

УДК 629.4.014.2

DOI: 10.34029/2311-4061-2021-140-3-04-15



*Голова Наглядової ради –
Президент товариства ПАТ
«КВБЗ», член президії ФРУ,
Лауреат Державної премії
України в області науки і
техніки, кандидат
технічних наук, професор
Приходько В.І.*



*Головний спеціаліст
ПАТ «КВБЗ»,
лауреат Державної
премії України в
області науки і
техніки
Ігнатов Г.С.*



*Начальник
конструкторського бюро
ПАТ «КВБЗ»
Зюков А.А.*

ТРАНСПОРТ НАЙБЛИЖЧОГО МАЙБУТНЬОГО І ЩО TAKE EU GREEN DEAL

Ключові слова: рухомий склад, «вуглецевий податок», декарбонізація промислових процесів і секторів економіки, водневі паливні елементи, «брудний» транспорт.

Вступ та постановка проблеми

Розвиток транспорту у світі, у тому числі залізничного, відбувається по певній спіралі вже понад 150 років. І черговий виток завжди маємо після винаходу нових конструкцій тягових засобів, нових технологій, матеріалів і ефективних видів палив.

І ці віхи: парова машина, двигун внутрішнього згорання, електродвигун постійного струму, двигун змінного струму, контактна мережа, підстанції, генерація електроенергії великої потужності, – призводять до нових проблем – забруднення місця існування людини і усієї природи! Тому далі мова піде про угоду «EU Green Deal» і як вона впливає на Україну.

Що собою представляє угода «EU Green Deal» або «зелений курс»? Це, насамперед, набір політичних ініціатив Європейської ко-

місії. Все більше країн у світі ставлять мету досягти кліматичної нейтральності – скоротити викиди вуглецю та інших парникових газів у найближчому майбутньому. Тому 11 грудня 2019 року на саміті ООН по клімату 66 країн світу взяли на себе зобов'язання до 2050 року зробити Європу вуглецево нейтральною.

Кліматична нейтральність означає, що викиди в атмосферу вуглекислого газу (діоксиду вуглецю) або його аналогів мають бути скорочені до мінімуму.

Чому викиди вуглекислого газу хочуть знизити? Збільшення викидів двоокису вуглецю (CO₂) призводить до погіршення екологічного стану планети та змін клімату. Вуглекислий газ шкідливий для довкілля у разі його надлишку. У природних пропорціях він потрібний для життєдіяльності рослин, які поглинають і переробляють CO₂, виділяючи в оточуюче середовище кисень. Але якщо газ CO₂ в надлишку, то він створює парниковий ефект, за якого випромінювання Сонця про-

ходить крізь атмосферу, але назад йде менше теплової енергії.

Чому Україна має долучитися до цієї стратегії? Що таке «Carbon Border Adjustment» (CBA)? «Carbon Border adjustment» або механізм граничного регулювання вуглецю – це спеціальний податок на товари, що імпортуються в Європейський Союз. Спеціальний податок застосовуватиметься не до усієї імпоротної продукції, а до продукції з країн, які не приділяють належної уваги зменшенню викидів CO₂. Україна, як торговельний партнер ЄС, повинна імплементувати норми, пов'язані з протидією зміні клімату. Інакше продукція, яка експортується нею в ЄС підпаде під «вуглецевий податок».

Європейська комісія пропонує ввести CBA не пізніше 2023 року. Це означає, що в Україні є максимум два роки на те, щоб почати процес декарбонізації промисловості. Що для цього потрібне в глобальних масштабах?

1. У країні повинні бути введені жорсткі екологічні стандарти і законодавча база, яка регулюватиме обсяги і норми викиду двоокису вуглецю.

2. Виробництва приватного бізнесу повинні ставати менш вуглецевмісними.

3. Має запрацювати ринок торгівлі з квотами на викиди вуглецю.

У 2019 році ЄС був головним торговельним партнером України. Питома вага торгівлі товарами і послугами з ЄС складала 40,1 % від загального обсягу торгівлі України. Було експортовано товарів на 20,2 млрд. доларів. При цьому, третина суми експорту потенційно підпадає під вуглецевий податок. Експортери не зможуть розвивати свій бізнес так, як це було б можливо, без сплати податку CBA. На даний момент вуглецевмісність практично усіх українських товарів вище, ніж у їх європейських аналогів.

В Україні розроблена своя концепція «Ukraine Green Deal». Її автори вважають, що Україні на початковому етапі буде досить інвестицій на рівні 5 % ВВП в рік (≈ 6,7 млрд. євро). Державне фінансування декарбонізації в перспективі повинно досягти 3 % ВВП в рік (до 4 млрд. євро).

Тренд на загальну декарбонізацію торкнувся і залізничного транспорту. Міжнародний союз залізниць UIC у своїх документах ставить цілі скоротити на 50 % середніх викидів CO₂ від експлуатації поїздів до 2030 року і

перейти до повністю безвуглецевої експлуатації до 2050 року. До цього часу суспільству має бути представлена кліматично нейтральна транспортна альтернатива [1].

Водень як паливо

Одним з найбільш перспективних напрямів сьогодні є переведення локомотивів на водневе паливо. Головні проблеми, які належить вирішити на цьому шляху, це дорожнеча виробництва екологічно чистого водню і безпека паливної інфраструктури.

«Використання водню пропонує рішення для декарбонізації промислових процесів і секторів економіки, де скорочення викидів CO₂ одночасно терміново потрібне і складне в реалізації. Усе це робить водень необхідним для підтримки зобов'язання ЄС досягти вуглецевої нейтральності до 2050 р. і для глобальних зусиль виконати умови Паризької угоди на шляху до нульових викидів», говориться в преамбулі Водневої стратегії ЄС.

