

DOI: 10.18372/2310-5461.48.15093

УДК:62-622+662.796.2(045)

С. В. Бойченко, д-р техн. наук, проф.
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0002-2489-4980
e-mail: chemmotology@ukr.net;

Н. Г. Калмикова, аспірант
Національний авіаційний університет
orcid.org/0000-0001-5553-5721
e-mail: kalmykova82@ukr.net

БЕНЧМАРКІНГ ЕФЕКТИВНОСТІ АКУМУЛЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА

Вступ

Відомо, що традиційне паливо для двигунів транспортних засобів є токсичною речовиною, здатною викликати захворювання або відхилення в стані здоров'я людей, що з ним контактують.

На сьогодні, привабливість водню як універсального енергоносія визначається екологічною чистотою, гнучкістю та ефективністю процесів перетворення енергії за його участю. Технології різномасштабного виробництва водню досить добре освоєні і мають практично необмежену сировинну базу. Проте, низькі щільність газоподібного водню і температура його зрідження, а також висока вибухонебезпечність в поєднанні з негативним впливом на властивості конструкційних матеріалів, ставлять на перший план проблеми розробки ефективних і безпечних систем зберігання водню — саме ці проблеми стримують розвиток водневої енергетики і технології в даний час. На сьогодні у світі виробляється більше 400 млрд м³ водню, що за енергетичними показниками відповідає 10 % виробництва нафти. Переважно, цей водень використовується в хімічній і харчовій промисловості. Інтерес до водню як до палива загострився в 1990 році у зв'язку з усвідомленням небезпеки емісії парникового CO₂ [1].

Розвиток водневої енергетики та необхідність пошуку нових ефективних енергоносіїв й розробки на їх основі екологічно безпечних альтернативних палив зумовлено двома основними чинниками:

- швидке вичерпання запасів нафти на Землі;
- погіршення екологічної ситуації в багатьох країнах, насамперед у розвинутих [2].

Одним з найбільш перспективних енергоносіїв в транспортному секторі майбутнього виступає водень: на нього припадає три чверті всієї матерії на планеті, запаси водню невичерпні і постійно поновлюються [3].

Мета роботи і завдання дослідження

Мета роботи — виявлення кращих технологій, тенденцій, особливостей використання, акумулювання та зберігання водню як моторного палива.

Завдання роботи — комплексний ситуативний аналіз (SNW-аналіз, бенчмаркінг) світового досвіду використання водню як моторного палива, включаючи дослідження переваг і недоліків технологій акумулювання та зберігання водню, що впливають на стан водневої галузі, а також шляхів досягнення стратегічних цілей водневих технологій у майбутньому.

Об'єкт дослідження — використання, акумулювання та зберігання водню як моторного палива.

Предмет дослідження — SNW-аналіз, бенчмаркінг інфраструктури акумулювання та зберігання водню й обґрунтування найбільш ефективної технології його використання.

Гіпотезою цієї праці є: водень як екологічно чисте моторне паливо забезпечений високотехнологічними способами акумулювання та зберігання, що значно мінімізує обсяг емісії шкідливих речовин і дозволяє суттєво поліпшити стан техносфери.

Науково-прикладним завданням цієї праці є обґрунтування найбільш ефективної технології акумулювання та зберігання водню як моторного палива.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Незважаючи на численні спроби використання водню як палива в двигунах внутрішнього згоряння, він тривалий час не знаходить широкого застосування через складність виробництва, високу вартість, а тому і відсутність масового споживача.

Сьогодні енергія, одержана від водневого палива, більше ніж у два рази дорожча за бензинову.

Щоправда при цьому розрахунку вартості водню не враховується зменшення тиску на навколишнє середовище, що за різними оцінками може становити у масштабах міста, із чисельністю населення 1 млн людей, від одного до десяти млн доларів США [3].

У той же час ціни на водень будуть неухильно знижуватися у зв'язку із зростанням масштабів

його виробництва та із здешевленням електроенергії. І тому водень, що зараз значно дорожчий за бензин, з часом стане дешевше його [4].

Таким чином, за наявності відповідних економічних механізмів зазначені капітальні витрати могли б окупитися через економію бензину й зниження екологічної шкоди [3].

Для того, щоб з'ясувати, який внесок у розв'язання цих проблем може зробити застосування водневого палива, дамо оцінку його фізико-хімічним і експлуатаційним характеристикам порівняно з традиційними паливами (табл. 1).

Таблиця 1

Фізико-хімічні і експлуатаційні характеристики традиційних палив і водню [5; 6]

Показник	Автомобільний бензин	Дизельне паливо (літне)	Стиснутий нафтовий газ	Водень
Густина (20 °С), кг/м ³	740–760	820–850	150 (тиск 20 МПа)	70 (T = 20 K)
В'язкість (20 °С), мм ² /с	0,5–0,7	3,5–6,0	–	–
Температура(°С):				
- застигання	до –60	до –10	–182	–259
- кипіння	35–200	180–360	–162	–253
- спалаху	–50 — +100 °С	до –40	–	–
- самозаймання	350–500	230–300	650–700	500–510
Октанове число (дослідний метод)	80–98	–	100–110	30–40
Цетанове число	–	40–45	–	45–90
Співвідношення С/Н, за масою	5,5	6,5	3	–
Вміст сірки, %	до 0,1	до 0,2	0,0	0,0
Теплота згоряння нижча, МДж/кг	41–44	42–43	49–50	118
Стехіометрична кількість повітря для повного згоряння, кг/кг	14–15	14–14,5	17–17,5	34,8
Максимальна температура горіння, °С	2060	2100	2020	2180

Окрім того, треба брати до уваги різну здатність палива до утворення відкладень і нагарів на деталях паливного обладнання і камери згоряння.

Відкладення порушують нормальний режим горіння, призводять до зменшення економічності роботи двигуна і підвищення токсичних викидів продуктів неповного згоряння.

Водень як паливо, в цьому випадку повністю усуває небезпеку утворення СО і вуглеводнів, але в цьому разі зростає емісія оксидів азоту [3].

Для потреб транспорту водень можна використовувати як шляхом безпосереднього спалювання в двигунах внутрішнього згоряння, зовнішнього згоряння (двигун Стірлінга), так і застосовувати в паливних елементах [4]. Водень — ідеальне паливо. За здатністю виділяти тепло він чемпіон серед чемпіонів: у нього найвища теплотворна здатність [4].

