межах парадигми економіки міської мобільності з урахуванням узагальненої вартості поїздки та інших, обраних нами для дослідження параметрів, залишаються недостатньо розробленими.

Отже, **метою статті** є розробка розширеної економіко-математичної моделі оцінки економічної ефективності функціонування трамвая в системі міської мобільності з урахуванням стану інфраструктури, тарифної політики, часової цінності перевезень та рівня інтеграції з іншими видами транспорту.

Виклад основного матеріалу дослідження. На початку розглянемо розширену модель з урахуванням узагальненої вартості (generalized cost) поїздки.

У межах парадигми економіки міської мобільності ключовим фактором вибору споживача є узагальнена вартість поїздки, яка поєднує грошові та часові витрати на пересування:

$$GC = T + \lambda\tau \qquad (1)$$

де: *GC* – узагальнена вартість поїздки, *T* – діючи тарифи, λ – вартість часу пасажира, τ – тривалість поїздки.

Тоді залежність попиту (*Q*) від узагальненої вартості поїздки складе:

$$Q = Q_0 - \eta GC \qquad (2)$$

де η – коефіцієнт чутливості (еластичності) попиту до узагальненій вартості поїздки**.**

Параметр η характеризує не тільки чутливість попиту до зміни узагальненої вартості поїздки, він ще відображає поведінкову реакцію пасажирів на зміну тарифу і часових витрат. Його значення залежить від рівня розвитку транспортної системи, наявності альтернативних видів транспорту та структури попиту. Тобто параметр η показує наскільки сильно змінюється попит при зміні узагальненої вартості поїздки (*GC*). Якщо значення *η* велике, це означає, що пасажири дуже чутливі до змін ціни/часу і навіть мале збільшення *GC* сильно знижує попит. Якщо значення *η* мале, то попит стає інертним і пасажири продовжують користуватися трамваєм навіть за погіршення умов транспортного обслуговування.

Важливо розуміти, що входить до поняття «чутливість попиту». Оскільки згідно (1) $GC = T+\lambda\tau$, то коефіцієнт *η* фактично відображає реакцію на тариф, час поїздки, незручності (через час та інтеграцію). Тобто, це поведінковий параметр, а не технічний.

Строго кажучи, коефіцієнт η – це не еластичність попиту у класичному вигляді, тому що еластичність – це відносна величина, а ми маємо справу з лінійною функцією. У нашому випадку η означає, що попит визначається не лише ціною, а повною економічною вартістю поїздки.

Більш «науковий варіант» формули (2) має вигляд:

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\eta GC} \qquad (3)$$

де *e* – математична константа, яка називається числом Ейлера, *e* ≈ 2,71828.

Використання виразу $e^{-\eta GC}$ означає, що попит зменшується не лінійно, а експоненційно. Якщо порівняти лінійну модель (2), де попит падає рівномірно, та експонентну модель (3), де падіння попиту спостерігається спочатку повільно, потім все швидше, то нелінійна залежність (3) така, що ближча до реальної економіки.

Функції з числом Ейлера завжди позитивні (попит не стане негативним), вони відображають реальну поведінку людей та широко використовуються у транспортній економіці.

Отже, підсумовуючи, робимо висновок – у розробленій моделі використовується експоненційна форма залежності попиту від узагальненої вартості поїздки, де *e* – математична константа (число Ейлера). Такий підхід дозволяє врахувати нелінійний характер реакції пасажирів на зміну вартості поїздки, коли при зростанні узагальненої вартості поїздки попит зменшується прискореними темпами.

З урахуванням інтеграції транспортної системи формула (2) набуває вигляду:

$$Q = (Q_0 - \eta GC) \cdot S \qquad (4)$$

де *S* – рівень інтеграції транспортної системи.

Формула (4) відображає вплив рівня інтеграції транспортної системи на формування попиту на перевезення. Показник *S* виступає як мультиплікативний коефіцієнт, що коригує

базовий попит з урахуванням зручності користування транспортною системою.

