

Д.О. Брусило

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (096) 205 5692, E-mail: tyschkovez28@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9976-0793>

І.В. Гладких

Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, Полтавська обл., 39621, Україна
Телефон: (063)171 5009, E-mail: innagladkih59@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8674-2659>

ВОДНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ У ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ: АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ВПРОВАДЖЕННЯ НА ОСНОВІ ІННОВАЦІЙНИХ РІШЕНЬ, ПРЕДСТАВЛЕНИХ НА INNOTRANS 2024

У статті досліджуються перспективи впровадження водневих технологій у залізничному транспорті на основі інноваційних моделей представлених на виставці InnoTrans 2024, яка відбулася з 24 по 27 вересня 2024 року в Messe Berlin.

Виставка InnoTrans цього року встановила рекорд: найбільша виставкова площа з моменту заснування в 1996 році, 2 940 експонентів з 59 країн займають весь виставковий центр.

В статті проведено аналіз інноваційних рішень, що використовують водневі паливні елементи, з акцентом на їхній потенціал у зменшенні викидів парникових газів та переході до екологічно чистих видів транспорту.

Водневі технології в залізничному транспорті мають значні перспективи, зокрема: екологічність, енергоефективність, зниження залежності від викопного пального, інвестиції в інфраструктуру, системи зберігання енергії.

Однак існують і виклики, такі як висока вартість виробництва водню необхідність в розвитку відповідної інфраструктури та забезпечення безпеки. Але поступове вирішення цих питань може відкрити нові можливості для залізничного транспорту і це підтверджує зацікавленість європейської залізничної ініціативи «Shift2Rail», яка підтримує розширення використання водневих поїздів у Європі. Shift2Rail – перша європейська залізнична ініціатива, спрямована на пошук цілеспрямованих досліджень, інновацій та ринкових рішень шляхом прискорення інтеграції нових та передових технологій в інноваційні рішення для залізничної продукції.

Ключові слова: водневі технології, водневі поїзди, водневий двигун, залізничний транспорт, екологічні рішення, дослідження та інновації, безпека експлуатації

© Брусило Д.О., Гладких І.В., 2024

Вступ та постановка проблеми. Глобальні виклики, пов'язані з кліматичними змінами та екологічною нестабільністю, змушують транспортну індустрію шукати нові, більш сталі рішення. Традиційні дизельні та навіть електричні поїзди, попри їхні переваги, не завжди є екологічно безпечними або економічно доцільними, особливо в регіонах із обмеженою електрифікацією залізничної інфраструктури. Одним із найперспективніших напрямків для подолання цих викликів є розвиток водневих технологій.

Аналіз останніх досліджень. Дослідження, проведені в різних містах та країнах, показали, що використання відновлюваного палива може значно зменшити шумове забруднення та викиди, що створюються громадським транспортом. Якщо Європа збільшить кількість водневих автобусів удвічі, це дозволить зменшити витрати на інфраструктуру та пришвидшити впровадження технології загалом [1].

Це відкриває нові перспективи для залізничного транспорту, де водневі поїзди можуть конкурувати за ефективністю з дизельними аналогами.

Мета статті – дослідити перспективи впровадження водневих технологій у залізничному транспорті на основі останніх досягнень, представлених на виставці InnoTrans 2024. У статті здійснюється аналіз інноваційних рішень, що використовують водневі паливні елементи, з акцентом на їхній потенціал у зменшенні викидів парникових газів та переході до екологічно чистих видів транспорту.

Матеріал та результати досліджень. У статті використано дані з інноваційних тенденцій, представлених на виставці InnoTrans 2024, а також інформацію про сучасні водневі технології у залізничному транспорті, що демонструють значний потенціал для зменшення викидів вуглекислого газу та перехід на більш ефективні екологічні рішення.

Водень є універсальним паливом для транспортних засобів завдяки своїй екологічній чистоті: його використання не супроводжується викидами шкідливих речовин, а побічним продуктом є вода. Європа вже включила водень у свою «зелену стратегію» декарбонізації транспорту [2].

Поширення водню не обмежується лише автомобільним громадським транспортом: зустрічаються приклади водневих поїздів і кораблів. Вважається, що за витратами водневі поїзди можуть конкурувати із дизельними поїздами, існує навіть окрема ініціатива Спільного підприємства «Shift2Rail», яка підтримує розширення використання водневих поїздів у Європі. Провідні суднохідні оператори та виробники також вивчають доцільність використання водню; понад 120 компаній створили коаліцію «Gettingto Zero», яка прийняла на себе амбіційне зобов'язання розробити проект комерційно вигідних суден з нульовими викидами. В даний час діють пробні проекти використання водневих паромів в Норвегії, Німеччині та Бельгії [3].

