

ОЦІНЮВАННЯ ПРИДАТНОСТІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА

Степан Хімка, к. т. н., Олег Сукач, к. т. н., Мирон Магац, к. т. н., Юрій Габрієль, Ігор Дуфанець, Тарас Мельников

*Львівський національний університет природокористування,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,
e-mail: stepanhimka@gmail.com; 19oleg85@ukr.net; mironmahats@gmail.com; yuriygabriel@gmail.com;
dufaneci@gmail.com; taras.melnykov@gmail.com/*

<https://doi.org/10.32718/agroengineering2025.29.79-86>

Хімка С., Сукач О., Магац М., Габрієль Ю., Дуфанець І., Мельников Т. Оцінювання придатності електромобілів для локальної експлуатації на основі інтегрального показника

У статті розглядається актуальна науково-прикладна проблема обґрунтування вибору оптимальної моделі електромобіля для експлуатації в специфічних умовах міських агломерацій України. Сучасний розвиток транспортного ринку демонструє стрімке зростання інтересу до «чистих» технологій, проте цей процес стримується недосконалістю зарядної інфраструктури, нестабільністю енергопостачання та обмеженими фінансовими можливостями більшості споживачів. У зв'язку з цим виникає нагальна необхідність у розробці науково обґрунтованого підходу до комплексного оцінювання придатності транспортних засобів саме для локальних поїздок на невеликі відстані. У процесі дослідження виконано глибокий аналіз сучасних наукових праць і статистичних даних щодо динаміки ринку електромобілів, що дозволило визначити ключові критерії, які формують споживчі пріоритети. На відміну від наявних підходів, які часто фокусуються на максимальних технічних характеристиках, у роботі запропоновано удосконалену систему критеріїв оцінювання. До неї, окрім стандартних технічних (запас ходу, потужність зарядки, надійність) та економічних (вартість придбання, витрати на ТО) показників, інтегровано параметр «енергоефективність» (питома витрата електроенергії, кВт·год/100 км), що дозволяє точніше прогнозувати експлуатаційні витрати. Наукова новизна дослідження полягає у розробці комплексної методики багатокритеріального оцінювання, що базується на застосуванні вагових коефіцієнтів значущості критеріїв, адаптованих до українських реалій міської експлуатації, та нормалізації різнорідних параметрів за методом лінійного масштабування (min–max). Це дозволило привести вартісні, технічні та ергономічні показники до єдиної безрозмірної шкали оцінювання. Обґрунтовано розподіл вагових коефіцієнтів, де найвищий пріоритет отримала фінансова доступність (0,25), а енергоефективність та експлуатаційні витрати отримали вагомі частки (по 0,15), тоді як запас ходу для міського циклу визначено як другорядний фактор (0,15). Апробацію методики здійснено на прикладі шести найбільш популярних на українському ринку моделей: Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona Electric, Volkswagen e-Golf, Tesla Model 3 та Tesla Model Y. Розрахунок інтегрального показника придатності засвідчив, що для умов використання на невеликі відстані моделі компактного сегменту демонструють кращі результати: лідерами рейтингу стали Renault Zoe (інтегральний показник 7,95) та Hyundai Kona Electric (7,90). Вони забезпечують оптимальний баланс між початковими інвестиціями, експлуатаційними витратами та функціональністю. Технологічно досконаліші моделі Tesla отримали нижчі рейтинги (7,70–7,80) через високу вартість, яка є критичним фактором для масового споживача. Додатково проведений аналіз чутливості моделі показав, що при сценарії зростання тарифів на електроенергію конкурентна перевага зміщується на користь моделей з максимальною енергоефективністю (Hyundai Kona). Практична значущість отриманих результатів полягає у створенні універсального інструментарію для оптимізації вибору рухомого складу як приватними користувачами, так і корпоративними парками з метою мінімізації повної вартості володіння.

Ключові слова: електромобіль, міська експлуатація, критерії вибору, інтегральний показник, метод багатокритеріального аналізу, енергоефективність, питома витрата енергії.