Економічний зміст цієї залежності полягає в тому, що навіть за однакових значень узагальненої вартості поїздки попит може суттєво відрізнятися залежно від рівня інтеграції. Високий рівень інтеграції (узгодженість маршрутів, зручність пересадок, єдиний тариф) підвищує привабливість громадського транспорту та збільшує фактичний попит, тоді як низький рівень інтеграції обмежує використання транспортної системи.

Таким чином, параметр *S* відображає системний ефект взаємодії різних видів транспорту та характеризує ступінь реалізації потенційного попиту на перевезення. При цьому $S \in [0;1]$, де значення, близькі до одиниці, відповідають високому рівню інтеграції транспортної системи. Тобто попит не просто функція ціни і часу, він залежить від системи в цілому, а інтеграція виступає множником ефективності транспортної системи, або іншими словами – інтеграція виступає мультиплікатором попиту.

Далі розглянемо зв'язок часу поїздки зі станом інфраструктури. Його можна описати формулою:

$$\tau = \frac{L}{V_{\max} \cdot I} \qquad (5)$$

де L – довжина маршруту, τ **–** час поїздки (тривалість переміщення пасажира за маршрутом), V_{max} – потенційно досяжна (технічно допустима) максимальна швидкість руху трамвая, це не фактична середня швидкість, а технічний потенціал рухомого складу, обмежений умовами експлуатації, *I* – показник стану інфраструктури.

Отже, у формулі (5) параметр τ характеризує час поїздки пасажира за маршрутом і виступає важливою складовою узагальненої вартості перевезення. Параметр V_{max} відображає технічно можливу максимальну швидкість руху трамвая, яка визначається характеристиками рухомого складу та умовами експлуатації. Фактична реалізація цієї швидкості залежить від стану інфраструктури, що враховується через показник *I*.

Із формули (5) випливає висновок: погіршення стану інфраструктури впливає на зростання часу поїздки та знижує попит на транспорті послуги.

Далі розглянемо тариф як функцію якості транспортних послуг.

У межах традиційних підходів тариф на перевезення, як правило, розглядається як екзогенний параметр, що встановлюється органами місцевого самоврядування та не залежить від характеристик транспортної послуги. Однак у парадигмі економіки міської мобільності такий підхід є спрощеним, оскільки не враховує взаємозв'язок між якістю перевезень та готовністю пасажирів сплачувати за них. З урахуванням цього доцільно розглядати тариф як функцію якості транспортних послуг:

$$T = T_0 + \beta V_{\max} I \qquad (6)$$

де T_0 – базовий тариф, що відображає мінімально допустимий рівень оплати перевезень; β – коефіцієнт чутливості тарифу до якості послуг; $V_{max}I$ – узагальнений показник якості перевезень, що відображає ефективно реалізовану швидкість руху.

Запропонована залежність (6) відображає, що підвищення якості транспортних послуг, зокрема за рахунок покращення стану інфраструктури та збільшення швидкості руху, створює передумови для підвищення тарифу без втрати попиту. Показник $V_{max}I$ у даному випадку інтерпретується як фактична швидкість руху, яка є однією з ключових характеристик якості транспортної послуги з точки зору пасажира. Зростання цього показника означає скорочення часу поїздки, підвищення надійності та загального комфорту перевезень. Коефіцієнт β характеризує ступінь, у якому підвищення якості трансформується у можливість збільшення тарифу. Його значення залежить від рівня доходів населення, наявності альтернативних видів транспорту, регуляторної політики у сфері тарифоутворення.

У рамках економіки міської мобільності тариф перестає бути виключно адміністративно встановленою величиною і набуває рис економічного інструменту, що відображає співвідношення між якістю послуг та платоспроможністю споживачів. Це означає, що підвищення якості перевезень може компенсувати підвищення тарифу за рахунок зростання попиту, а низька якість обмежує можливості тарифної політики та знижує доходи транспортних підприємств.

