

## ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

УДК 661.931

### ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЮ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

*Гуцаленко Олександр Володимирович к.т.н., доцент*

*Василенко Тетяна Сергіївна студентка*

*Вінницький національний аграрний університет*

*Gutsalenco O.*

*Vasilenco T.*

*Vinnytsya national agrarian university*

*Анотація:* у статті розглянуто актуальність застосування водню як альтернативного джерела енергії для двигунів внутрішнього згоряння. Висвітлено історичні аспекти розвитку та впровадження водню для різноманітних засобів пересування. Дана характеристика водню як перспективного виду палива.

*Ключові слова:* водень, енергія, паливо, автомобільний двигун.

#### *Постановка проблеми*

Основним паливом для двигунів внутрішнього згоряння є бензин, газ і дизельне паливо.

Але, запаси невідновлюваного енергоносія – нафти – обмежені та в світі назріла складна екологічна ситуація, яка здебільшого зумовлена викидами у атмосферу відпрацьованих у двигунах газів. Отже, виникла необхідність розробити нові види палива, які є екологічно чистими і безпечними для довкілля і здоров'я людини.

#### *Аналіз останніх досліджень*

На сьогоднішній день у багатьох країнах світу прийняті жорсткі вимоги до екологізації автотранспорту.

Тільки один автомобіль щорічно викидає в атмосферу разом з відпрацьованими газами приблизно 800 кг угарного газу, 40 кг оксидів азоту й майже 200 кг різних вуглеводнів. При цьому поглинає з атмосфери в середньому 4 т кисню. [1]

Але, автомобільний двигун може працювати і на інших видах палива, наприклад, на рослинній олії, спирті, водні, сирій нафти, мазуті і навіть воді.

Своєрідні фізико-хімічні властивості водню завжди привертала увагу вчених в області будування двигунів. Головною перевагою цих властивостей для двигунів внутрішнього згоряння є екологічна чистота робочого процесу. Відомий науково-технічний досвід використання водню в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння показує, що водень сумісний з існуючою базовою конструкцією поршневого двигуна внутрішнього згоряння. При цьому водень кардинально покращує екологічну експлуатаційну характеристику і має широку сировинну базу. [2]

Метою даної роботи є ознайомлення з можливостями використання водню, як альтернативного джерела енергії для двигунів внутрішнього згоряння.

### *Основна частина*

В кінці 70-х років минулого століття дослідники розвинених країн прийшли до висновку, що заміником нафти та її похідних може стати водень. Роботи із створення двигунів, що працюють на водневому паливі, велися в США, Німеччині, Японії і СРСР.

Можливість використання водню як моторнію паливо розглядалася ще на самому початку XIX століття. Тоді франко-швейцарський винахідник де Риваз побудував перший прототип такого двигуна і навіть встановив його на праобраз автомобіля. Проте поступово про цю технологію забули і згадали лише в сучасні часи, коли інженери активно зайнялися пошуком альтернативних джерел енергії. В результаті екологічний бум привів до створення різних водневих машин, які відрізняються як по конструкції, так і за своїми характеристиками.

У 1841 р. в Англії був виданий патент на двигун, що працює на суміші водню з киснем. В 1852 р. у Мюнхені (Німеччина) був побудований двигун внутрішнього згорання, в якому суміш водню з повітрям стискалася насосом до 2...8 Бар і запалювалась електричною іскрою. У 1923 р. Р.Н. Рікардо проводив дослідження впливу складу суміші водень-повітря на детонацію двигуна, працюючого на водні. У 1928 р. двигуни внутрішнього згорання компанії «Цепелін», що працювали на водні, використовувалися для дирижаблів. [3]

У 1935 році Сороко-Новицький В.І. та Куренин А.К. опублікували науково-дослідний звіт «Про використання можливості роботи двигуна на водні», в основі якого була робота, виконана в Московському механіко-машинобудівному інституті імені М.В.Ломоносова. У цій роботі досліджувався вплив додавання водню до бензину на двигуні ЗІС-5. [4]