Khimka S., Sukach O., Mahats M., Habriiel Yu., Dufanets I., Melnykov T. Assessment of electric vehicles suitability for local operation based on the integral indicator

This article addresses the important scientific and practical issue of selecting the optimal electric vehicle (EV) model for use in the specific conditions of urban agglomerations in Ukraine. The current trends in the transport market show a rapid increase in interest in "clean" technologies. However, this growth is hindered by inadequate charging infrastructure, unstable power supply, and the limited financial means of most consumers. Therefore, there is an urgent need to develop a scientifically grounded approach for comprehensively assessing vehicle suitability, particularly for local short-distance trips. During the research, a thorough analysis of contemporary scientific literature and statistical data regarding the dynamics of the EV market was conducted. This analysis allowed for the identification of key criteria that shape consumer priorities. Unlike existing approaches that often emphasize maximum technical specifications, this paper proposes an enhanced system of evaluation criteria. In addition to standard technical indicators (such as range, charging power, and reliability) and economic indicators

(such as purchase cost and maintenance costs), the parameter of "energy efficiency" (specific energy consumption measured in kWh/100 km) is incorporated. This inclusion enables more accurate forecasting of operational costs. The scientific novelty of this study lies in the development of a comprehensive multi-criteria assessment methodology. This methodology uses weighting coefficients to reflect the significance of each criterion, tailored to the realities of urban operation in Ukraine, and applies the linear scaling method (min-max) for normalizing diverse parameters. This approach allows for the consolidation of cost, technical, and ergonomic indicators into a single dimensionless evaluation scale. The distribution of weight coefficients was carefully justified, with financial affordability assigned the highest priority (0.25), while energy efficiency and operational costs each received significant weights (0.15). The range for urban cycle was considered a secondary factor (0.15). The methodology was tested using six of the most popular models available on the Ukrainian market: Nissan Leaf, Renault Zoe, Hyundai Kona Electric, Volkswagen e-Golf, Tesla Model 3, and Tesla Model Y. The calculation of the integral suitability indicator revealed that for short-distance use, compact models performed better. Renault Zoe (integral indicator of 7.95) and Hyundai Kona Electric (7.90) ranked the highest, providing an optimal balance of initial investments, operational costs, and functionality. In contrast, more technologically advanced Tesla models received lower ratings (ranging from 7.70 to 7.80) primarily due to their high costs, which are a critical concern for the average consumer. Additionally, sensitivity analysis indicated that in a scenario of rising electricity tariffs, the competitive advantage shifts toward models with the highest energy efficiency, such as the Hyundai Kona Electric. The practical significance of these results lies in the creation of a universal toolkit designed to optimize the selection of vehicles for both individual users and corporate fleets, aiming to minimize the total cost of ownership.

Keywords: electric vehicle, urban operation, selection criteria, integral indicator, multi-criteria analysis method, energy efficiency, specific energy consumption.

Постановка проблеми. Сучасний розвиток транспортної системи в поєднанні з наростаючими екологічними викликами зумовлює потребу переходу від традиційних автомобілів з двигунами внутрішнього згоряння до «чистих» технологій, зокрема електромобілів. Електромобілі (ЕМ) сприймаються як ключовий напрям сталого розвитку транспорту, оскільки вони мають потенціал зменшення викидів CO₂, зниження шумового забруднення та зниження залежності від викопного палива [15; 7]. Глобальні тенденції свідчать про стрімке зростання ринку електромобілів: у 2024 році кількість проданих електрокарів перевищила 17 мільйонів одиниць, що склало понад 20 % від загального обсягу продажів нових легкових автомобілів [9]. На кінець 2024 року загальний парк електромобілів у світі налічував майже 58 мільйонів одиниць [9]. Водночас в Україні спостерігається значне зростання кількості електромобілів попри інфраструктурні виклики. На 1 жовтня 2023 року було зареєстровано 70 811 електромобілів (нових та імпортованих) [11]. За підсумками 2024 року загальний обсяг сегмента електромобілів в Україні становив 77,5 тисяч одиниць, що на 44,6 % більше, ніж роком раніше [8]. У 2024 році до України ввезли рекордні 20 785 електромобілів, що у 2,1 рази більше порівняно з аналогічним періодом 2023 року [14]. На середину 2025 року кількість електромобілів в Україні уже перевищила 160 тисяч одиниць [8]. Такі статистичні дані демонструють, що навіть за умов обмежень – недостатньо розвинена зарядна інфраструктура, нерівномірний доступ до мереж електроживлення, високі початкові витрати – електромобілі поступово стають більш поширеними серед населення. Проте цей тренд породжує

складне питання: який електромобіль вибрати для їзди на невеликі відстані? Специфіка щоденного використання в межах міста або передмістя накладає низку обмежень та вимог:

- Запас ходу повинен бути достатнім для щоденних маршрутів (50–150 км).
- Інфраструктура: можливість заряджати автомобіль у домашніх умовах або на доступній мережі – критична для зручності експлуатації.
- Економіка: придбання та експлуатація мають залишатись фінансово прийнятними.
- Експлуатація: надійність, безпека, комфорт та технічне обслуговування – важливі фактори вибору.