Водночас слід зазначити, що в умовах України тарифна політика значною мірою регулюється [13], тому наведена залежність (6) має не нормативний, а аналітичний характер і відображає потенційну економічну залежність між якістю послуг та рівнем тарифу.

Таким чином, включення тарифу як функції якості дозволяє інтегрувати у модель поведінкові аспекти попиту та забезпечує більш

повне відображення економічних процесів, що відбуваються в системі міської мобільності.

Повернимось до принципів тарифоутворення, що діють у нашій країни [13], коли необхідно застосовувати обмеження для соціально допустимого рівня тарифів на міські пасажирські перевезення.

У реальних умовах функціонування міського електротранспорту України тариф не може розглядатися як необмежено змінна величина, оскільки він обмежений платоспроможністю населення та соціальною функцією громадського транспорту. У зв'язку з цим у модель, що розглядається, доцільно ввести обмеження щодо соціально допустимого рівня тарифів. Тобто фактично розрахований тариф (*T*) не може бути більшим за T_{max} –максимально допустимого тарифу з точки зору соціальної доступності транспортних послуг ($T \le T_{\max}$).

Отже, параметр T_{max} відображає верхню межу тарифу, перевищення якої призводить до різкого зниження попиту на перевезення, зростання транспортної нерівності, необхідності бюджетного субсидування.

Обмеження $T \le T_{\max}$ означає, що навіть за умов підвищення якості транспортних послуг та зростання витрат підприємства не можуть безмежно підвищувати тарифи на свої послуги.

З урахуванням описаного обмеження функція тарифу (6) набуває вигляду:

$T = \min\left(T_0 + \beta V_{\max} I, T_{\max}\right)$ і це означає, що при низькому рівні якості $T = T_0 + \beta V_{\max} I$, тоді як при високому її рівні значення *T* наближається до T_{max}, тобто виникає «ефект насичення тарифу». Введення обмеження тарифу дозволяє: а) врахувати соціальну природу громадського транспорту, б) пояснити, чому підвищення якості не завжди веде до зростання доходів, в) показати необхідність субсидування міського громадського транспорту або оптимізації його витрат.

Введення обмежень до соціально допустимого тарифу відображає подвійний характер функціонування громадського транспорту як економічного та соціального інституту [13]. Це обмеження формує верхню межу доходів транспортних підприємств і визначає необхідність пошуку внутрішніх резервів підвищення ефективності роботи підприємств транспорту.

Далі розглянемо вплив обмеження до рівня соціально допустимого тарифу на прибуток транспортних підприємств.

Нагадаємо, що базова функція прибутку має вигляд:

$П = T \cdot Q - C(I)$, а з урахуванням дії обмеження до соціально допустимого тарифу тариф розраховується як мінімізована функція:

$$T = \min\left(T_0 + \beta V_{\max} I, T_{\max}\right).$$

В теорії розглянемо зростання тарифу без обмежень. Якщо:

$T_0 + \beta V_{\max} I \le T_{\max}$ тоді:

$П = \left(T_0 + \beta V_{\max} I\right) \cdot Q - C(I)$ і у цій зоні відбувається покращення інфраструктури (I), зростає швидкість переміщення, зменшується час у дорозі, зростає попит (Q) з одночасним зростанням тарифу. У результаті маємо подвійний позитивний ефект, що відбивається на прибутку підприємства.

При застосуванні зони обмеження тарифу (тарифної «стелі») нерівність тарифів набуває вигляду:

$T_0 + \beta V_{\max} I > T_{\max}$ тоді прибуток розраховується як:

$П = T_{\max} \cdot Q - C(I)$. У цій зоні тариф більше не зростає, витрати змінюються, попит продовжує реагувати на якість транспортних послуг. В результаті ефект інвестицій обмежується і виникає ефект насиченості прибутку, коли після досягнення соціально допустимого рівня тарифу подальше підвищення якості не супроводжується зростанням тарифних доходів.