У числі пріоритетів: часткова заміна вугілля на водень під час виробництва сталі та переведення на водневе паливо пасажирського і вантажного автомобільного та залізничного транспорту.

Водень, як паливо для локомотивів, має ряд безперечних переваг. Це, передусім:

- висока енергоефективність, тому що енергетична щільність водню майже в 3 рази вища, ніж у будь-якого іншого палива, яке використовується на транспорті (табл. 1);
- екологічність;
- можливість обійтися без використання електромереж [2].

Водень можна отримати з води шляхом електролізу. Для електролізу можна використовувати надлишкову електроенергію, яку виробляють в «піковий період» сонячні або вітрові електростанції. В результаті маємо екологічно чисте паливо, яке виробляється з води за допомогою «зеленої» електроенергії. Воно не призводить до викиду парникових газів і не залишає «вуглецевого сліду». А значить, не має впливу на клімат і не забруднює довкілля. Наприклад, автомобілі на водневих паливних батареях не виробляють шкідливих викидів CO₂ в атмосферу. А замість чадного газу з вихлопної труби виходить водяна пара, яка перетворюється у воду.

Табл. 1 – Енергоефективність різних видів палива

Ключові показники	Водень	Інші види палива			
		метан	бензин	дизпаливо	метанол
Щільність, кг/м ³	0,0898	0,71	702	855	799
Нижча теплота згорання, за масою [LHV], МДж/кг	120	50,4	42,7	41,9	19,9
Нижча теплота згорання, за об'ємом [LHV], МДж/м ³	10,8	36,1	31200	36500	18000

Екологічність робить водневе паливо привабливим. Більше того, водень допоможе замінити не лише паливо для транспорту, але і природний газ в системах опалювання та вугілля в металургії. Саме тому водень називають паливом майбутнього. Багато країн впроваджують проекти з використання водню замість вугілля у виробництві, по частковому заміщенню воднем природного газу в опалюванні житла і переведенню транспорту на екологічне паливо.

Водневі паливні елементи

Водневі паливні елементи можуть виробляти електричну енергію для електродвигуна

на борту транспортного засобу, замінивши тим самим двигун внутрішнього згорання з генератором, або застосовуватися для бортового живлення електричною енергією (рис. 1). Використання водню у якості енергоносія дозволить як істотно скоротити споживання викопних вуглеводневих палив, так і значно просунути у вирішенні екологічної проблеми забруднення атмосфери населених пунктів шкідливими для здоров'я людини складовими відпрацьованих газів автомобілів і тепловозів.

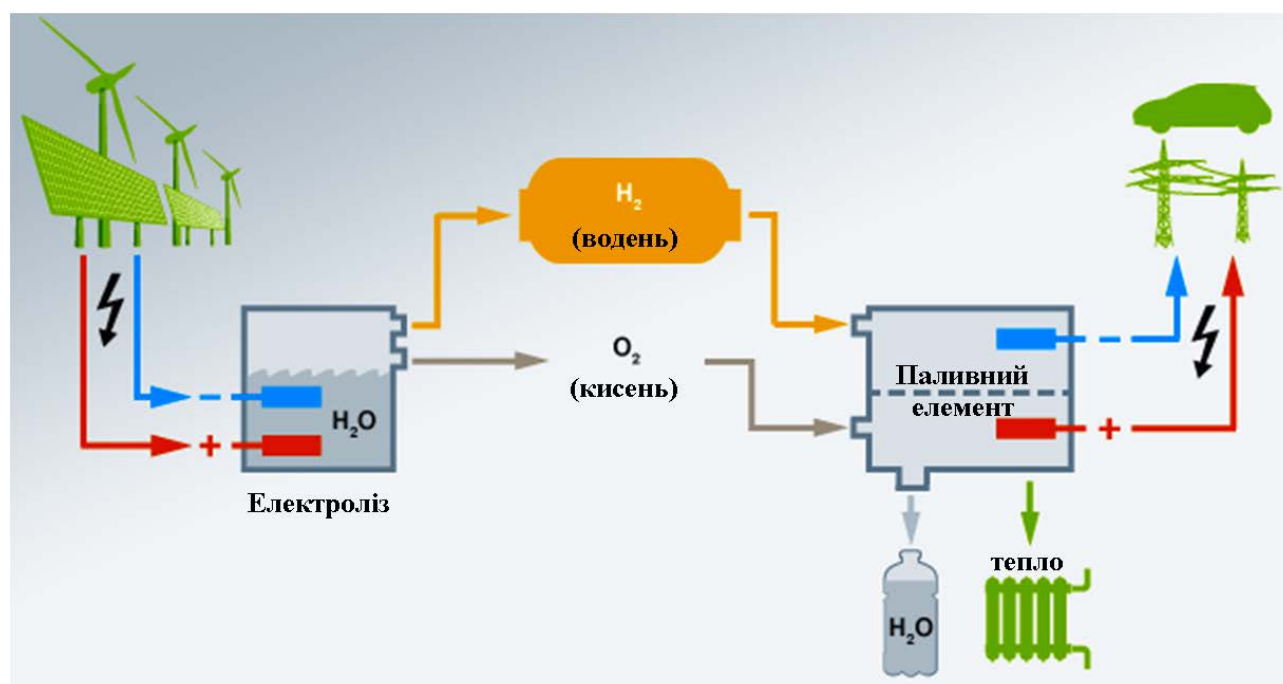


Рис. 1 – Технологічна схема виробництва водню

У 2009 році приблизно 25 % викидів вуглекислого газу в атмосферу Землі відбувалося в результаті роботи різного роду транспорту. За оцінкою, вже до 2050 року це число подвоїться і продовжить рости у міру того,

як у країнах, що розвиваються, збільшуватиметься кількість особистих автомобілів. Окрім CO₂ в атмосферу викидаються оксиди азоту, в результаті яких збільшується чисельність людей із захворюваністю на астму,

оксиди сірки, внаслідок яких йдуть кислотні дощі тощо [3].