InnoTrans 2024: Вітрина інновацій

На виставці InnoTrans 2024, що відбулася в Берліні, водневі поїзди та інші технології на основі водневого палива стали однією з центральних тем. Цей вид транспорту демонструє значний потенціал для зниження викидів парникових газів і поступової заміни дизельних локомотивів. Водневі поїзди забезпечують екологічно чистий вид транспорту, працюючи на водні та виділяючи лише воду як побічний продукт, що робить їх привабливими для регіонів із частковою електрифікацією або складними ландшафтами.

InnoTrans – це також про екологічність та енергоефективні технології. Тож, компанії виставили на рейки виставки гібридні потяги, локомотиви на водневому паливі тощо.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Компанія Deutz представила новий водневий двигун, який стане важливим кроком у розвитку екологічного транспорту.

Водневий двигун TCG 7.8 H2 (рис. 1), потужністю 200 кВт, пропонує низький рівень шуму та високу ефективність. Він може бути використаний у різних сферах, зокрема у залізничному транспорті.

Deutz також представила нову систему заправки для водневих резервуарів. Резервуари можуть вміщати від 4 до 80 кг водню, що робить їх гнучкими та придатними для різних видів транспорту. Ця технологія дозволяє зменшити викиди парникових газів і скоротити використання традиційного палива.

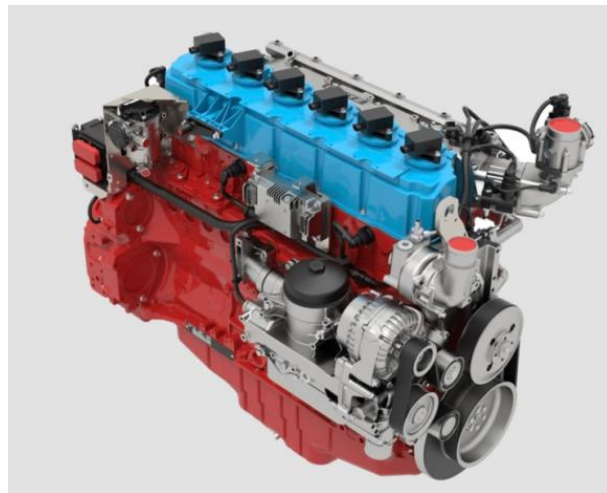


Рис. 1. Водневий двигун TCG 7.8 H2 від компанії Deutz

Залізничний автобус RS ZERO (рис. 2) від компанії Stadler, оснащений водневими двигунами Deutz.



Рис. 2. Гібридний потяг RS ZERO

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Залізничний автобус RS ZERO (рис. 2) від компанії Stadler, оснащений водневими двигунами Deutz, також викликав великий інтерес на виставці. Ангар Брокмейер, представник компанії, пояснив, що водневі двигуни компактніші та зручніші в обслуговуванні, ніж модулі паливних елементів. Це спрощує процес їх експлуатації і знижує витрати.

Оператори транспорту можуть використовувати технології, які вже застосовуються для обслуговування дизельних двигунів, що дозволяє легко перейти на водневі рішення. Крім того, використання водневого палива допомагає знизити вуглецевий слід, що є критично важливим у сучасних умовах боротьби зі зміною клімату [4].

Компанії Vossloh Rolling Stock і Duisportrail представили Modula BFC (рис. 3), новий локомотив на акумуляторно-водневих паливних елементах, у рамках свого постійного співробітництва. Цей локомотив розроблений для задоволення зростаючого попиту на екологічні рішення у сфері залізничних вантажоперевезень з використанням водневої технології для зменшення викидів. Modula BFC буде встановлений на терміналі Duisburg Gateway Terminal (DGT), комбінованому транспортному вузлі, що працює з акцентом на кліматичну нейтральність завдяки фотоелектричній системі та водневій інфраструктурі.

Розроблений у тісній співпраці з материнською компанією CRRC ZELC, яка має досвід у технології водневих паливних елементів, Modula BFC є кроком до екологічної мобільності. Під час розробки локомотива було вирішено кілька технічних завдань, зокрема оптимізація баків з вуглецевого волокна, тиску в системі та чутливості до ударів, що забезпечує надійність і безпеку локомотива в експлуатації [5].