Отже, згідно побудованої нами моделі функція прибутку спочатку зростає швидко, потім уповільнюється і згодом може виходити на плато. Це означає, існує гранична ефективність інвестицій і після досягнення певного рівня віддача знижується.

Введення обмеження на соціально допустимі тарифи призводить до формування нелінійної залежності прибутку від стану інфраструктури. На початковому етапі покращення інфраструктури забезпечує зростання доходів за рахунок одночасного збільшення тарифу та попиту. Однак після досягнення граничного рівня тарифу подальше підвищення якості не супроводжується зростанням тарифних надходжень, що обмежує загальну економічну ефективність інвестицій. Це фактично означає, що міський громадський транспорт не може бути оптимізований тільки через тариф, а потребує субсидій або зниження витрат.

Таким чином, у межах економіки міської мобільності максимізація прибутку підприємств громадського транспорту (і трамвайних підприємств зокрема) не може розглядатися як єдиний критерій ефективності, оскільки вона обмежується соціальними параметрами функціонування міської транспортної системи.

Далі розглянемо роль інтеграції в підвищенні економічної ефективності громадського транспорту.

У межах парадигми економіки міської мобільності інтеграція транспортної системи виступає одним із ключових факторів формування попиту на перевезення та економічних результатів діяльності транспортних підприємств. На відміну від традиційного підходу, де окремі види транспорту функціонують відносно автономно, сучасні транспортні системи розглядаються як єдина мережа взаємопов'язаних елементів [14-15].

У запропонованій моделі інтеграція враховується через параметр *S*, який виступає мультиплікативним коефіцієнтом попиту (4). Параметр *S* відображає ступінь узгодженості функціонування різних видів транспорту та включає узгодженість маршрутної мережі, зручність і швидкість пересадок, наявність єдиного квитка або тарифної системи, інформаційну інтеграцію (розклади, навігація тощо).

З економічної точки зору інтеграція знижує неявні витрати пасажирів, які не завжди прямо враховуються в тарифі, але формують сприйняття якості послуги.

Зростання параметру *S* призводить до збільшення фактичного попиту, навіть за наявності незмінного тарифу, більш повного використання транспортної інфраструктури, підвищує доходи підприємства. Важливо, що інтеграція не потребує обов'язково значних інвестицій, наприклад, у трамвайну інфраструктуру, але може давати суттєвий економічний ефект. Інтеграція фактично впливає на ті ж самі компоненти, що й *GC*: скорочує час пересадок, тобто зменшує τ та підвищує передбачуваність поїздки. Інтеграція може розглядатися як альтернативний або додатковий механізм зниження узагальненої вартості поїздки.

На відміну від інвестицій в інфраструктуру, які впливають переважно через параметр швидкості руху [11], інтеграція впливає на попит через системні та поведінкові механізми.

Інтеграція набуває особливого значення в умовах соціальних обмежень щодо тарифної політики, коли тарифи не можна підвищувати, витрати підприємств складно швидко знизити. Отже за цих умов зростання інтеграції стає одним із небагатьох інструментів підвищення доходів.

Із вищесказаного випливає висновок, що в умовах обмежень тарифної політики інтеграція транспортної системи виступає ключовим фактором підвищення економічної ефективності, оскільки дозволяє збільшити попит без зміни тарифу та значних капітальних вкладень.

Таким чином, у розробленій моделі економіки міської мобільності інтеграція виступає не допоміжним, а системоутворюючим фактором, який визначає ступінь реалізації потенційного попиту на перевезення та формує додатковий економічний ефект.

Наприкінці слід описати економічні наслідки запропонованої моделі.