Під час згоряння водень дає 28–30 тис. ккал. Для порівняння зауважимо, що високої якості бензин дає тільки 10–11 тис. ккал., високоякісне вугілля — 8 тис. ккал., дрова — 2,5 тис. ккал. (на 1 кг) [7].

Водень як паливо дозволяє уникнути конфлікт енергетики та біосфери, оскільки у циклі «отримання – згоряння» він майже не дає шкідливих для навколишнього середовища сполук.

Навпаки, при отриманні його в атмосферу виділяється кисень, а при згорянні утворюється вода [2]. Зауважимо, що в даний час водень отримують головним чином хімічним шляхом з вуглеводневої сировини — нафти та природного газу.

У невеликих кількостях водень виробляється методом електролізу, тобто розщепленням води на кисень та водень.

Для отримання водню, що призначений для вироблення енергії, доцільно виробляти його як раз методом електролізу (запаси води на планеті практично невичерпні) [8] — один з найбільш відомих і добре досліджених методів добування водню.

Він забезпечує одержання чистого продукту (99,6–99,9 %) за один технологічний цикл (табл. 2).

Однак процес одержання водню розкладанням води електролізом потребує значних енергетичних затрат [8].

Таблиця 2

Способи добування водню

Сировина та спосіб добування водню	Переваги	Недоліки	Літературні джерела
Одержання водню з вуглеводневої сировини (сировина: природний газ, зріджені вуглеводневі гази, суміш прямогонних бензинів (нафта) або окремі бензинові фракції, метанол, важкі нафтові залишки: мазут, гудрон, бітуми, тверді горючі копалини, тверді побутові відходи, біомаса і продукти її переробки)	Найдешевший спосіб отримання водню, що базується переважно на процесах парової конверсії легких вуглеводнів (насамперед метану) і піролізу	Екологічно не прийнятно	[8; 9; 10; 11]
Парокиснева газифікація бурого вугілля.			[8; 9; 10; 11]
Парокиснева газифікація мазуту			[8; 9; 10; 11]
Парова конверсія природного газу			[8; 9; 10; 11]
Процес розкладання води електролізом. Сировина: вода	1. Висока чистота водню – до 99,9 % і вище. 2. Простота технологічного процесу, його безперервність. 3. Можливість одержання цінних побічних продуктів кисню і важкої води. 4. Загальнодоступна і невичерпна сировина – вода. 5. Гнучкість процесу і можливість одержання водню безпосередньо під тиском. 6. Фізичне розділення водню і кисню в самому процесі	Висока енергоємність процесу і, відповідно його вартість. У виробничих витратах на одержання водню вартість електричної енергії становить приблизно 85 %. Вартість цього процесу напряму залежить від вартості електроенергії	[8; 9; 10; 11]
Термічні методи одержання водню: розкладання води, розкладання сірководню, розкладання аміаку			[8; 9; 10; 11]
Процес термомагнітного розкладання води	Чисто-екологічна невичерпна сировина		[8; 9; 10; 11]
Одержання водню розкладанням води з використанням атомної енергії			[12]
Одержання водню радіолізом (процес розкладання хімічних сполук під дією іонізуючого випромінювання (радіоліз води, радіоліз вуглеводнів, діоксиду вуглецю)	Не потрібні витрати на електроенергію	Малоефективний для одержання водню. Висока вартість виробництва	[8; 9; 10; 11]

Закінчення табл. 2

Сировина та спосіб добування водню	Переваги	Недоліки	Літературні джерела
Одержання водню методом фотолізу (процес розриву зв'язків в молекулі води або іншої сполуки в результаті поглинання нею кванта світла)	Екологічна чистота та невичерпна сировина. Не потрібні витрати на електроенергію		[8; 9; 10; 11]
Біоконверсія (сировина: вода)	Не потрібні витрати на електроенергію		[8; 9; 10; 11]
Воднева біотехнологія за участі мікроводоростей	Запаси води та сонячної енергії практично невичерпні й поновлювані	Висока вартість сировини і недостатня її кількість. Низька швидкість утворення біопалива. Висока ймовірність трансформації процесу, особливо в присутності різних видів бактерій	[8; 9; 10; 11]
Одержання водню через конверсію чадного газу		Токсичність чадного газу. Висока вартість сировини і недостатня її кількість. Низька швидкість утворення біопалива. Висока ймовірність трансформації процесу, особливо в присутності різних видів бактерій	[8; 9; 10; 11]
Одержання водню на основі зброджування	Висока продуктивність бактерій. Виробництво вимагає невеликих водойм або простих пристроїв. У виробництві не використовуються родючі ґрунти – процес не конкурує із сільськогосподарським виробництвом. Низькі енергетичні витрати. сировиною можуть бути будь-які органічні відходи	Висока вартість сировини і недостатня її кількість. Низька швидкість утворення біопалива. Висока ймовірність трансформації процесу, особливо в присутності різних видів бактерій	[8; 9; 10; 11]
Фізичні методи виділення водню із водневмісних сумішей	Високий ступінь вилучення водню. Сприятливі енергетичні показники		[8; 9; 10; 11]

Водень як моторне паливо можна використовувати у газоподібному, зрідженому стані та у вигляді паливних елементів, що працюють на водні [2; 13; 14]. Автомобільний транспорт, що працює на водневому паливі можна класифікувати за різновидами двигунів.

Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), що працює на водні або водневій суміші.

Такі моделі можуть працювати на чистому водні або 5–10 % водню додають до основного палива. В обох випадках ККД двигуна збільшується (у другому випадку приблизно на 20 %) і вихлоп стає набагато чистішим (вміст чадного газу (CO) і вуглеводнів (C_nH_m) зменшується в півтора рази, оксидів нітрогену (N_nO_m) — до п'яти разів) [4; 14].

У разі використання у ДВЗ чистого водню потужність двигуна порівняно з бензином знижується до 82–65 %. Якщо внести невеликі зміни в систему запалювання, потужність двигуна збільшується до 117 % порівняно з бензиновим аналогом, але тоді значно збільшиться вихід оксидів азоту через вищу температуру в камері згоряння. Крім того, водень при температурах і тисках, що створюються у двигуні, здатний вступати в реакцію з матеріалами двигуна й мастильними матеріалами, спричиняючи швидке зношування [4; 14].