Рис. 3. Локомотив на акумуляторно-водневих паливних елементах Modula BFC

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

SBB Cargo та Stadler підписали угоду, яка передбачає постачання до 129 гібридних електровозів. На першому етапі застарілі моделі локомотивів замінять 36 нових.

Польська Pesa та шведські VÄTE Rail та Hankavik підписали на виставці угоду про наміри наприкінці 2027 – на початку 2028 року ввести у Швеції в експлуатацію маневрові локомотиви на водневому паливі. Компанії також мають намір спільно розвинути інфраструктуру для заправки водневим паливом та створювати установки виробництва водню з екологічно чистих джерел енергії.

Локомотив SM42-6Dn – результат співробітництва Pesa із залізницями Польщі та компанією PKN Orlen. Це перший на європейському ринку локомотив на водневому паливі, який вже отримав дозвіл на експлуатацію. Він має чотири асинхронні тягові двигуни загальною потужністю 720 кВт, а також два модулі водневих паливних елементів потужністю по 85 кВт. Можливо, на InnoTrans-2026 поляки навіть встигнуть продемонструвати прототип локомотива 2H, який крім водневих паливних елементів буде живитися ще й від контактної мережі. Хоча розробники у прогнозах більш стримані – ставлять дедлайн на кінець 2026-го – початок 2027-го.

Корпорація CRRC Corporation Limited представила прототип водневого потягу, здатного розвивати швидкість до 200 км на годину, та автономний залізничний швидкісний транспорт нового покоління. China State Railway Group показала свої високошвидкісні поїзди (рис. 4), здатні розвивати швидкість 350 км на годину [6].



Рис. 4. Сінова H2 - китайський прототип водневого поїзда

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Canadian Pacific Kansas City (CPKC) нещодавно провела перші випробування водневих локомотивів, які можуть змінити ринок вантажоперевезень. Ці випробування продемонстрували ефективність нового локомотива CP 1200 (рис. 5). Разом із тендером для водневого пального CP 10001 він пройшов шляхом із 152 завантажених напіввагонів. Випробування відбулися між станціями Спарвуд і Голден у Британській Колумбії, про це повідомляє портал новин про залізничний транспорт Railway Supply.



Рис. 5. Водневі локомотиви CPKC на випробуваннях

На наступний день локомотив повернувся назад у Спарвуд, але вже з порожніми напіввагонами. Ці випробування стали першими з трьох запланованих етапів. У співпраці з Elk Valley Resources, що входить до групи Glencore, команда CPKC оцінює надійність локомотивів на водневому паливі.

Використання водневих технологій пропонує безліч переваг для екології. По-перше, водневе паливо допомагає значно скоротити викиди вуглецю. По-друге, такі технології стають більш ефективними і можуть змінити спосіб, яким ми здійснюємо вантажоперевезення. Водневі локомотиви CPKC вже зараз демонструють позитивні результати в реальних умовах.

Не дивно, що експерти впевнені в майбутньому водневих локомотивів. Випробування CPKC відкривають нові горизонти для сталого транспорту. Успішне застосування водневих технологій може не лише поліпшити екологічну ситуацію, але й підвищити конкурентоспроможність залізничного транспорту.

Таким чином, CPKC робить важливі кроки до впровадження інноваційних рішень. Наступні етапи випробувань допоможуть уточнити можливості водневих локомотивів та поліпшити їх ефективність. В майбутньому ми можемо очікувати, що ці локомотиви займуть важливе місце в системі вантажоперевезень у Північній Америці [7].

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Нині водень претендує на статус одного з основних каталізаторів енергетичної трансформації у напрямку сталого розвитку суспільства із всеохоплюючим застосуванням відновлювальних джерел енергії. За прогнозами експертів, до 2050 р. попит на водень тільки в Європі має зрости у вісім разів порівняно з 2020 р. (до 2500 ТВт-год на рік) [8].

Приклад порівняння технічних характеристик водневих двигунів

Порівняння технічних характеристик водневих двигунів потребує розгляду різних типів технологій, які використовуються для перетворення водню на енергію. Основні типи водневих двигунів – це паливні елементи та водневі двигуни внутрішнього згоряння (ICE) [9, 10].

Основні параметри для порівняння:

1. Технологія роботи

Паливні елементи (Fuel Cells):

Прямо перетворюють водень на електроенергію через хімічну реакцію з киснем, випускаючи водяну пару. Використовуються для живлення електродвигунів.

Водневі двигуни внутрішнього згоряння (H₂-ICE):

Працюють за принципом традиційних ДВЗ, але спалюють водень замість бензину чи дизеля.