Запропонована економіко-математична модель дозволяє сформувати комплексне уявлення про механізми функціонування трамвая (і будь-якого іншого виду міського громадського транспорту) в межах парадигми економіки міської мобільності та визначити ключові закономірності формування економічної ефективності.

1. Інфраструктура як системоутворюючий фактор.

Модель показує, що стан інфраструктури (*I*) має мультиплікативний вплив на результати функціонування транспортних підприємств:

– через швидкість руху, що впливає на час поїздки τ;

– через час у дорозі, що формує узагальнену вартість *GC*;

– через узагальнену вартість *GC*, що визначає попит *Q*;

– через попит *Q*, що впливає на доходи та прибуток.

Таким чином інфраструктура виступає базовим фактором, що визначає всі інші економічні параметри системи.

2. Нелінійний характер економічної ефективності.

Включення обмеження щодо соціально допустимого тарифу призводить до формування нелінійної залежності прибутку від якості транспортних послуг, коли на початковому етапі покращення інфраструктури дає значний економічний ефект, але після досягнення граничного рівня тарифу ефект зменшується і подальші інвестиції можуть мати знижену віддачу.

Це означає, що економічна ефективність інвестицій має спадну граничну віддачу.

3. Формування порогового ефекту функціонування.

Модель дозволяє обґрунтувати існування критичного рівня стану інфраструктури I^*, нижче якого:

– час поїздки суттєво зростає;

– узагальнена вартість перевищує прийнятний рівень;

– попит різко скорочується.

Це означає, що при недостатньому рівні інвестицій трамвай (як і інші види міського громадського транспорту) може втрачати економічну доцільність функціонування.

4. Обмеженість тарифного інструменту.

Модель демонструє, що можливості підвищення доходів через тариф є обмеженими, бо тарифи обмежені соціально допустимим рівнем, підвищення тарифу без покращення якості послуг знижує попит, при високій якості послуг тариф не може зростати безмежно.

Отже, тариф не може розглядатися як основний інструмент підвищення ефективності.

5. Інтеграція як фактор підвищення ефективності без значних інвестицій.

Параметр інтеграції S забезпечує збільшення попиту без зміни тарифу та без обов'язкового зростання капітальних витрат.

Це означає, що інтеграція може компенсувати обмеження тарифної політики, дозволяє підвищити ефективність у короткостроковому періоді та є важливим інструментом транспортної політики.

6. Подвійний ефект інвестицій.

Інвестиції в транспортну інфраструктуру формують одночасно зростання доходів (через попит) та зниження витрат підприємства (менший знос основних фондів, менше аварій тощо).

Це означає, що інвестиції мають кумулятивний економічний ефект.

7. Залежність ефективності від поведінкових факторів.

Включення в модель узагальненої вартості поїздки показує, що попит формується не лише тарифами, ключову роль у підвищенні попиту відіграє час у поїздці, а поведінка пасажирів визначає економічний результат.

Таким чином, економічна ефективність міського громадського транспорту має поведінкову природу.

Отже, запропонована модель демонструє, що економічна ефективність функціонування трамвая формується під впливом взаємодії інфраструктурних, економічних та поведінкових факторів. При цьому жоден із них не може бути розглянутий ізольовано, а максимальний ефект досягається лише за умови їх комплексного врахування.

У межах економіки міської мобільності ефективність трамвая визначається не стільки технічними характеристиками системи, скільки здатністю інтегруватися у загальну транспортну мережу та мінімізувати узагальнені витрати користувачів.

Ключовий результат побудованої моделі зводиться до наступного. Об'єднуючи всі залежності, отримуємо, що попит і прибуток формуються як функції інфраструктури, часу, тарифу, інтеграції. Тобто отримана модель демонструє, що в умовах економіки міської мобільності ефективність функціонування громадського транспорту визначається не окремими параметрами, а їх комплексною взаємодією. При цьому ключову роль відіграє узагальнена вартість поїздки, яка інтегрує технічні, економічні та поведінкові характеристики транспортної системи.

