

*Бувалець М. Ю.; Рулевська Т. Ф.; Колесніков В. О., к.т.н., доц.*

## **СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ ВОДНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СУЧАСНОМУ ТРАНСПОРТІ**

*В роботі в стислій формі розглянуто нові матеріали та технології які можуть бути використані в «водневому» транспорті. Також висвітлені деякі проблеми, що «гальмують» впровадження «водневих» технологій.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** В даній роботі продовжено розвиток наукового напрямку прикладного матеріалознавства в аспекті автомобільної галузі [1-12]. Мета роботи полягає в продовженні систематизації інформації стосовно впровадження та застосування нових матеріалів та технологій в автомобільній промисловості.

Компанія Toyota розраховує перейти на водневу технологію другого покоління і збільшити продажі подібних авто. Наступне покоління автомобілів з двигунами на водневих паливних елементах за вартістю буде порівняно з бензиново-електричними гібридними машинами. Компанія планує збільшити виробництво таких машин в 10 разів в найближчі 8 років.

"На початку 2020-х років ми запустимо технологію водневого палива наступного покоління, це забезпечить істотний крок вперед. Сьогодні виробництво Mirai обмежене 3000 автомобілів на рік, але до 2025 року ми очікуємо, що ця цифра стане в десять разів більше", - заявив генеральний менеджер бізнес-планування Toyota Наомічі Хата.

В даний час гібридна Toyota Prius коштує близько \$ 25000, а воднева Mirai продається приблизно за \$ 70000 - в зв'язку з витратами на її розробку. Однак нове покоління водневої паливної технології буде значно дешевше у виробництві, запевняють в Toyota [13].

В США випробували "паливо майбутнього" - водень і нанопорошки. Водень отримують дешевше звичайного в 8-10 разів, а нанопорошки - в 20-30 разів. Зараз з'явилися автозаправки для паливних елементів на водні. 1 кілограм водню там стоїть 16,5 доларів. Розрахунки показують 1-2 долари. Що стосується нанопорошків, то вони коштують від 60 до 300 - 400 доларів за 1 кілограм. Їх можна запропонувати за 12 доларів.

Подвійною інновацією стала технологія по синтезу водню новим методом. У воду занурюється металева пластина, яку "підривають" електрогідравлічним ударом. Від пластини розлітаються наночастинки, які розщеплюють молекули води на кисень і водень. На сьогоднішній день, заявляють автори, це найдешевша технологія водню з води. Інші водняні технології ще дорожчі, тому що використовують природний газ.

А в ході синтезу водню відпрацьовані наночастинки осідають в нанопорошок. Іншими словами, на виході виходить ще один цінний матеріал без зайвих витрат.

Поки вчені випробували 4 види каталізаторів: оксид алюмінію, мідь, оксид цинку, а також один неметал - графіт.

Нанопорошки по всьому світу застосовують все частіше. Порошок алюмінію і цинку можна вносити в фарби, щоб збільшити їх стійкість до корозії, а також в фільтри по очищенню повітря і в металокераміку.

Наночастинки міді можна використовувати в біо- і електрохімічних сенсорах. Наночастинки графіту - додавати в паливо, щоб скоротити знос двигунів. Це лише одиниці серед десятків інших можливих застосувань [14].

Одним з результатів розробок стало експериментальне купе на базі серійної моделі BMW i8, яке замість гібридного силового агрегату отримала в своє розпорядження установку на водневих паливних елементах.



Рисунок 1 – Процес зарядки бака воднем займає не більше 5 хвилин [15]

Водень закачується в циліндричний балон під тиск 700 бар, який знаходиться в трансмісивному тунелі. Подібне розташування 160-кілограмового бака дозволяє не тільки знизити центр ваги і оптимізувати розподіл маси між осями, але і максимально захистити його в разі аварії. Крім того, корпус балона виконує функцію несучого елемента купе.

Енергія, що отримується в результаті хімічної реакції між воднем і киснем, відправляється до 245-сильного електромотора.

Запасу водню досить, щоб подолати більше 500 кілометрів, причому процес заправки займає менше 5 хвилин, а єдиним продуктом роботи машини є звичайна вода. У компанії BMW планують почати серійний випуск водневих авто в найближчі роки, коли вдасться істотно розширити інфраструктуру заправних станцій.

Балон для водню являє собою тонкий і довгий циліндр з композитних матеріалів, надійно захищений від розгерметизації. Він важить 160 кг і дозволяє вмістити до 7,1 кг водню.



Рисунок 2 – Балон для водню

Батарея паливних елементів складається з набору паливних осередків, яких може бути від 200 до 400 штук. Кожна комірка складається з двох металевих пластин і спеціальної мембрани між ними. В результаті хімічної реакції між воднем і киснем, виділяється електроенергія, яка передається далі до електромотора, а вода, що утворюється в наслідок реакції відводиться від осередків по численним канавкам.