Використовують модифіковані технології ДВЗ для забезпечення безпеки та ефективності.

2. Ефективність

Паливні елементи:

Ефективність конверсії енергії ~50–60%.

Краще підходять для легкових автомобілів та стаціонарних установок.

H₂-ICE:

Ефективність нижча – близько 30–40% (подібно до бензинових двигунів).

Ефективність залежить від тиску водню та умов роботи.

3. Енергетична щільність та запас ходу

Паливні елементи:

Енергетична щільність залежить від системи зберігання водню.

Автомобілі на паливних елементах, як Toyota Mirai, мають запас ходу 500–600 км.

H₂-ICE:

Менш ефективно використовують водень, тому запас ходу менший, хоча залежить від розміру бака.

4. Викиди

Паливні елементи:

Єдиний побічний продукт – вода. Абсолютно екологічно чисті.

H₂-ICE:

Викиди CO₂ відсутні, але можливі.

Висновки

Водневі технології в залізничному транспорті є перспективним напрямом, який активно розвивається у світі, зокрема у сфері екологічно чистих перевезень. Основна новизна цих технологій полягає в заміні традиційних дизельних локомотивів на транспорт, що працює на водневих паливних елементах. Це дозволяє суттєво зменшити викиди парникових газів і знизити залежність від викопного палива.

Ключові аспекти новизни:

1. Впровадження водневих поїздів

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Перша серійна модель: Поїзди на водневих паливних елементах, як-от Coradia iLint (виробництва Alstom), вже використовуються в Європі, зокрема в Німеччині та Австрії.

Інноваційний дизайн: Ці поїзди оснащені водневими баками, паливними елементами та батареями для накопичення енергії. Водень взаємодіє з киснем, виробляючи електроенергію, яка живить двигуни.

2. Переваги екологічності

Нульові викиди: Єдиним побічним продуктом роботи водневих двигунів є вода.

Зменшення шуму: Такі поїзди працюють тихіше, ніж дизельні аналоги.

3. Інфраструктурні інновації

Водневі заправки: Розробляються спеціалізовані станції для виробництва, зберігання та заправки водню. Наприклад, у Німеччині реалізуються великі проекти із забезпечення водневої інфраструктури.

Виробництво «зеленого» водню: Використання енергії з відновлюваних джерел (сонця, вітру) для отримання водню шляхом електролізу.

4. Регіональні ініціативи

Водневі потяги використовуються як альтернатива електрифікації на малозавантажених залізничних лініях, де модернізація інфраструктури є економічно не вигідною.

У Японії, США, Китаї та країнах ЄС проводяться пілотні проекти щодо використання водневих локомотивів у вантажних перевезеннях.

5. Розвиток технологій паливних елементів

Поліпшуються ефективність і довговічність паливних елементів.

Знижуються витрати на виробництво та експлуатацію.

6. Економічні перспективи

Очікується, що масштабне впровадження водневих технологій здешевить виробництво та зробить їх конкурентоспроможними щодо традиційних видів палива.

Теоретична значимість водневих технологій

Наукова основа для сталого розвитку:

Водневі технології сприяють формуванню нових знань у галузі хімії, фізики та матеріалознавства. Вивчення реакцій водню в паливних елементах, оптимізація процесів електролізу та дослідження ефективності енергетичних систем дають фундамент для розробки екологічно безпечних джерел енергії.

Моделювання енергосистем:

Теоретичні моделі використання водню дозволяють прогнозувати ефективність його застосування в різних секторах економіки, враховуючи енергетичний баланс, економічні витрати та екологічний вплив.

Інноваційний потенціал:

Водень розглядається як ключовий елемент для розвитку відновлюваної енергетики, особливо у збереженні та транспортуванні енергії. Теоретичні розробки в цій сфері сприяють створенню інфраструктури для «зеленого» водню.

Стимул до міждисциплінарних досліджень:

Водневі технології об'єднують різні галузі знань – від енергетики до транспорту, створюючи платформу для розвитку інженерії, економіки, соціології та екології.

Практична значимість водневих технологій

Енергетична безпека та диверсифікація джерел енергії:

Водень забезпечує незалежність від традиційних викопних джерел енергії, зменшуючи ризики, пов'язані зі змінами на ринках нафти та газу.

Екологічні переваги:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Водневі паливні елементи генерують електроенергію без викидів вуглекислого газу, а єдиним побічним продуктом є вода. Це має вирішальне значення для боротьби зі зміною клімату та забрудненням довкілля.