Висновки. У статті розроблено економіко-математичну модель оцінки ефективності функціонування трамвая в межах парадигми економіки міської мобільності з урахуванням стану інфраструктури, тарифної політики, часових витрат та рівня інтеграції транспортної системи.

Обґрунтовано, що інфраструктура виступає системоутворюючим фактором, який через вплив на швидкість руху визначає час поїздки, узагальнену вартість перевезення та, відповідно, попит на транспортні послуги. Доведено, що погіршення стану колій призводить до зростання узагальненої вартості поїздки та зниження економічної ефективності функціонування трамвая.

Встановлено, що економічна ефективність має нелінійний характер і обмежується соціально допустимим рівнем тарифу. Показано, що після досягнення граничного значення тарифу подальше підвищення якості не забезпечує пропорційного зростання доходів, що зумовлює спадну граничну віддачу інвестицій.

Доведено існування порогового рівня стану інфраструктури, нижче якого функціонування трамвая втрачає економічну доцільність. Це обґрунтовує необхідність системних інвестицій у колійне господарство, а не часткових або фрагментарних рішень.

Показано, що інтеграція транспортної системи виступає важливим фактором підвищення ефективності, оскільки дозволяє збільшити попит без суттєвого зростання витрат та в умовах обмежень тарифної політики.

Узагальнено, що ефективність функціонування трамвая визначається комплексною взаємодією інфраструктурних, економічних та поведінкових факторів, а ключовим інтегруючим показником виступає узагальнена вартість поїздки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Vuchic V.R. Urban Transit Systems and Technology. Hoboken: John Wiley & Sons. 2007. 624 p.
2. Rodrigue J.-P. The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, 2024. Sixth edition. 402 p.
3. Башинська І.О., Філіппов В.Ю. Розумна система міського пасажирського транспорту як складова Smart City: монографія. Харків : Діса плюс, 2018. 220 с.
4. Водовозов Є.Н., Димченко О.В., Палант О.Ю., Тараруєв Ю.О. Проблеми реструктуризації підприємств наземного електричного транспорту : монографія. Харків : Золоті сторінки, 2018. 208 с.
5. Доля В.К. Пасажирські перевезення. Харків : Форт, 2011. 504 с.
6. Button K. Transport Economics. Edward Elgar Publishing. 2010. Edition 3th. 528 p.
7. David A. Hensher The growing role of active and micro-mobility modes: Insights from mode adoption and weekly use by trip purpose. *Transportation Research.* Part C. Emerging Technologies. 2026. Vol. 186. https://doi.org/10.1016/j.trc.2026.105623
8. International Transport Forum. Funding Resilient Transport. 2026. https://www.itf-oecd.org/
9. 50 Statistics That Show How Public Transport Makes Cities Better. International Association of Public Transport (UITP). 2026. https://www.uitp.org/news/50-statistics-how-public-transport-cities-better/
10. Захаров Д.С. Корінна зміна підходів до формування маршрутної мережі міського громадського транспорту. *Наука і техніка сьогодні*. Сер. Економіка. 2023. Вип. 13 (27). С. 290-300.
11. Приймак В.О., Тараруєв Ю.О. Формування вартості транспортних послуг в умовах розосередження міського електричного транспорту. *Підприємництво та інновації*. 2024. № 31. С. 73-78.
12. Захаров Д.С., Тараруєв Ю.О. Антикризовий менеджмент як інструмент забезпечення міської мобільності. *Проблеми системного підходу в економіці*. 2024. Вип. 4 (97). С. 143-149.
13. Палант О.Ю. Формування економічно обґрунтованих тарифів на послуги підприємств міського електричного транспорту : монографія. Київ : Химджест, 2014. 174 с.
14. Preston J. Integration for seamless transport. *International Transport Forum*, OECD. 2012. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2012/04/integration-for-seamless-transport_g17a21d6/5k8zvv8lmswl-en.pdf
15. Красноштан О.М. Наукові основи формування стратегії інноваційного розвитку транспортної системи країни : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи». Київ : Нац. транспортний ун-т, 2024. 54 с.