Одним з напрямів створення в циліндрі ДВЗ умов, що забезпечують надійне запалення воднево-повітряної суміші, буде одночасне збільшення температури і тиску в кінці такту

стиснення. Це можливо здійснити за рахунок збільшення ступеня стиснення, підвищення тиску і температури повітряного заряду на початку такту стиснення. Для збільшення тиску і температури повітряного заряду на початку такту стиснення застосовують турбо- або механічний наддув. Для реалізації переваг водню як автомобільного палива необхідні певні конструкційні зміни бензинового двигуна [7].

Водневі двигуни внутрішнього згорання наближені до традиційних поршневих, утім, їх випускають зараз обмеженими дослідними партіями [7]. Звичайний ДВЗ для роботи на водні не підходить ще й тому, що водень легко запалюється від високої температури випускного колектора. Зазвичай для роботи на водні використовується роторний двигун, оскільки в ньому випускний колектор значно віддалений від випускного [4; 9].

Двигун зовнішнього згорання — Стірлінг-двигун (фірма «Філіпс», Голландія та ін). Сучасні двигуни зовнішнього згорання із зворотно-поступально рухомими поршнями являють собою двигуни подвійної дії (наприклад, з чотирма циліндрами), що працюють з певним зсувом фаз і при високих тисках (від 5 до 20 МПа). Двигун абсолютно нешкідливий (дуже низька токсичність) і практично безшумний, дозволяє використання різних палив (багатопаливний) [15]. Він був запропонований шотландцем Р. Стірлінгом та запатентований у 1816 році.

За даними автора [15], найвищі значення ККД були отримані під час роботи двигуна Стірлінга саме на водні — 40,25 %, у тому числі: на повітрі — 29,4 %; на гелії — 35,1 %. Це дало можливість зменшити питому масу двигуна на 30 %. Проте, у процесі роботи відбувався витік водню з робочих порожнин унаслідок дифузії та через ущільнення, що викликало зниження середнього тиску циклу, а отже, і потужності [14].

Підкреслимо, що використання водню як палива для двигуна Стірлінга не викликає ускладнення його конструкції і не потребує вирішення проблем зі збереження ефективних показників, що отримують при використанні інших видів палива, незначна витрата мастильних матеріалів, невеликий обсяг технічного обслуговування тощо [15].

Теоретична ефективність використання теплоти в двигуні Стірлінга відповідає найкращим зразкам ДВЗ, але практично забезпечити високий ККД двигуна Стірлінга можливо тільки за наявності ефективного регенератора, що утилізує теплоту [15].

Використання водню для двигуна «Стірлінга» може визначити одне з найперспективніших

напрямів при створенні екологічно-чистого транспортного засобу [15].

Тож, можемо зазначити переваги спалювання водню як моторного палива:

- висока питома теплота згорання;
- широкі межі запалення водню 4–75 % об. проти 1,5–7,6 % об. бензину — роблять його ідеальним паливом для двигунів;
- термічний ККД при роботі ДВЗ на водні (за підвищення ступеня стискання на 50 %) перевищує ККД двигуна на бензині;
- швидкість згорання воднево-повітряних сумішей втричі більша;
- водневий двигун легше запускається, леткість водню у поєднанні з його займистістю робить його ефективним паливом в умовах полярного холоду;
- водневе паливо не дає у двигуні вуглеводневих відкладень, продукти згорання хімічно не агресивні, тому зношення двигуна і витрати оливи в процесі експлуатації помітно знижуються;
- шкідливі викиди двигуна при використанні водню знижуються у 25 разів порівняно з використанням бензину [3; 4; 7; 9; 10; 14].

До недоліків відносяться:

- недосконалі технології зберігання (водень має виняткові проникаючі властивості, потребуючи застосування особливих матеріалів).
- висока собівартість водню;
- висока займистість і вибухонебезпечність воднево-повітряної суміші;
- відсутність розвинутої структури водневих заправних станцій.
- складний процес одержання (з нафтової сировини — екологічно не прийнятно, а методом електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії — ще досить дорого).

Гібридні двигуни — це машини з двома електроносіями, їх колеса рухає електропривод, енергію якому постачає акумулятор, що у свою чергу заряджається від високо-економічного двигуна внутрішнього згорання, що працює на водні або суміші водню з бензином.

Це дуже вигідно, адже ККД електродвигуна сягає 90–95 % на відміну від бензинового (35 %) або дизельного (50 %). Таким чином, загальний ККД підвищується до 30 %, відповідно знижується витрата палива [3; 4; 7; 9; 14].

Але отримати повністю чистий вихлоп можливо тільки третім видом автомобілів з водневим двигуном [16].

Справжній водневий автомобіль — це машина з електродвигуном, який працює від паливного елемента, що знаходиться в авто-

мобілі. Даний тип приводу використовує паливний елемент для виробництва електроенергії з газоподібного водню і кисню. При цьому з вихлопної труби виділяється тільки вода. В теорії ККД даного елемента, який працює на суміші повітря–водень, може досягти 85 %.

Навіть на сьогодні вдалося створити двигуни з ККД, що перевищує 75 % — це вже вдвічі більше, ніж в найкращих двигунах внутрішнього згоряння. У міських умовах такі автомобілі отримують перевагу перед автомобілями, що працюють на бензині [17].

Автомобілі на водні швидко заправляються і не потребують тривалої зарядки, а також володіють більш широким запасом ходу при меншій вазі порівняно з електромобілями, оснащеними важкими акумуляторними батареями [17].

Використання паливного елемента для живлення електродвигуна в два-три рази ефективніше, ніж використання двигуна внутрішнього згоряння. Автомобіль з паливними елементами — це тип електричного транспортного засобу, який використовує паливний елемент замість акумулятора або у поєднанні з акумулятором для живлення його бортового електромотора.

Паливні елементи в транспортних засобах виробляють електроенергію для живлення двигуна, як правило, використовуючи кисень з повітря та стиснений водень [16; 17].

Основна частина

Розвиток енергетики має вирішальний вплив на стан економіки в державі та рівень життя населення. Саме тому надійне, економічно обґрунтоване й екологічно безпечне задоволення потреб населення та економіки в енергоносіях є пріоритетним завданням енергетичної політики держави. При цьому забезпечення сталого розвитку та ефективного функціонування паливно-енергетичного комплексу України є основою успішної реалізації такої політики [6].

Потрібно мати чітке уявлення про роль мікро- і макросередовища водневої галузі для того, щоб правильно визначити її стратегічні перспективи, сформулювати цілі та завдання, виробити стратегію розвитку галузі, націлену на посилення її позиції на ринку.

