

ЕКО-ТЕХНОЛОГІЧНА ЗРІЛІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВ ЯК НОВА НАУКОВА КАТЕГОРІЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Вознюк Я.Ю.

Національний транспортний університет
вул. Михайла Омеляновича-Павленка, 1, 01010, м. Київ
yavzn@gmail.com

Транспортна галузь є одним із найбільших джерел антропогенного навантаження на довкілля: дорожній транспорт формує понад дві третини викидів парникових газів транспортного сектору ЄС, а в українських містах його частка у загальному обсязі викидів забруднюючих речовин сягає 90 %. Специфічною рисою вітчизняної ситуації є критична зношеність рухомого складу – середній вік автомобілів в Україні перевищує 23 роки, що означає переважання стандартів Euro 0-2 з відсутніми або несправними системами нейтралізації відпрацьованих газів. В умовах євроінтеграції та впровадження стандарту Євро-7 ця технологічна відсталість набуває характеру структурної галузевої проблеми, що вимагає нових інструментів діагностики та управління. У статті встановлено, що існуючі методичні підходи до оцінки екологічної ефективності підприємств – нормативно-порівняльний, на основі ISO 14031, індексні методи, оцінка життєвого циклу (LCA) та багатокритеріальний аналіз (MCDA) – мають спільну методологічну ваду: всі вони вимірюють досягнутий екологічний результат, але не здатні охарактеризувати технологічний потенціал підприємства як структурну основу цього результату. Для подолання виявленої прогалини запропоновано нову наукову категорію – еко-технологічна зрілість транспортного підприємства (ЕТЗ), що визначається як комплексна характеристика стану виробничо-технологічної системи підприємства, яка визначає її спроможність стабільно мінімізувати антропогенний вплив на довкілля через інтеграцію найкращих доступних природоохоронних технологій та систем їх контролю. Розкрито зміст трьох структурних компонентів ЕТЗ: технологічного потенціалу, технологічної результативності та системності технологічного захисту. Показано, що нова категорія дозволяє розрізняти підприємства з однаковим рівнем фактичних викидів, але принципово різним технологічним потенціалом, і формує концептуальну основу для подальшого розроблення кількісного методу оцінки ЕТЗ. *Ключові слова:* еко-технологічна зрілість, транспортне підприємство, екологічна ефективність, природоохоронні технології, сталий розвиток.

Eco-technological maturity of transport enterprises as a new scientific category of environmental management. Vozniuk Ya.

The transport industry is one of the largest sources of anthropogenic environmental pressure: road transport accounts for over two-thirds of greenhouse gas emissions from the EU transport sector, while in Ukrainian cities its share of total pollutant emissions reaches 90 %. A distinctive feature of the domestic situation is the critical ageing of the vehicle fleet – the average age of vehicles in Ukraine exceeds 23 years, implying the dominance of Euro 0–2 standards with absent or non-functioning exhaust after-treatment systems. In the context of European integration and the introduction of the Euro 7 standard, this technological backwardness is becoming a structural industry problem requiring new diagnostic and management tools. The article establishes that existing methodological approaches to assessing the environmental performance of enterprises – normative-comparative, ISO 14031-based, index methods, life cycle assessment (LCA) and multi-criteria analysis (MCDA) – share a common methodological flaw: all of them measure the achieved environmental outcome but are unable to characterise the technological potential of an enterprise as the structural basis of that outcome. To bridge the identified gap, a new scientific category is proposed – eco-technological maturity of a transport enterprise (ETM), defined as a comprehensive characteristic of the state of the production and technological system of an enterprise that determines its ability to consistently minimise anthropogenic environmental impact through the integration of best available environmental protection technologies and their control systems. The content of three structural components of ETM is disclosed: technological potential, technological effectiveness, and systematic coverage of environmental protection. It is shown that the new category makes it possible to distinguish between enterprises with the same level of actual emissions but fundamentally different technological potential, and provides a conceptual basis for the further development of a quantitative ETM assessment method. *Key words:* eco-technological maturity, transport enterprise, environmental efficiency, environmental protection technologies, sustainable development.

Постановка проблеми. Транспортний сектор посідає особливе місце серед галузей економіки за масштабами екологічного впливу. За оцінками Європейського екологічного агентства, він формує

31 % сукупних викидів парникових газів у країнах ЄС-27, і на відміну від більшості інших секторів – де спостерігається скорочення викидів – транспортні викиди за три десятиліття зросли на чверть [1].