Сьогодні влада країн Євросоюзу знову підіймає тему екологічно чистого транспорту, оскільки він допоможе в боротьбі проти змін клімату. Близько чверті викидів вуглекислого газу в ЄС виробляє транспорт. Саме тому влада шукає йому екологічну заміну.

Основні переваги водневих паливних елементів порівняно з традиційними двигунами внутрішнього згорання – високий ККД, а також повна відсутність шкідливих викидів у довкілля. Для транспорту використання водневих паливних елементів це ще і перехід до нового технологічного устрою, оскільки вони позбавлені вузлів тертя, що зношуються, властивих двигунам внутрішнього згорання. Головним недоліком таких елементів залишається їх висока вартість. Причому йдеться як про самі паливні елементи, так і про використовуваний в них водень. Іншою причиною підвищення інтересу до водневого транспорту є зростання цін на енергоносії (нині переважна їх більшість – вугілля, нафта та їх похідні), дефіцит палива та прагнення країн набути енергетичної незалежності [3].

Впровадження водневих паливних елементів на залізничному транспорті

Залізничні двигуни (силові установки) повинні розвивати досить велику потужність, тоді як компактність залізничних силових установок менш важлива, ніж на автомобільному транспорті. Залізничний транспорт є величезним ринком збуту для силових установок на водневих паливних елементах. Нині близько 60 % залізничних вантажів в усьому світі перевозять тепловози. Ще одна вигідна можливість – побудувати, використовуючи паливні елементи, локомотиви, що поєднують якості теплового і електровоза (здатність живитися від контактної мережі на електрифікованих лініях і автономність під час проходження неелектрифікованих ділянок).

«Canadian Pacific» (CP, Канадська тихоокеанська залізниця) і виробнича компанія «Ballard Power Systems» (BLDP) уклали контракт на постачання модулів водневих елементів. Вони використовуватимуться для виробництва автономних локомотивів, що працюють на новому виді палива. Планується, що у 2021 році компанія-виробник поставить

перші шість модулів потужністю 200 кВт і проведе роботи з їх установки на локомотив.

Згідно з програмою «Hydrogen Locomotive Program», що діє з початку поточного року, CP розробить перший в Північній Америці лінійний вантажний локомотив, що працює на водневому паливі [4, 5]. Для реалізації цієї програми фахівці компанії переобладнують двигун H₂, що працює на дизельному паливі, в тяговий водневий агрегат. Згідно з контрактом, перші шість водневих модулів будуть поставлені вже цього року. Планується, що водневі модулі зможуть забезпечити новий локомотив електроенергією потужністю 1,2 МВт. Після переобладнання локомотиву будуть проведені його випробування.

Паливні елементи працюватимуть з акумуляторною технологією для живлення тягових електродвигунів локомотива. Паливні елементи є спеціалізованими хімічними реакторами, призначеними для прямого перетворення енергії, що вивільняється у ході реакції окислення палива, в електричну енергію. Як паливо в модулях використовується чистий водень, а роль окисника виконує кисень, що міститься в повітрі. Отриманий водень зберігається в спеціальних баках, який показано на рисунку 2.

«На мою думку, сьогодні використання водневого палива – це єдиний спосіб для залізничного сектора, що дозволяє понизити викиди вуглекислого газу в атмосферу. Особливо тема актуальна у сфері вантажних перевезень, для двигунів великої і середньої потужності», сказав президент і головний виконавчий директор BLDP Ренді Маківен [4].

18 лютого 2004 року японський «Залізничний інститут технічних досліджень» уперше у світі випробував прототип поїзда на водневих паливних елементах. Розробки водневого залізничного рухомого складу ведуться в Японії також компаніями «Hitachi» і «Kinki Sharyo».



Рис. 2 – Ємність (бак) для зберігання водню

У США експлуатація локомотива на водневих паливних елементах потужністю 2000 кінських сил повинна була розпочатися у 2009 році. Локомотив створювався з 2003 року за участю «Міністерства оборони США» (DoD) для не тактичних військових цілей і комерційного використання.

У Данії водневий поїзд вже курсує між містами Vemb, Lemvig і Thyboron. Протяжність маршруту – 59 км, що обмежено місткістю водневих баків на тягових вагонах. Проект

дістав назву «Danish Hydrogen Train Project» [3].

Фірма «Alstom» і її пасажирський поїзд «Coradia iLint»

«Alstom» – французький виробник рухомого складу для залізниць, є світовим лідером в розробці поїздів на водневих паливних елементах. Перший пасажирський рухомий склад на водні «Coradia iLint» – вийшов на лінії в Німеччині у 2018 році (рис. 3). У липні 2019 року він пройшов більше 100 тис. км, через 10 місяців регулярного перевезення пасажирів з вересня 2018 року. Два такі поїзди курсують між містами Бремерферде, Куксхафен, Бремерхафен і Букстехуде в Німеччині, у федеральній землі Нижня Саксонія [6].

У травні 2020 року «Alstom» повідомив про успішне завершення пілотного проекту використання двох поїздів на водні в Нижній Саксонії. Ця німецька земля замовила французам ще 14 поїздів, які обійдуться у близько 81 млн. євро. Підписали також контракт на постачання 27 пасажирських експресів для земель Гессен і Рейнланд-Пфальц [7].