Рисунок 3 – Батарея паливних елементів

**Небезпека водневого палива.** Небезпека використання водню як палива пов'язана з двома факторами: високою летючістю водню, через яку він проникає через дуже невеликі зазори, і легкість займання [16]. З іншого боку, при пробі паливного бака бензин розливається калюжею по поверхні, тоді як водень випаровується у вигляді спрямованого струменя [17]. Однак є небезпека запалення замкнутого простору салону автомобіля воднем.

**Головні мінуси водневих автомобілів.** На прикладі Toyota Mirai, як першого посправжньому масового водневого автомобіля, розберемо їх мінуси, яких не так вже й мало.

По-перше, ціна. Сьогодні Toyota Mirai продається за \$ 60 - 70 тис. Залежно від країни, податків і пільг, субсидій, це ціна базової Tesla Model S в США; це в 2 - 3 рази дорожче гібрида Toyota Prius або Chevrolet Volt. Причому на моделі Mirai компанія Toyota ще й втрачає гроші! Згідно інсайд-інформації, реальна ціна Toyota Mirai становить \$ 100-120 тис. Цей факт підтверджує і інший малосерійний водневий автомобіль недавнього минулого - Hyundai Tucson (iX35) Fuel Cell, який в момент своєї появи на ринку був оцінений в \$ 144 тис [18].

По-друге, ціна поїздки. Так, сьогодні 1 кг водню коштує близько \$ 8; при витраті 1-1,3 кг на 100 км шляху вартість залікової «сотні» пробігу виявляється близько \$ 8-10 - що можна порівняти з вартістю поїздки на бензиновому автомобілі, а гібрид або дизель можуть виявитися навіть вигідніше! У той же час вартість поїздки на електрокарі ледь перевищує \$ 1 - 2 за 100 км шляху. Причому водень потрібно десь брати - і цим «десь» будуть водневі заправки, які можна контролювати так, як заманеться кільком великим мережним гравцям ринку: те, що сьогодні відбувається з продажем бензину і дизельного палива. Та й самі заправки дуже дорогі: невелика воднева АЗС обходиться в \$ 250-300 тис., середня - в \$ 2-3 млн. Що за розподіл на велику і середню? Цей поділ в залежності від кількості водневих автомобілів, які можна заправити за добу: невелика воднева розрахована на заправку 25 - 30 водневих автомобілів; велика може заправити 250 автомобілів або 50 автобусів - дуже мало!



Звичайно, існують і великі водневі АЗС, але вони дуже дорогі (\$ 5-10 млн.), або будуються поряд з підприємством по виробленню водню, або мають величезне сховище, що вимагає складного, масштабного, і знову-таки дорогого, будівництва.

Нарешті, третє - вага і габарити. Водневий автомобіль Toyota Mirai при довжині 4,9 м важить 1 850 кг і вміщає 4-х людей плюс багажник на 361 л. Як бачимо, водневий автомобіль страждає також, як електрокар: він важкий і не дуже просторий. Зайва вага (+ 200-300 кг в порівнянні зі схожою ДВЗ-моделлю) обумовлює складна конструкція: наявність паливних осередків, додаткової батареї, електричного перетворювача. Причина невеликого внутрішнього обсягу криється в масивних балонах для водню. У випадку з електрокаром в усьому винна АКБ, однак хоч конструкція виявляється в рази простіше.