Для аналізу сильних, нейтральних та слабких сторін водневих технологій використаємо метод SNW-аналіз (табл. 3) [18; 19].

Спершу, складаємо список слабких та сильних сторін галузі, а також матриці загроз і можливостей, пов'язаних із зовнішнім середовищем, використовуючи SNW-аналіз.

Також для аналізу використаємо бенчмаркінг акумулявання та зберігання водню як моторного палива на автотранспорті (табл. 4, 5).

Застосування водню, як моторного палива на автотранспорті пов'язане з розв'язанням такого важливого завдання, як компактне й безпечне зберігання водню на транспортному засобі.

Таблиця 3

SNW-аналіз сильних, нейтральних та слабких сторін водневої галузі (водневого палива)

Фактори	Якісна оцінка		
	S – сильна сторона	N – нейтральна сторона	W – слабка сторона
Технології, що відповідають сучасним вимогам	X		
Наявність інноваційних здібностей і можливості їх реалізації	X		
Установлення на законодавчому рівні «зеленого тарифу» на відновлювані джерела електроенергії		X	
Міжнародні зобов'язання України, прийняті в рамках Договору про заснування Енергетичного Співтовариства та Угоди про асоціацію між Україною та ЄС і його державами членами, у тому числі імплементація Директиви 2009/28/ЄС про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел		X	
Екологічність палива та відсутність тиску на навколишнє середовище	X		
Економія бензину		X	
Висока теплота згоряння водню	X		
Відсутність здатності палива до утворення відкладень і нагарів на деталях паливного обладнання і камери згоряння		X	
Відсутність затвердженого Національного плану дій із розвитку відновлюваних джерел енергії			X

Закінчення табл. 3

Фактори	Якісна оцінка		
	S – сильна сторона	N – нейтральна сторона	W – слабка сторона
Невідповідність показників виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії, встановлених у Енергетичній стратегії, реальним темпам розвитку галузі та завданням, установленим іншими стратегічними документами в галузі енергетики та охорони довкілля			X
Застаріле обладнання			X
Немає спеціалістів ключової кваліфікації і компетентності			X
Наявність внутрішніх виробничих проблем		X	
Неспроможність фінансувати необхідні зміни в стратегії			X
Складність виробництва (складний процес одержання)			X
Висока вартість			X
Відсутність масового споживача			X
Недосконалі технології зберігання			X
Висока собівартість водню			X
Висока займистість і вибухонебезпечність воднево-повітряної суміші			X
Відсутність розвинутої структури водневих заправних станцій			X

Таблиця 4

Бенчмаркінг зберігання водно як моторного палива на автотранспорті

Спосіб зберігання водню	Ефективність та переваги	Недоліки	Перспективи та рекомендації	Втрати на випаровування	Літературні джерела
Стиснутий водень (газоподібний за нормального тиску та за високого тиску)	<p>1. Газоподібний водень можна зберігати і перевозити в сталевих посудинах під тиском 20 МПа як в стандартній тарі, так і в спеціально сконструйованих контейнерах.</p> <p>2. Існуючі моделі баків вироблених з вуглепластикового волокна легкі та надійні. Збереженого в них водню достатньо для 400–500 км пробігу автомобіля</p>	<p>1. За кімнатної температури і нормального атмосферного тиску водень займає приблизно в 3 тис. разів більший об'єм, ніж бензин з таким же енергетичним еквівалентом.</p> <p>2. Маса водню в балонах становить лише 2–3 % від маси самого балона.</p> <p>3. Маса балону складає 56 кг, а маса водню – 0,5–0,6 кг. Відношення маси тари до маси водню в цьому випадку є надто високим. Такий варіант для автомобільного транспорту не прийнятний.</p> <p>4. Підтримка високого тиску вимагає більших витрат енергії</p>	<p>1. Розробка нових матеріалів надасть змогу зберігати водень за більш високого тиску</p>	<p>Дослідження показали, що втрати водню із системи в 3–3,5 рази більше за об'ємом втраг природного газу, але водень за теплою згоряння приблизно втричі переважає природний газ, тому сумарні втрати майже однакові</p>	[2; 8; 9; 10; 20; 21; 22; 23]
У криюченному стані (рідкий водень)	<p>1. Рідкий водень займає значно менше місця. За температури 20 К рідкий водень займає 1/700 його об'єму в газоподібному стані.</p> <p>2. За питомим масовим енерговмістом рідкий водень майже в 3,5 рази перевищує цей показник нафтових видів палива.</p> <p>Перевагами зрідженого водню (криюченого водню) є висока щільність рідини і ефективність зберігання</p>	<p>1. Для перетворення водню на рідину необхідно його охолоджувати до температури мінус 263 С, що вимагає значних енергетичних затрат. Вартість цього процесу підвищує також необхідність забезпечення надфективної теплоізоляції ємностей для зберігання водню.</p> <p>2. Водень у рідкому стані перебуває у вузькому інтервалі температур 17–20 К</p>	<p>3. Розвиток криюченних технологій із застосуванням наднизьких температур дає змогу без особливого зменшення корисного об'єму автомобіля зберігати на його борту запас водню, достатній для пробігу 500 км і більше</p>	<p>Втрати водню становлять 1 % за добу.</p>	[2; 8; 9; 10; 11; 20; 21; 22]

Продовження табл. 4

Спосіб зберігання водню	Ефективність та переваги	Недоліки	Перспективи та рекомендації	Втрати на випаровування	Літературні джерела
		<p>3. Рідкий водень еквівалентний газоподібному стиснутому до 170 МПа, його зберігають у спеціальних резервуарах і ємкостях, маса водню в них становить 10–12 % від маси самого балона.</p> <p>4. Маса і габарити криогенних баків також не задовольняють вимоги щодо їх встановлення на автомобілях. За такого способу зберігання водень випаровується, внаслідок чого тиск у середині бака підвищується, і якщо водень не вистовується, його випускають кризь перепускний клапан, щоб запобігти надмірному підвищенню тиску, тобто втрачають непродуктивно. При цьому втрачають водню становлять 1 % за добу. Ці втрати створюють додаткові проблеми безпеки автомобіля. Вони суттєво зменшують загальну ефективність палива, особливо, якщо враховувати його роботу в переривчастому режимі. Це насамперед стосується легкового транспорту, що використовується в середньому у 10 % календарного часу</p>			