Рис. 3 – Пасажирський поїзд «Coradia iLint» на водневих паливних елементах

У самій же Франції, виробник якої став піонером в розвитку водневих пасажирських поїздів, в березні цього року зробили перше замовлення на такі поїзди. Три «Coradia iLint» за 52 млн. євро будуть куплені для регіону Бургундія – Франш-Конте. В цілому, як заявив французький держсекретар з питань

транспорту Жан-Батист Джеббари, Франція має намір перейти на водневі поїзди протягом наступних 20–30 років. Французький оператор пасажирських перевезень «SNCF Voyageurs», діючи від імені регіонів Овернь – Рона – Альпи, Бургундія – Франш-Конте, Гранд-Ест і Оксітанія, підписав контракт з

компанією «Alstom» на виробництво гібридних поїздів. Згідно з контрактом на 190 млн. євро «Alstom» поставить 12 нових поїздів, які працюють від електричної контактної мережі та водневих паливних елементів. Нові поїзди будуть створені на основі сімейства «Coradia Polyvalent» виробництва «Alstom», які зможуть працювати від декількох систем електропостачання, що розрізняються за родом і частотою струму та величиною живлячої напруги. Ці поїзди «Alstom» зможуть працювати у двох режимах. З одного боку, це класичний електропоїзд, що працює від повітряної контактної мережі. Там, де ділянки дороги неелектрифіковані, поїзд рухатиметься на водневих паливних елементах, що перетворюють енергію водню в електричний струм. Запас водню, що знаходиться в спеціальній цистерні на даху, розрахований на 600 км шляху. Поїзд оснащений батареями, що накопичують надлишки електроенергії, яку виробляє водневий паливний елемент. Кожен з чотирьох регіонів отримає по три поїзди. На

думку президента «Alstom France» Жан-Батиста Еймеуда, новий гібридний поїзд не поступатиметься за тягово-динамічними характеристиками і рівнем комфорту серійним поїздам, що випускаються. «Це нове замовлення для французького ринку повністю відповідає прагненню «Alstom Group» стати «номером один» на ринку виробництва локомотивів на водневій тязі» [8].

У вересні 2020 року у рамках пілотного проекту перший водневий поїзд «Alstom» запустили в Австрії, де він успішно завершив тримісячний період тестової експлуатації на регіональних лініях ÖBB (Австрійські федеральні залізниці). Рухомий склад дістав офіційне схвалення від Федерального міністерства охорони клімату, довкілля, енергетики, мобільності, інновацій і технологій Австрії (рис. 4). Таким чином, Австрія стала другою країною після Німеччини, яка повністю схвалила «Coradia iLint», як альтернативу рухомому складу з дизельними двигунами.



Рис. 4 – Водневий пасажирський поїзд, що пройшов випробування в Австрії

Протягом трьох місяців випробувань на чотирьох маршрутах поїзд показав здатність працювати навіть на крутих ділянках колії і в кліматичних умовах, що змінюються під час руху. Після тривалої успішної експлуатації водневих поїздів в Австрії отримані дані дозволять провести подальше вдосконалення їх конструкції і технології виробництва. У «Alstom» заявляють, що жоден інший виробник поїздів нині не може запропонувати перевірений, випробуваний водневий поїзд, готовий до серійного виробництва [9].

Як влаштовані поїзди «Coradia iLint»? Ці поїзди мають два тягові електромотори. Електрика для моторів поступає з джерела енергії в самому поїзді. На даху встановлена цистерна з воднем і паливний елемент (рис. 5).

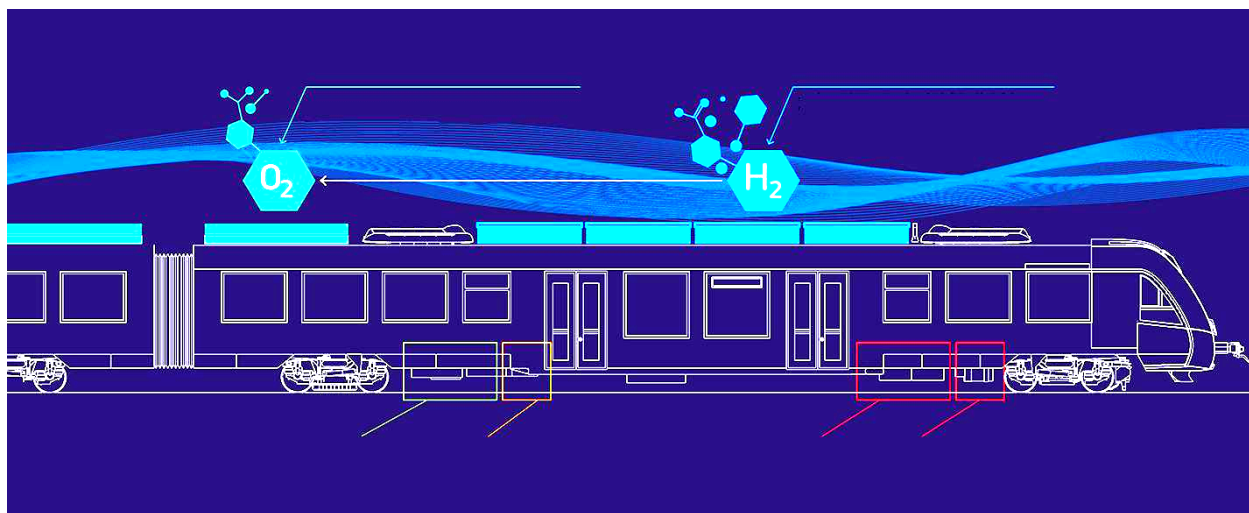


Рис. 5 – Конструктивна схема побудови поїздів «Coradia iLint»

Електричну енергію для тяги та живлення електрообладнання (в т.ч. тягових двигунів на вагоні) виробляє паливний елемент. Надлишок електроенергії зберігається у накопичувальній батареї і там же зберігається енергія від рекуперативного режиму роботи тягового електродвигуна під час гальмувань. Усе це відбувається під активним мікропроцесорним контролем витрат/вироблення електроенергії.