Проте практичне застосування водню як моторного палива почалося в 1941 році. У Велику Вітчизняну війну в блокадному Ленінграді технік-лейтенант Шелищ Б.І. запропонував використовувати водень, «відпрацьований» в аеростатах, як моторне паливо для двигунів автомобіля ГАЗ-АА. [5]

В бувшому СРСР на водневій енергетиці зосередили увагу на початку 70-х років. Так у березні 1975 р. у Мінську відбулося перша в СРСР нарада з проблем водневої енергетики. У травні 1975 р. при відділенні фізико-технічних проблем енергетики АН СРСР була організована робоча група по водневій енергетиці на чолі з академіком І.А. Стириковичем. [1]

Перші Всесвітні конференції по водневій енергетиці відбулися: 1976 р. – в Майамі-Біч (США), 1978 р. – в Цюриху (Швейцарія), 1980 р. – в Токіо (Японія) і 1982 р. – в СРСР.

Паливна криза 70-х років змусила автомобільні компанії по-новому поглянути на альтернативні види палива. Тоді і виник інтерес до водню, запаси якого на Землі величезні (його можна отримувати з води). Однак незабаром криза минула, нафтопроводи запрацювали на повну потужність, і водневі дослідження були припинені. Але пройшло всього 30 років, і ці дослідження знову стали актуальними, особливо враховуючи сучасний екологічний настрій.

Перехід транспорту, промисловості, побуту на спалювання водню - це шлях до радикального вирішення проблеми охорони повітряного басейну від забруднення оксидами вуглецю, азоту, сірки, вуглеводнями.

Перехід на водневу технологію та використання води в якості єдиного джерела сировини для отримання водню не може змінити не тільки водного балансу планети, але і водного балансу окремих її регіонів. Так, річна потреба енергетики такої високоіндустріальної країни, як Німеччина, може бути забезпечена за рахунок водню, отриманого з

такої кількості води, яка відповідає 1,5% середнього стоку річки Рейн. Відзначимо попутно, що на наших очах стає реальною одна з геніальних здогадок великого фантаста Жуля Верна, який вустами героя роману «Таємничий острів» (гл. XVII) заявляє: «Вода - це вугілля майбутніх століть». [3]

У порівнянні з іншими видами автомобільних палив перевагами водню в чистому вигляді є:

1. висока теплота згорання (28620 ккал/кг);
2. добра займистість воднево-повітряної суміші в широкому діапазоні температур, що забезпечує добрі пускові властивості двигуна при будь-яких температурах атмосферного повітря;
3. нешкідливість відпрацьованих газів;
4. висока антидетонаційна стійкість, допускає роботу при ступені стиснення до 14,0 [6];
5. висока швидкість згорання, для стехіометричної воднево-повітряної суміші вона в 4 рази більше, ніж для бензино-повітряної, що забезпечує кращу повноту згорання водню і визначає більш високий термічний ККД (в середньому на 20...25 %) [6];
6. хороша займистість в широкому діапазоні сумішей з повітрям [6];
7. робить можливим здійснення якісного регулювання сумішоутворення в двигуні шляхом зміни кількості подаваної суміші певного складу;
8. при застосуванні водню можна значною мірою відмовитися від дроселювання потоку повітря на впуску і тим самим збільшити термічний ККД двигуна на режимах часткових навантажень.

Можна виділити такі перспективні напрямки розробок водневих двигунів:

1. Двигун розподіленого уприскування (Оклахомський університет, США; фірма BMW, Німеччина та ін). Це переобладнаний звичайний двигун, потужність якого при переході на водень дещо підвищилася. (Рис. 1)

2. Стірлінг-двигун зовнішнього згорання (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). У кожному циліндрі розташований один поршень, верхня поверхня якого виконує роль робочого поршня, а нижня працює як насос для наступного циліндра. Він трохи важчий і значно дорожче через ускладнену конструкцію аналогічного двигуна внутрішнього згорання (наприклад, дизеля). Двигун абсолютно нешкідливий (дуже низька токсичність) і практично безшумний, дозволяє використання різних палив (багатопаливний).

