

УДК 65:608(66-9)

**Козик Василь Васильович**

*кандидат економічних наук, професор,  
завідувач кафедри економіки підприємства та інвестицій  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Козык Василий Васильевич**

*кандидат экономических наук, профессор,  
заведующий кафедрой экономики предприятия и инвестиций  
Национальный университет «Львовская политехника»*

**Kozyk Vasyl**

*PhD, Professor,  
Head of the Department of Business Economics and Investment  
Lviv Polytechnic National University  
ORCID: 0000-0003-4204-6026*

**Мрихіна Олександра Борисівна**

*доктор економічних наук, професор  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Мрыхина Александра Борисовна**

*доктор экономических наук, профессор  
Национальный университет «Львовская политехника»*

**Mrykhina Oleksandra**

*Doctor of Sciences, Professor  
Lviv Polytechnic National University  
ORCID: 0000-0002-0567-2995*

**Данилович Тарас Богданович**

*кандидат економічних наук, доцент  
Національний університет «Львівська політехніка»*

**Данилович Тарас Богданович**

*кандидат экономических наук, доцент*

*Национальный университет «Львовская политехника»*

**Danylovych Taras**

*PhD, Associate Professor*

*Lviv Polytechnic National University*

*ORCID: 0000-0003-3316-4856*

**Стеців Ірина Семенівна**

*кандидат економічних наук, доцент*

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**Стецив Ирина Семеновна**

*кандидат экономических наук, доцент*

*Национальный университет «Львовская политехника»*

**Stetsiv Iryna**

*PhD, Associate Professor*

*Lviv Polytechnic National University*

*ORCID: 0000-0003-4982-1355*

**Гавриляк Анатолій Степанович**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**Гавриляк Анатолий Степанович**

*кандидат технических наук, доцент*

*Национальный университет «Львовская политехника»*

**Havryliak Anatolii**

*PhD, Associate Professor*

*Lviv Polytechnic National University*

*ORCID: 0000-0003-1389-2784*

**Мельник Володимир Мирославович**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Національний університет «Львівська політехніка»*

**Мельник Владимир Мирославович**

*кандидат технических наук, доцент*

*Национальный университет «Львовская политехника»*

**Melnyk Volodymyr**

*PhD, Associate Professor*

*Lviv Polytechnic National University*

*ORCID: 0000-0002-7123-1418*

**ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЄВРОПЕЙСЬКИХ СТАНДАРТІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ  
АВТОТРАНСПОРТУ  
ПРИМЕНЕНИЕ ВОДОРОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕВРОПЕЙСКИХ СТАНДАРТОВ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОТРАНСПОРТА  
APPLICATION OF HYDROGEN TECHNOLOGIES TO ENSURE  
EUROPEAN STANDARDS IN THE OPERATION OF MOTOR  
TRANSPORT**

***Анотація.** Встановлено, що викиди і відходи від експлуатації автотранспорту є одними з найпоширеніших джерел забруднення повітря та порушення екологічної рівноваги. Незважаючи на значну кількість документів з екологізації автотранспорту в Європі та світі, потреба щодо зменшення негативного впливу автомобілів залишається відкритою. Можливим вирішенням цієї проблеми є застосування водню в якості палива та в якості очищувача двигунів внутрішнього згорання. Обґрунтовано доцільність та ефективність застосування водневих технологій для*

зниження викидів вуглекислого газу, сажі та інших сполук двигунами внутрішнього згоряння автомобільного транспорту. Визначено можливість застосування водневих технологій для вітчизняного автотранспорту для забезпечення європейських стандартів його експлуатації. Проаналізовано досвід розроблення інноваційної системи водневого очищення двигунів внутрішнього згоряння з тривалим періодом експлуатації, запропонованої фахівцями Наукового парку Національного університету «Львівська політехніка» «SID Sity» (м. Львів), що забезпечує покращені технічні параметри та є дешевшою в експлуатації, порівняно із закордонними аналогами. Пропонована система водневого очищення може забезпечити європейські стандарти вимог до екологічного середовища.

