

DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-55-2>

УДК 338.2:656.076:504.064

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА ТРАНСПОРТІ

MAIN TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HYDROGEN TECHNOLOGIES IN TRANSPORT

Миськів Галина Василівнадоктор економічних наук, професор, професор кафедри,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9315-8859>**Іваницький Роман Ярославович**аспірант,
Національний університет «Львівська політехніка»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4192-7959>**Myaskiv Galyna, Ivanytskyi Roman**

Lviv Polytechnic National University

Стаття досліджує основні тенденції розвитку водневих технологій на транспорті з огляду на необхідність зниження негативного впливу викидів вуглецю та дотримання кліматичної нейтральності. Аналіз законодавства провідних країн щодо розвитку водневих технологій дав змогу виявити підтримання цього напрямку енергетичної трансформації у цілому світі. Дослідження виявило активний розвиток водневого транспорту в розрізі усіх видів: автомобільного, вантажного, залізничного, морського та повітряного. Результати дослідження засвідчили, що водневий транспорт набуває все більшої популярності завдяки його екологічній чистоті та використанню водню як безпечного для довкілля джерела енергії. Особливу увагу у статті приділено проблемам розвитку водневого транспорту у світі та сучасному стану розвитку водневих технологій в Україні. Вирішенні вказаних проблем та залучення інвестицій у розробку технологій та будівництво інфраструктури стане поштовхом для активного поширення водневого транспорту у всіх сферах життєдіяльності людей.

Ключові слова: водень, транспорт, викиди, довкілля, інфраструктура.

The article explores and analyzes the main trends in the development of hydrogen technologies, making a significant contribution to understanding and forecasting the development of hydrogen transportation both globally and in Ukraine. The relevance of the research topic lies in the need to reduce the negative impact of carbon emissions from transportation on the environment, achieve climate neutrality, resource efficiency, and energy transformation based on renewable energy sources. Therefore, this article aims to outline and characterize the main trends in the development and implementation of hydrogen technologies in the transportation sector, as well as to focus on the problems and prospects of hydrogen utilization in transportation. To achieve the stated goal, the following methods were used in the research: search-analytical method – in processing literary sources; systematization and classification – for analyzing regulatory acts; descriptive method – for characterizing the development of hydrogen transportation in terms of types; logical abstraction – in identifying problems in the development of hydrogen technologies and summarizing research results. Currently, all countries worldwide are actively developing hydrogen transportation, forming a legislative framework to support it. The research revealed active development of hydrogen transportation in all types: automotive, freight, rail, maritime, and aviation. The research results confirmed that hydrogen transportation is gaining increasing popularity due to its environmental cleanliness and the use of hydrogen as a safe source of energy for the environment. Special attention is given in the article to the problems of hydrogen transportation development worldwide. Ukraine also shows interest in the development of hydrogen technologies and aims to become a leading producer of green hydrogen in Europe. To further promote the development of hydrogen transportation, it is necessary to overcome existing problems and stimulate investments in research and development of hydrogen technologies for transportation and the construction of hydrogen infrastructure. These steps will contribute to the widespread adoption of more environmentally friendly and sustainable hydrogen transportation in all areas of human activity, reducing environmental pollution and improving the quality of life for the population.

Keywords: hydrogen, transport, emissions, environment, infrastructure.

Постановка проблеми. Глобальне прагнення досягти сталого розвитку та кліматичної нейтральності спонукають усі країни світу до енергетичної трансформації, ресурсощадливості та переходу на відновлювальні джерела енергії. Викиди парникових газів, левову частку яких становить вуглець (CO_2), завдають найбільшій шкоди клімату та призводять до кліматичних катаклізмів у всіх регіонах планети. На сьогодні кожен житель планети продукує в середньому майже 5 т CO_2 щороку, однак у таких країнах, як Сполучені Штати Америки, Австралія, Канада, ця цифра значно вища. В Україні цей показник (4,5 т CO_2 /рік) на 8% нижчий за середньосвітовий (4,9 т CO_2 /рік) [11].

На сьогодні більшість країн формально та неформально оголосили, що мають досягти нетто-нульових викидів парникових газів (ПГ) у 2050–2060 рр. Тобто кількість викидів ПГ не має перевищувати рівня їхнього природного (ліси, океани тощо) та технологічного поглинання. Україна оголосила, що її економіка досягне нетто-нульових викидів ПГ не пізніше 2060 року. Тобто йдеться про загальну згоду максимального скорочення вуглецевого сліду та переходу на кліматично-нейтральні технології у соціально-економічній сфері.