Електрична енергія виробляється за допомогою хімічної реакції в реакторі, де поєднуються паливо (водень) із горючим агентом (киснем у повітрі). Продуктом реакції є електроенергія і вода з водяним паром. Паливний елемент живить електроенергією тягові двигуни під час руху, бортове електрообладнання вагона і заряджає акумулятор. Найважливішою літій-іонна батарея резервує надлишки електроенергії, що виробляється паливним елементом і тієї, що надходить від тягових електродвигунів під час гальмування поїзду. Допоміжний конвертор перетворює електричну енергію, отриману від паливного елемента і батареї, у енергію, необхідну для роботи бортового електрообладнання (кондиціонування, привод дверей, дисплеї пасажирської інформації, освітлення тощо). Тяговий інвертор/конвертор перетворює електроенергію, що виробляється паливним елементом і батареєю, для живлення тягових електродвигунів. Він також направляє електричну енергію, отриману у результаті гальмування поїзда, на підзарядку його акумуляторних батарей. Кожен тяговий двигун, відповідно, приводить у

рух ведучу колісну пару через приводний редуктор.

У результаті реакції в паливному елементі до довкілля виділяється тільки вода і немає ніякого викиду шкідливих речовин, таким чином поїзд «Coradia iLint» є 100 % безпрецедентним новим технічним рішенням – «зеленим продуктом», вільним від емісії CO₂ в атмосферу. Ще один плюс – такі поїзди практично безшумні. Максимальна швидкість 72-метрового поїзду з 218 місцями для пасажирів – 140 км/год. Дальність поїздки на одній заправці – від 800 до 1000 кілометрів. На заправку йде близько 15 хвилин. Якщо підсумувати усі замовлення «Alstom» від Німеччини, вона планує стати світовим лідером в області використання залізничних пасажирських поїздів на водневому паливі [6].

Компанія «Alstom», що лідирує в розробці поїздів на водневому паливі, в 2021 році придбала «Helion Hydrogen Power» – дочірнє підприємство компанії «AREVA Energies Renouvelables». Таким чином, «Alstom» нарощує портфель інноваційних рішень у сфері тягового рухомого складу на альтернативних джерелах енергії. «Helion Hydrogen Power», створена в 2001 році і спеціалізується на розробці й створенні систем паливних елементів великої потужності. Зокрема, вона випускає типові модулі «FC Rack» потужністю до 175 кВт (рис. 6). Вже реалізовано понад 100 проєктів в енергетичному і транспортному секторах різних країн. Виробничий майданчик «Helion Hydrogen Power» розташований в місті Екс-ан-Прованс на півдні Франції. У штаті компанії 30 інженерів, які займаються про-

ектуванням, розробкою, виготовленням систем паливних елементів, а також інжиніринговою підтримкою і навчанням персоналу замовників. Після реалізації угоди «Helion Hydrogen Power» стане одним з підрозділів «Alstom» і буде перейменована в «Alstom Hydrogène» [10].



Рис. 6 – Паливний елемент фірми «Helion Hydrogen Power»

Незважаючи на розвинену інфраструктуру, деякі ділянки залізниць ЄС складно або недоцільно електрифікувати. Для таких ділянок водневий транспорт може бути вирішенням проблеми, замінивши старі дизельні поїзди. У середині березня 2020 року в Нідерландах завершили випробування французького рухомого складу «Coradia iLint». Поїзди на водневому паливі в Нідерландах замінять собою рухомий склад на дизельному паливі, мазуті та інших «брудних» видах палива на тих напрямках, де не можна провести електрику. Поки планується, що вони ходитимуть в районі міста Гронінген. На думку президента регіональної ради Овернь-Рона-Альпи Лорана Вокієза, водневі поїзди є прямою альтернативою дизельним локомотивам, що курсують неелектрифікованими залізничними лініями регіону.

Застосуванню паливних елементів і використанню водню у якості палива у світі приділяється велика увага [11-16]. Цей напрям отримав активний розвиток і на колії 1520 мм в Росії. Для концентрації у ВАТ «РЖД» знань і досвіду в галузі водневої енергетики, проведення досліджень, випробувань технічних засобів і технологій на базі «ВНИИЖТ» планується створення водневого кластера. Як показали минулі тематичні конференції у кінці 2020 року, дослідження в області водне-

вих технологій проводяться в багатьох наукових центрах і торкаються усіх основних аспектів водневої енергетики – від виробництва, зберігання і транспортування водню до його використання в паливних елементах, а також ключових технологій самих паливних елементів та їх мембран.

Для розвитку водневих технологій у Росії і забезпечення конкурентоспроможності вітчизняної промисловості на світовому ринку Урядом Росії прийнятий план заходів «Розвиток водневої енергетики в РФ до 2024 року», який передбачає, зокрема, створення дослідного зразка залізничного транспорту на водні не пізніше ніж у 2024 році [17]. Пілотним проектом комплексного впровадження водневих технологій у галузі стала організація пасажирського сполучення на острові Сахалін із застосуванням поїздів на водневих паливних елементах. Відповідна угода про співпрацю і взаємодію була підписана 4 вересня 2019 року між урядом Сахалінської області, ВАТ «РЖД», держкорпорацією «Росатом» і АТ «Трансмашхолдинг». Документ передбачає створення комплексної водневої технології, що включає виробництво, зберігання, транспортування водню та пункти екіпіровки, а також експлуатацію і технічне обслуговування водневих поїздів (В-поїздів). Також на Сахаліні передбачається створення експертного і освітнього центру з водневих технологій.