**Ключові слова:** водневі технології, сталий розвиток, відновлювані джерела енергії, автотранспорт.

**Аннотація.** Установлено, что выбросы и отходы от эксплуатации автотранспорта являются одними из наиболее распространенных источников загрязнения воздуха и нарушения экологического равновесия. Несмотря на значительное количество документов по экологизации автотранспорта в Европе и мире, потребность в уменьшении негативного влияния автомобилей остается открытой. Возможным решением этой проблемы является применение водорода в качестве топлива и очистителя двигателей внутреннего сгорания. Определена возможность использования водородных технологий для отечественного автотранспорта для обеспечения европейских стандартов его эксплуатации. Проанализирован опыт разработки инновационной системы водородной очистки двигателей внутреннего сгорания с длительным периодом эксплуатации, предложенной специалистами Научного парка Национального университета «Львовская политехника» «SID Sity» (г. Львов), которая обеспечивает улучшенные технические параметры и дешевле в

*експлуатації по сравнению с зарубежными аналогами. Предлагаемая система водородной очистки может обеспечить европейские стандарты требований к экологической среде.*

**Ключевые слова:** *водородные технологии, устойчивое развитие, возобновляемые источники энергии, автотранспорт.*

**Summary.** *It has been established that emissions and wastes from the operation of motor transport are one of the most common sources of air pollution and ecological imbalance. Despite the significant number of documents on the greening of motor transport in Europe and the world, the need to reduce the negative impact of cars remains open. A possible solution to this problem is the use of hydrogen as a fuel and as a cleaner for internal combustion engines. The expediency and efficiency of the application of hydrogen technologies to reduce emissions of carbon dioxide, soot and other compounds by internal combustion engines of road transport are substantiated. The possibility of application of hydrogen technologies for domestic motor transport to ensure European standards of its operation is determined. The experience of developing an innovative system of hydrogen purification of internal combustion engines with a long period of operation, proposed by the specialists of the Science Park of the Lviv Polytechnic National University "SID City" (Lviv) is analyzed. The proposed development provides improved technical parameters and is cheaper to operate compared to foreign counterparts. The proposed hydrogen purification system can meet European standards of environmental requirements.*

**Key words:** *hydrogen technologies, sustainable development, renewable energy sources, motor transport.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Однією з важливих проблем світової спільноти останніх років є забруднення

довкілля, зумовлене активним розвитком транспортної інфраструктури. За даними Міжнародної ради зеленого транспорту [12], транспортний сектор генерує 29 % від загального числа викидів в Європі, а найбільшим джерелом забруднення повітря та порушення екологічної рівноваги є автомобільний транспорт (у загальному числі викидів від транспорту він становить понад 70 %). На автотранспорт припадає і найбільша частка викидів парникових газів (легкові автомобілі та фургони – 18 %, автобуси і вантажівки – 5 %), за якою нині ЄС посідає 3-тє місце у світі. На даний час, порівняно із 1990 р., рівень викидів парникових газів від автотранспорту зріс на 33 %, і має тенденцію до зростання. В Україні, за даними кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів (2019 р.) [9], 12% з них генерують автомобілі. Викиди і відходи від експлуатації автотранспорту зумовлюють зміну клімату, впливають на здоров'я організмів, уповільнюють розвиток біорізноманіття.

Здебільшого, шкідливі викиди відбуваються в процесі експлуатації старих автомобілів із двигунами внутрішнього згорання. Вони налічують понад 200 сполук, які чинять негативний вплив на довкілля: оксиди та діоксиди вуглецю, вуглеводні, окиси азоту, свинець, сажа, альдегіди, формальдегіди, зокрема домішки ароматичних вуглеводів, бензопірен, канцерогени, у тому числі й ПАВ, серед яких чимало мутагенів, водяна пара тощо.

З метою зменшення вищезначених негативних наслідків викидів продуктів експлуатації автомобілів, у країнах ЄС активно посилюють заходи з декарбонізації, розробляють і поширюють альтернативні екологічні види автотранспорту (електромобілі тощо), впроваджують податки на затори, створюють зони зі зменшеним рівнем викидів, встановлюють стандарти викидів (норми викидів Євро 1-7), вимоги до якості палива тощо. На загальнонаціональному рівні країни визначають

допустиму кількість забруднюючих докільля речовин та параметри зменшення загальнодержавних викидів.

Необхідність вирішення зазначеної вище проблеми засвідчує її врахування у Глобальних цілях сталого розвитку 2015 – 2030 (ЄС), новій Промисловій Стратегії ЄС (2020 р.), Водневій Стратегії ЄС (2020 р.), Стратегії сталої і розумної мобільності ЄС (2021 р.), низці директив та програм ЄС. В Україні триває доопрацювання Стратегії розвитку промислового комплексу до 2025 р., яка включатиме пріоритети нової Промислової Стратегії ЄС.

