

# АНАЛІЗ РОЛІ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ У ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ ТА СУПУТНИХ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБМЕЖЕНЬ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

## Анотація

У статті проведено комплексний аналіз ролі електромобілів у процесах декарбонізації транспортного сектору та визначено основні бар'єри на шляху їх масового впровадження. Встановлено, що електрифікація транспорту є ключовим інструментом боротьби зі зміною клімату, оскільки дозволяє суттєво знизити антропогенні викиди CO<sub>2</sub> та покращити екологічну ситуацію в містах. Доведено, що найбільший екологічний ефект досягається за умови інтеграції електротранспорту з відновлюваними джерелами енергії. Водночас дослідження виявило низку критичних викликів, зокрема: недостатню розгалуженість зарядної інфраструктури, що викликає «тривожність пробігу» у користувачів; необхідність модернізації електромереж для уникнення пікових навантажень; та високу вартість акумуляторних батарей разом із проблемою їх подальшої утилізації. Обґрунтовано, що подолання цих перешкод потребує системної державної підтримки, розвитку циркулярної економіки та міжнародної стандартизації технологій для забезпечення сталого розвитку мобільності.

**Ключові слова:** електромобілі, електрифікація транспорту, скорочення викидів, зарядна інфраструктура, декарбонізація, екологічна мобільність, життєвий цикл автомобіля, відновлювані джерела енергії, інфраструктурні бар'єри, модернізація електромереж.

## Abstract

The article provides a comprehensive analysis of the role of electric vehicles in the processes of decarbonization of the transport sector and identifies the main barriers to their mass implementation. It is established that the electrification of transport is a key tool in combating climate change, as it allows for a significant reduction in anthropogenic CO<sub>2</sub> emissions and improves the environmental situation in cities. It is proven that the greatest environmental effect is achieved when electric transport is integrated with renewable energy sources. At the same time, the study identified a number of critical challenges, including: insufficient expansion of the charging infrastructure, which causes "range anxiety" among users; the need to modernize power grids to avoid peak loads; and the high cost of batteries along with the problem of their subsequent disposal. It is substantiated that overcoming these obstacles requires systematic state support, the development of a circular economy, and international standardization of technologies to ensure sustainable development of mobility.

**Keywords:** electric vehicles, transport electrification, emission reduction, charging infrastructure, decarbonization, ecological mobility, vehicle life cycle, renewable energy sources, infrastructure barriers, modernization of power grids.

## Вступ

На сучасному етапі транспортна галузь залишається одним із найбільших джерел антропогенного навантаження на довкілля, зокрема через значні обсяги викидів вуглекислого газу. Традиційні транспортні засоби з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) суттєво впливають на зміну клімату та якість повітря в містах, що зумовлює необхідність переходу до екологічно безпечної мобільності. Електрифікація транспорту розглядається як ключовий інструмент декарбонізації, що відповідає цілям міжнародних угод, таких як Паризька кліматична угода, щодо досягнення «чистого нуля» у довгостроковій перспективі.

Попри високий потенціал електромобілів у зниженні вуглецевого сліду, їх масове впровадження супроводжується низкою бар'єрів. До основних викликів належать дефіцит розгалуженої зарядної інфраструктури, обмежена стандартизація технологій, зростання навантаження на енергомережі та питання повного життєвого циклу акумуляторних батарей. Мета статті полягає у комплексному аналізі ролі електротранспорту в процесах декарбонізації та виявленні критичних інфраструктурних обмежень, що стримують його глобальне поширення.

## Результати дослідження

Електрифікація транспорту визнана стратегічним пріоритетом у боротьбі зі зміною клімату, оскільки транспортна галузь залишається одним із найбільших джерел антропогенного навантаження на довкілля. Ключова перевага електромобілів полягає у відсутності прямих викидів CO<sub>2</sub> та інших забруднювачів повітря (оксидів азоту, твердих частинок) під час руху, що суттєво покращує екологічну ситуацію в густонаселених містах і знижує ризик респіраторних захворювань у населення. Наукові дослідження підтверджують, що навіть з урахуванням енергоємного виробництва акумуляторів, загальний вуглецевий слід електрокара протягом усього життєвого циклу залишається значно нижчим, ніж у автомобілів з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ). Цей позитивний ефект максимізується в регіонах з високою часткою відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в енергосистемі, де заряджання від вітрових чи сонячних станцій дозволяє наблизитися до показників «чистого нуля».

Однак масштабна інтеграція електротранспорту стикається з критичними інфраструктурними викликами, серед яких головним є дефіцит розгалуженої та швидкісної мережі зарядних станцій. Відсутність пунктів зарядки на міжміських маршрутах та в сільській місцевості породжує у користувачів «тривожність пробігу», що стає серйозним бар'єром для масового переходу на цей вид транспорту. Ситуацію ускладнює недостатня стандартизація зарядних роз'ємів та платіжних систем, що потребує узгодження технічних норм на міжнародному рівні. Крім того, масове підключення електромобілів створює ризики пікових навантажень на електричні мережі, вимагаючи їхньої модернізації та впровадження технологій розумного управління (Smart Grid) для оптимізації енергоспоживання.

Економічний аспект проблеми пов'язаний з високою вартістю літій-іонних акумуляторів, яка досі становить значну частину ціни автомобіля, попри поступове технологічне здешевлення. Важливим викликом є також екологічна сталість ланцюгів постачання критичної сировини та необхідність створення ефективних систем утилізації і переробки батарей для реалізації принципів циркулярної економіки. Подолання цих перешкод можливе лише за умови активної державної підтримки, що включає податкові пільги, субсидування та встановлення чітких регуляторних термінів для поступової відмови від ДВЗ на користь екологічно чистої мобільності.

## Висновки

Електрифікація транспорту визначена як стратегічно важливий напрям декарбонізації економіки, оскільки вона дозволяє суттєво знизити вуглецевий слід та покращити екологічний стан міських просторів завдяки відсутності прямих викидів CO<sub>2</sub> під час руху. Проведене дослідження підтверджує, що найбільший потенціал електромобілів реалізується за умови їх інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, проте для повної оцінки екологічного ефекту необхідно враховувати весь життєвий цикл автомобіля, включаючи енергоємне виробництво та утилізацію батарей. Головними бар'єрами на шляху масового впровадження залишаються інфраструктурні виклики, зокрема дефіцит зарядних станцій, обмежена стандартизація технологій та зростаюче навантаження на електромережі, що потребує модернізації енергосистем і впровадження «розумного» управління. Ефективне подолання цих перешкод, а також вирішення питань високої вартості та переробки акумуляторів можливе лише через системну державну політику, що поєднує фінансові стимули, стратегічні інвестиції в інновації та злагоджену співпрацю уряду, бізнесу і наукової спільноти для створення стійкої та безпечної мобільності.

*Дідусенко Софія Русланівна* — студент групи ТЗД-226, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: sonyadidusenko05@gmail.com.

*Кватернюк Сергій Михайлович* — д.т.н., професор, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.

*Didusenko Sofia Ruslanivna* — student of group TZD-22b, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: sonyadidusenko05@gmail.com.

*Kvaterniuk Serhii Mykhailovych* — D.Sc., Professor, Professor of Department of Ecology, Chemistry and Environmental Protection Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kvaternuk@vntu.edu.ua.