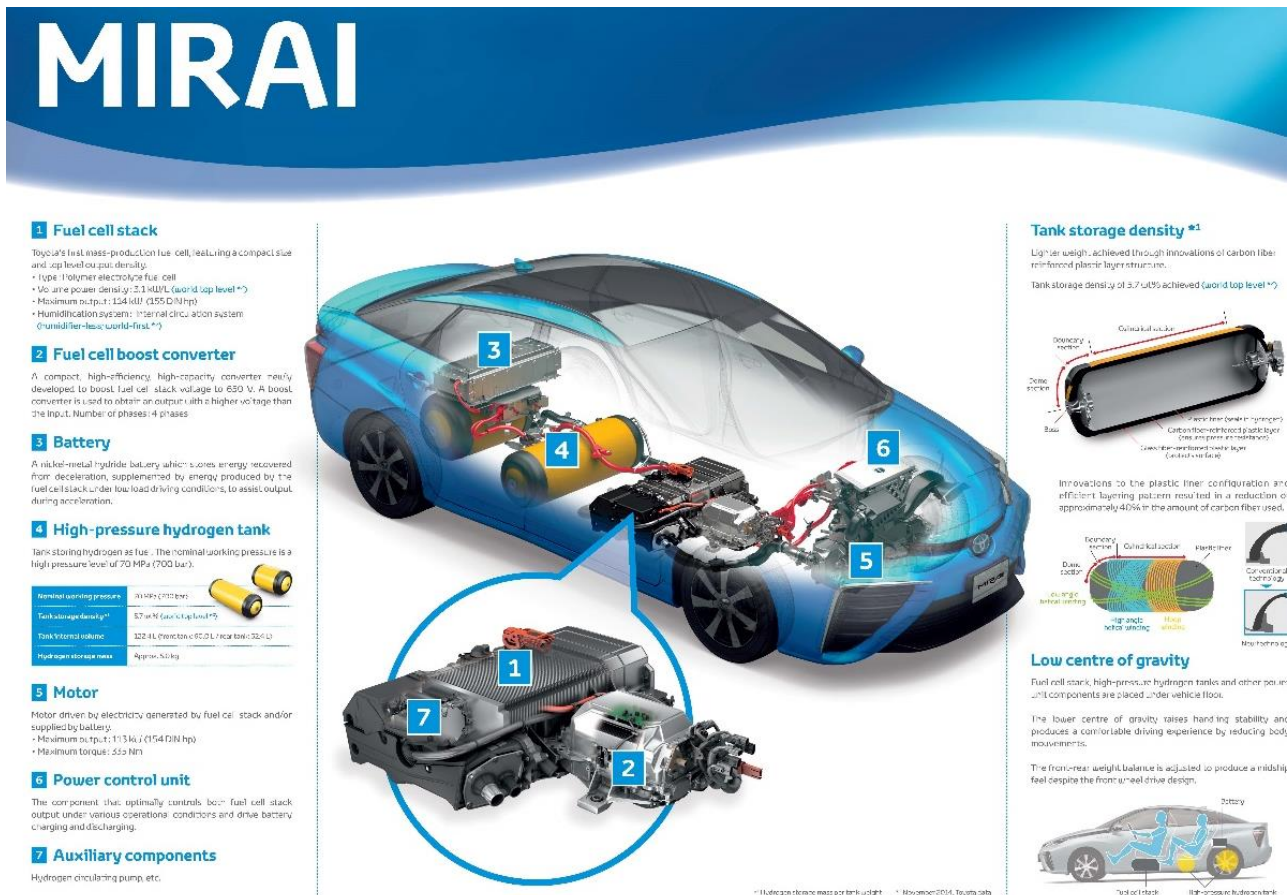


Рисунок 4 – Інфографіка Toyota Mirai [13]

В цьому винна не модель Toyota Mirai, а взагалі клас водневих автомобілів. Занадто багато питань слід вирішити: де брати водень «недорого»? Як побудувати мережу АЗС? Що робити з деградацією паливних осередків? Чи можна зменшити ціну авто?

І все це було затіяно лише для того, щоб зробити можливим швидко «заправку» автомобіля - мабуть, головну проблему сучасного електрокара.

Як тільки з'являться можливості швидко заряджати електрокар - в цей момент необхідність в водневих автомобілях пропаде. І на вирішення всіх питань, пов'язаних зі світом водневих авто, може піти навіть більше часу і ресурсів, ніж на поширення надшвидких зарядних станцій для електрокарів, тим більше, що перша така станція вже з'явилася в США, і а в 2018 році вони почнуть активно відкриватися в США і Європі.

### Фактори, що стримують впровадження водневих технологій.

Відсутність водневої інфраструктури (частково цю проблему можна вирішити зокрема пристроєм домашніх заправок при приватних житлових будинках). Недосконалі

технології зберігання водню. Відсутність стандартів безпеки, зберігання, транспортування, застосування і т. д .

Поширені сучасні способи безпечного зберігання водню вимагають більшого обсягу паливних баків, ніж для бензину. Тому в розроблених на сьогоднішній день автомобілях заміна палива на водень призводить до значного зменшення обсягу багажника [19]. Можливо в майбутньому ця проблема буде подолана, але швидше за все за рахунок деякого збільшення габаритів легкових авто. Для інших класів автомобілів (автобусів, вантажних автомобілів, різноманітних спеціальних автомашин) проблема збільшення габаритів транспортного засобу не настільки гостра. Зокрема на автобусах паливні елементи можуть розміщуватися на даху кузова, подібно до того як це робиться наприклад з тролейбусним електроустаткуванням.

**Висновки.** Впровадження та застосування водневих технологій на автомобільному транспорті, ще потребують додатково часу на вирішення деяких проблем, що перелічені вище.