У цьому контексті розвиток водневих технологій та використання водню вважається одним з майбутніх енергетичних джерел з низьким рівнем викидів, що важливо для сталого розвитку, забезпечення енергетичної безпеки та боротьби зі зміною клімату. Впровадження водневих технологій у всі соціально-економічні сфери життєдіяльності суспільства, з пріоритизацією на енергетичну та транспортну галузі має потенціал стати ключовою складовою майбутнього екологічно чистого та стійкого світу.

Водночас, низьковуглецевий розвиток має супроводжуватися як економічним зростанням, так і переформатуванням енергетичної системи на основі нових технологій, та забезпечувати зниження капіталомісткості нових технологій.

Мета дослідження: окреслити та охарактеризувати основні тенденції розвитку та впровадження водневих технологій у сферу транспорту країн світу та в Україні; акцентувати на проблемах та перспективах використання водню на транспорті.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема розвитку водневих технологій на транспорті є вкрай актуальною для сьогодення, а тому провідні науково-дослідні

інститути та науковці в галузі енергетики та транспорту здійснюють такі дослідження. Однак лідируючі позиції у дослідженнях, розробках та впровадженні водневих технологій на транспорті належить світовим компаніям-виробникам транспортних засобів: японським компаніям «Kawasaki» та «Toyota», німецькому залізничному концерну Deutsche Bahn (DB) і технологічній компанії Siemens Mobility, французькому концерну «Alstom», американському автомобільному концерну «General Motors» та південнокорейському автогіганту «Hyundai», тощо.

В Україні базові засади запровадження низьковуглецевого розвитку держави до 2050 року з огляду на секторальне охоплення вже тривалий час досліджуються «Інститутом економіки та прогнозування НАН України», результати якого оприлюднені у доповіді [11].

Іншу цільову програму «Розвиток наукових засад отримання, зберігання та використання водню в системах автономного енергозабезпечення» (2019–2021 рр.) теж виконували науковці провідних інститутів НАН України, результати якої узагальнені у колективній монографії [9]. Вчені представили останні досягнення в галузі використання енергії відновлювальних джерел, хімічних реакцій, біоматеріалів для ефективного одержання водню, його акумулювання та використання для систем живлення на основі паливних комірок.

Ще одна група вчених НАН України [22] у своєму дослідженні визначили водень як «потенційну альтернативу викопному вуглецевому паливу» та зазначили його статус як «одного з основних каталізаторів енергетичної трансформації у напрямку сталого розвитку суспільства із всеохоплюючим застосуванням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Автори розглянули водень як енергоносіє, який здатний переносити надлишок енергії, виробленої із ВДЕ, у ті періоди доби або сезону, коли в енергосистемі виникає дефіцит енергії.

Колешня Я. О. [12] дослідила складові енергетичної безпеки, пов'язані із ризиками викидів парникових газів підприємствами агропромислового комплексу та довела, «що навіть у регіонах з низькою сонячною активністю можливе ефективне використання енергії сонця для енергогенерації» що дасть змогу збільшити рівень економічної безпеки за рахунок енергетичної складової.

Петровіч С. Н. з групою однодумців [5] теж провели дослідження довгострокового розви-

тку енергетичної системи України, що охопило частково і транспортну сфери. Автори дійшли висновку, що підвищення енергоефективності та скорочення викидів у транспортному секторі на рівні 40–51% буде досягнуто до 2050 року завдяки збільшенню використання енергії з відновлювальних джерел.

Отож, зважаючи на актуальність, дослідження проблем використання водневих технологій є досить різностороннім. Проте, попри надважливість, питанню використання водню у сфері транспорту не приділено належної уваги науковим співтовариством. А тому дослідження тенденцій розвитку водневих технологій для транспорту в контексті досягнення низьковуглецевої економіки є своєчасним та необхідним.

Виклад основного матеріалу дослідження. Перехід до сталого низьковуглецевого розвитку може бути успішним шляхом здійснення глобальної енергоконверсії економіки. Однак енергетична трансформація та перехід на водневі технології вимагає, перш за все, законодавчої підтримки. В багатьох країнах, де така підтримка є (насамперед ЄС), вже прослідковуються вагомі успіхи в розвитку водневих технологій. Більше того, в цих країнах значно кращі показники енергетичної доступності, безпеки та екологічної стійкості.

Основні нормативні документи України та провідних країн світу, що регламентують засади низьковуглецевого розвитку та водневої трансформації усіх сфер суспільного життя представлені у табл. 1.

Програма «Водень і паливні елементи» Китаю (Hydrogen and Fuel Cell) була ухвалена в 2002 р. для сприяння розвитку технологій водневих паливних елементів та використання водню як енергетичного джерела в Китаї. Вона мала на меті зменшити залежність Китаю від імпорту нафти та скоригувати проблеми забруднення навколишнього середовища, пов'язані з використанням традиційних видів палива.