Серед видів транспорту домінує дорожній: понад дві третини транспортних викидів парникових газів у ЄС припадає саме на нього. Для України ці тенденції мають ще більш виражений характер. Пересувні джерела забруднення – переважно автомобільний транспорт – є головними постачальниками оксиду вуглецю, оксидів азоту та летких органічних сполук в атмосферне повітря [3]. У великих містах, зокрема в Києві, внесок автотранспорту у загальний обсяг викидів забруднюючих речовин сягає 90 % [5]. Водночас специфічною рисою вітчизняної ситуації є критична зношеність транспортного парку: середній вік автомобілів в Україні перевищує 23 роки – вдвічі більше, ніж у країнах ЄС [1]. Переважна частина рухомого складу функціонує без сучасних систем нейтралізації відпрацьованих газів або з такими, що давно вийшли з ладу. Підприємство, яке демонструє задовільні показники завдяки низькій інтенсивності перевезень, і підприємство, яке досягає тих самих показників завдяки сучасним природоохоронним технологіям, отримують ідентичну оцінку – хоча їхній реальний екологічний потенціал кардинально різний. Подолання цього протиріччя вимагає нових концептуальних інструментів.

Актуальність дослідження. Запит на нові підходи до оцінки екологічного стану транспортних підприємств став особливо гострим в умовах повномасштабного збройного вторгнення. Пошкодження виробничої інфраструктури, вимушена релокація підприємств та суттєве скорочення державного екологічного нагляду утворили ситуацію, в якій традиційні методи оцінювання виявилися малоприматними. Паралельно загострилися довоєнні системні проблеми: низький рівень впровадження сертифікованих систем екологічного менеджменту в галузі та відсутність галузевих нормативів питомих екологічних показників позбавляють підприємства орієнтирів для самостійної оцінки. Нові стандарти Євро-7, прийняті Регламентом ЄС 2024/1257 [6], розширюють перелік нормованих забруднювачів і вводять систему бортового моніторингу викидів у реальних умовах – тобто фактично переходять від контролю результату до контролю технологічного процесу. Розвиток інтелектуалізованих транспортних систем також відкриває нові можливості для підвищення екологічності перевезень [2]. Це свідчить про те, що регуляторна логіка рухається у напрямі, який концепція ЕТЗ покликана методично оформити.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Дослідження виконується в руслі реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року [7] та відповідає завданням адаптації вітчизняного екологічного законодавства до стандартів ЄС. Практична цінність запропонованої категорії полягає у можливості її застосування при формуванні програм екологічної модернізації транспортних підприємств та вдосконаленні норма-

тивно-методичного забезпечення галузевого екологічного менеджменту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Концептуальні засади оцінки екологічної ефективності підприємств закладено у доповіді WBCSD «Changing Course» (1992), де еко-ефективність визначено як досягнення конкурентоспроможних результатів при послідовному зменшенні екологічного навантаження. У прикладному вимірі найбільш системним інструментом залишається стандарт ISO 14031:2021, що структурує оцінку через показники операційної ефективності (OPI) та ефективності управління (MPI) [8]. Zhu Z. та співавтори (2023) дослідили еко-ефективність транспортної галузі Китаю з використанням DEA-аналізу [9]. Zhou G. та Zhang Z. (2024) розвинули трьохстадійний DEA-підхід для оцінки регіональної екологічної ефективності [10]. Gökgöz E. (2025) дослідив зв'язок між енергетичною та економічною ефективністю транспортного сектору ЄС [11]. Kwilinski A. та співавтори (2024) систематизували технологічні підходи до скорочення транспортних викидів CO₂ [12]. Júnior H. D. S. Q. та співавтори (2024) застосували DEA для порівняльної оцінки транспортних систем Південної Америки [13]. Dabbagh R. та Parvizi Omran N. (2024) здійснили систематичний огляд застосувань АНР у транспортних дослідженнях [14]. Cámara-Aceituno J. та співавтори (2023) оцінили екологічну ефективність 27 країн ЄС методом DEA [16]. Burchart D. та Przytuła I. (2024) систематизували методи оцінки сталого розвитку транспортного сектору з урахуванням концепції життєвого циклу [17]. Попри методологічне різноманіття цих підходів, усі вони об'єднані спільною логікою: оцінюється те, що підприємство вже зробило з точки зору екологічного впливу, а питання про технологічний потенціал залишається поза межами аналізу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Порівняльний аналіз п'яти методичних підходів до оцінки екологічної ефективності підприємств виявляє їх структурне обмеження: жоден з них не розглядає технологічну систему захисту довкілля як самостійний об'єкт оцінювання (табл. 1).