Інновації у транспорті:

Водневі технології вже успішно використовуються у:

Автомобілях (Toyota Mirai, Hyundai Nexo),

Потягах (Alstom Coradiai Lint),

Судноплавстві та авіації (*пілотні проєкти з водневими двигунами*).

Це відкриває можливості для переходу транспорту на безвуглецеву модель.

Зберігання та транспортування енергії:

Водень можна використовувати для акумулювання енергії, отриманої з відновлюваних джерел, таких як сонячна та вітрова енергетика, забезпечуючи стабільність енергосистем.

Створення нових ринків та робочих місць:

Розвиток водневої економіки відкриває нові можливості для промисловості: виробництво паливних елементів, інфраструктури для зберігання та транспортування водню, а також сервісного обслуговування.

Промислові застосування:

Водень активно впроваджується в сталеливарній, хімічній та енергетичній промисловості, зокрема для зниження викидів CO у виробничих процесах [9–13].

Висновок

Водневі технології є важливим етапом переходу до вуглецево-нейтрального транспорту. Вони ідеально підходять для регіонів із частково електрифікованою або неелектрифікованою залізничною мережею. Попри високі початкові витрати, розвиток технологій і підтримка державних програм сприятимуть їхньому широкому впровадженню.

Теоретична значимість водневих технологій полягає у формуванні фундаментальних знань, необхідних для сталого розвитку. *Практична* – у їхній здатності вирішувати глобальні екологічні, енергетичні та економічні виклики. Це робить водень ключовим елементом переходу до безвуглецевої економіки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hydrogen Europe. Cleaner urban transport with hydrogen buses. URL: <https://hydrogen.europe.eu/cleaner-urban-transport-hydrogen-buses>.
2. “Зелена” відбудова України: перспективи застосування водню в транспорті. URL: <https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-v-transporti/>.
3. Проект Дорожньої карти використання водню в Україні у сфері дорожнього транспорту. URL: https://unece.org/sites/default/files/2021-05/Draft%20Roadmap%20for%20the%20use%20of%20hydrogen%20in%20Ukraine%20in%20road%20transport_UKR2021.pdf
4. Водневий двигун Deutz: екологічне майбутнє транспорту. URL: <https://www.railway.supply/uk/vodnevij-dvigun-deutz-ekologichne-majbutne-transportu/>.
5. Vossloh Rolling Stock and duisportrail unveil Modula BFC battery-hydrogen locomotive. URL: <https://railmarket.com/news/rolling-stock/24352-vossloh-rolling-stock-and-duisport-rail-unveil-modula-bfc-battery-hydrogen-locomotive>.
6. Берлінські прем'єри: Що показали на InnoTrans-2024. URL: https://cfts.org.ua/articles/berlinski-premeri_scho_pokazali_na_innotrans_2024_2056/143031.
7. Водневий локомотиви CPKC: перші випробування та майбутнє залізничного транспорту. URL: <https://www.railway.supply/uk/vodnevij-lokomotivi-cpkc-pershi-viprobuvannya-ta-majbutne%D1%94/>.

8. Шрайбер О.А., Дубровський В.В., Тесленко О.І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. Енергетика. 2021. № 32. С. 199-209. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30>.

9. Інформація про автомобілі на водневих паливних елементах, як-от Toyota Mirai. Toyota. URL: <https://www.toyota.com>

10. Деталі про Hyundai Nexa та інші моделі. Hyundai. URL: <https://www.hyundai.com>.

11. Дані про потяги Alstom Coradia Lint. Alstom. URL: <https://www.alstom.com>.

12. Глобальна ініціатива для просування водневих технологій. Міжнародні організації: Hydrogen Council. URL: <https://hydrogencouncil.com>.

13. Звіти про роль водню у майбутньому енергетики. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (IRENA). URL: <https://www.irena.org>

D.O. Brusylo

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (096) 205 5692, E-mail: tyschkovez28@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9976-0793>

I.V. Hladkykh

State Enterprise «Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute»,

33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, Poltava region, 39621, Ukraine

Tel.: (063) 171 5009, E-mail: innagladkih59@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8674-2659>

HYDROGEN TECHNOLOGIES IN RAIL TRANSPORT: ANALYSIS OF IMPLEMENTATION PROSPECTS BASED ON INNOVATIVE SOLUTIONS PRESENTED AT INNOTRANS 2024

The article examines the prospects for the implementation of hydrogen technologies in rail transport based on innovative models presented at the InnoTrans 2024 exhibition, which was held from September 24 to 27, 2024 at Messe Berlin.