Однак, незважаючи на численну кількість проєктів, заходів та інших регламентуючих документів у світі і в Європі, потреба екологізації автотранспорту залишається відкритою. Пріоритетними є не лише заходи з організування еко-середовища, а й виведення елементів автомобілів, що спричиняють негативний вплив, на якісно новий рівень. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є застосування водневих технологій для автомобільних двигунів внутрішнього згорання.

Доцільно розглядати два напрямки застосування водню: у якості пального та для очищення паливної системи. Дослідження ефективності водневих двигунів [18], порівняно із традиційними двигунами внутрішнього згорання, підтверджує майже утричі вищу ефективність автомобілів на водневих паливних елементах. При цьому, за умов забезпечення виробництва водню енергією, одержаною з неуглецевих джерел, викиди діоксиду вуглецю будуть практично відсутні. Водень можна виробляти з відновлюваних ресурсів, а також використовувати для зберігання енергії з непостійних джерел [2]. Порівняно із іншими розробками, водневі системи для автомобільних двигунів є одними з найпопулярніших сучасних методів екологізації автотранспорту і, відповідно, вагомою складовою забезпечення європейських стандартів його експлуатації.



Поряд із зазначеним, актуальності набуває використання водню з метою очищення двигунів внутрішнього згоряння, що істотно зменшує рівень шкідливих викидів і відходів автомобіля та сприяє отриманню інших позитивних результатів: збільшення потужності двигунів, зниження рівня витрат палива та мастила, злагодженої роботи всіх складових двигуна, очищених від вуглецевих та інших відкладень, продовження терміну служби двигуна тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор.** Проблематика застосування інноваційних, та зокрема, водневих технологій з метою екологізації та підвищення енергоефективності автотранспорту широко представлена у наукових джерелах, що засвідчує її актуальність та прикладну цінність. Наприклад, у роботах [1; 4; 10; 11; 19] проаналізовані технологічні особливості запровадження водневих технологій, у тому числі для автотранспорту; у працях [5; 13; 14] розглянуто водневі технології у контексті розвитку відновлюваних джерел енергії; науковці [6; 7; 20] пропонують авторські рішення щодо застосування чистих технологій, зеленої енергетики та їхнього впливу на сталий розвиток. Ідеї сталого розвитку знаходять широку підтримку європейської спільноти. Зокрема, у 2021 р. Єврокомісією запроваджено пакет заходів, спрямованих на стимулювання інвестиційних проєктів для вирішення цієї проблеми [3]:

- Делегований Регламент (ЄС) щодо кліматичної таксономії – встановлює та класифікує види діяльності, що мають найпозитивніший вплив на клімат і довкілля (*EU Taxonomy Climate Delegated Act*);
- Нова Директива щодо корпоративної звітності зі сталого розвитку – встановлює для компаній чіткі умови з розкриття інформації щодо впливу на довкілля, соціальної відповідальності, корпоративного управління (*Corporate Sustainability Reporting Directive*);



- Шість делегованих регламентів, які гарантують, що компанії фінансового сектора включатимуть питання сталого розвитку у процедури та інвестиційні поради клієнтам (*Amending Delegated Acts*).

У Водневій Стратегії ЄС (2020 р.) передбачено, що в інтегрованій енергетичній системі водень може сприяти декарбонізації промисловості, транспорту, виробництва електроенергії та будівель по всій Європі [15].

Регламентом (ЄС) 2020/852 про таксономію сталих видів економічної діяльності (*Sustainable finance taxonomy*) [17], який набрав чинності у 2020 р., встановлено шість екологічних цілей: пом'якшення наслідків змін клімату; адаптація до змін клімату; стале використання та охорона водних і морських ресурсів; перехід до циркулярної економіки; запобігання та контроль забруднення; захист та відновлення біорізноманіття й екосистем.

Незважаючи на актуальність проблеми та широкий спектр пропозицій та рекомендацій вітчизняних і зарубіжних фахівців, в Україні досі не приділено достатньої уваги проблемі застосування водневих технологій і, зокрема, для автомобільних двигунів внутрішнього згорання для забезпечення європейських стандартів експлуатації транспорту.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Як засвідчили результати наукового пошуку, істотний масив нормативно-правових документів, представлених в останні роки Європейською спільнотою з метою екологізації довкілля, багатоаспектно регламентує застосування чистих технологій у сфері транспорту. Однак, вітчизняні науковці не приділяють достатньої уваги висвітленню проблеми екологізації у сфері експлуатації автотранспорту. Зокрема, не висвітлений досвід та можливості використання водневих технологій для покращення технічних та експлуатаційних характеристик транспорту. Не мають економічного обґрунтування ефективності розроблені практиками методи застосування водневих технологій для очищення двигунів внутрішнього згорання з

великим терміном експлуатації, що є невирішеною частиною проблеми використання водневих технологій для екологізації доквілля.