«ВНИИЖТ» опрацював експлуатаційну модель приміських поїздів і фінансову модель проекту. Визначені і ключові параметри рухомого складу. Розрахунки показали, що експлуатація водневих поїздів дасть можливість понизити викиди шкідливих речовин на 67 тонн в рік з кожного поїзду. Між тим, розрахунки щодо фінансової моделі показали, що за умови перевезення пасажирів на Сахаліні В-поїздами за поточної заданої вартості палива і ціни проїзду, економічного ефекту, порівняно з рейковими автобусами на дизельному паливі, для усіх учасників проекту добитися неможливо. Тому головною метою першого етапу проекту є вибір оптимальних технологічних рішень, що забезпечують мінімальні витрати у виробництві і експлуатації. Також стоїть задача визначитися з варіантами субсидування розвитку водневих технологій та експлуатації поїздів, що дозволять в найкоротші терміни досягти результатив-

ності, у порівнянні з експлуатацією рейкових автобусів серії «РА-3».

Створивши рухомий склад і забезпечивши його водневим паливом, необхідно також підготувати інфраструктуру для його обслуговування і ремонту. Істотну частину тут складає забезпечення промислової безпеки, зокрема встановлення віконних рам, які легко скидаються, монтажу систем виявлення витоків водню, систем вентиляції і пожежогашіння, установки додаткових фрамуг, що відкриваються.

Обслуговування водневих паливних елементів зводиться переважно до планової заміни повітряних фільтрів, а ремонт - до заміни окремих елементів після вичерпання ними ресурсу. Це може бути реалізовано на майданчику виробника або його представниками. У депо буде потрібно спеціалізоване устаткування для пошуку витоків водню, опресування газової системи поїзда, а також ділянка для проведення ревізії газових балонів, у разі якщо місцеві спеціалізовані організації не можуть забезпечити проведення таких робіт в необхідних обсягах і в задані терміни. Не можна забувати також і про підготовку експлуатуючого і ремонтного персоналу. Без цього неможлива безпечна експлуатація технічних засобів на основі водневих технологій.

Ефективний розвиток водневих технологій вимагає взаємної ув'язки проектів створення технічних засобів, навчання персоналу, підготовки інфраструктури і розробки нормативної бази. Ці процеси зводяться в дорожню карту з розвитку водневої енергетики, яка формується нині.

Чинники, що стримують впровадження водневих технологій в Україні

До таких чинників відносяться:

1. Відсутність водневої інфраструктури на транспорті України.

2. Складнощі у виробництві водню, через що вартість водню, необхідного для споживача, значно перевищує аналогічну вартість іншого палива, і це за умови отримання водню з природного газу, при тому що цей спосіб не дозволяє скоротити емісію вуглецю в атмосферу, а значить, не дає переваг водню перед прямим спалюванням вуглеводнів. Отримання ж водню шляхом електролізу виходить ще дорожчим, оскільки вимагає дуже дорогих платинових каталізаторів. До того ж,

за оцінками Міжнародного агентства з енергетики під час виробництва водню методом електролізу з води, для задоволення потреб транспорту, наприклад, у Франції потрібно було б збільшити виробництво електроенергії вчетверо.

3. Недосконалість технології зберігання водню.

4. Відсутність стандартів безпеки, зберігання, транспортування і застосування водню.

Небезпека водневого палива

Небезпека використання водню як палива пов'язана з двома чинниками:

- а) із високою летючістю водню, із-за якої він проникає через дуже малі пори (щілини);
- б) із легкістю займання водню.

Суміш водню з повітрям вибухонебезпечна. Водень небезпечніший за бензин, оскільки горить у суміші з повітрям в ширшому діапазоні концентрацій.

Беззаперечна статистика

Залізничний транспорт України займає значний сектор в загальних вантажоперевищеннях - 53,7 %, а без урахування трубопроводного транспорту - 77,6 %. Експлуатаційна протяжність головних магістральних мереж АТ «Укрзалізниця» (АТ «УЗ») складає 22,3 тис. км, і за цим параметром Україна займає 6 місце в Європі і 12 місце у світі. Протяжність електрифікованої частини доріг АТ «УЗ» станом на грудень 2020 року складає 50–51 % від її загальної протяжності [<https://uz.gov.ua>].

За даними «Центра Транспортних Стратегій» [<https://cfts.org.ua>], в експлуатації на неелектрифікованих ділянках залізниць України знаходяться більше 2000 одиниць дизельного тягового рухомого складу – тепловозів, дизель-поїздів, рейкових автобусів.

Сьогодні це значний залізничний парк, який потрапляє під поняття «брудний» транспорт, і тому влада саме для нього шукатиме екологічну заміну найближчим часом.

Згідно з дослідженнями німецького консалтингового агентства «SCI Verkehr», за період з 2015 по 2019 рік, включно, у світі було продано всього 8000 тепловозів. У 2019 році продажі нових дизельних локомотивів впали до 2,75 млрд. євро, а тенденції розвитку цього ринку стали все більше визначатися заходами зі скорочення парків тепловозів в Китаї (за рахунок електрифікації ліній), США (за

рахунок нових концепцій експлуатації) і в Європі (завдяки меті добитися нульового викиду вуглеводнів до 2050 року). Тому залізничні оператори в усьому світі все частіше відмовляються від довгострокових інвестицій в дизельну тягу. Кризовий 2020 рік тільки посилив цю тенденцію, і істотного зростання попиту найближчими роками не передбачається. Тим часом, за даними дослідницької компанії «Valuates», об'єм світового ринку поїздів на альтернативних джерелах живлення (як пасажирських, так і вантажних) у 2019 році оцінювався в 16,2 млрд. доларів, а до 2027 року досягне 23,9 млрд. доларів. Тому, один за одним, виробники і залізничні оператори все частіше озвучують плани з впровадження більш екологічно чистих, водневих і гібридних поїздів і локомотивів на залізницях [5].