Наведена систематизація засвідчує: жоден з підходів не дає відповіді на запитання про те, яким технологічним потенціалом підприємство розташовує для стабільного забезпечення прийнятного рівня екологічного впливу. Саме ця прогалина і є предметом справжньої статті.

Новизна. У роботі вперше запроваджено поняття еко-технологічної зрілості транспортного підприємства (ЕТЗ) як наукової категорії екологічного менеджменту. На відміну від поняття «екологічна ефективність», що характеризує результат діяльності в певний момент часу, ЕТЗ відображає структурні властивості виробничо-технологічної системи підприємства – її потенціал до стабільного екологічно

Таблиця 1

**Порівняльна характеристика методичних підходів
до оцінки екологічної ефективності транспортних підприємств**

Підхід	Що оцінює	Сильні сторони	Ключове обмеження
Нормативно-порівняльний	Відповідність фактичних показників нормативам ГДВ, ГДС	Чіткість критерію; сумісність з обов'язковою звітністю	Не розрізняє технологічно розвинені та технологічно відсталі підприємства з однаковим рівнем викидів
ISO 14031:2021	Динаміку операційних та управлінських показників	Системність; орієнтація на поліпшення	Застосовний лише за наявності СЕМ; відсутній єдиний інтегральний критерій
Індексні методи (PSR, ESI)	Агрегований індекс з нормованих показників	Придатний для рейтингування та ESG-звітності	Компенсаційний ефект: низькі показники за одними критеріями перекриваються високими за іншими
Оцінка життєвого циклу (LCA)	Сукупний екологічний вплив на всіх стадіях ЖЦ послуги	Найбільш повний охват впливів [17, 18]	Висока ресурсоемність; непридатний для оперативного управлінського використання
Багатокритеріальний аналіз (AHP, TOPSIS, DEA)	Відносну ефективність підприємств за множиною критеріїв [14, 15, 16]	Математична строгість; можливість міжпідприємницького порівняння	Відсутній галузевий адаптований перелік критеріїв для ТП; результат чутливий до вагових коефіцієнтів

Джерело: складено автором на основі [8–18].

відповідального функціонування незалежно від кон'юнктурних факторів.

Методологічне або загальнонаукове значення. Запропонована категорія заповнює концептуальну нішу між поняттями «екологічна ефективність» (результат) та «найкраща доступна технологія» (нормативний орієнтир). ЕТЗ характеризує реальний технологічний стан конкретного підприємства – відстань між наявним станом та орієнтиром. Концептуально це близько до поняття Technology Readiness Level (TRL), що використовується в авіаційній та оборонній промисловості, – з тією відмінністю, що ЕТЗ характеризує не окрему технологію, а виробничо-технологічну систему підприємства в цілому. Загальнонаукове значення полягає у розширенні понятійного апарату екологічного менеджменту транспортних підприємств та формуванні методологічної основи для подальших порівняльних досліджень у галузі.

Виклад основного матеріалу. Аналіз структури екологічного впливу підприємств транспортної галузі дозволяє виокремити п'ять ключових напрямів: забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами та викидами стаціонарних джерел; шумовий вплив на прилеглі території; забруднення поверхневих вод і ґрунтів нафтопродуктами та технічними рідинами; утворення відходів різних класів небезпеки. Для кожного з цих напрямів існує ідентифікований технологічний дефіцит – конкретна відсутня або несправна система захисту, що безпосередньо зумовлює екологічне навантаження. Системи нейтралізації відпрацьованих газів – трикомпонентний каталітичний нейтралізатор (TWC),

сажовий фільтр (DPF), система селективної каталітичної нейтралізації (SCR) – здатні знижувати викиди основних забруднювачів на 30–99 % [4]. Дослідження реальних викидів сучасних дизельних вантажівок у різних режимах роботи підтверджують критичну роль технічного стану систем доочищення [20]. Цифрові інструменти управління парком забезпечують додаткове зниження питомих викидів та підвищення загального рівня екологічності перевезень [2, 21]. Проте між наявністю ефективних технологій і їх реальним впровадженням на вітчизняних підприємствах існує значний розрив: більшість з них експлуатує рухомий склад стандартів Euro 0–2, очисні споруди перебувають у незадовільному стані, управління небезпечними відходами здійснюється із порушеннями вимог. Жоден з наявних методичних підходів не дозволяє отримати інтегральну характеристику цього технологічного стану.