**Формулювання цілей статті.** *Мета статті* – обґрунтування доцільності та ефективності застосування водневих технологій для зниження викидів вуглекислого газу, сажі та інших сполук двигунами внутрішнього згоряння автомобільного транспорту.

Вирішення проблеми вимагає аналізування перспективності впровадження водневих технологій для зниження викидів вуглекислого газу, сажі та інших сполук двигунами внутрішнього згоряння та обґрунтування можливості їх застосування у вітчизняному автотранспорті для забезпечення європейських стандартів його експлуатації.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.** Водень є одним з найпоширеніших елементів Землі, із найвищим рівнем енергоємності. При цьому, в чистому вигляді водню практично немає у природі. Продуктом згоряння водню є лише вода. Одним з популярних шляхів його виробництва є електроліз, а для його одержання застосовують різноманітні джерела енергії – копалини, ядерну енергію, відновлювані технології тощо. За даними [2], нині половина з понад 50 млн тон виробленого водню отримана шляхом конверсії водяної пари із природним газом (48 %). Водень видобувають із нафти (30 %), вугілля (18 %), води (4 %). Правильним підбором паливних елементів для отримання водню можна практично зовсім скоротити викиди діоксиду вуглецю.

Водневі технології для автомобілів дають змогу підвищити рівень екологічності експлуатації двигунів із одночасною оптимізацією параметрів їхньої потужності та витрачання палива. Одним з відомих у світі гібридних авто на водневому двигуні є Toyota Mirai, випущене 2013 року (продажі в Європі та США розпочалися 2015 року), у 2020 р. представлено друге покоління цього автомобіля. Над такими розробками працюють компанії

BMW, Toyota, Hyundai та інші. За даними [4], із двома наповненими резервуарами водню можна проїхати 650 км. Для повної заправки знадобиться 3 хвилини. Максимальна швидкість становить автомобіля – 175 км/год. Розгін від 0 до 100 км/год можливий за 9 с. Авто оснащено системою автоматичного відключення вихідного клапана резервуара з воднем, щоб водень не потрапив у механізми поза салоном. Всі деталі, пов'язані з воднем, розташовані за межами кабіни для виключення ризику загоряння в салоні. Для авто створили унікальний каркас, який розподіляє ударну силу навколо салону і паливних елементів у випадку аварії. Застосування водневих технологій дає змогу знизити рівень виснаження запасів вуглеводневих ресурсів та забруднення навколишнього середовища.

Кожен автомобіль при згорянні 1 кг бензину використовує 15 кг повітря, зокрема, 5,5 кг кисню. При згорянні 1 т пального в атмосферу викидається 200 кг окису вуглецю [16], а у камерах згоряння двигуна утворюються нагари, що погіршують його технічні характеристики, спричиняють втрату потужності, збільшують розхід палива та рівень шкідливих викидів в атмосферу. Цю проблему вирішують через виробництво і впровадження інноваційних технологій очищення двигунів внутрішнього згоряння, шляхом внесення змін у їхню конструкцію, а саме – монтування у двигунах водневих систем, що зберігатимуть та відновлюватимуть двигуни автомобілів, очищуючи від нагарів та сажистих відкладень.

При застосуванні водню для систем очищення двигунів внутрішнього згоряння автомобілів можливо досягти таких позитивних ефектів:

— збільшення потужності та терміну експлуатації двигунів автотранспорту, відновлення роботи каталізаторів і збільшення терміну експлуатації сажових фільтрів DPF, зменшення витрат палива та мастила у порівнянні з базовими показниками;

— вирішення проблеми появи кіптяви з вихлопної системи автотранспорту та негативних викидів в атмосферу в процесі їх експлуатації;

— забезпечення потужного та динамічного розгону автотранспорту, зменшенню шумності та вібрації двигуна, збільшенню компресії у циліндрах двигунів внутрішнього згорання.