Важливим аспектом є врахування реальних умов експлуатації та специфіки керування технічними системами. Як було встановлено у попередніх дослідженнях за участі автора, на ефективність транспортних засобів критично впливають як дорожні умови (мікропрофіль покриття) [17], так і досконалість алгоритмів керування робочим обладнанням [6]. Хоча ці дослідження стосувались комерційного транспорту, виявлені закономірності щодо надійності та оптимізації керування залишаються актуальними й для електромобілів, особливо в контексті збереження енергоресурсу батареї. Тому екологічні показники залишаються важливими лише за умови, що технічні критерії задоволені [15].

В умовах України ці критерії набувають особливого значення через нерівномірний розподіл зарядних станцій, нестабільне електропостачання, а також фінансові обмеження серед потенційних користувачів. Відтак виникає наукова та практична проблема: необхідність системного аналізу та ранжування критеріїв вибору електромобіля для

локального використання з урахуванням технічних, економічних і соціально-екологічних умов, з метою обґрунтування оптимального рішення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання ефективності впровадження електромобілів широко висвітлено у сучасній науковій літературі. Аналіз праць [18; 20] показує, що домінуючими факторами вибору електромобіля для локальних поїздок є технічні характеристики (запас ходу, ємність батареї) та економічна доцільність. Більшість користувачів у міських агломераціях розглядають електромобілі із запасом ходу від 100 до 300 км як достатні для покриття середньодобового пробігу, що нівелює так звану тривожність щодо запасу ходу (range anxiety) [18].

Суттєву увагу дослідники приділяють економічній складовій. Як свідчать дані аналітичних звітів 2024 року, хоча початкова вартість електромобіля залишається вищою за аналоги з ДВЗ, повна вартість володіння (Total Cost of Ownership — TCO) за 5-річний цикл експлуатації для електромобілів є нижчою за рахунок економії на паливі та технічному обслуговуванні [12; 20]. Однак, як зазначено у працях [12], структура витрат суттєво залежить від регіональних тарифів на електроенергію та інтенсивності використання авто.

Соціально-інфраструктурні аспекти також критичні. Дослідження підтверджують пряму кореляцію між наявністю власної зарядної точки (вдома або на роботі) та готовністю придбати електромобіль [13]. Розвиток публічної зарядної інфраструктури та державна політика стимулювання (субсидії, податкові пільги) залишаються потужними драйверами ринку, особливо для споживачів, які не мають приватних гаражів [5].

Для прийняття рішень щодо вибору конкретної моделі в науковій практиці дедалі частіше застосовують методи багатокритеріального аналізу (MCDM). Огляд літератури [5] свідчить про ефективність застосування таких методів для ранжування складних технічних систем. Проте більшість наявних методик орієнтовані на глобальні ринки (США, ЄС) і не враховують специфіку українського ринку вживаних електромобілів та локальні особливості інфраструктури. Це зумовлює необхідність розробки адаптованої методики оцінювання придатності електромобілів для умов України.

Постановка завдання. Аналіз наявних підходів свідчить про відсутність універсальної методики, яка б дозволяла комплексно оцінити придатність електромобіля саме для локальної

експлуатації в умовах України, поєднуючи технічні характеристики з економічними показниками та енергоефективністю. У зв'язку з цим, метою дослідження є обґрунтування та розробка методики комплексного оцінювання електромобілів на основі розрахунку інтегрального показника якості, що дозволяє ранжувати транспортні засоби за сукупністю різнорідних критеріїв (технічних, економічних, ергономічних) для прийняття оптимальних експлуатаційних рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі науково-прикладні завдання:

Здійснити вибірку репрезентативних моделей електромобілів, що займають найбільшу частку на ринку України (Nissan Leaf, Renault Zoe, Tesla Model 3 та ін.), для проведення порівняльного аналізу.

