

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 H₂O 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, 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, 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

транспортну сферу — збільшити реальний запас ходу електромобілів, знизити навантаження на стаціонарну інфраструктуру та зробити електротранспорт посправжньому зручним і доступним для широкого кола користувачів [2,3].

Перші зразки систем динамічного заряджання вже проходять випробування у різних країнах: від індукційних ділянок автошляхів у Швеції рис.1 до «розумних» доріг у Південній Кореї рис.2. Водночас, для масового впровадження цієї технології необхідно подолати низку технічних і економічних викликів — підвищити ефективність передавання енергії, зменшити вартість інфраструктури та розробити єдині міжнародні стандарти сумісності.



Рисунок 1 – Індукційна дорога в Швеції



Рисунок 2 – Розумна дорога в Південній Кореї

Розвиток технологій заряджання електромобілів сьогодні відбувається у кількох напрямках, кожен із яких має свої переваги та обмеження. Найбільш поширеним залишаються провідні зарядні станції, що працюють за стандартами CCS і CHAdeMO. Вони забезпечують потужність до 350 кВт, дозволяючи зарядити акумулятор за 20–40 хвилин, але потребують фізичного підключення і змушують водіїв робити вимушені зупинки [4,5].

Натомість динамічна бездротова зарядка є проривною технологією, здатною усунути головні недоліки існуючих систем. Її принцип ґрунтується на

передачі енергії через магнітне поле, створюване індукційними котушками, вбудованими в дорожнє полотно. Приймальний модуль у електромобілі перетворює це поле на електричний струм, безперервно підживлюючи батарею під час руху [6].

Практичні випробування підтверджують ефективність такого підходу: ізраїльська компанія ElectReon протестувала 1,65-кілометрову ділянку дороги, досягнувши коефіцієнта корисної дії 85%, а південнокорейський інститут KAIST створив технологію OLEV, яку вже застосовують для заряджання електричних автобусів.

Паралельно розвиваються й кондуктивні системи, що передають енергію через безпосередній контакт зі струмоприймачем. Наприклад, шведський проєкт eRoadArlanda довів працездатність такого рішення, проте воно поступається індукційним аналогам за надійністю та вимагає більшої точності під час руху транспортного засобу.

Перспективним напрямом розвитку електротранспорту є гібридні системи, які поєднують індукційну передачу енергії з іншими технологіями, зокрема з інтеграцією сонячних панелей у дорожнє покриття. Незалежно від способу реалізації, усі такі рішення мають спільну мету — створити інфраструктуру, що забезпечує можливість руху електромобілів на великі відстані без необхідності зупинок для заряджання [7].

Розроблення систем динамічної бездротової зарядки пов'язане з рядом технічних викликів, які потребують інноваційних інженерних підходів. Основою технології є резонансна магнітна індукція, за якої передавальна котушка, вбудована в дорожнє полотно, і приймальна котушка в електромобілі налаштовані на однакову робочу частоту. Згідно зі стандартом SAE J2954, рекомендованою є частота 85 кГц, що забезпечує оптимальний баланс між ефективністю передачі енергії та електромагнітною сумісністю [8].

Ключовим показником роботи системи є її коефіцієнт корисної дії (ККД), який залежить від низки факторів. За оптимальних умов (співвісність котушок, зазор 15–25 см) досягається ККД на рівні 85–90%. Однак при збільшенні швидкості руху понад 100 км/год ефективність знижується на 10–15% через скорочення часу взаємодії. Одним із головних завдань конструкторів є зменшення паразитних втрат, пов'язаних із нагріванням елементів системи та розсіюванням енергії у навколишнє середовище. Для цього застосовуються феромагнітні екрани та високоточні системи позиціонування.

Хоча впровадження динамічної зарядки потребує значних інвестицій, масштабування технології відкриває привабливі економічні перспективи. За оцінками досліджень, вартість обладнання одного кілометра індукційної дороги становить 1,2–2,1 млн доларів США, що включає модернізацію полотна, встановлення перетворювачів енергії та систем управління. При цьому експлуатаційні витрати можуть бути на 30–40% нижчими, ніж у мереж швидкісних зарядних станцій зі схожою пропускнуною спроможністю.

Попри суттєвий технологічний прогрес, масове впровадження динамічної зарядки залишається складним завданням. Основними перешкодами є відносно низький ККД передачі енергії (70–85%) порівняно з провідними системами (90–

95%), що спричиняє підвищені енергетичні втрати при масштабному використанні. Важливою проблемою є відсутність єдиних міжнародних стандартів, які б регламентували параметри потужності, частоти та протоколи взаємодії між транспортними засобами і дорожньою інфраструктурою.