В Україні застосування водневих технологій для очищення двигунів внутрішнього згорання досі не набуло популярності у зв'язку із низьким рівнем обізнаності громадськості, відносною дороговизною процесу та низькими темпами поширення європейських стандартів з експлуатації автотранспорту. Разом з тим слід відзначити, що вченими та розробниками-практиками Наукового парку Національного університету «Львівська політехніка» «SID City» (м. Львів) запропоновано авторське рішення з удосконалення водневої технології для двигунів внутрішнього згорання, яка визначається покращеними технічними параметрами та, порівняно із закордонними аналогами, є дешевшою в експлуатації (Інноваційний проєкт «Розроблення системи водневого очищення автомобільних двигунів внутрішнього згорання», реалізується в межах Програми сприяння інноваційному та науково-технологічному розвитку у Львівській області на 2021 – 2025 рр.).

Унікальність запропонованої політехніками інноваційної технології полягає у збагаченні воднем і киснем стандартної паливно-повітряної суміші, внаслідок чого вона отримуватиме нові фізико-хімічні властивості, і, запалюючись в працюючому двигуні, даватиме змогу допалювати вуглецеві відкладення в камері згорання та очищатиме пов'язані з камерою згорання системи. Водень сприятиме ефективнішому згоранню паливно-повітряної суміші. Теплотворна здатність водню утричі вища, ніж у бензину / дизельного палива (28600 кДж проти 10500/10300 кДж). Запалюючись, водень створюватиме короткочасний, але дуже потужний імпульс, який

руйнуватиме молекулярні зв'язки поверхневого шару вуглецевих відкладень. Вироблений системою кисень сприятиме ефективнішому окисленню вуглецю. Таким чином, більша частина нагару в камері згорання, на поверхні поршня поршневих кілець, випускних клапанах виходитиме у вигляді двоокису вуглецю – вуглекислого газу, не засмічуючи вихлопну систему. Водень, окислюючись (згораючи), не тільки вироблятиме велику кількість енергії, а й перетворюватиметься на воду у вигляді перегрітої пари, яка є ефективним розчинником. Він очищатиме як камеру згорання, так і всі елементи пов'язаних систем (вихлопний колектор, клапан і заслінку рециркуляції відпрацьованих газів – EGR, кисневий датчик / лямбда-зонд, турбіну). Конденсуючись у вихлопній системі, він вимиватиме місцеві поклади кіптяви і гару, які вилитимуться з вихлопної труби у вигляді брудної рідини. На розігрітих ділянках вихлопної системи з відсутністю кисню запускатиметься процес піролізу – термічного розкладання вуглецевих відкладень на молекули, що дасть змогу очищати каталізатор або фільтр сажі (у автомобілів на дизельному паливі).

Реалізація запропонованої системи водневого очищення двигунів внутрішнього згорання для легкових та вантажних автомобілів, спеціальної техніки та дизельних генераторів сприятиме досягненню низки екологічних та економічних ефектів. Як показують попередні розрахунки за проектом, серед екологічних ефектів слід виділити значне скорочення шкідливих викидів у навколишнє середовище, зокрема, оксидів азоту на 80 %, чадного оксиду – на 51 %, вуглеводнів – на 50 % та чорного диму на – 55 %. Серед економічних – збільшення потужності двигуна на 25 %, скорочення витрат палива на 6 – 19 %, дизельно-вихлопної рідини на 51 %, збільшення тривалості експлуатації дизельного фільтру частинок на 33 % та продовження строку експлуатації масла на 25 %.

Очікувана ефективність реалізації зазначеного проєкту забезпечуватиметься інноваційною інфраструктурою Львівської

політехніки, яка включає «Tech StartUp School», на базі якої проводять дослідження і удосконалюють діючу технологію та апарати для здійснення очистки.

Доведення запропонованої системи водневого очищення двигунів внутрішнього згоряння автотранспорту від розробника до кінцевого споживача виконуватиметься у кілька етапів, що передбачено календарним планом реалізації проєкту. Зокрема, на першому етапі передбачено виготовлення експериментального зразка водневої системи внутрішнього очищення автомобільних двигунів внутрішнього згоряння. Заплановано проведення дослідження та обґрунтування наукових, маркетингових та технічних аспектів, організаційно-технічна підготовка експериментального виробництва інноваційних продуктів та запуск експериментального виробництва системи водневого очищення двигунів внутрішнього згоряння для легкових авто, вантажних авто та спеціальної техніки, а також для дизельних генераторів.

Другий етап реалізації проєкту зосереджено на тестуванні та сертифікації інноваційного продукту – водневої системи внутрішньої очистки автомобільних двигунів, що дасть змогу переконатися у безпеці та ефективності запропонованої інноваційної технології. В межах даного етапу досліджують експлуатаційні характеристики виробів, здійснюють їх сертифікаційні випробовування, розробляють технічні умови на вироби та сертифікують інноваційний продукт.