Закінчення табл. 4

Спосіб зберігання водню	Ефективність та переваги	Недоліки	Перспективи та рекомендації	Втрати на випаровування	Літературні джерела
Резервуари –газгольдини, загиску до 100 МПа, для зберігання газоподібного водню та резервуари для зберігання рідкого водню	Вертикальні резервуари водню дозволяють зеконмити місце на території АЗС та оптимально підходить для роботи з невеликим об'ємом газу. Горизонтальні резервуари відрізняються більшою місткістю та дозволяють зберігати до 200 м ³ розташування відрізняється великою місткістю і дозволяє зберігати до 200 м ³ водню. Технологія газоподібного зберігання водню у резервуарах дуже добре відпрацьована та доступна, відносно невелика вартість. Перевагою технології рідкого зберігання водню у резервуарах є висока щільність (71 кг/м ³)	5. Баки, призначені для зберігання рідкого водню, повинні бути надійно ізолювані, щоб звести до мінімуму можливість скипання. Навколо бака може утворюватися лід і сприяти його роз'їданню у випадку, якщо ізоляція баку з рідким воднем вийде з ладу «Мокри», а також «сухі» (поршневі) газгольдини зварної конструкції не мають достатньої герметичності. Великі кількості водню можна зберігати у великих газгольдерах підтиском. Внаслідок малої щільності газоподібного водню зберігати його вигідно лише у порівняно невеликих кількостях. Високі енергозатрати на скраплення, втрати водню, внаслідок випаровування, необхідність в суперізоляції, і як наслідок велика вартість рідкого водню		Згідно з технічними умовами допускається витік водню за нормальної експлуатації «мокрих» газгольдерів місткістю до 3000 м ³ – біля 1,65%, а місткістю від 3000 м ³ та вище – біля 1,1% на добу (з розрахунку на номінальний об'єм газгольдера)	[2; 8; 9; 10; 11; 20; 21; 22; 23]

Таблиця 5

Бенчмаркінг акумулювання водню як моторного палива на автотранспорті

Спосіб акумулювання водню	Ефективність та переваги	Недоліки	Перспективи та рекомендації	Втрати на випаровування	Літературні джерела
У рідких гібридах (аміак, метанол, етанол або комбінації бензол-циклогексан, гідразин, рідкий метан)	<p>1. Перевагами зберігання і транспортування водню у хімічно зв'язаному стані (у формі аміаку, метанолу, етанолу) на великій відстані полягають у високій щільності об'ємного вмісту водню.</p> <p>2. Для великомасштабного виробництва і доставки на великі відстані циклоалкани є найкращим варіантом через більш дешеві ціни за інші матеріали, високої чистоти одержуваного водню та достатку ресурсів [213]</p>	<p>Проблеми використання циклогексана в практичному застосуванні полягають в тому, що для нього потрібна висока робоча температура і стабільний каталізатор, який може протидіяти коксуванню під час процесів дегідратування. Такі чинники, як вартість, токсичність і стабільність, все ще залишаються невирішеними</p>		<p>Втрати на випаровування незначні. Ведуться дослідження щодо втрат</p>	[8; 10; 24; 25]
У гібридах металів (залізо-титанові, нікель-магнієві тощо)	<p>1. У випадку збереження водню в гібридній формі відпадає необхідність у громіздких і важких балонах, необхідних при збереженні газоподібного водню у стиснутому вигляді, чи складних у виготовленні і дорогих посудинах для збереження рідкого водню.</p> <p>2. Гібриди металів можна розглядати як ємності для зберігання водню з високою густиною без використання високого тиску і низької температури</p>	<p>1. Стационарні пристрої для збереження водню у формі гібридів не мають суворих обмежень щодо маси й об'єму, тому чинником, що лімітує вибір того чи іншого гібриду є насамперед його вартість.</p> <p>2. За масо-габаритними показниками цей спосіб навіть при використанні найбільш ефективних гібридів (залізо-титанових та нікель-магнієвих) поки що поступається криогенному методу зберігання.</p> <p>3. Найбільший недолік – низька масова густина у всіх відомих металевих гібридах, що працюють при кімнатній температурі. Як правило, в таких гібридах може зберігатися 1–2 % від ваги контейнера з гібридом</p>	<p>1. Застосування гібридів металів є одним із перспективних способів зберігання водню.</p> <p>2. Перспективною є робота автотранспортного двигуна на комбінованому гібридному паливі. У цьому разі комбінується високо-температурний гібрид із низькотемпературним</p>	<p>1. Втрати на випаровування не стерігаються</p>	[8; 10; 24; 25; 26]

Продовження таблиці 5

Спосіб акумулявання водню	Ефективність та переваги	Недоліки	Перспективи та рекомендації	Втрати на випаровування	Літературні джерела
	<p>3. При збереженні водню у вигляді гідридів обсяг системи зменшується приблизно втричі порівняно з обсягом збереження в балонах. Спрощується транспортування водню. Відпадають витрати на конверсію і скраплення водню.</p> <p>4. Використання гідридів має значні переваги стосовно техніки безпеки. Пошкоджена посудина з гідридом водню значно менш небезпечна, ніж пошкоджений рідко водневий танк чи посудина високого тиску, заповнена воднем.</p> <p>5. Важливим є той факт, що за однакових обсягах у металевому гідриді міститься більше водню ніж у тому обсязі рідкого водню, що зберігається в криогенній посудині, тобто щільність водню у твердій гідридній матриці може перевищувати щільність рідкого водню (у металевому гідриді атомарний водень утворює металевий зв'язок). Крім того, у металевих ґратах гідриду водень займає малі проміжки й улакований удвічі-тричі щільніше, ніж при збереженні у рідкому вигляді.</p>	<p>4. У процесі згоряння водню, одержаного із гідридів металів, на ефективну роботу машини витрачається 25–30 % теплоти згоряння; на підігрів гідриду і охолодження – 20 %; на тертя у двигуні і вентиляторі – 5 %, на відпрацьоване тепло – 50 %.</p> <p>5. Процеси термічного розкладання гідридів лужних металів і алюмінію при тисках, близьких до атмосферного, необоротні. Тому можливе лише одноразове їх використання, що обмежує застосування таких матеріалів.</p> <p>6. Слід однак зауважити, що вартість найбільш ефективних для зберігання водню гідридів досить висока. Так, для TiFe-гідриду вона сягає 25 дол./кг, що суттєво збільшує вартість автомобіля.</p>			

