

## ІНТЕГРАЦІЯ ВОДНЕВИЙ ТЕХНОЛОГІЙ У СУЧАСНІ АВТОМОБІЛІ: ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ

**Віштак Інна Вікторівна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедра безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет,

e-mail: [innavish322@gmail.com](mailto:innavish322@gmail.com), ORCID: 0000-0001-5646-4996

**Нікітін Назарій Геннадійович**, бакалавр,  
Вінницький національний технічний університет,

e-mail: [nikitinnazariji@gmail.com](mailto:nikitinnazariji@gmail.com)

Сучасна автомобільна промисловість перебуває на етапі глибокої трансформації, спричиненої глобальними екологічними викликами та необхідністю зниження викидів парникових газів. Традиційні види палива поступово втрачають свою економічну та екологічну доцільність, що зумовлює пошук альтернативних енергетичних рішень. Водневі технології розглядаються як перспективний напрям розвитку «зеленої» мобільності, здатний забезпечити нульові викиди під час експлуатації, високу енергоємність та короткий час заправки порівняно з акумуляторними системами. Однак впровадження водневих систем у автомобілебудування стикається з низкою технологічних, інфраструктурних та економічних бар'єрів, подолання яких потребує комплексного підходу на основі наукових досліджень і міжгалузевої координації.

Метою дослідження є обґрунтування теоретичних та практичних засад інтеграції водневих технологій у сучасні автомобілі, визначення ключових викликів їх упровадження та розроблення концептуальної моделі поетапного переходу до використання водню як основного енергоресурсу автомобільної галузі.

Об'єктом дослідження є процес упровадження водневих енергетичних технологій у сучасне автомобілебудування.

Предметом дослідження є технологічні, організаційно-економічні та екологічні аспекти інтеграції водневих систем у транспортні засоби, зокрема механізми їх поетапного впровадження в автомобільній промисловості України.

У роботі авторів [1] досліджено екологічний потенціал використання водню в паливних елементах для автомобільного транспорту. Дослідники обґрунтовують, що реакція окиснення водню супроводжується утворенням води як єдиного продукту, що забезпечує нульові шкідливі викиди під час експлуатації транспортних засобів. На їх думку, відсутність більш детального аналізу впливу технологічного циклу виробництва водню на загальний баланс викидів CO<sub>2</sub>, а також економічної доцільності впровадження таких систем у масове виробництво є, наразі, не вирішеною проблемою для подальшого розвитку екологічного автомобільного транспорту.

У дослідженнях авторів [2,3] розглянуто роль «зеленого» водню, отриманого з відновлюваних джерел енергії, у зменшенні викидів парникових газів у транспортному секторі. Акцентовано на відповідності цієї технології міжнародним кліматичним угодам і Цілям сталого розвитку. Предметом дослідження науковців є вплив відновлюваних джерел енергії на скорочення вуглецевого сліду транспорту. За результатами проведених досліджень встановлено, що наявні моделі оптимізації процесів виробництва та логістичного забезпечення постачання «зеленого» водню для потреб автомобільної галузі залишаються недостатньо розвиненими та потребують подальшого вдосконалення з урахуванням технологічних, економічних і екологічних чинників.

У своїй роботі [4] автор аналізує енергетичні характеристики водню порівняно з традиційними видами палива й акумуляторними системами. Зазначено, що питома енергія водню (120 МДж/кг) перевищує показники більшості альтернатив, що забезпечує більший запас ходу транспортних засобів і робить технологію привабливою для вантажного транспорту. На думку автора, відсутність детальних економічних розрахунків ефективності використання водню в умовах промислового виробництва та реальних транспортних систем є актуальною проблемою і потребує подальших досліджень і визначення методів розв'язання.

У звіті Міжнародного енергетичного агентства [5] подано системний аналіз глобальних тенденцій виробництва, споживання та інвестицій у водневу енергетику. Наголошено, що більша частина водню нині виробляється з викопного палива, що суперечить кліматичним цілям. Предмет їх дослідження є глобальна структура виробництва та використання водню та потреба у створенні єдиної системи моніторингу вуглецевого сліду виробництва водню та механізмів міжнародної сертифікації «зеленого» водню.

У дослідженні авторів у роботі [6] розкрито ключові бар'єри впровадження водневих автомобілів: висока собівартість паливних елементів, складність транспортування та відсутність заправної інфраструктури. Науковці підкреслюють стратегічний потенціал цієї технології в декарбонізації транспорту та визначають за свій предмет дослідження – техніко-економічні аспекти впровадження водневих автомобілів. На їх думку, питання стандартизації компонентів паливних систем і механізмів зниження собівартості їх виробництва все ще є недостатньо опрацьовані.

Документ Європейської комісії [7] визначає стратегічні напрями розвитку водневої енергетики в країнах ЄС, зокрема інтеграцію водню у транспорт, промисловість і енергетику. Зроблено акцент на досягненні кліматичної нейтральності та енергетичної безпеки. Політичні та стратегічні аспекти формування європейської водневої економіки визначають потребу у практичних механізмах адаптації європейських стратегій до умов країн, що розвиваються, зокрема України.

На сьогодні автомобільна промисловість України потребує структурної трансформації, що зумовлено глобальними екологічними викликами та необхідністю зниження залежності від викопних джерел енергії. Одним із

найбільш перспективних напрямів сталого розвитку транспортної галузі є впровадження водневих технологій, що розглядаються як ключовий елемент переходу до кліматично нейтральної економіки.