Національна стратегія з водневих технологій США (United States National Hydrogen Technology Strategy) була прийнята у 2003 р. одною з перших у світі. Це серія законодавчих актів та програм, спрямованих на розвиток водневих технологій для забезпечення енергетичної безпеки, зниження залежності від нафти та зменшення викидів парникових газів. Найвідомішою ініціативою у цьому пакеті стала Програма паливних елементів та технологій водню (Fuel Cell and Hydrogen Technologies Program), яка передбачила

фінансування досліджень та розвитку водневих технологій у різних галузях, зокрема і на транспорті.

Національна стратегія розвитку водневої та паливної клітинної технології Японії (2014 р.) (Japan's National Strategy for Hydrogen and Fuel Cell Technology) зорієнтована на розвиток водневої та паливної клітинної технології. Вона охоплює прискорення досліджень, створення необхідної інфраструктури та підтримку використання водневих технологій у різних секторах, включаючи енергетику, транспорт та індустрію.

«Воднева стратегія для кліматично нейтральної Європи» (2020 р.) (A hydrogen strategy for climate-neutral Europe) є стратегією Європейської комісії щодо досягнення кліматичної нейтральності в Європі. Стратегія визначає ролі та завдання, необхідні для розширення виробництва та використання водню у різних секторах економіки, включаючи енергетику, транспорт та промисловість. Документ також окреслює соціально-економічні та екологічні переваги використання водню та пропонує конкретні заходи та регулюючі механізми для його розвитку в Європі. Загальна мета полягає у створенні екологічно стійкої та енергетично ефективної системи, заснованої на водні, та скороченні викидів парникових газів у Європі.

Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року була ухвалена ВРУ у 2018 р. на виконання міжнародних зобов'язань України згідно з пунктом 19 Статті 4 Паризької угоди. Метою Стратегії є визначення стратегічних напрямів переходу економіки України на траєкторію низьковуглецевого зростання на засадах сталого розвитку відповідно до національних пріоритетів. Побудова нової енергосистеми повинна передбачати використання джерел енергії з низьким вмістом вуглецю, розробку джерел чистої електричної та теплової енергії, підвищення енергоефективності й енергозбереження в усіх секторах економіки та на об'єктах житлово-комунальної інфраструктури, стимулювання використання альтернативних нафтопродуктам моторних палив, у тому числі для вантажних і пасажирських перевезень завдяки більш екологічно чистим видам транспорту [19].

Наприкінці 2021 р. Українською водневою асоціацією було розроблено та подано на обговорення громадськості Українську водневу стратегію, основні ідеї якої включали: нарощування додаткових потужностей з виробництва водню, напрацювання регуля-

Таблиця 1

**Основні нормативні документи України та провідних країн світу,
що регламентують засади кліматичної нейтральності та водневої трансформації**

Країна	Назва документу	Year
Україна	Воднева стратегія (проект)	2021
	Про відповідальне використання природних ресурсів (проект)	2021
	Про енергетичну ефективність (Закон України)	2022
	Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року	2018
	Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року	2021
Японія	Japan's National Strategy for Hydrogen and Fuel Cell Technology	2014
Китай	Hydrogen and Fuel Cell	2002
США	United States National Hydrogen Technology Strategy	2003
Великобританія	Energy Act	2008
	UK hydrogen strategy	2022
Європейський Союз	Directive 2003/87/EC dated 13.10.2003 Regarding the establishment of a scheme to reduce greenhouse gas emissions by trading within the Community	2003
	The European Climate Change	2000
	Paris Climate Agreement	2015
	The European Green Deal	2020
	Strategy for Energy System Integration	2019
	A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe "Fit for 55"	2020 2021
зокрема		
Італія	Italian hydrogen strategy	2020
	Budget Law 2007 - Energy efficiency provisions	2007
Ірландія	Low Carbon Homes Program	2008
Угорщина	National Energy Conservation Program 2008 (NEP 2008)	2008
Франція	Retailer Sustainable Commerce Agreement	2008
	The French green hydrogen plan 2020-2030	2020
Німеччина	Renewable Energies Heat Act	2009
	The National Hydrogen Strategy	2022
Польща	Polish Energy Policy until 2030	2009
	"My Electricity" Program	2019
	Energy Plus Priority Program	2019
	Polish Geothermal Energy Plus Program	2019
	Energy Law	2021
National Recovery Plan	2022	
Іспанія	Spanish Strategy on Climate Change and Clean Energy 2007-2012-2020	
	Recovery, transformation and resilience plan / Modernisation of public administration (IV)	2021
	Spain 2050 strategy: circular and carbon-neutral economy	2021

Джерело: розроблено авторами на основі [2; 18; 19; 20; 21]

торної бази, розширення використання водневого палива у транспортній галузі та початок експортних продажів українського водню [21].