Закінчення таблиці 5

Спосіб акумулювання водню	Ефективність та переваги	Недоліки	Перспективи та рекомендації	Втрати на випаровування	Лігатурні джерела
У вуглецевих нанотрубках (збереження водню на транспорті)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Висока здатність накопичувати значні кількості водню. 2. Безпека, легкість у використанні. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. На сьогодні ряд обставин значно ускладнює використання вуглецевих матеріалів, оскільки, наприклад, у нанотрубках доступ до внутрішніх об'ємів є, як правило, є заблокованим. Необхідний пошук матеріалів, що дає необхідні масові долі водню за кімнатної температури і тиску. 2. Воднева ємність нанотрубок варіюється залежно від техніки їх підготовки та обробки, синтетичної чистоти, температури виділення водню, кластеризації металу і стабільності матеріалів. З цієї причини використання нанотрубок стає обмеженням, оскільки вони недостатньо пристосовані для зберігання високої ємності H₂. Крім того, для досягнення високої цільової ємності по водню потрібно більше модифікацій та досліджень в способах приготування і обробки 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Родина карбонових матеріалів є одним з основних кандидатів в якості таких пористих матеріалів, які б могли вміщувати цей газ, зберігати його та, за необхідності, легко віддавати. 2. Унікальні властивості нанотрубок обумовлюють їх перспективне використання як сорбента і сховища для водневого палива 		[8; 10; 20]
У паливних елементах (електромобілі)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Суттєвою перевагою паливних елементів є безшумність роботи і відсутність шкідливих викидів під час роботи. Найбільш ефективним видається використання паливних елементів в автомобілі. 2. Застосування паливних елементів передбачає використання хімічної енергії палива, перетвореної в електрику, минаючи процеси горіння 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Значні енергетичні затрати. 2. Необхідність надефективної теплоізоляції. 3. Маса і габарити криогенних баків 			[8; 10; 16; 17; 27]
У криогенному зберіганні за допомогою адсорбувальних матеріалів	Кількість водню на одиницю маси сорбенту більша ніж у випадку гідридного зберігання, а вартість нижча				[8; 10; 20]

Наведемо таблицю витрат електроенергії на зберігання водню різними способами:

Таблиця 6

Витрати електроенергії на зберігання водню [3; 7; 10; 20]

Метод зберігання водню	Питоме споживання енергії на зберігання водню, кВт год/кг
Газоподібний за нормального тиску	0,4
Газоподібний під високим тиском	0,9
Гідриди металів	1,1
Рідкий водень	10,05
Кріоадсорбційне зберігання	3,2

Із наведених у табл. 6 даних, можемо дійти висновку, що найбільш енергоємним є зберігання водню у зрідженому стані. Для перетворення водню на рідину необхідно його охолоджувати до температури мінус 263 °С, що вимагає значних енергетичних затрат. Вартість цього процесу підвищує також необхідність забезпечення надфективної теплоізоляції ємностей для зберігання водню.

Застосування паливних елементів передбачає використання хімічної енергії палива, перетвореної в електричну, минаючи процеси горіння (див. рис. 1). Паливний елемент — це електрохімічний генератор, що забезпечує пряме перетворення хімічної енергії в електричну. Це має велику перевагу перед тепловою машиною, де процес перетворення хімічної енергії в електричну включає декілька проміжних стадій, а саме [16; 17; 27]. Натомість, процес перетворення хімічної енергії електричну із засто-

суванням паливних елементів включає (рис. 2). Суттєвою перевагою паливних елементів є безшумність роботи і відсутність шкідливих викидів під час роботи. Найбільш ефективним видається використання паливних елементів в автомобілі [8].

Тож можемо зробити висновки щодо способів зберігання водню на транспорті.

Найпершими пріоритетами при зберіганні водню на транспорті мають бути саме компактне і безпечне зберігання.

Оскільки, за кімнатної температури і нормального тиску водень займає приблизно в 3 тис. разів більший об'єм, ніж бензин з таким же енергетичним еквівалентом, то для заправки автотранспорту необхідно використовувати такі форми зберігання водню, що можуть забезпечити відповідну кількість енергії – стиснутий водень, водень у кріогенному стані або водень у наноматеріалах (табл. 7).



Рис. 1. Схема процесу перетворення хімічної енергії в електричну із застосуванням нафтового палива



Рис. 2. Схема процесу перетворення хімічної енергії в електричну із застосуванням паливних елементів

Таблиця 7

Характеристика вагових і об'ємних показників [8; 10; 20]

Система зберігання	Маса і об'єм системи щодо бензину	
	Маса	Об'єм
Газ (тиск 15 МПа)	15,0	24,5
Гідрид магнію	4,6	4,0
Рідкий водень	2,4	3,8

У зв'язку з відсутністю дешевих і ефективних технологій виробництва водню розглядаються методи безпосереднього одержання його на борту транспортного засобу. Наприклад, методом гідролізу алюмінію, магнію, гідриду літію. Однак зазначені методи дуже дорогі. Для автотранспорту розробляють компактні бортові установки риформінгу вуглеводневого палива.

Висновки

За результатами проведеного комплексного ситуативного аналізу було встановлено, що сучасна тенденція використання водню в цілому полягає у розвитку «зеленої» водневої енергетики та поступовому переході на водневу економіку, заснованої на глобальному використанні водню як домінуючого базового енергоносія, що поступово має зайняти місце, що зараз властива нафті та продуктам її перероблення, природному газу та вугіллю.

Загальні тенденції використання «зеленого» водню можна систематизувати на:

- використання як моторного палива;
- для зменшення загального використання природного газу, підвищення його якості, екологічності та зменшення викидів CO₂, поновлюваний водень додається у природний газ під час транспортування та поставках споживачам;
- перетворення надлишку відновлюваної енергії на водень для зберігання, а потім перетворення на електроенергію за допомогою системи паливних елементів.

Особливості використання водню полягають в тому, що чистий водень не можна зберігати та транспортувати у звичайних металевих трубах, резервуарах і балонах без покриттів, оскільки водень добре розчиняється у багатьох металах, тобто дифундує через них, що спричиняє руйнування сплаву внаслідок взаємодії водню з вуглецем (так звана декарбонізація). Другою особливістю водню є те, що він існує у рідкому стані у дуже вузькому інтервалі температур від мінус 252,76 до мінус 259,2 °С, що потребує значних капіталовкладень на зрідження. У результаті виконаної роботи ми дійшли висновку, що найраціональнішою технологією зберігання водню на борту транспортного засобу є зберігання його у вуглепластикових балонах у стиснутому вигляді за високого тиску, адже вони легкі і надійні, а збереженого в них водню достатньо для 400–500 км пробігу автомобіля.