3. Електродвигун на паливних елементах (концерн Ford, Daimler-Chrysler, Opel, MAN, Mazda, Honda і ін). Паливні батареї (електрохімічний генератор) мають високу вартість і потребують вирішення деяких питань експлуатації (у тому числі при низьких температурах).

Здавалося б, створити водневий автомобіль простіше простого. Беремо звичайну машину, замінюємо паливний бак на газовий балон і пускаємо по трубках до циліндрів двигуна водень замість бензину. Якщо усе піде за планом, то з випускних труб вийде не отруйний вихлоп, а чиста вода. Ще точніше - водяна пара. Адже окислення водню киснем відбувається по усій відомій формулі  $2H_2+O_2=2H_2O$ .

Дослідниками з'ясовано, що найбільш повно специфічним особливостям водню як

моторного палива відповідає швидкохідний двигун з неподіленою камерою згоряння і внутрішнім сумішоутворенням. Максимальні температури продуктів згоряння водню в циліндрі не перевищують аналогічних температур для продуктів згоряння бензину, у той же час максимальний тиск продуктів згоряння і середнє індикаторне тиск на 25% нижче, ніж у двигуна на бензині.



*Рис. 1. Переобладнання класичної компоновки автомобіля водневим двигуном*

Такий двигун може працювати при повністю відкритому дроселі у всьому діапазоні робочих навантажень, причому його ефективна потужність може бути змінена (при холостому ході і до повного навантаження) за рахунок регульованої подачі водню. Має порівняно високі значення індикаторного ККД. При ступені стиснення  $\varepsilon = 5,45$  і числі обертів двигуна  $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$  максимальний індикаторний ККД становив 37,5 % при середньому індикаторному тиску 0,42 МПа і коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha = 2$ , в той час як на бензині - 32% при  $\alpha = 1,07 \dots 1,15$ . [6]

Теплотворна здатність водню складає 142 МДж/кг і за цим показником він є в 3 рази ефективнішим за бензин. Проте водень в чистому вигляді практично не зустрічається на нашій планеті, а отже його треба добувати. Основним джерелом сировини для водню є вода, запаси якої на Землі практично необмежені (хоча водень також отримують як супутній продукт в ряді хімічних виробництв, металургійних процесів тощо). Добутий газоподібний водень треба зберігати, транспортувати та спалювати, ефективно перетворюючи та використовуючи виділену енергію. Єдиним продуктом спалювання водню є вода, а отже він є абсолютно "екологічно-толерантним" паливом. Його використання не буде викликати різного роду парникових ефектів, які ми маємо при спалюванні вугілля чи вуглеводнів. І це в свою чергу повинно допомогти вирішити серйозні екологічні проблеми, зокрема, і такі глобальні як потепління клімату на планеті. Ці дві базові переваги водню як палива унаочнені у вигляді діаграм. (Рис. 2).

Схильність воднево-повітряних сумішей до детонації істотним чином залежить від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  в ній. Гранична ступінь стиснення знижується із зменшенням  $\alpha$  і при стехіометричному складі не перевищує 4,6, що відповідає октанового числа палива 42, а при  $\alpha = 3$  досягає 9,4 (октанове число 114)

Американські дослідники Університету штату Оклахома пристосували для водню класичний бензиновий автомобільний двигун. Виявилось, що при прямому упорскуванні

водню в циліндри - як у дизельних двигунах - відпадає потреба в випередженні запалювання. Як показав аналіз вихлопних газів, оксиди сірки та вуглецю в них взагалі відсутні, а оксиди азоту стримується лише в незначних кількостях.