Попри повномасштабне вторгнення на територію України, Міністерство енергетики

України наприкінці 2022 р. завершило процес розгляду та обговорення проекту Водневої стратегії України на період до 2030 року. Урядовці вважають, що післявоєнне відновлення України відкриває можливості для реалізації

нових проектів і запуску новітніх технологій. А іноземні партнери вже зараз виказують бажання брати участь у розробці та впровадженні водневих проектів в Україні, зокрема, у процесі відбудови [13].

Опрацювання нормативних документів (стратегій, програм, законопроектів) дало змогу виокремити пріоритетні особливості водню та водневих технологій для розвитку економічної системи кожної окремої держави та світу загалом, та для досягнення глобальної кліматичної стійкості.

Перш за все, використання водневих технологій позитивно вплине на зменшення викидів парникових газів, оскільки водень може бути вироблений з використанням відновлювальних джерел енергії, таких як сонячна чи вітрова. При використанні водню як палива у транспорті та промисловості, викиди парникових газів значно зменшуються, сприяючи боротьбі з кліматичними змінами та поліпшенню якості повітря. Водночас, водень є надійним джерелом енергії, оскільки його кількість нескінченна.

Водневі технології допомагають зменшити залежність від традиційних джерел енергії, таких як нафта або вугілля. Розвиток водневих технологій дозволяє розширити портфель енергетичних джерел. Водень може бути використаний у транспорті, промисловості, електрогенерації та навіть в домашньому господарстві. Це сприятиме зменшенню залежності від окремих джерел енергії та забезпечить більш стабільний та різноманітний енергетичний мікс.

Водневі технології мають високий коефіцієнт перетворення енергії, що забезпечує високу енергетичну ефективність. Вони можуть ефективно перетворювати хімічну енергію водню на електричну енергію, що дозволяє забезпечити чисту та стабільну енергію для різних застосувань. Водневі паливні елементи мають високий коефіцієнт енергоефективності, що дозволяє економити ресурси. Водень може бути використаний як збереження енергії, що дозволяє покращити енергоефективність та стабільність електромережі. Разом з тим, розвиток водневих технологій може зробити сучасну економіку більш стійкою до змін клімату та зміни шаблонів споживання енергії.

Попри безліч переваг використання водневих технологій у всіх сферах суспільного життя, акцентуємо на тенденціях розвитку та впровадженню водневих технологій у транспортній сфері, тим паче, успіхи використання

водню на транспортних засобах є беззаперечний. Водночас, автомобільний транспорт залишається одним з основних джерел забруднення у світі, тому це важливий крок у напрямку його екологізації.

Упродовж останнього десятиріччя провідні світові автогіганти, авіа- та суднобудівні компанії активно працюють над розробкою, випробуванням та запуском в експлуатацію усіх видів транспортних засобів на водню.

Перший водневий автомобіль у світі був створений компанією Toyota (Японія) під назвою Toyota Mirai [17]. Цей автомобіль був представлений в 2014 році і став першим серійним автомобілем, що використовує водень для генерації електричної енергії і має дальність ходу близько 500 кілометрів на одному заряді. Цей водневий автомобіль не спричиняє жодних шкідливих викидів CO₂. Такі характеристики роблять Toyota Mirai досить практичним для повсякденного використання. Крім того, автомобіль оснащений низкою сучасних технологій, включаючи систему безпеки, комфортну кабіну та інноваційні функції для полегшення керування.

Окрім компанії Toyota, у світі ще низка автомобільних компаній виробляють водневі автомобілі, зокрема Hyundai, Honda, Mercedes-Benz, BMW, Audi, Lexus, тощо. Зокрема, Hyundai Nexo від Hyundai став першим у світі кросовером позашляховиком, що працює на водневих паливних елементах. Цей автомобіль був випущений у Південній Кореї в березні 2018 р. [14]. А компанія Mercedes-Benz створила серійний легковий автомобіль Mercedes-Benz GLC F-Cell (2018), який першим в світі поєднав в оснащенні водневі паливні елементи і електричні елементи з можливістю зарядки від розетки [15]. Аналогічні переваги у своїх автомобілях використала і французька компанія Peugeot та розробила Peugeot e-Expert Hydrogen, який поєднав у собі електрокар та водневий автомобіль.

Така активна проектна робота над розробкою прототипів водневих автомобілів різними компаніями в різних куточках світу вказує, що вже у недалекій перспективі автомобілі на водневих паливних елементах стануть у масове виробництво та заповнять дороги світу.