Найкращою технологією акумулювання водню як моторного палива на сьогодні є паливні елементи. Адже, застосування паливних елементів передбачає використання хімічної енергії палива, перетвореної в електрику, минаючи

процес горіння. Але, на сьогодні застосування електромобілів на паливних елементах обмежено їх високою ціною. На нашу думку, найперспективнішою технологією використання водню як моторного палива буде безпосереднє одержання його на борту транспортного засобу з подальшим використанням як паливо.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Бойченко С. В.** Раціональне використання вуглеводневих палив: монографія. Київ: НАУ, 2001. 216 с.
2. **Lejda Kazimierz**, Siedlecka Sylwia. Hydrogen as an Ecological Energy Source for Automotive Applications. URL: Logistyka, Logistyka - nauka, 2014, nr 6, CD 1, P. 190–200. (data access 03.11.2020).
3. **Гуцаленко О. В.**, Василенко Т. С. Перспективи застосування водню як альтернативного джерела енергії. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету*. 2014. № 1 (84). С. 193–200. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/znpvnutn_2014_1_31. (data access 29.10.2020).
4. **Милаева И. И.** Особенности двигателей внутреннего сгорания при работе на водороде. Таврический государственный агротехнологический университет. 2012. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/2832/1/8.pdf>. (data access 08.07.2020).
5. **Андрійшин М. П.**, Марчук Я. С., Бойченко С. В. та ін. Газ природний, палива та оливи: монографія. Одеса: Астропринт, 2010. 232 с.
6. **Інтернет ресурс:** zakon.rada.gov.ua «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив». (дата звернення 08.07.2020).
7. **Соловей В. В.**, Внукова Н. В., Гриценко А. В., Канило П. М. Вплив енерго-екологічних факторів на конкурентоздатність водню як моторного палива (в транспортних енергоустановках). *Енерго-зберігаючі технології та обладнання*. 2014. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.27657.
8. **Скорохода В. В.**, Солоніна Ю. М. Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях: монографія. Київ: «КІМ». 2015. 294 с. URL: <http://www.materials.kiev.ua/Hydrogen/mono2.pdf> (data access 30.10.2020).
9. **Мітков Б. В.**, Мітков В. Б., Шульга О. В. Альтернативні палива для транспортних засобів. *Науковий вісник ТДАТУ*. Випуск 1. Том 3. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf1t3/11MBVAFV.pdf> (data access 03.11.2020)
10. **Обзор** методов хранения водорода. Институт проблем материаловедения НАН Украины. URL: <http://shp.by.ru/sci/fullerene/forums/ichms/2003/> (data access 03.11.2020).

11. **Miller A. I.** Launching hydrogen – Nuclear Engineering International. 2005. v. 50. No 612. p. 16–19.

12. **Пономарев-Степной Н. Н.** и др. Атомный энерготехнологический комплекс с высокотемпературными газоохлаждаемыми реакторами для масштабного экологически чистого производства водорода из воды и природного газа. *Газовая промышленность*. №11. 2018. URL: <https://neftegas.info/gasindustry/-11-2018/atomnyy-energo-tekhnologich-eskiy-kompleks-s-vysokotemperaturnymi-gazookhlazhdaemyimi-reaktorami-dlya-m/> (data access 30.10.2020).

13. **Lejda K.** Wodór w aplikacjach do środka w napędu w transporcie drogowym. *Wydawnictwo KORAW, Rzeszów*. 2013.

14. **Хом'як Й.** Шевчук В, Мідзян В. Дослідження роботи автомобільного двигуна на водневому паливі. Львівський національний аграрний університет. URL: <http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Visnyk-Lvivskogo-Nats-agraruniver/Agroing/2009/files/09hyvwfhf.pdf> (data access 07.07.2020).

15. **Интернет ресурс:** URL: <https://sites.google.com/site/yakovoska/articles/stirling> (data access 07.07.2020).

16. **Roland Berger.** Fuel Cells and Hydrogen for Green Energy in European Cities and Regions. A Study for the Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking. October 2018. URL: https://www.fch.europa.eu/sites/default/files/180515_FCH2JU_BC%20Regions%20Cities_Stakeholder%20Communication%20Package_English_OUT%20%28ID%203520090%29.pdf (data access 30.10.2020).

17. **Hydrogen and Fuel Cells Technology Roadmap / IEA.** 2015. URL: <http://www.g20ys.org/upload/auto/1888e90ef287bf674665cd8b97ffcc45164b928.pdf> (data access 03.11.2020).

18. **Шляхта О. М.** SWOT – аналіз як інструмент стратегічного менеджменту підприємства. *Економічний простір*. № 68. 2012. С. 301–309.

19. **Анісімова О. М., Шикова Л. В.** SWOT – аналіз підприємства як метод забезпечення розробки ефективної стратегії управління.

Проблеми і перспективи розвитку підприємництва. №1 (1). 2011. С. 24 – 30.

20. **Фатеев В. Н.,** Алексеева О. К., Коробцев С. В., Серегина Е. А., Фатеева Т. В. Проблемы аккумуляирования и хранения водорода. *Chemical Problems*. № 4 (16). 2018. С. 453–483.

DOI: <https://doi.org/10.32737/2221-8688-2018-4-453-483>

21. **Todorovic R.** Hydrogen Storage Technologies for Transportation Application, *Journal of Undergraduate Research*. 2015. vol.5. no.1, pp. 56–59.

22. **Reub M.,** Grube T., Robinius M., Preuster P., Wasserscheid P., Stolten D. Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model. *Applied Energy*. 2017. vol. 200, pp. 290–302. DOI: 10.1016/j.apenergy.2017.05.050.

23. **Blending Hydrogen into Natural Gas Pipeline Networks: A Review of Key Issues.** *Technical Report*. National Renewable Energy Laboratory. March. 2013. DOI: 10.2172/1068610.

24. **Lishuai Xie,** Jinshan Li, Tiebang Zhang. Microstructure and hydrogen storage properties of Mg-Ni-Ce alloys with a long-period ordered phase. *J. Power Sources*. 2017, vol. 338, pp. 91–102. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-power-sources/vol/338/suppl/C> (data access 30.10.2020).