Для заповнення цієї методологічної ніші запропоновано нову категорію. **Еколого-технологічна зрілість транспортного підприємства (ЕТЗ)** – це комплексна характеристика стану виробничо-технологічної системи підприємства, що визначає її спроможність стабільно мінімізувати антропогенний вплив на довкілля через інтеграцію найкращих доступних природоохоронних технологій та систем їх контролю. Важливим є слово «стабільно»: підприємство з високою ЕТЗ здатне підтримувати низький рівень екологічного впливу навіть при зростанні обсягів перевезень або послабленні зовнішнього контролю – не тому, що за ним стежать, а тому що воно має відповідну технологічну базу.

У структурному відношенні ЕТЗ складається з трьох компонентів. *Технологічний потенціал* характеризує наявність і рівень природоохоронних технологій: відповідність рухомого складу екологічним стандартам, справність систем нейтралізації відпрацьованих газів, стан очисних споруд, наявність шумозахисних рішень, організацію поводження з небезпечними відходами. *Технологічна результативність* показує, якою мірою наявні технології реально забезпечують відповідність нормативним вимогам за всіма напрямками екологічного впливу – саме цей компонент поглинає логіку нормативно-порівняльного підходу. *Системність технологічного захисту* відображає повноту охоплення різних видів екологічного впливу та рівень автоматизації контролю: підприємство з сучасними системами нейтралізації газів, але без очисних споруд матиме низьке значення за цим компонентом незалежно від рівня першого. Застосування методів DEA та АНР [15, 16, 19] дозволить у подальших дослідженнях формалізувати кількісну оцінку кожного з трьох компонентів ЕТЗ.

Головні висновки. 1. Транспортна галузь формує 31 % викидів парникових газів у ЄС і є головним джерелом забруднення атмосферного повітря в українських містах. Критична зношеність вітчизняного

рухомого складу перетворює технологічну відсталість підприємств на структурну проблему галузі.

2. П'ять методичних підходів до оцінки екологічної ефективності підприємств – нормативно-порівняльний, ISO 14031, індексні методи, LCA та MCDA – мають спільне обмеження: усі оцінюють досягнутий результат, не торкаючись питання про технологічний потенціал підприємства.

3. Запропоновано нову наукову категорію – еколого-технологічна зрілість транспортного підприємства (ЕТЗ), що характеризує спроможність виробничо-технологічної системи підприємства стабільно мінімізувати антропогенний вплив на довкілля.

4. Структура ЕТЗ включає три компоненти – технологічний потенціал, технологічну результативність та системність технологічного захисту, – що дозволяє охопити різні аспекти природоохоронної діяльності в єдиній концептуальній рамці.

Перспективи використання результатів дослідження. Запропонована категорія ЕТЗ може слугувати концептуальною основою для розроблення галузевих програм екологічної модернізації транспортних підприємств, вдосконалення нормативно-методичного забезпечення екологічного менеджменту та формування системи критеріїв для міжпідприємницького порівняння рівня технологічного захисту довкілля в умовах євроінтеграції.