Згідно з даними звіту Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) Global EV Outlook 2023, кількість електромобілів на водневих паливних елементах (FCEV) на дорогах світу у 2022 р. зросла на 40% порівняно з 2021 р. і

склала понад 72 000 автомобілів. Японія мала четвертий за величиною парк FCEV у 2022 р., друге місце займала Німеччина. У 2022 р. у світі працювало 1020 водневих заправних станцій: найбільше у Китаї, Південній Кореї, Японії, Німеччині та США [1]. Не оминула декарбонізація та перехід на водневі паливні елементи і вантажні автомобілі: у 2022 р. сегмент вантажівок на водню зростає швидше, ніж сегмент аналогічних автомобілів та автобусів, й збільшився на 60% [1].

Перша воднева вантажівка у світі була створена компанією Nikola Motor Company (США) і із назвою «Nikola One». Цей автомобіль був представлений в 2016 р. і став першим комерційним вантажним автомобілем на водневому паливі. Водневі вантажівки утворюють значно менші викиди шкідливих речовин порівняно з традиційними дизельними двигунами [16]. Компанія Nikola Motor Company активно працює над створенням інфраструктури для водневих заправних станцій, щоб забезпечити зручне поповнення палива для своїх автомобілів.

Варто зазначити, що Nikola Motor Company лише у 2023 р. запустила у серійне виробництво водневі вантажівки. До цього відбувалися лише випробування створених прототипів. Накопичені збитки компанії за цей період склали 2,4 млрд доларів США [3].

З початку 2020 р. в Європі теж почалися випробування водневих вантажівок. У вересні 2023 р. виробник вантажівок Daimler Trucks, (компанія Mercedes-Benz (Німеччина)), завершив випробування вантажівки на рідководневих паливних елементах (FCEV), проїхавши на автомобілі понад 1000 км на одному баку «зеленого водню» [6].

Розробники продовжують працювати над удосконаленням технічних характеристик вантажівок, їх стійкості до погодних умов та здатності перевозити різноманітні великогабаритні вантажі. Лише після досягнення належного рівня якості буде можливо масштабувати використання цього виду транспорту.

Також у світі проєктуються морські судна, які будуть працювати на водневому паливі. Перше у світі водневе морське судно було споруджено французькою компанією «Energy Observer Development» під назвою «Energy Observer» у 2017 р. [4]. Наразі серійне виробництво водневих суден все ще перебуває у розвитку. Проте, із збільшенням зацікавленості у екологічно чистих технологіях та зростанні свідомості щодо забруднення довкілля,

можна очікувати подальший розвиток та можливе майбутнє серійне виробництво водневих суден.

Аналогічна ситуація спостерігається і у галузі повітряного транспорту, де розглядають використання водневого палива як важливого кроку для досягнення декарбонізації авіації до 2050 року. Про це свідчить доповідь Міжнародної ради з екологічно чистого транспортування, аналізуючи перспективи використання літаків на водневому паливі, яка була опублікована наприкінці 2021 р. [7].

Більш позитивна ситуація склалася із створенням французькою компанією Alstom першого гідрогенового потягу Coradia iLint на водневих паливних елементах у 2016 р. Потяг Coradia iLint має вражаючу продуктивність та може досягати швидкості до 140 км/год. Він оснащений великими баками для зберігання водню, що забезпечує його роботу на значній відстані без дозаправлення. Безвикидний та екологічно чистий водневий потяг вже успішно експлуатується в Німеччині, забезпечуючи перевезення пасажирів на відстані до 1000 кілометрів.

Розглянуті проєкти визнані успішними, оскільки вони не лише впроваджують водневий транспорт, але й забезпечують функціональність, ефективність та зручність для користувачів. Вони є прикладом того, що водневий транспорт має потенціал стати екологічно чистим та стійким рішенням для майбутнього.

Однак, як і все інноваційне та випереджаче власний час, водневі технології змушені долати безліч перешкод та відвойовувати здатність отримати ринкову нішу та визнання споживачів. Основними проблемами, що сповільнюють розвиток транспорту на водневих паливних елементах є:

1. Відсутність інфраструктури.

Для успішної експлуатації автомобілів на паливних елементах необхідна мережа заправних станцій воднем. Наразі таких заправок недостатньо, що становить виклик для виробників та користувачів.

2. Висока вартість технологій.

Виробництво водневих автомобілів та паливних елементів є витратним процесом, що впливає на вартість кінцевого продукту. У порівнянні з традиційними автомобілями на двигунах внутрішнього згорання, водневі автомобілі є значно дорожчими. Це створює перешкоди для масового виробництва таких автомобілів.

3. Постачання чистого водню.