25. **Hydrogen in a low-carbon economy / UK Committee on Climate Change,** November 2018. URL: <https://www.ammoniaenergy.org/articles/committee-on-climate-change-sees-role-for-ammonia-enabling-hydrogen-for-a-low-carbon-economy> (data access 30.10.2020)

26. **Morten B. L.** et al. Complex hydrides for hydrogen storage – new perspectives. *Materials Today*. 2014, vol. 17, pp. 122–128 DOI: 10.1016/j.mattod.2014.02.013.

27. **Grube T.,** Hohlein. B. Costs of Making Hydrogen Available in Supply Systems Based on Renewables. *Hydrogen and Fuel Cells*. Springer. 2016. DOI: 10.1007/978-3-662-44972-1_13 (data access 30.10.2020).

Бойченко С., Калмикова Н.

БЕНЧМАРКІНГ ЕФЕКТИВНОСТІ АКУМУЛЮВАННЯ ТА ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА

Розвиток водневої енергетики та необхідність пошуку нових ефективних енергоносіїв й розробки на їх основі екологічно безпечних альтернативних палив зумовлена двома основними чинниками: швидке вичерпання запасів нафти на Землі; погіршення екологічної ситуації в багатьох країнах, насамперед у розвинутих. Загальною метою роботи є комплексний ситуативний аналіз (SNW-аналіз, бенчмаркінг) світового досвіду використання водню як моторного палива, що включає виявлення кращих технологій, тенденцій, особливостей використання, дослідження переваг та недоліків технологій акумулювання та зберігання водню, що впливають на стан водневої галузі та шляхів досягнення стратегічних цілей водневих технологій у майбутньому. Адже відомо, що водень як екологічно чисте моторне паливо забезпечений високотехнологічними способами акумулювання та зберігання, значно мінімізує обсяг емісії шкідливих речовин і дозволяє суттєво поліпшити стан техносфери. З наведених даних ми дійшли висновку, що найкращою технологією зберігання водню як моторного палива є стиснутий газоподібний водень. Тому що, існуючі моделі баків вироблених з вуглепластикового волокна легкі та надійні, а збереженого в них водню достатньо для 400–500 км пробігу

автомобіля. Розробка нових матеріалів надасть змогу зберігати водень за більш високого тиску. Найкращою технологією акумулювання водню як моторного палива є – паливні елементи (паливні комірки). Суттєвою перевагою паливних елементів є безшумність роботи і відсутність шкідливих викидів під час роботи. Найбільш ефективним видається використання паливних елементів саме в автомобілі. Найкращою особливістю є те, що застосування паливних елементів передбачає використання хімічної енергії палива, перетвореної в електрику, минаючи процеси горіння.

Ключові слова: водень; SNW-аналіз; бенчмаркінг; моторне паливо; паливна комірка; техносфера.

Boichenko S., Kalmykova N.

BENCHMARKING OF EFFICIENCY OF ACCUMULATION AND STORAGE OF HYDROGEN AS A MOTOR FUEL

The development of hydrogen energy and the need to find new efficient energy sources and develop on their basis environmentally friendly alternative fuels due to two main factors: the rapid depletion of oil reserves on Earth; deteriorating environmental situation in many countries, ahead in development.

Today, the attractiveness of hydrogen as a universal energy source is determined by environmental friendliness, flexibility and efficient energy conversion processes for its participation. General work support is a comprehensive situational analysis (SNW-analysis, benchmarking) of the world experience of using hydrogen as a motor fuel, which includes identification of the best technologies, trends, features of use, research of advantages and disadvantages of technological accumulation and storage of hydrogen, and ways to achieve strategic goals for hydrogen technologies in the future. It is known that hydrogen as an environmentally friendly motor fuel is provided with high-tech methods of accumulation and storage, increases the minimization of emissions of harmful substances and can significantly improve the state of the technosphere.

From these data, we concluded that the best technology for storing hydrogen as a motor fuel is compressed hydrogen gas. Because the existing models of tanks made of carbon fiber are light and reliable, as well as the hydrogen supply stored in them for 400-500 km of the car. The new materials section allows you to store hydrogen for a higher pressure. The best technology for the accumulation of hydrogen as a motor fuel is — fuel cells. A significant advantage of fuel cells is the quiet operation and the absence of harmful emissions during operation. The most effective is the use of fuel cells in cars. The best feature is that the use of fuel cells involves the use of chemical energy of the fuel converted into electricity that bypassing to the combustion processes.

Keywords: hydrogen; SNW analysis; benchmarking; motor fuel; fuel cell; technosphere.

Бойченко С., Калмыкова Н.

БЕНЧМАРКИНГ ЭФФЕКТИВНОСТИ АККУМУЛИРОВАНИЯ И ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ МОТОРНОГО ТОПЛИВА

Развитие водородной энергетики и необходимость поиска новых эффективных энергоносителей, а также разработка на их основе экологически безопасных альтернативных топлив обусловлена двумя основными факторами: быстрое исчерпание запасов нефти на Земле и ухудшение экологической ситуации во многих странах, прежде всего в развитых. Общая цель работы заключается в комплексном ситуативном анализе (SNW-анализ, бенчмаркинг) мирового опыта использования водорода как моторного топлива, что включает выявление лучших технологий, тенденций, особенностей использования, исследование достоинств и недостатков технологий аккумулирования и хранения водорода, которые оказывают влияние на состояние водородной отрасли и способов достижения стратегических целей в будущем. Так как известно, что водород как экологически чистое моторное топливо, обеспеченное высокотехнологическими способами аккумулирования и хранения, значительно сокращает эмиссию вредных веществ и позволяет значительно улучшить состояние техносферы. Из приведенных данных мы пришли к выводу, что лучшей технологией хранения водорода как моторного топлива является газообразный водород. Потому что, существующие модели баллонов, изготовленные из углепластикового волокна легкие и надежные, а сохраненного в них водорода достаточно для 400–500 км. пробега автомобиля. Разработка новых материалов даст возможность хранить водород при более высоких давлениях. Лучшей технологией аккумулирования водорода являются топливные элементы. Существенными достоинствами топливных элементов есть бесшумность работы и отсутствие вредных выбросов во время работы. Наиболее эффективным является использование топливных элементов в автомобилях. Наилучшей особенностью есть то, что эксплуатация топливных элементов предусматривает использование химической энергии топлива, преобразованное в электричество, минуя процессы горения.

Ключевые слова: водород; SNW-анализ; бенчмаркинг; моторное топливо; топливный элемент; техносфера.

Стаття надійшла до редакції 16.11.2020 р.

Прийнято до друку 10.12.2020 р.