Можливості впровадження водневих систем у транспорт полягають у зниженні рівня шкідливих викидів та сприянні розвитку «зеленої» енергетики, забезпеченні високої енергоємності палива порівняно з акумуляторними технологіями, а також у можливості їхньої технологічної інтеграції з наявними системами електротранспорту.

Основні виклики впровадження пов'язані з високою собівартістю виробництва «зеленого» водню, складністю його транспортування та зберігання, недостатнім розвитком інфраструктури водневих заправних станцій і потребою в подальшому вдосконаленні технологій паливних елементів.

Для подолання зазначених обмежень доцільним є реалізація поетапної стратегії розвитку водневої інфраструктури, що передбачає державне стимулювання виробництва екологічно чистого водню, створення сприятливих умов для інвестицій у водневу енергетику та запуск пілотних проєктів з інтеграції водневих систем у громадський транспорт і вантажоперевезення.

Наукова новизна дослідження полягає у формуванні концептуальної моделі поетапної інтеграції водневих технологій у транспортну інфраструктуру, яка враховує технологічні, економічні та екологічні аспекти переходу автомобільної галузі до сталого розвитку та підвищення її енергоефективності.

## Висновки

У результаті дослідження встановлено, що водневі технології мають значний потенціал для розвитку екологічно чистого транспорту та зниження вуглецевого сліду автомобільної галузі. Їх впровадження сприяє переходу до сталої енергетики, забезпечуючи поєднання високої ефективності, швидкої заправки та відсутності шкідливих викидів. Визначено, що основними бар'єрами для широкого застосування водневих систем залишаються висока вартість виробництва «зеленого» водню, складність його зберігання й транспортування, а також недостатній розвиток інфраструктури. Запропоновано поетапну стратегію інтеграції водневих технологій у транспортну систему, починаючи з громадського та вантажного транспорту. Реалізація цієї стратегії сприятиме зменшенню залежності від викопних видів палива, підвищенню конкурентоспроможності автомобільної промисловості та досягненню цілей сталого розвитку.

## Література

1. Jiang, J., Xie, K., Liu, Y., Sun, H., Yang, W., & Yang, H. (2022). Hydrogen production technology promotes the analysis and prospect of the hydrogen fuel cell vehicles development under the background of carbon peak and carbon neutrality in China. *ACS Omega*, 7(45), 40625–40637. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04499>

2. Chapman, A., Itaoka, K., Hirose, K., & Fujii, Y. (2020). Hydrogen penetration and fuel cell vehicle deployment in the carbon constrained future energy system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(58), 33475–33488. <https://doi.org/10.1049/iet-est.2020.0014>
3. Wu, Sh., Chen, X., Jiang, Yu., Guo, G., Huang, B., Sun, H. (2020). Anti-carbon deposition mechanism of H<sub>2</sub>O on nickel-based anode of SOFC: A ReaxFF molecular modelling. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(56), 32423–32432. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.223>
4. Stępień, Z. (2024). Analysis of the prospects for hydrogen-fuelled internal combustion engines. *Combustion Engines*, 197(2), 32–41. <https://doi.org/10.19206/CE-174794>
5. International Energy Agency. (2022). *Global hydrogen review 2022*. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022>
6. Offer, G. J., Contestabile, M., Howey, D. A., Clague, R., & Brandon, N. P. (2011). Techno-economic and behavioural analysis of battery electric, hydrogen fuel cell and hybrid vehicles in a future sustainable road transport system in the UK. *Energy Policy*, 39(4), 1939–1950. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.01.006>
7. European Commission. (2020). *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe* (COM(2020) 301 final). Brussels: European Commission. [Електронний ресурс]. Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://energy.ec.europa.eu/system/files/2020-07/hydrogen\_strategy\_0.pdf

**УДК 621.396**

## **БЕЗДРОТОВА ЗАРЯДКА ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ПІД ЧАС РУХУ: ПЕРСПЕКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТУ МАЙБУТНЬОГО**

**Латвинський Владислав Дмитрович**, асистент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [latvin2000@gmail.com](mailto:latvin2000@gmail.com), ORCID: [0009-0002-4891-2925](https://orcid.org/0009-0002-4891-2925)

**Багач Руслан Володимирович**, доктор філософії (PhD), доцент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: [bagach.ruslan@gmail.com](mailto:bagach.ruslan@gmail.com), ORCID: [0000-0003-0157-5933](https://orcid.org/0000-0003-0157-5933)

Сучасний транспорт швидко переходить на електричну тягу, однак масове впровадження електромобілів стримується головною проблемою — необхідністю частих і тривалих зупинок для заряджання. Навіть найпотужніші зарядні станції потребують десятків хвилин для відновлення запасу ходу, а їхня недостатня кількість створює у водіїв відчуття «зарядної тривожності» [1].

Одним із перспективних шляхів вирішення цієї проблеми є динамічна бездротова зарядка, що дозволяє електромобілям отримувати енергію безпосередньо під час руху. Така технологія фактично перетворює дорожнє покриття на безперервне джерело живлення, усуваючи потребу у звичних зупинках біля зарядних станцій. Її впровадження може радикально змінити