Сформулювати систему одиничних показників якості (критеріїв), які є критичними для міського циклу експлуатації, включивши до неї: запас ходу, повну вартість володіння (TCO), питому витрату електроенергії, динамічні характеристики та час відновлення заряду.

Розробити математичну модель розрахунку інтегрального показника, застосувавши метод нормалізації різнорідних параметрів (метод «min-max») та обґрунтувати вагові коефіцієнти значущості кожного критерію для умов локальних поїздок.

Виконати розрахунок та побудувати рейтингову гістограму придатності досліджуваних моделей електромобілів, проаналізувати отримані результати та визначити сфери найефективнішого використання кожного класу автомобілів.

Виклад основного матеріалу. Аналіз критеріїв вибору електромобіля для поїздок на невеликій відстані в Україні дозволив виділити ключові чинники, що детермінують рішення споживача. З урахуванням специфіки умов в Україні (стан доріг, тарифи, інфраструктура) та вимог до економічності, базовий перелік критеріїв було розширено показником енергоефективності.

Для комплексного аналізу прийнято систему із семи критеріїв із відповідними ваговими коефіцієнтами (k_i), визначеними методом експертних оцінок:

1. Вартість придбання ($k_1 = 0,25$). Фінансова доступність є домінуючим фактором в умовах обмеженої купівельної спроможності населення. Висока ціна є основним бар'єром для масового переходу на електротягу [9; 11; 15].

2. Енергоефективність ($k_2 = 0,15$). Питома витрата електроенергії (кВт·год/100 км). Цей показник прямо впливає на змінну складову

експлуатаційних витрат і стає критичним при зростанні тарифів на електроенергію [5; 10].

3. Вартість експлуатації ($k_3 = 0,15$). Охоплює витрати на технічне обслуговування (ТО), заміну витратних матеріалів та поточний ремонт. Електромобілі загалом демонструють нижчі витрати порівняно з авто з ДВЗ, однак вартість нормо-години та запчастин різняться залежно від бренду [20; 12].

4. Комфорт і зручність заряджання ($k_4 = 0,15$). Визначається швидкістю приймання заряду бортовим чарджером (AC/DC) та сумісністю з наявною інфраструктурою (порти Type 2, CCS, CHAdeMO). Для України це актуально через нерівномірність покриття швидкісними станціями [4; 12; 14].

5. Запас ходу ($k_5 = 0,15$). Для міського циклу (50–100 км/день) цей критерій має меншу вагу, ніж для магістральних перевезень, проте залишається важливим психологічним фактором («range anxiety») та резервом для зимової експлуатації [8; 18; 19].

6. Технічна надійність ($k_6 = 0,10$). Враховує безвідмовність електронних систем, деградацію батареї та витривалість ходової частини. Як зазначено у працях [6; 17], умови експлуатації (мікропрофіль доріг) суттєво впливають на довговічність транспортних засобів.

7. Екологічність ($k_7 = 0,05$). Оцінка впливу на довкілля, включно з викидами CO_2 при генерації електроенергії для зарядки та можливості утилізації компонентів [2; 7; 13].

Об'єктом дослідження обрано шість моделей, що формують основу парку електромобілів в Україні. Вибір саме цих моделей обумовлений їхньою доступністю на первинному та вторинному ринках, а також популярністю серед користувачів:

- Nissan Leaf (2-ге покоління): поширений електромобіль в Україні завдяки збалансованій ціні та перевіреним конструкції.

- Renault Zoe: типовий представник європейського А-класу, оптимізований для тісних міських умов.

- Volkswagen e-Golf: електрична версія популярного хетчбека, що пропонує звичний рівень комфорту та ергономіки.

- Hyundai Kona Electric: кросовер, що вирізняється високою енергоефективністю та значним запасом ходу.

- Tesla Model 3 / Model Y: технологічні лідери ринку, що пропонують найкращу динаміку та інфраструктуру Supercharger, проте мають вищу вартість.

У табл. 1 наведено узагальнені технічні характеристики вибраних моделей, які стали основою для подальшої бальної оцінки.