Висновки

1. Вважаємо, що для впровадження більш екологічно чистих водневих локомотивів в Україні спочатку має бути виконана значна пошукова науково-практична робота, обов'язково з державною фінансовою підтримкою.

2. Для концентрації в АТ «Укрзалізниця» знань і досвіду в області водневої енергетики, проведення досліджень, випробувань технічних засобів і технологій, розробки відповідних стандартів на базі філії НДКТИ АТ «УЗ» необхідно організувати спеціалізований підрозділ, який буде підключати до виконання окремих робіт з водневих проблем науково-

виробничі підприємства і конструкторські бюро в Україні, які мають досвід роботи з виробництвом, зберіганням і розподілом (заправні станції) природного газу та водню, а також із розробкою і виготовленням паливних водневих елементів.

3. Сьогодні на ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ «КВБЗ») є Проектно-конструкторське управління (ПКУ) з виробничими площами, устаткуванням і трудовими резервами, що виготовляють сучасні електро-дизель-поїзди, які експлуатуються залізницями України. На цій базі, використовуючи водневі паливні елементи і відповідне устаткування, у т.ч. імпортне, можна в досить короткий час розробити, виготовити, провести випробування та організувати серійне виробництво вітчизняних «водневих» поїздів для приміських сполучень, а також двосистемних електропоїздів, з можливістю їх роботи на неелектрифікованих ділянках довжиною до 600 км, що працюють на водні і які надалі стануть екологічно чистою заміною дизель-поїздів парку АТ «Укрзалізниця».

Як приклад, на рисунку 7 ПАТ «КВБЗ» представляє концепцію пасажирського двовагонного поїзду з водневим паливним елементом на базі серійного дизель-поїзда ДПКр-3. Пасажиромісткість поїзда – до $2 \times 200 = 400$ пасажирів; планування вагонів – за узгодженням із Замовником; експлуатаційна швидкість В-поїзда – 140 км/год.

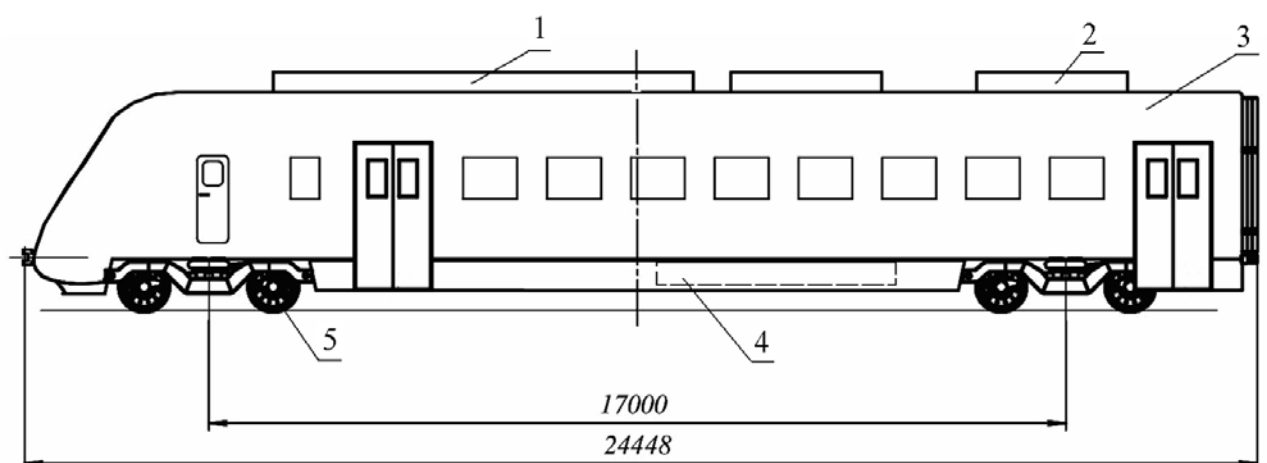


Рис. 7 – Концепція В-поїзда ПАТ «КВБЗ», на базі серійного дизель-поїзда ДПКр-3:
 1 – балони з воднем; 2 – паливний елемент; 3 – головний вагон В-поїзда; 4 – Li-іон акумулятор;
 5 – привідний візок з тяговим електродвигуном і редуктором

Література

1. Что такое EU Green Deal и почему Украина должна выполнять эту стратегию: портал УкрРудПром [Електр. ресурс]. - К., 2020. - Режим доступу: https://www.ukrrudprom.com/digest/CHto_takoe_EU_Green_Deal_i_pochemu_Ukraina_dolghna_vipolnyat_etu_.html. - 01.12.2020.

2. Водородная «бомба» для РЖД. От Илона Маска до взрывов АЗС: перспективы перевода ЖД-тяги на водородное топливо: интернет-портал Vgudok [Електр. ресурс]. - Тверь, 2021. - Режим доступу: <https://vgudok.com/lenta/vodorodnaya-bomba-dlya-rzhd-ot-ilona-maski-do-vzryvov-azs-perspektivy-perevoda-zhd-tyagi-na>. - 31.03.2021.

3. Водородный транспорт: интернет-портал ru.wikipedia.org [Електр. ресурс]. - Режим доступу: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82. - 21.04.2018.

4. Волков С. В Канаде дизель заменяют водородом / С. Волков: интернет-портал Gudok.ru [Електр. ресурс]. - Режим доступу: <https://gudok.ru/content/mechengineering/1558650/>. - 01.04.21.