Отримання водню зеленим шляхом, таким як електроліз, потребує великої кількості енергії, що може бути недоступним або надто дорогим для деяких регіонів. Виробники зіткнулися з викликом забезпечення джерел водню, які були б дешевшими та екологічно чистими.

4. Акумуляторна технологія.

Для водневих автомобілів потрібні високо-ефективні паливні елементи та акумулятори, які забезпечують достатній запас електричної енергії. Наразі існують обмеження щодо ємності та ефективності батарейних систем для водневих транспортних засобів, що ускладнює розвиток цієї технології.

5. Стандартизація.

Виробники також стикаються з проблемою стандартизації водневої технології. Успішне впровадження вимагає спільних стандартів щодо заправок, паливних елементів та безпеки. Без широкої стандартизації можуть виникати труднощі у взаємодії між різними виробниками та операторами інфраструктури.

Ці проблеми й виклики необхідно вирішувати для подальшого розвитку водневого транспорту. Таким чином, визначальними чинниками будуть розвиток інфраструктури, зниження вартості технологій та виробництва, а також співпраця виробників та урядових органів для стандартизації та сприяння розвитку цієї галузі.

Варто зазначити, що Україна ще до повномасштабного вторгнення вказала спільність поглядів з європейськими державами та компаніями-партнерами щодо дослідження, розвитку та впровадження низьковуглецевих технологій з використанням водню. У вересні 2021 р. Українська воднева рада сертифікувала перший у країні водневий автомобіль. Наразі в Україні вже дві такі машини (але власники машин поки заправляють їх в Польщі). В асоціації очікували, що перша воднева заправка мала з'явитися в Україні в 2022 р. Але наразі це у планах.

У травні 2021 р. в Брюсселі було презентовано план розвитку водневої галузі до 2030 р. «Green Hydrogen Investment and Support Report», відповідно до якого для України мало бути виділено створення 10 ГВт нових потужностей з виробництва «зеленого» водню. Планувалось додаткових 11 ГВт вітростанцій та 11 ГВт сонячних станцій, з фактором завантаження не менше 4000 годин на рік [8].

Україна теж не залишається осторонь розвитку водневих технологій, а перші кроки для

розвитку системи транспортування та зберігання водню в Україні вже зроблені. Компанії Нафтогаз і Укртрансгаз своєю чергою вже приєдналися до ініціативи H2EU+Store. Вона передбачає виробництво зеленого водню з відновлювальної енергетики на заході України з можливістю його зберігання в українських газосховищах. У майбутньому планується експорт цього палива газопроводами до ЄС, закачування його до підземних сховищ Австрії та реалізація споживачам Центральної Європи.

У червні 2022 р. НАК «Нафтогаз України» уклав угоду з канадським енергетичним розробником Symbio Infrastructure (Symbio) на закупівлю скрапленого природного газу (LNG) та зеленого рідкого водню (LH2) з Квебеку, Канада. З огляду на час на отримання дозволів від регулювальних органів, початок роботи проєктів Symbio заплановано на 2027 рік [8].

Але на всі ці плани вплинула війна. Є обговорення і меморандуми, та поки цей напрям рухається дуже повільно.

Україна має велике прагнення створити сприятливе середовище для інновацій та розвитку водневої енергетики, що може привести до прискорення впровадження цих технологій у країні. Загалом, наша країна має великий потенціалом у сфері виробництва водню та має можливість стати лідером у розвитку водневих технологій, що будуть сприяти розвитку екологічно чистого транспортного сектору та зменшенню залежності від імпорту нафти та газу.

Висновки. Популярність водневого транспорту постійно зростає, що зумовлено прагненням людства зменшити негативний вплив викидних газів на довкілля та досягти кліматичної нейтральності. Використання водневих технологій у транспорті робить його екологічно чистим та буде сприяти скороченню залежності від нафтопродуктів.

На сьогодні, усі країни світу і Європи, зокрема, активно розвивають водневий транспорт, формуючи законодавчу базу та інфраструктуру для його підтримки.

Україна також проявляє зацікавленість у розвитку водневих технологій і сподівається стати провідним виробником зеленого водню у Європі та у світі, і певні кроки вже зроблено у цьому напрямку. Але триваюча війна порушила реалізацію усіх проєктів або суттєво їх загальмувала. А тому усі водневі ініціативи в очікуванні мирного часу на території України.

З-поміж проблем розвитку водневого транспорту у світі варто виділити недостатність

інфраструктури, відсутність масового виробництва водневих автомобілів та висока вартість технологій. Також важливо вирішити питання постачання водню, забезпечення безпеки його транспортування та зберігання.