REFERENCES:

1. Vuchic V.R. (2007) Urban Transit Systems and Technology. Hoboken: John Wiley & Sons. 624 p.
2. Rodrigue J.-P. (2024) The Geography of Transport Systems. New York: Routledge, Sixth edition. 402 p.
3. Bashynska I.O., Filippov V.Yu. (2018) Rozumna systema mis'koho pasazhyrs'koho transportu yak skladova Smart City [Smart system of urban passenger transport as a component of Smart City]: monograph. Kharkiv: «Disa plus» publishing house. 220 p. (in Ukrainian)
4. Vodovozov Yu.N. and other (2018) Problemy restrukturyzatsiyi pidpryyemstv nazemnoho elektrychnoho transport [Problems of restructuring enterprises of land electric transport]. Monograph. Kharkiv : Golden Pages. 208 p. (in Ukrainian)
5. Dolya V.K. (2011) Pasazhyrs'ki perevezennya [Passenger transportation]. Kharkiv: Fort, 504 p. (in Ukrainian)
6. 6. Button K. (2010) Transport Economics. Edition 3th. Edward Elgar Publishing. 528 p.
7. 7. David A. Hensher (2026) The growing role of active and micro-mobility modes: Insights from mode adoption and weekly use by trip purpose. *Transportation Research.* Part C. Emerging Technologies. Vol. 186. https://doi.org/10.1016/j.trc.2026.105623
8. International Transport Forum. Funding Resilient Transport (2026) https://www.itf-oecd.org/
9. 50 Statistics That Show How Public Transport Makes Cities Better (2026) International Association of Public Transport (UITP) https://www.uitp.org/news/50-statistics-how-public-transport-cities-better/
10. Zakharov D.S. (2023) Korinna zmina pidkhodiv do formuvannya marshrutnoyi merezhi mis'koho hromads'koho transportu [A radical change in approaches to the formation of a route network of urban public transport]. *Science and Technology Today*. Ser. Economics. Iss. 13 (27). pp. 290-300 (in Ukrainian)
11. Tararuyev Yu.O., Priymak V.O. (2024) Formuvannya vartosti transportnykh posluh v umovakh rozoseredzhennya mis'koho elektrychnoho transportu [Formation of the cost of transport services in the conditions of the dispersion of urban electric transport]. *Entrepreneurship and Innovation*. No. 31. pp. 73-78 (in Ukrainian)

12. Zakharov D.S., Tararuyev Yu.O. (2024) Antykryzovyy menedzhment yak instrument zabezpechennya mis'koyi mobil'nosti [Anti-crisis management as a tool for ensuring urban mobility]. *Problems of a systems approach in economics*. Iss. 4 (97). pp. 143-149. (2024) (in Ukrainian)

13. Palant O.Yu. (2014). Formuvannya ekonomichno obgruntovanykh taryfiv na posluhy pidpryyemstv mis'koho elektrychnoho transportu [Formation of economically justified tariffs for the services of urban electric transport enterprises]. Kyiv: Khimgest. 174 p. (in Ukrainian)

14. Preston J. (2012) Integration for seamless transport. *International Transport Forum*, OECD. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2012/04/integration-for-seamless-transport_g17a21d6/5k8zvv8lmswl-en.pdf

15. Krasnoshtan O.M. (2024) Naukovi osnovy formuvannya stratehiyi innovatsiynoho rozvytku transportnoyi systemy krayiny [Scientific bases for the formation of the country`s transportation system innovative development strategy]. *Extended abstract of Doctor`s thesis.* Kyiv : National Transport University (in Ukrainian)

Дата надходження статті: 20.04.2026
Дата прийняття статті: 11.05.2026
Дата публікації статті: 25.05.2026