5. Водород, батареи, растительное топливо: Как «зеленый» тренд меняет локомотивы и поезда: интернет-портал ЦТС [Електр. ресурс]. - Режим доступу: https://cfts.org.ua/articles/vodorod_batarei_rastitelnoe_toplivo_kak_zelenyy_trend_menyat_lokomotivy_i_poezda_1793/123043. - 06.04.2021.

6. Зачем в мире переходят на водородный транспорт и где он работает: интернет-портал Бизнес Цензор [Електр. ресурс]. - Режим доступу: https://biz.censor.net/resonance/3184189/zac_hem_v_mire_perehodyat_na_vodorodnyyi_transport_i_gde_on_rabotaet. - 30.03.2020.

7. Во Франции в 2025 году появятся 12 водородных поездов Alstom: интернет-портал Минпром [Електр. ресурс]. - Режим доступу: <https://www.minprom.ua/news/269395.html>. - 12.04.2021.

8. Волков С. Состав с двойной тягой / С. Волков: интернет-портал Gudok.ru [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

<https://gudok.ru/content/mechengineering/1560354/>. - 15.04.21.

9. Водородный поезд Alstom одобрен для эксплуатации в Австрии: интернет-портал ЦТС [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

https://cfts.org.ua/news/2020/12/02/vodorodnyy_poezd_alstom_odobren_dlya_ekspluatatsii_v_avstrii_62192. - 02.12.2020.

10. Alstom приобретает компанию Helion Hydrogen Power поставщика топливных элементов большой мощности: интернет-портал Железные дороги мира [Електр. ресурс]. - Режим доступу:

<https://sites.google.com/a/zdmira.com/zdmira/news/alstompriobretayetkompaniuhelionhydrogenpowerpostavshikatoplivnyhelementovbolsojmosnosti?overridemobile=true>. - 02.04.2021.

11. Яковенко Т.П. Применение альтернативных источников электроэнергии на железнодорожном транспорте / Т.П. Яковенко, С.А. Власенко // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. - Хабаровск: Дальневосточный гос. ун-т путей сообщения, 2019. - Т. 1. - С. 34-37.

12. Wang H. Experimental investigation of thermodynamic instability of supercritical endothermic hydrocarbon fuel within a small-scale channel / H. Wang, W. Nie, L. Su // Advances in Mechanical Engineering. - 2019. - Vol. 11, iss. 3. - pp. 1-12. DOI: 10.1177/1687814019830283

13. Трыкова В. П. Развитие технологий подвижного состава железных дорог и транспортной инфраструктуры / В. П. Трыкова // Транспорт сегодня: проблемы и перспективы: сборник материалов Междунар. научно-практ. конф., г. Брянск, 26 февраля 2020 г. - Брянск: Брянский филиал ПГУПС, 2020. - С. 87-90.

14. Носырев Д. Я. Эффективность применения альтернативных топлив в транспортных дизелях / Д. Я. Носырев, А. Ю. Балакин, Т. В. Щербицкая // Наука и образование транспорта. - 2019. - № 1. - С. 66-70.

15. Ehrhart B. Hydrogen for Rail Applications: presentation SAND2019-3185 C / Ehrhart B., Klebanoff L., Hecht E., Headley A., Ng M., Markt C. // H2@RailSM Workshop, March 26-27, 2019, in Lansing, Michigan. - 33 slides.

16. Богославский А. Е. Водородное топливо. Перспективы применения на подвижном составе / А. Е. Богославский // Транспорт Российской Федерации. - 2019. - № 6 (85). - С. 40-45.

17. Белов С. Создание поезда на водородном топливе невозможно без государственной поддержки / С. Белов: интернет-портал РЖД-Партнер.ru [Електр. ресурс]. – Режим доступу: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/opinions/sozdanie-poezda-na-vodorodnom-toplive-nevozmozhno-bez-gosudarstvennoy-podderzhki>. – 10.09.2019.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Приходько Володимир Іванович, к.т.н., професор, лауреат Державної премії України в області науки і техніки, Голова Наглядової ради – Президент товариства ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (ПАТ «КВБЗ»), член Президії Федерації роботодавців України. Вул. І. Приходька, 139, м. Кременчук, Полтавської обл., 39621, Україна. Тел.: +38 0536 769 505; +38 0536 769 305. E-mail: kvsz@kvsz.com.

Ігнатов Георгій Сергійович, радіоінженер, лауреат Державної премії України в області науки і техніки, головний спеціаліст ПАТ «КВБЗ». А/с 87, м. Кременчук-21, 39621, Україна. Тел.: +38 067 535 01 21. E-mail: igs@kvsz.com.

Зюков Андрій Анатолійович, інженер-механік, начальник бюро технічної документації служби Головного конструктора пасажирського моторвагонного рухомого складу Проектно-конструкторського управління ПАТ «КВБЗ». Вул. Молодіжна, 2а/51, смт. Власівка, Світловодського р-ну, Кіровоградської обл., 27552, Україна. Тел.: +38 067 610 97 42. E-mail: pkuteh3@kvsz.com.

НОВИНИ СТАНДАРТИЗАЦІЇ

Відповідно до пункту 2 частини 2 статті 11 Закону України «Про стандартизацію», розпорядження Кабінету Міністрів України від 26.11.2014, № 1163 «Про визначення державного підприємства, яке виконує функції національного органу стандартизації» та за пропозицією ТК 2 «Прокат сортовий, фасонний та спеціальні профілі» (протокол від 27.05.2021 № 57) наказом ДП «УкрНДНЦ» від 16.06.202, № 225 *відновлено дію на період з 01 липня 2021 року до 01 листопада 2022 року міждержавного стандарту:*

ГОСТ 22343–90. Клемма раздельного рельсового скрепления железнодорожного пути. Технические условия.

Татур О.К. - начальник Відділу технічного регулювання Департаменту розвитку і технічної політики АТ «Укрзалізниця»