Для сприяння подальшому розвитку водневого транспорту, необхідно подолати наявні проблеми та стимулювати інвестиції у дослідження й розробку водневих технологій

для транспорту та будівництво водневої інфраструктури. Ці кроки будуть сприяти переходу до більш екологічно чистого та сталого водневого транспорту, що зменшить забруднення довкілля і покращить якість життя населення. Використання водневого транспорту має багато переваг і може стати важливим кроком у напрямку сталого розвитку та зеленої мобільності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Global EV Outlook 2023. International Energy Agency. Report. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/525aa16b-7a9d-40f9-a89f-5e613f019220/GEVO2023_WEB.pdf (accessed 21 September, 2023).
2. Policy Database – Data & Statistics. International Energy Agency URL: <https://www.iea.org/policies> (accessed 02 September, 2023).
3. Nikola celebrates commercial launch of its first hydrogen truck – almost seven years after faking a working prototype. Insight. Transport. URL: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/nikola-celebrates-commercial> (accessed 01 September, 2023).
4. Our vessel. Energy Observer Development URL: <https://www.energy-observer.org/about/vessel/> (accessed 21 September, 2023).
5. Petrović, S.; Diachuk, O.; Podolets, R.; Semeniuk, A.; Bühler, F.; Grandal, R.; Boucenna, M.; Balyk, O. (2021). Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*, 14, 7731. URL: <https://doi.org/10.3390/en14227731> (accessed 01 September, 2023).
6. Record run' Daimler's Mercedes-Benz green hydrogen truck drives over 1,000km on a single tank. URL: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/-record-run> (accessed 31 August, 2023).
7. Водневе майбутнє логістики: перспективи в Україні та світі. *Green deal*. URL: <https://greendeal.org.ua/vodneve-majbutnye-logistyky-perspektyvy-v-ukrayini-ta-sviti/> (дата звернення: 22.09.23).
8. Водневі авто – транспорт майбутнього, але поки їх мало. *Liga Tech*. URL: <https://tech.liga.net/ua/technology/article/> (дата звернення: 10.09.23).
9. Водневі технології зберігання енергії: стан та перспективи розвитку. Колективна монографія за ред. В. А. Яртиця, Ю. М. Солоніна, І. Ю. Завалія URL: <https://doi.org/10.15407/materials2021> (дата звернення: 11.09.23).
10. Гайдучський І. П. Низьковуглецевий розвиток: глобальні інструменти мотивації. *Інвестиції: практика та досвід*. 2017. № 2. С. 22–26.
11. Геєць В. В. Економіка України в імперативах низьковуглецевого розвитку. *Вісник НАН України*. 2022. № 3. С.817. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2022.03.008>
12. Колешня Я. О. Енергетична складова економічної безпеки підприємств агропромислового комплексу. Дисертація на здобуття наук. ст. к. е. н. 08.00.04 – економіка та управління підприємствами. Київ. 2019. 245 с.
13. Міненерго завершило обговорення Водневої стратегії. *Урядовий портал*. URL: <https://www.kmu.gov.ua/news/minenerho-zavershylo-obhovorennia-vodnevoi-stratehii-iuliia-pidkomorna> (дата звернення: 26.09.23).
14. Офіційний сайт Hyundai. URL: <https://www.hyundai.news/> (дата звернення: 9.09.23).
15. Офіційний сайт Mercedes-Benz. URL: <https://mercedes-benz-kyiv.com/> (дата звернення: 30.08.23).
16. Офіційний сайт Nikola Motor. URL: <https://www.nikolamotor.com/> (дата звернення: 25.08.23).
17. Офіційний сайт Toyota Україна URL: <https://www.toyota.ua/new> (дата звернення: 25.08.23).
18. Про енергетичну ефективність. Закон України. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 2022. № 2. ст. 8). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (дата звернення: 1.10.23).
19. Стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2050 року. Розпорядження КМУ. URL: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf (дата звернення: 12.09.23).
20. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. Розпорядження КМУ. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (дата звернення: 15.09.23).
21. Українська воднева стратегія. Асоціації «Українська Воднева Рада». URL: https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/ukrainian-hydrogen-strategy_ua_riepkin_181120.pdf (дата звернення: 5.09.23).
22. Шрайбер О. А. Дубровський В. В. Тесленко О. І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32 (71). № 5. С. 199–209.