Таблиця 1. Основні технічні характеристики популярних в Україні електромобілів

Table 1. Main technical characteristics of electric vehicles popular in Ukraine

Модель	Запас ходу, км (WLTP)	Потужність, кВт	Ємність батареї, кВт·год	Питома витрата, кВт·год/100 км	Ціна*, тис. євро	Потужність зарядки, кВт	Розгін 0–100 км/год, с
Nissan Leaf	270	110	40	17,1	28	50	7,9
VW e-Golf	230	100	36	15,8	30	40	9,6
Hyundai Kona	305	150	39	14,3	32	75	7,6
Tesla Model 3	491	208	60	14,9	42	170	6,1
Tesla Model Y	455	220	60	15,7	45	170	6,9
Renault Zoe	395	100	52	17,2	27	50	9,5

*Примітка: Ціни вказано усереднені для нових або «свіжих» вживаних авто станом на 2024-2025 рік.

Для отримання об'єктивної оцінки застосовано метод багатокритеріального аналізу з попередньою нормалізацією різнорідних параметрів. Математична модель інтегрального показника якості I для i -ї моделі електромобіля має вигляд адитивної згортки:

$$I_i = \sum_{j=1}^n k_j \cdot x_{ij}, \quad (1)$$

де x_{ij} – нормалізоване значення j -го критерію для i -ї моделі (приведене до безрозмірної шкали); k_j – ваговий коефіцієнт j -го критерію ($\sum k_j = 1$).

Оскільки вхідні параметри мають різну розмірність (ціна в євро, пробіг у км, час у секундах)

і різний вектор оптимізації (для запасу ходу – «чим більше, тим краще», для ціни – «чим менше, тим краще»), використано процедуру нормалізації за методом лінійного масштабування (min-max).

Для параметрів із прямою позитивною залежністю (запас ходу, надійність, комфорт, екологічність):

$$x_{ij} = 1 + 9 \cdot \frac{P_{ij} - P_j^{min}}{P_j^{max} - P_j^{min}} \quad (2)$$

де P_{ij} – абсолютне значення параметра; P_j^{min} , P_j^{max} мінімальне та максимальне значення параметра у вибірці.

Для параметрів із зворотною залежністю (ціна, питома витрата енергії, час розгону), де менше значення є кращим:

$$x_{ij} = 1 + 9 \cdot \frac{P_j^{max} - P_{ij}}{P_j^{max} - P_j^{min}} \quad (3)$$

Такий підхід дозволяє привести всі значення до єдиної бальної шкали в діапазоні [1 ...10], де 10 – найкращий результат.

Окрім технічного рейтингу, критичною умовою вибору є економічна доцільність. Розрахунок повної вартості володіння за прогнозований період експлуатації T (років) виконується за формулою:

$$V_{\Sigma} = C_{куп} + \sum_{t=1}^T (C_{ен} + C_{то} + C_{ін}) - C_{зал} \quad (4)$$

де $C_{куп}$ – початкова ціна придбання автомобіля; $C_{ен}$ – річні витрати на електроенергію, що розраховуються як $L \cdot E \cdot тариф$ (L – річний пробіг, E – питома витрата); $C_{то}$ – витрати на технічне обслуговування та ремонт; $C_{ін}$ – інші витрати (страхування, податки, шини); $C_{зал}$ – прогнозована залишкова вартість автомобіля в кінці періоду.

На основі розробленої методики проведено розрахунок інтегральних показників, результати якого зведено в табл. 2.

Для наочного порівняння сильних та слабких сторін лідерів рейтингу та аутсайдерів за цінним фактором побудовано діаграму (рис. 1). Як бачимо з діаграми, модель Renault Zoe має збалансований профіль із зміщенням у бік економічних показників (ціна, енергоефективність), тоді як Tesla Model 3 демонструє максимальні показники в секторі «Комфорт» та «Запас ходу», але значно поступається в секторі «Фінансова доступність». Це візуально підтверджує, що для локальних поїздок (де запас ходу понад 300 км є надлишковим) переплачувати за технічну досконалість нерационально.

Аналіз результатів показує, що для сегменту локальних перевезень оптимальними є моделі Renault Zoe ($I = 7,95$) та Hyundai Kona Electric ($I = 7,90$). Незважаючи на беззаперечну технологічну перевагу моделей Tesla за критеріями запасу ходу та комфорту, їхня висока початкова вартість суттєво знижує інтегральний рейтинг в умовах чутливості ринку до ціни. Hyundai Kona демонструє найкращі показники енергоефективності, що робить її лідером за сукупною вартістю володіння при інтенсивній експлуатації.