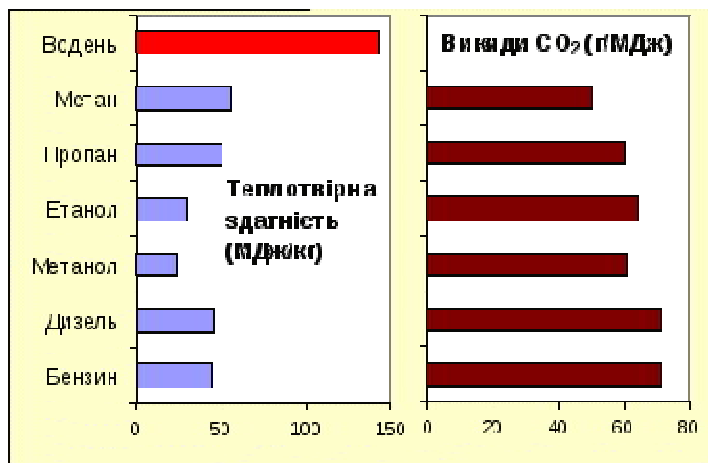


Рис. 2. Діаграма базових переваг водню як палива

Однак широкому застосуванню водню як автомобільного палива перешкоджає чимало проблем, і одна з них - паливні баки. На 10 кг водню автомобіль може проїхати стільки ж, скільки на 30 кг бензину, але таку кількість газоподібного водню займає обсяг 8000 л, а щоб зберігати його потрібно міцний резервуар масою 1500 кг. Це наштовхнуло конструкторів на думку використати зріджений водень; тоді ті ж 10 кг водню поміщаються в балоні масою 80 кг і ємністю 160 л. Але щоб мати водень в зрідженому стані, потрібно підтримувати в балоні температуру -2530 С°. Застосовувати сосуди Дьюара було б занадто дорого. Можливо, конструкторам вдасться використовувати якісь варіанти широко застосовуються в даний час резервуарів для зберігання рідкого палива, у яких добові втрати на випаровування не перевищують 1,5%. Так, в експериментальному автомобілі «Волга» змонтований криогенний водневий бак загальною масою 140 кг. Фахівці знайшли і інше рішення: бак можна виготовити з гідридів металів сплавів магнію, марганцю, титану і заліза, які володіють тим перевагою, що поглинають частину яка випаровується водню, а при нагріванні (хоча б вихлопними газами) знову виділяють його. Маса водневого бака з гідридів металів перевищує 150 кг.

Нове паливо вже випробувано на практиці. Успішно пройшов випробування автомобіль «Жигулі» з комбінованим двигуном на бензині і водні. П.Д. двигуна зависочів на чверть, витрата бензину зменшився на третину, а вміст шкідливих речовин у вихлопних газах знизилася до мінімуму. Великі надії покладаються і на електромобілі, забезпечені воднево-кислотними топ зливними системами.

На думку багатьох фахівців, водневий двигун навряд чи знайде застосування в легкових автомобілях, з міркувань безпеки, але він може стати в нагоді для громадського транспорту.

Великий інтерес до водневого палива виявляють і авіаконструктори. У США ще в 1957р. дослідна група Національного управління проводить випробування двомоторного літака на водневому паливі. У 1973р. НАСА доручило фірмі «Локхід» пристосувати для водневого палива два серійних бойових літака (С-141 і «Старфайтер»). Фірма «Боїнг»

розробила варіант найбільшого літака «Джамбо-Джет» на водневому палеві.

Є ще одна важлива сполука водню - це перекису водню, яка застосовується для двигунів підводних човнів, ракетних двигунів, у тому числі і таких, які можуть поміститися в ранці за спиною чоло століття.

Двигуни внутрішнього згоряння на водні з початком подачі водню в циліндр в кінці такту стиснення і запалюванням з допомогою свічки (запалювання виключає можливість виникнення детонації) можуть працювати при високих ступенях стиснення. У двигунах, що працюють за цим принципом, подачу водню в циліндр слід організовувати таким чином, щоб його струмінь потрапляв на електроди свічки запалювання. Це можна здійснити подачею водню через отвір в самій свічці запалювання або подачею його в потік спрямованого руху повітряного заряду, створеного спеціальною формою впускного трубопроводу або виконанням в поршні камери згоряння спеціальної форми.