Література

1. European Environment Agency. Greenhouse gas emissions from transport. Published 10 February 2026. URL: <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-transport> (дата звернення: 01.05.2025).
2. Ladyzhenskyi E., Petlenko V., Hrynyi A. Increasing the Level of Environmental Friendliness of Transportation Based on the Intellectualization of Transport Systems. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2025. Vol. 2, No. 11(42). P. 286-297. DOI: 10.32515/2664-262x.2025.11(42).2.286-297.
3. Державна служба статистики України. Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря в Україні (1990-2024). URL: https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/menu/menu_u/ns.htm (дата звернення: 01.05.2025).
4. Zhang Y., Du J., Shan Y., Wang F., Liu J., Wang M., Liu Z., Yan Y., Xu G., He G., Shi X., Lian Z., Yu Y., Shan W., He H. Toward synergetic reduction of pollutant and greenhouse gas emissions from vehicles: a catalysis perspective. *Chemical Society Reviews*. 2025. DOI: 10.1039/d4cs00140k.
5. Хацей А., Трус І. Динаміка викидів забруднюючих речовин в Україні та м. Києві у атмосферне повітря від стаціонарних та пересувних джерел забруднення. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*. 2025. № 351(3.1). С. 557-564. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-351-72.
6. Regulation (EU) 2024/1257 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on type-approval of motor vehicles and engines with respect to their emissions and battery durability (Euro 7). OJ L, 2024/1257, 8.5.2024.
7. Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2024 р. № 1550.
8. ISO 14031:2021. Environmental management – Environmental performance evaluation – Guidelines. Geneva: ISO, 2021. 32 p.
9. Zhu Z., Zhang X., Xue M., Song Y. Eco-Efficiency and Its Evolutionary Change under Regulatory Constraints: A Case Study of Chinese Transportation Industry. *Sustainability*. 2023. Vol. 15, No. 9. Art. 7456. DOI: 10.3390/su15097456.
10. Zhou G., Zhang Z. Evaluation and Influencing Factors of Regional Environmental Efficiency in China Based on Three-Stage DEA Model. *SAGE Open*. 2024. Vol. 14, No. 3. DOI: 10.1177/21582440241280825.
11. Gökgöz F., Yalçın E. Dynamics of energy and economic transportation efficiency: An analysis of EU transportation sector. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 2025. Vol. 44, No. 6. Art. e70026. DOI: 10.1002/ep.70026.
12. Kwilinski A., Lyulyov O., Pimonenko T. Reducing Transport Sector CO₂ Emissions Patterns: Environmental Technologies and Renewable Energy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2024. Vol. 10, No. 1. Art. 100217. DOI: 10.1016/j.joitmc.2024.100217.
13. Júnior H. D. S. Q., Celestino M. A., Falcão V. A., Silva F. G. F., Andrade M. O., Brasileiro A. Evaluating Sustainable Efficiency: A Study on Transportation Systems in South America Using Data Envelopment Analysis. *Latin American Transport Studies*. 2024. Vol. 2. Art. 100012. DOI: 10.1016/j.latran.2024.100012.

14. Kriswardhana W., Toaza B., Esztergár-Kiss D., Duleba S. Analytic hierarchy process in transportation decision-making: A two-staged review on the themes and trends of two decades. *Expert Systems with Applications*. 2025. Vol. 261. P. 125491. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.125491.
15. Janicka M., Sajnog A. Environmental Efficiency and Market Value: Using the Data Envelopment Analysis Method to Evaluate Public Companies From the European Union. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*. 2025. P. 1–21. DOI: 10.1002/csr.70335.
16. Cámara-Aceituno J., Hermoso-Orzáez M. J., Terrados-Cepeda J., Mena-Nieto Á., García-Ramos J. E. Application of the data envelopment analysis technique to measure the environmental efficiency of the 27 countries of the European Union during the period 2012–2020. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2024. Vol. 26, No. 5. P. 1477–1505. DOI: 10.1007/s10098-023-02553-9.
17. Burchart D., Przytuła I. Sustainability Assessment Methods for the Transport Sector Considering the Life Cycle Concept – A Review. *Sustainability*. 2024. Vol. 16, No. 18. Art. 8148. DOI: 10.3390/su16188148.
18. Osorio-Tejada J. L., Llera-Sastresa E., Scarpellini S. Environmental assessment of road freight transport services beyond the tank-to-wheels analysis based on LCA. *Environment, Development and Sustainability*. 2024. Vol. 26, No. 1. P. 421–451. DOI: 10.1007/s10668-022-02715-7.
19. Ghandehari M., Kamali Yazdi F., Habibi S. Data Envelopment Analysis: A Novel Approach for Assessing the Efficiency of Air Pollution Mitigation Strategies in Metropolitan Areas. *Transactions on Soft Computing*. 2025. Vol. 1, No. 1. DOI: 10.48314/tsc.vi.39.
20. Ma T., Toumasatos Z., Tang T., Durbin T. D., Johnson K. C., Karavalakis G. Real-World Particle Emissions from a Modern Heavy-Duty Diesel Vehicle during Normal Operation and DPF Regeneration Events. *Environmental Science & Technology*. 2025. DOI: 10.1021/acs.est.4c12448.
21. Xiao C. Sustainable logistics development strategy based on SWOT and analytic hierarchy process. *PLOS ONE*. 2024. Vol. 19, No. 10. Art. e0312560. DOI: 10.1371/journal.pone.0312560.

Дата першого надходження статті до видання: 03.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 28.07.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 31.08.2026