Узагальнений рейтинг придатності досліджуваних моделей представлено на гістограмі (рис. 2).

Запропонована методика дозволяє сформулювати умову прийняття позитивного рішення щодо придбання конкретної моделі для коротких поїздок:

$$I_i \geq I_{пор} \quad \text{та} \quad V_{\Sigma i} \leq (1 + \delta) \cdot \bar{V}_{\Sigma} \quad (5)$$

де $I_{пор}$ – порогове значення рейтингу (встановлюється експертно, наприклад, 7,5); \bar{V}_{Σ} – середньоринкова вартість володіння в класі; δ – допустимий допуск (толеранс).

Таблиця 2. Інтегральна оцінка придатності електромобілів для локальної експлуатації

Table 2. Integrated assessment of EV suitability for local operation

Модель	Ціна ($k_1=0,25$)	Енергоеф. ($k_2=0,15$)	Експлу- атація ($k_3=0,15$)	Комфорт ($k_4=0,15$)	Запас ходу ($k_5=0,15$)	Надійність ($k_6=0,10$)	Екологія ($k_7=0,05$)	Інтегральний показник (I)
Renault Zoe	9	8	8	7	7	7	9	7,95
Hyundai Kona	7	10	8	8	8	8	9	7,9
Nissan Leaf	8	7	8	7	6	8	9	7,6
Tesla Model 3	6	9	6	9	9	9	9	7,8
Tesla Model Y	5	8	6	9	10	9	9	7,7
VW e-Golf	8	8	7	7	5	8	9	7,35

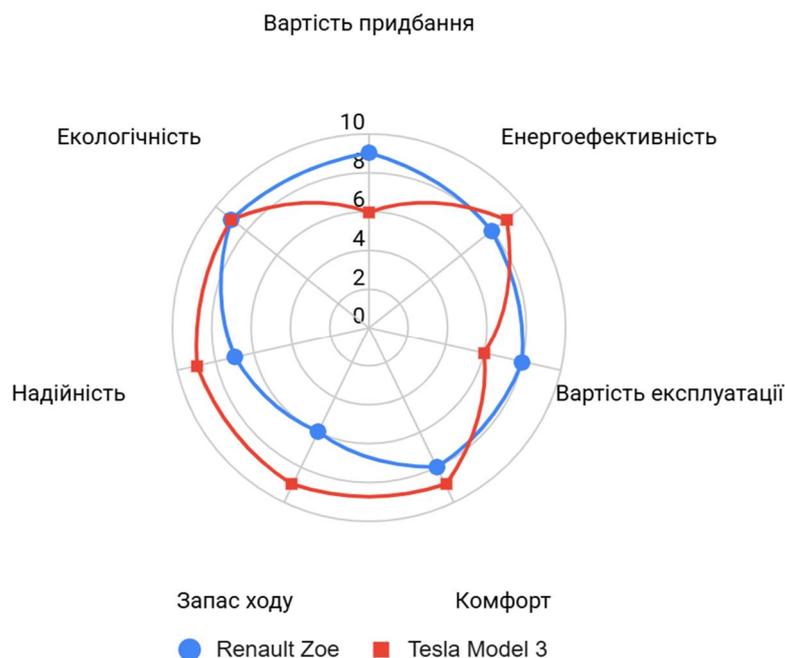


Рис. 1. Профільне порівняння характеристик Renault Zoe та Tesla Model 3 за нормалізованими критеріями
Fig. 1. Profile comparison of Renault Zoe and Tesla Model 3 characteristics by normalized criteria