На третьому етапі реалізації проєкту передбачена комерціалізація результатів прикладних досліджень, в межах запуску пілотного виробництва системи водневого очищення двигунів внутрішнього згоряння автотранспорту у Львівській області. Комерціалізація здійснюватиметься через організаційно-технічну підготовку пілотного виробництва інноваційної продукції, закупівлю матеріалів та сировини і виготовлення пілотної партії виробів.

Незважаючи на очікувану ефективність наведеної вище авторської технології, є низка факторів, що уповільнюють її поширення в Україні. Зокрема, відсутність бази для виробництва очищувальної водневої системи, недостатня розвиненість пунктів очистки воднем двигунів внутрішнього згоряння, недосконалі технології зберігання водню, відсутність стандартів зберігання, транспортування та застосування водню тощо.

**Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку.** Використання сучасних видів наземного транспорту, окрім переваг і покращення якості людського життя, чинить негативний вплив на майже усі види природних ресурсів. Дослідження нормативно-правових документів ЄС з експлуатації автотранспорту на засадах чистих технологій засвідчило високий рівень перспективності застосування водню як низьковуглецевого енергетичного рішення на стратегічну перспективу. Нині у світі вже розроблені водневі системи для двигунів внутрішнього згоряння, відбуваються дослідження щодо поєднання цієї технології з іншими у сфері традиційної та відновлюваної енергетики. В Україні застосування водневих систем у двигунах внутрішнього згоряння досі є непопулярним у зв'язку із істотною дороговизною впроваджувальних та експлуатаційних процесів, низькими темпами поширення європейських стандартів з експлуатації автотранспорту тощо.

Запропоноване авторське рішення фахівців Наукового парку Національного університету «Львівська політехніка» «SID Sity» щодо водневої технології для двигунів внутрішнього згоряння визначається покращеними технічними параметрами та характеризується істотно дешевшим рівнем в експлуатації, порівняно із існуючими аналогами.

Попередні розрахунки за проєктом показали, що матиме місце значне скорочення шкідливих викидів у навколишнє середовище, зокрема, оксидів азоту на 80 %, чадного оксиду – на 51 %, вуглеводнів – на 50 % та чорного



диму на – 55 %. З економічних позицій, очікується зростання рівня потужності двигуна на 25 %, скорочення витрат палива на 6 – 19 %, дизельно-вихлопної рідини на 51 %, збільшення тривалості експлуатації дизельного фільтру частинок на 33 % та продовження строку експлуатації масла на 25 %.

Однак, незважаючи на ефективність запропонованої технології, проблемним аспектом є формування відповідного середовища, яке забезпечуватиме інфраструктуру водневих систем.

Перспективність подальшого розвитку застосування водневих технологій в автотранспорті вимагає комплексного дослідження проблем, пов'язаних з інноваційними технологіями та оцінюванням їх ефективності при забезпеченні європейських стандартів експлуатації.

Розроблення стандартів зберігання, транспортування та застосування водню, гармонізація вітчизняних документів у сфері чистих технологій та експлуатації автотранспорту із документами ЄС сприятиме поширенню водневих технологій у сфері автотранспорту та розвитку енергоефективного суспільства як в Україні, так і поза її межами.

### **Література**

1. Бувалець М., Рулевська Т., Колесніков В. Стан впровадження водневих технологій на сучасному транспорті // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14 – 15 квітня 2021, м. Вінниця. URL: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/22023/material2018-31-36.pdf?sequence=1>
2. Воднева енергетика // Вікіпедія: Вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D>

0%B5%D0%B2%D0%B0\_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%  
%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0#cite\_note-35

3. ЄЗК: стає інвестування. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/yezk-stale-investuvannia>
4. Іщенко Б., Крива Є., Фірсов О., Колесніков В. Приклади впровадження водневих технологій // Матеріали I Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Сучасна наука: стан, проблеми, перспективи», 2020, м. Старобільськ, ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка». URL: <http://dSPACE.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5387/1/197.%20Kolesnikov%20V.O..pdf>
5. Козик В. В., Мрихіна О. Б., Жураковська М. Б. Центри трансферу технологій: еволюція моделей, світовий досвід, шляхи розвитку в Україні. Київ: Кондор. 2021. 128 с.
6. Мрихіна О. Б., Жуковська В. М., Данилович Т. Б., Гавриляк А. С., Богдан П. І. Модель ціноутворення для інтелектуально-інноваційної продукції на засадах її готовності до комерціалізації // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки». 2020. №10.
7. Мрихіна О. Б., Данилович Т. Б., Гавриляк А. С., Міркунова Т. І. Особливості інноваційної діяльності суб'єктів господарювання у контексті сучасного етапу розвитку інноваційної інфраструктури України // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука». Серія: «Економічні науки». 2019. №2. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2019-2-4710>
8. Національна академія наук: Водневі програми та проекти в світі. URL: <https://web.archive.org/web/20080502182456/http://www.hydrogen.nas.gov.ua/Pages/default.aspx>

9. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів. URL: <https://mepr.gov.ua/content/nacionalniy-kadastr-antropogennih-vikidiv-iz-dzherel-ta-absorbicii-poglinachami-parnikovih-gaziv.html>
10. Риб'янець С. Р., Колесніков В. О. Розвиток та впровадження водневих технологій на автомобільному транспорті // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14 – 15 квітня 2021, м. Вінниця. URL: <http://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/8608/230.%20Kolesnikov%20V.O..pdf?sequence=1>
11. Тащев Ю. В., Войтко С. В., Трофименко О. О., Рєпкін О. О., Кудря Т. С. Глобальні тенденції розвитку водневих технологій у промисловості // Бізнес Інформ, 2020. № 8. С. 103-114. DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114>
12. Федерація роботодавців автомобільної галузі: Викиди від транспорту і як з ними боротися. URL: <https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iak-z-nimi-borotisia>
13. Cantarero M. M. V. Of Renewable Energy, Energy Democracy, and Sustainable Development: a Roadmap to Accelerate the Energy Transition in Developing Countries // Energy Research & Social Science, 2020. Volume 70. 101716. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620302917>
14. Chorna N. Prospects for Application of Hydrogen Technologies for Autonomous Power Complexes Based on Renewable Energy Sources // Scientific and Applied Journal Vidnovluvana Energetika. 2021. № 3(66). URL: <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/306>

15. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: a Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. URL: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=941002>
16. Ecobusiness Group: Актуальні питання забруднення атмосферного повітря. URL: <https://ecolog-ua.com/news/aktualni-pytannya-zabrudnennya-atmosferного-povitrya>
17. European Commission: Sustainable Finance Taxonomy – Regulation (EU) 2020/852. URL: [https://ec.europa.eu/info/law/sustainable-finance-taxonomy-regulation-eu-2020-852\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/sustainable-finance-taxonomy-regulation-eu-2020-852_en)
18. Lovins A. Twenty Hydrogen Myths. URL: [https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/2003-05\\_20HydrogenMyths.pdf](https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/2003-05_20HydrogenMyths.pdf)
19. Omri A. Technological Innovation and Sustainable Development: Does the Stage of Development Matter? // Environmental Impact Assessment Review. 2020. Volume 83. 106398. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925519304792>
20. Stetsiv I., Stetsiv I., Havras D. Problems of Automation of Economic Work at Enterprise // Збірник наукових праць ЛОГОΣ. 2020. Р. 24-27. URL: [file:///C:/Users/User/Downloads/2072-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8-3401-1-10-20200425%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/2072-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8-3401-1-10-20200425%20(1).pdf)

## References

1. Buvalets M., Rulevska T., Kolesnikov V. Stan vprovadzhennia vodnevnykh tekhnolohii na suchasnomu transporti // Materialy IKh Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 14 – 15 kvitnia 2021, m. Vinnytsia.

URL:<http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/22023/material2018-31-36.pdf?sequence=1>

2. Vodneva enerhetyka // Vikipediia: Vilna entsyklopediia. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0\\_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0#cite\\_note-35](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B5%D0%B2%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0#cite_note-35)
3. IeZK: stale investuvannia. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/yezk-stale-investuvannia>
4. Ishchenko B., Kryva Ye., Firsov O., Kolesnikov V. Pryklady vprovadzhennia vodnevnykh tekhnolohii // Materialy I Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii «Suchasna nauka: stan, problemy, perspektyvy», 2020, m. Starobilsk, DZ «LNU imeni Tarasa Shevchenka». URL: <http://dspace.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/5387/1/197.%20Kolesnikov%20V.O..pdf>
5. Kozyk V. V., Mrykhina O. B., Zhurakovska M. B. Tsentry transferu tekhnolohii: evoliutsiia modelei, svitovy dosvid, shliakhy rozvytku v Ukraini. Kyiv: Kondor. 2021. 128 s.
6. Mrykhina O. B., Zhukovska V. M., Danylovykh T. B., Havryliak A. S., Bohdan P. I. Model tsinoutvorennia dlia intelektualno-innovatsiinoi produktsii na zasadakh yii hotovnosti do komertsializatsii // Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka». Serii: «Ekonomichni nauky». 2020. №10.
7. Mrykhina O. B., Danylovykh T. B., Havryliak A. S., Mirkunova T. I. Osoblyvosti innovatsiinoi diialnosti subiektiv hospodariuvannia u konteksti suchasnoho etapu rozvytku innovatsiinoi infrastruktury Ukrainy // Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka». Serii: «Ekonomichni nauky». 2019. №2. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2294-2019-2-4710>