REFERENCES:

1. Global EV Outlook 2023. International Energy Agency. Report. Available at: https://iea.blob.core.windows.net/assets/525aa16b-7a9d-40f9-a89f-5e613f019220/GEVO2023_WEB.pdf (accessed 21 September, 2023).
2. Policy Database – Data & Statistics. International Energy Agency. Available at: <https://www.iea.org/policies> (accessed 02 September, 2023).
3. Nikola celebrates commercial launch of its first hydrogen truck – almost seven years after faking a working prototype (2023). *Insight. Transport*. Available at: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/nikola-celebrates-commercial> (accessed 01 September, 2023).
4. Our vessel. Energy Observer Development. Available at: <https://www.energy-observer.org/about/vessel/> (accessed 21 September, 2023).
5. Petrović, S.; Diachuk, O.; Podolets, R.; Semeniuk, A.; Bühler, F.; Grandal, R.; Boucenna, M.; Balyk, O. (2021). Exploring the Long-Term Development of the Ukrainian Energy System. *Energies*, 14, 7731. Available at: <https://doi.org/10.3390/en14227731> (accessed 01 September, 2023).
6. Record run' Daimler's Mercedes-Benz green hydrogen truck drives over 1,000km on a single tank. Available at: <https://www.hydrogeninsight.com/transport/-record-run> (accessed 31 August, 2023).
7. Vodneve maibutnie lohistryky: perspektyvy v Ukraini ta sviti. [Hydrogen future of logistics: prospects in Ukraine and the world]. *Green deal*. Available at: <https://greendeal.org.ua/vodneve-majbutnye-logistryky-perspektyvy-v-ukrayini-ta-sviti/> (accessed 22 September, 2023).
8. Vodnevi avto – transport maibutnoho, ale poky yikh malo. [Hydrogen cars are the transport of the future, but there are still few of them]. *Liha Tech*. Available at: <https://tech.liga.net/ua/technology/article/> (accessed 10 September, 2023).
9. Vodnevi tekhnolohii zberihannia enerhii: stan ta perspektyvy rozvytku (2021) [Hydrogen energy storage technologies: status and development prospects]. Collective monograph edited by V. A. Yartysia, Yu. M. Solonina, I. Yu. Zavaliia Available at: <https://doi.org/10.15407/materials2021> (accessed 26 September, 2023).
10. Haidutskyi I. P. (2017). Nyzkovuhletsevyi rozvytok: hlobalni instrumenty motyvatsii [Low-carbon development: global tools of motivation]. *Investytsii: praktyka ta dosvid*. № 2. P. 22–26.
11. Heiets V. V. (2022). Ekonomika Ukrainy v imperatyvakh nyzkovuhletsevoho rozvytku. [The economy of Ukraine in the imperatives of low-carbon development]. *Visnyk NAN Ukrainy*. № 3. P. 8–17. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2022.03.008>
12. Koleshnia Ya. O. (2019). Enerhetychna skladova ekonomichnoi bezpeky pidpriemstv ahropromyslovoho kompleksu [The energy component of the economic security of enterprises of the agro-industrial complex]. Kyiv. 245 p.
13. Minenerho zavershylo obhovorennia Vodnevoi stratehii [The Ministry of Energy completed the discussion of the Hydrogen Strategy]. *Uriadovyi portal*. Available at: <https://www.kmu.gov.ua/news/minenerho-zavershylo-obhovorennia-vodnevoi-stratehii-iulii-pidkomorna> (accessed 26 September, 2023).
14. Official website of Hyundai. Available at: <https://www.hyundai.news/> (accessed 09 September, 2023).
15. Official website of Mercedes-Benz. Available at: <https://mercedes-benz-kyev.com/> (accessed 30 August, 2023).
16. Official website of Nikola Motor. Available at: <https://www.nikolamotor.com/> (accessed 25 August, 2023).
17. Official website of Toyota Ukraina. Available at: <https://www.toyota.ua/new> (accessed 25 August, 2023).
18. Pro enerhetychnu efektyvnist (2022). [About energy efficiency]. *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR)*. № 2. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text> (accessed 01 October, 2023).
19. Stratehiia nyzkovuhletsevoho rozvytku Ukrainy do 2050 roku [Low-carbon development strategy of Ukraine until 2050]. KМУ. Available at: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/07/LEDS_ua_last.pdf (accessed 12 September, 2023).
20. Stratehiia ekolohichnoi bezpeky ta adaptatsii do zminy klimatu na period do 2030 roku [Strategy for environmental security and adaptation to climate change for the period up to 2030]. KМУ. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> (accessed 15 September, 2023).
21. Ukrainska vodneva stratehiia [Ukrainian hydrogen strategy]. Asotsiatsii «Ukrainska Vodneva Rada». Available at: https://rea.org.ua/wp-content/uploads/2020/11/ukrainian-hydrogen-strategy_ua_riepkin_181120.pdf (accessed 05 September, 2023). (in Ukrainian)
22. 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]. *Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky*. Tom 32 (71). № 5. P. 199–209. (in Ukrainian)