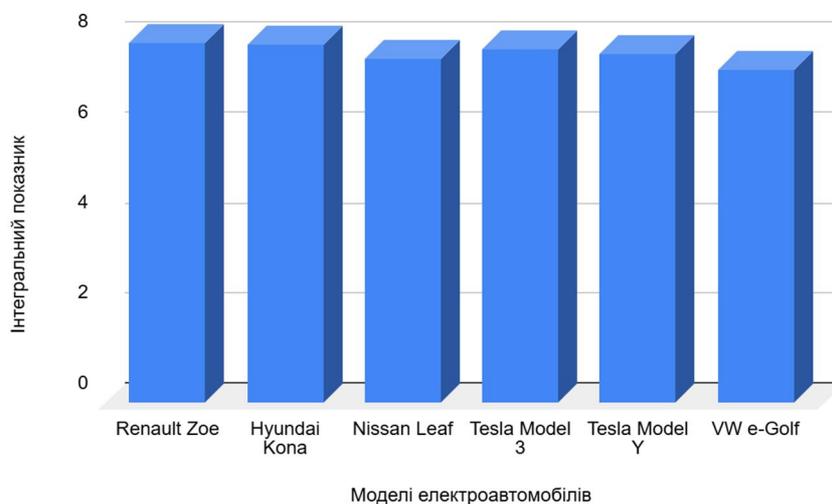


Рис. 2. Рейтинг придатності електромобілів для локальної експлуатації (Інтегральний показник I)
Fig. 2. Suitability rating of electric vehicles for local operation (Integral indicator I)

Додатково перевірено стійкість отриманого рішення до зміни зовнішніх факторів. Змодельовано сценарій зростання вартості електроенергії на 50 % (що є актуальним ризиком для енергосистеми України). У такому разі вага критерію «Енергоефективність» (k_2) експертно підвищується з 0,15 до 0,25 за рахунок зниження ваги «Запасу ходу». Розрахунок показав, що за

такого сценарію лідером рейтингу стає Hyundai Kona Electric ($I = 8,05$), випереджаючи Renault Zoe ($I = 7,90$) завдяки рекордно низькій питомій витраті енергії (14,3 кВт·год/100 км проти 17,2 кВт·год/100 км у Zoe). Це свідчить про те, що в довгостроковій перспективі енергоефективність стає вирішальним фактором економічної доцільності.

Висновки. Удосконалено методичний підхід до багатокритеріального вибору транспортних засобів шляхом інтеграції до системи оцінювання показника «енергоефективність» (питома витрата енергії) та адаптації вагових коефіцієнтів до умов локальної експлуатації в Україні. Це дозволило, на відміну від наявних підходів, змістити фокус оцінювання з технічних максимумів (максимальна швидкість, дальність ходу) на показники економічної ефективності повного життєвого циклу.

Встановлено нелінійну залежність між ринковою вартістю електромобіля та його інтегральною придатністю для коротких поїздок. Доведено, що для міського циклу (до 100 км/добу) пріоритетними є економічні фактори – вартість придбання (ваговий коефіцієнт 0,25) та енергоефективність (0,15), тоді як фактор запасу ходу є другорядним (0,15). Зростання технічних характеристик понад необхідний мінімум (як у випадку з Tesla) призводить до зниження інтегрального показника якості через диспропорційне зростання капітальних витрат.

На основі розробленої моделі визначено, що оптимальним балансом споживчих характеристик для умов України володіють моделі компактного класу: Renault Zoe ($I = 7,95$) та Hyundai Kona Electric ($I = 7,90$). Вони забезпечують мінімізацію повної вартості володіння за достатнього рівня комфорту. Аналіз чутливості моделі показав, що при зростанні тарифів на електроенергію Hyundai Kona виходить на перше місце завдяки кращій енергоефективності (14,3 кВт·год/100 км), що підтверджує критичну важливість цього параметру в довгостроковій перспективі.

Запропонований алгоритм та умова прийняття рішення ($I_i \geq I_{пор}$) є готовим інструментарієм для оптимізації структури автомобільних парків підприємств та служб таксі. Впровадження методики дозволяє знизити ризики помилкового вибору рухомого складу та зменшити прогнозовані експлуатаційні витрати на 15–20 % за рахунок пріоритетизації енергоефективних моделей, а не моделей з надлишковим запасом ходу.

Обмеженням запропонованої методики є використання статичних ринкових цін, які можуть змінюватися під впливом митної політики, а також усереднення показників деградації батареї без урахування індивідуальних стилів керування. Отримана модель є валідною для прийняття рішень у сегменті міського транспорту, але потребує корегування вагових коефіцієнтів при розгляді логістичних або магістральних перевезень.