This year's InnoTrans exhibition achieved a record: the largest exhibition area since its launch in 1996, with 2,940 exhibitors from 59 countries occupying the entire exhibition grounds. The article analyzes innovative solutions using hydrogen fuel cells, with an emphasis on their potential in reducing greenhouse gas emissions and transition to environmentally friendly modes of transport.

Hydrogen technologies in rail transport have significant prospects, in particular: environmental friendliness, energy efficiency, reducing dependence on fossil fuels, investments in infrastructure, and energy storage systems. However, there are also challenges, such as the high cost of hydrogen production and the need to develop the appropriate infrastructure and ensure safety. But the gradual resolution of these issues can open up new opportunities for rail transport, and this confirms the interest of the European railway initiative «Shift2Rail», which supports the expansion of the use of hydrogen trains in Europe. Shift2Rail is the first European railway initiative aimed at finding targeted research and innovation and market solutions by accelerating the in-

tegration of new and advanced technologies into innovative solutions for railway products.

Key words: hydrogen technologies, hydrogen trains, hydrogen engine, railway transport, environmental solutions, research and innovation, operational safety.

REFERENCES

1. Hydrogen Europe. Cleaner urban transport with hydrogen buses. <https://hydrogeneurope.eu/cleaner-urban-transport-hydrogen-buses>.
2. «Zelena» vidbudova Ukrainy: perspektyvy zastosuvannia vodniu v transporti [«Green» reconstruction of Ukraine: prospects for the use of hydrogen in transport]. <https://brdo.com.ua/analytics/zelena-vidbudova-ukrayiny-perspektyvy-zastosuvannya-vodnyu-v-transporti/> [in Ukrainian].
3. Proekt Dorozhnoi karty vykorystannia vodniu v Ukraini u sferi dorozhn'oho transportu [Draft Road map for the use of hydrogen in Ukraine in road transport]. https://unece.org/sites/default/files/2021-05/Draft%20Roadmap%20for%20the%20use%20of%20hydrogen%20in%20Ukraine%20in%20road%20transport_UKR2021.pdf [in Ukrainian].
4. Vodnevyi dvygun Deutz: ekolohichne maibutnie transportu [Hydrogen engine Deutz: the future of sustainable transport]. <https://www.railway.supply/uk/vodnevij-dvигun-deutz-ekologichne-majbutn%20d1%94-transportu/> [in Ukrainian].
5. Vossloh Rolling Stock and duisport rail unveils Modula BFC battery-hydrogen locomotive. <https://railmarket.com/news/rolling-stock/24352-vossloh-rolling-stock-and-duisport-rail-unveils-modula-bfc-battery-hydrogen-locomotive>.
6. Berlinski premieri: Shcho pokazaly na InnoTrans-2024 [Berlin premieres: What was shown at InnoTrans-2024]. https://cfts.org.ua/articles/berlinski_premieri_scho_pokazali_na_innotrans_2024_2056/143031 [in Ukrainian].
7. Vodnevi lokomotyvy CPKC: pershi vyprovuvannia ta maibutnie zaliznychoho transportu [CPKC hydrogen locomotives: first tests and the future of rail transport]. <https://www.railway.supply/uk/vodnevi-lokomotivi-cpkc-pershi-viprovuvannya-ta-majbutn%20d1%94/> [in Ukrainian].
8. Shraiber, O.A., Dubrovskiy, V.V., & Teslenko, O.I. (2021) Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku vodnevoi enerhetyky u sviti [The current state and prospects for the development of hydrogen energy in the world]. *Enerhetyka – Energy*, 32. pp. 199-209. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.5/30> [in Ukrainian].
9. Informatsiia pro avtomobili na vodnevykh palyvnykh elementakh, yak-ot Toyota Mirai. Toyota. <https://www.toyota.com>.
10. Detali pro Hyundai Nexa ta inshymy modeli. Hyundai. <https://www.hyundai.com>.
11. Dany pro potiagy Alstom Coradia iLint. Alstom. <https://www.alstom.com>.
12. Mizhnarodni orhanizatsii. Hlobalna initsiatyva dlia prosuvannia vodnevykh tekhnolohii. Hydrogen Council. <https://hydrogencouncil.com>.
13. Zvity pro rol vodniu u maibutnomu enerhetyky. Mizhnarodne ahentstvo z vidnovliuval'noi enerhetyky (IRENA). <https://www.irena.org>.