### Список літературних джерел

1. Колесніков В. О., Нестеров А. О., Глюзицький О. О. Застосування можливостей обчислювального матеріалознавства та ІТ технологій для розробки автомобільних деталей // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця, с.6-12.
2. Колесніков В.О., Глюзицький О.О. Застосування можливостей нових технологій та прикладного матеріалознавства для впровадження автомобільних матеріалів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця, с.49-57.
3. Павлова Ю. В., Рулевська Т. Ф., Колесніков В. О. Застосування адитивних технологій в автомобільній галузі // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. – С. 97 -102.
4. Прохорова Т. В., Перчемлі І. Ф., Колесніков В. О. Матеріали та технології в автомобільній промисловості // Матеріали V-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 13-14 квітня 2017 р., м. Вінниця. – С.105 -112.
5. Балицький О.І., Еліаш Я., Колесніков В.О., Іваськевич Л.М., Мочульський В.М., Гребенюк С.О., Глюзицький О.О. Дослідження матеріалів для розробки гібридних автомобілів // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту", 14-15 квітня 2016 р., м. Вінниця. – С. 28-38. Режим доступу: <http://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2016.pdf> .
6. Колесников В.А., Калинин А.В., Балицкий А.И., Хмель Я. Необходимость учета влияния водорода на износостойкость материалов в тормозных парах трения автомобилей // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля // Вид-во СХУ ім. В.Даля, 2009. – № 11(141). – Частина 1. – С.62 - 66.
7. Балицький О. І., Душар І. Я., Колесніков В.О., Мельніков С.Д. Водневостійка сталь. Патент на корисну модель № України, МПК С22С 38/50. Заявка № u 2009 08857; Заявлено 25.08.2009. Опубліковано 10.02.2010. Бюл.№ 3, 2010 - 4 с.
8. Колесников В. А., Балицкий А. И. Повышение водородной стойкости холоднодеформированных высокоазотистых сталей – как резерв ресурсосбережения материалов // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. наук. праць. – Луганськ: Видавництво СХУ.- 2011. – С. 81 – 87.
9. Балицький О. О., Колесніков В. О., Еліаш Я., М. Р. Гаврилюк Особливості руйнування наводнених високо азотних марганцевих сталей в умовах тертя кочення // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2014, Том 50. – № 4. – С. 110 – 116.

10. Курьлев В. О., Тупельняк О. Л. Колесников В. А. Возможности использования водорода как топлива для автомобилей // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції "Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД 20 травня 2011 р. – С. 104 - 107.

11. Balitskii A., Kolesnikov V., Chmiel J. The influence of microstructure and hydrogen – containing environments on the intensity of cast iron and steel damage by sliding friction. Part 1. Construction of a generalized model of surface layer friction of graphitized steel and cast-iron objects // Problemy eksploatacji.-4 (67)/2007.-s.17-29.

12. Balitskii A., Kolesnikov V., Chmiel J. The influence of microstructure and hydrogen – containing environments on the intensity of cast iron and steel damage by sliding friction. Part 2. The generalized scheme of the steels and grey-iron behaviour during sliding friction // Problemy eksploatacji.- 3 (70)/2008.-s.91-102.

13. Toyota перейде на водневу технологію. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://hronika.info/avto/270378-toyota-pereydet-na-vodorodnuyu-tehnologiyu.html>.

14. В США випробували "паливо майбутнього" - водень і нанопорошки. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.yerkramas.org/article/127501/video-armyane-iz-ssha-ispytali-toplivo-budushhego---vodorod-i-nanoporoshki?utm\\_source=vsluh.net](http://www.yerkramas.org/article/127501/video-armyane-iz-ssha-ispytali-toplivo-budushhego---vodorod-i-nanoporoshki?utm_source=vsluh.net).

15. Водневий спорткар від BMW заряджається за 5 хвилин. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://hronika.info/avto/67613-vodorodnyy-sportkar-ot-bmw-zaryazhaetsya-za-5-minut.html>.

16. Мацкерле Ю. Водород и возможности его применения в автомобиле // Современный экономичный автомобиль = Automobil s lepší účinností / Пер. с чешск. В. Б. Иванова; Под ред. А.Р. Бенедиктова. — М.: Машиностроение, 1987. — С. 273 - 282. — 320 с.

17. Моделирование утечки топлива. Сравнение водорода с бензином. Университет Майами, 2001. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://evworld.com/library/swainh2vgasVideo.pdf>.

18. Чи можуть водневі автомобілі скласти конкуренцію електромобілю? [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://e-move.com.ua/mogut-li-vodorodnye-avtomobili-sostavit-konkurenciyu-elektromobilyam>.

19. 7. Воднева казка. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://ru.wikipedia.org>

**Бувалець Микола Юрійович** – магістрант кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ

**Рулевська Ірина Федорівна** – магістрант кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ

**Колесніков Валерій Олександрович** – к.т.н., доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти ДЗ "Луганський національний університет ім. Тараса Шевченка", м. Старобільськ