Бібліографічний список

1. Дзюра В. О. Особливості формування системи технічного сервісу електромобілів в Україні. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2021. № 2 (14). С. 34–40. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2021-14-2-34-40>.
2. Єщенко О. О. Проблеми та перспективи утилізації літій-іонних акумуляторів електромобілів в Україні. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2022. № 3. С. 89–95. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2022.263841>.
3. Закон України «Про деякі питання ввезення на митну територію України та проведення першої державної реєстрації транспортних засобів». *Відомості Верховної Ради України*. 2018. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2754-19> (дата звернення: 05.02.2025).
4. Клименко О. М. Екологічна безпека автотранспортних потоків та перспективи електромобілізації міст України. *Екологічна безпека та природокористування*. 2021. Вип. 3 (39). С. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2021.3.45-52>.
5. Матейчик В. П., Сміхула А. В., Садковий В. П. Визначення енергетичної ефективності електромобіля в умовах міського циклу руху. *Автомобільний транспорт*. 2018. Вип. 42. С. 27–35. DOI: <https://doi.org/10.30977/AT.2219-8342.2018.42.0.27>.
6. Обґрунтування способу керування маніпуляторними установками вантажних автомобілів / О. Сукач, Я. Габрієль, В. Шевчук, С. Хімка та ін. *Вісник Львівського національного університету природокористування. Серія: Агроінженерні дослідження*. 2023. № 27. С. 35–42. DOI: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.035>.
7. Полив'ячук А. П. Оцінка екологічної ефективності експлуатації електромобілів в умовах міського руху. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2020. Вип. 89. С. 62–68. DOI: <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2020.89.0.62>.
8. Рекордний імпорт електрокарів: як змінився ринок у 2024 році. *OpenDatabot*: аналітична платформа. 2024. URL: <https://opendatabot.ua/analytics/ev-import-2024> (дата звернення: 05.02.2025).
9. Ринок електромобілів в Україні: аналітика та тренди 2023 року. *Інститут досліджень автोरинку*. URL: <https://eauto.org.ua/statistics/2023> (дата звернення: 05.02.2025).
10. Сахно В. П., Поляков В. М. Дослідження експлуатаційних властивостей електромобілів в умовах низьких температур. *Вісник Національного транспортного університету*. 2019. Вип. 44. С. 258–265. URL: <http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/44/258-265.pdf> (дата звернення: 05.02.2025).
11. Статистика реєстрацій електромобілів в Україні (BEV). Офіційний сайт асоціації «Укравтопром». URL: <https://ukravtoprom.com.ua/> (дата звернення: 05.02.2025).

12. Al-Ghamdi A. M. Electric Vehicle Adoption: A Comprehensive Systematic Review of Technological, Environmental, Organizational and Policy Impacts. *World Electric Vehicle Journal*. 2024. Vol. 15, No 8. P. 375. DOI: <https://doi.org/10.3390/wevj15080375>.
13. Ecer F. An extended MCDM framework for the assessment of battery electric vehicles in the era of smart mobility. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2023. Vol. 126. Art. 106883. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.106883>.
14. Gatton A. Electric Vehicles: The Future of Transport and the Challenge of Infrastructure. *Journal of Sustainable Mobility*. 2023. Vol. 12, No 3. P. 45–58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2023.04.012>.
15. Global EV Outlook 2024. Moving towards a stronger EV market / International Energy Agency (IEA). Paris, 2024. 165 p. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (дата звернення: 05.02.2025).
16. Hwang C. L., Yoon K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications. New York: Springer-Verlag, 1981. 259 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9>.
17. Identifying the influence of micro profile of rural roads on the durability of bus body when carrying passengers / D. Ruban, L. Krainyk, H. Ruban, S. Khimka, O. Sukach et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. Vol. 1, No 7 (133). P. 6–15. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.325773>.
18. Liao F., Molin E., van Wee B. Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. *Transport Reviews*. 2017. Vol. 37, No 3. P. 252–275. DOI: <https://doi.org/10.1080/01441647.2016.1230794>.
19. Saaty T. L. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*. 2008. Vol. 1, No 1. P. 83–98. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>.
20. Vincentric 2024 US Electric Vehicle Cost of Ownership Analysis. *Vincentric LLC*. April 2024. URL: <https://vincentric.com/Home/Industry-Reports> (дата звернення: 05.02.2025).

Стаття надійшла 07.02.2025