Окрему увагу привертає питання електромагнітної сумісності, адже широке впровадження індукційних елементів у міських умовах потребує детального аналізу їхнього впливу на довкілля, інженерні системи та здоров'я людей. Не менш значущим викликом залишаються фінансові аспекти: вартість будівництва 1 км «розумної дороги» у 5–8 разів перевищує вартість традиційного дорожнього покриття. Це вимагає розроблення нових механізмів державно-приватного партнерства та моделей окупності інвестицій [9].

Крім того, для впровадження таких систем потрібна модернізація енергомереж, адже пікові навантаження можуть перевищувати наявні можливості розподільчих систем у регіонах розгортання технології.

Висновки

Проведений аналіз свідчить, що технологія динамічної бездротової зарядки електромобілів має значний потенціал і може стати ключовим елементом транспортної інфраструктури майбутнього. Незважаючи на наявні технічні та економічні бар'єри, вона здатна докорінно змінити принципи експлуатації електротранспорту, усунувши головне обмеження — необхідність регулярних зупинок для підзарядки.

Подальший розвиток цієї технології потребує комплексної співпраці автовиробників, енергетичних компаній, дорожніх служб і регуляторних органів. Доцільно зосередити майбутні дослідження на підвищенні енергоефективності систем, створенні адаптивних алгоритмів керування та розробленні економічно сталих моделей розгортання інфраструктури.

Література

1.Багач, Р.В., & Гнатов, А.В. (2022). Енергозбереження у секторі міського електротранспорту. "Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування " СЕУТТОО-2022: 13-а Міжнародна науково-практична конференція , 07-09 вересня 2022 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. (с.105–108).

2.Буряківський, В. (2023). Аналітичний огляд технологій бездротової зарядки для електромобілів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (24), 72–82.

3.Латвинський, В. Д., & Багач, Р. В. (2024). Аналіз технологій безпілотного електромобільного транспорту. Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2024): 15-а Міжнародна науково-практична конференція, 13–15 березня 2024 р. – Херсон: Херсонська державна морська академія. (с. 256–260).

4.Багач Р. В. (2024). Підвищення ефективності експлуатації автомобільного електротранспорту з використанням зарядних станцій постійного струму (Doctoral dissertation, Харківський національний автомобільно-дорожній університет).

5.Гнатов А. В., Аргун Щ. В., Багач Р. В., Гнатова Г.А., Тарасова В. В., Ручка О. О. Аналіз найбільш поширених методів визначення стійкості енергетичних систем. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: електронне наукове спеціалізоване видання. Х.: ХНАДУ, 2021. № 20.– С. 17-26.

6.Zhang, Z., Pang, H., Georgiadis, A., & Cecati, C. (2019). Wireless Power Transfer—An Overview. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 66(2), 1044-1058.

7.Латвинський, В. Д., & Багач, Р. В. (2024). Дослідження роботи станцій швидкої зарядки електромобілів на сонячній енергії. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: збірка матеріалів ІХ Міжнародної науково-технічної Інтернет-конференції* (21–22 листопада 2024 р.). – Харків: Харківський національний автомобільно-дорожній університет. (с. 109–111).

8.Fang, J., Li, S., Tang, Y., & Wang, H. (2020). Systematic Review of Dynamic Wireless Charging for Electric Vehicles: Technologies, Limitations, and Future Trends. IEEE Access, 8, 193984-194007.

9.Багач, Р. (2024). Підвищення електромагнітної сумісності і енергоефективності зарядної станції електромобілів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, (25), 53–62.

УДК 621.31

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СИНХРОННИХ РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ З ПОСТІЙНИМИ МАГНІТАМИ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ПРИВОДУ ЕЛЕКТРОМОБІЛЯ

Латвинський Владислав Дмитрович, асистент кафедри автомобільної електроніки, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: 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, ORCID: [0000-0003-0157-5933](https://orcid.org/0000-0003-0157-5933)

У сучасному світі особливу увагу приділяють скороченню викидів шкідливих речовин та подоланню кліматичної кризи. Одним із найефективніших шляхів розв’язання цих проблем є масштабна електрифікація транспорту. Електромобілі мають простішу конструкцію та обслуговування, однак їх запас ходу поки що поступається традиційним автомобілям із двигунами внутрішнього згоряння [1,2].

Проблему обмеженої дальності ходу електромобілів вирішують у кількох напрямках: підвищення ефективності систем накопичення енергії, збільшення