8. Natsionalna akademiia nauk: Vodnevi prohramy ta proekty v sviti. URL:  
<https://web.archive.org/web/20080502182456/http://www.hydrogen.nas.gov.ua/Pages/default.aspx>
9. Natsionalnyi kadastr antropohennykh vykydiv iz dzherel ta absorbttsii pohlynachamy parnykovykh haziv. URL:  
<https://mepr.gov.ua/content/nacionalniy-kadastr-antropogennih-vikidiv-iz-dzherel-ta-absorbtsii-poglinachami-parnikovih-gaziv.html>
10. Rybianets S. R., Kolesnikov V. O. Rozvytok ta vprovadzhennia vodnevykh tekhnolohii na avtomobilnomu transporti // Materialy IKh Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi internet-konferentsii «Problemy i perspektyvy rozvytku avtomobilnoho transportu», 14 – 15 kvitnia 2021, m. Vinnytsia. URL:  
<http://dspace.luguniv.edu.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/8608/230.%20Kolesnikov%20V.O..pdf?sequence=1>
11. Tashcheiev Yu. V., Voitko S. V., Trofymenko O. O., Riepin O. O., Kudria T. S. Hlobalni tendentsii rozvytku vodnevykh tekhnolohii u promyslovosti // Biznes Inform, 2020. № 8. С. 103-114. DOI:  
<https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-8-103-114>
12. Federatsiia robotodavtsiv avtomobilnoi haluzi: Vykydy vid transportu i yak z nymy borotysia. URL:  
<https://fra.org.ua/uk/an/publikatsii/analitika/vikidi-vid-transportu-i-iak-z-nimi-borotisia>
13. Cantarero M. M. V. Of Renewable Energy, Energy Democracy, and Sustainable Development: a Roadmap to Accelerate the Energy Transition in Developing Countries // Energy Research & Social Science, 2020. Volume 70. 101716. URL:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629620302917>
14. Chorna N. Prospects for Application of Hydrogen Technologies for Autonomous Power Complexes Based on Renewable Energy Sources //

Scientific and Applied Journal Vidnovluvana Energetika. 2021. № 3(66).  
URL: <https://ve.org.ua/index.php/journal/article/view/306>

15. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: a Hydrogen Strategy for a Climate-Neutral Europe. URL: <https://www.ceeol.com/search/article-detail?id=941002>
16. Ecobusiness Group: Aktualni pytannia zabrudnennia atmosferneho povitria. URL: <https://ecolog-ua.com/news/aktualni-pytannya-zabrudnennya-atmosfernogo-povitrya>
17. European Commission: Sustainable Finance Taxonomy – Regulation (EU) 2020/852. URL: [https://ec.europa.eu/info/law/sustainable-finance-taxonomy-regulation-eu-2020-852\\_en](https://ec.europa.eu/info/law/sustainable-finance-taxonomy-regulation-eu-2020-852_en)
18. Lovins A. Twenty Hydrogen Myths. URL: [https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/2003-05\\_20HydrogenMyths.pdf](https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/05/2003-05_20HydrogenMyths.pdf)
19. Omri A. Technological Innovation and Sustainable Development: Does the Stage of Development Matter? // Environmental Impact Assessment Review. 2020. Volume 83. 106398. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925519304792>
20. Stetsiv I., Stetsiv I., Havras D. Problems of Automation of Economic Work at Enterprise // Zbirnyk naukovykh prats ΛOHOΣ. 2020. P. 24-27. URL: [file:///C:/Users/User/Downloads/2072-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8-3401-1-10-20200425%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/2072-%D0%A2%D0%B5%D0%BA%D1%81%D1%82%20%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BE%D1%82%D0%B8-3401-1-10-20200425%20(1).pdf)