Деякі каталізатори (етилнітрат, амлінітри та ін..) одночасно з підвищенням швидкості горіння, знижують температуру займання горючої суміші і зменшують період затримки займання, що саме необхідно для двигуна, що працює на водні.

Одним з напрямків створення в циліндрі ДВЗ умов, що забезпечують надійне запалення воднево-повітряної суміші, буде одночасне збільшення температури і тиску в кінці такту стиснення. Це можна 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 такі основні конструктивні зміни бензинового двигуна:

1. збільшення робочого об'єму циліндрів (для отримання тієї ж потужності);
2. збільшення ступеня стиснення до допустимої для водню;
3. запобігання можливості передчасного займання, зворотних спалахів, детонації, враховуючи велику швидкість поширення полум'я воднево-повітряної суміші;
4. зміна (зменшення) кута випередження запалювання з урахуванням повного згоряння суміші у верхній мертвій точці;
5. зміна системи живлення, зменшення аеродинамічного опору з урахуванням можливості збільшення коефіцієнта надлишку повітря при роботі на водні;
6. здійснення заходів щодо запобігання утворення оксидів азоту у відпрацьованих газах при використанні атмосферного повітря в якості окислювача та інші заходи.

В новій перспективній справі безліч варіантів, але всі вони направлені до однієї проблеми – в якому агрегатному стані заправляти водень у паливний бак.

Для газоподібного водню потрібні досить-таки об'ємні ємності, до того ж його здатність проникати через незначні нещільності, а також небезпечна концентрація в повітрі в об'ємному співвідношенні 2 : 1 (так званий «гримучий газ») ускладнює розвиток даного напрямку. Незважаючи на простоту і надійність балонні системи зберігання водню можна вважати доцільним лише при використанні водню до якості присадки до бензину, так як існуючі балони мало придатні в силу великої ваги (найлегші з існуючих балонів мають питому вагу близько 33 кг/кг водню).

Не краще і з розрідженим воднем, який потрібно зберігати при температурі - 253°C. Кріогенні системи багато складніше і дорожче балонних, при зріджуванні водню потрібно

більш складне і дороге устаткування і більш високі енерговитрати.

Відомий спосіб зберігання – з використанням гідридів металів і сплавів, здатних «розмістити» між своїми атомами атоми водню. Ємність такого «сховища» (при рівному обсязі пристрою) вп'ятеро вище, ніж у балона зі стисненим газом і майже вдвічі – зі скрапленим. Найкращою основою для гідриду є титан. Гідридні наповнювачі досить складні у виготовленні, вони не складаються з цільного металу, а більше нагадують губку з безліччю каналів - для швидкого поглинання і виділення водню. Як вже було зазначено раніше, останнє відбувається при нагріванні гідридів.

Хоча гідриди безпечніше інших способів зберігання водню – для автомобільного транспорту ємність і у них замала, а вага і складність пристрою, навпаки, великі. До того ж гідридні системи мало пристосовані до роботи з змінними витратами значної теплової інерції реакторів і тому повинні мати в своєму складі ресивер або комбінуватися з іншим джерелом водню.

Незалежно від способу зберігання водневого палива на автомобілі, більшість існуючих водневих систем живлення забезпечують подавання газоподібного водню у впускний колектор двигуна. Схеми зовнішнього сумішоутворення базуються на системах безперервного уприскування палива, в яких центральний електричний дозуючий клапан і розподільник водню направляють газоподібний водень в окремі впускні тракти двигуна.

У стадії розробки перебуває спосіб підготовки суміші, заснований на послідовному й імпульсному впорскуванні водню у впускний колектор.

Запобігання зворотних спалахів у впускному колекторі здійснюється шляхом використання збіднених сумішей або упорскуванням в колектор додаткових порцій води.

### **Висновки**

Відомо, що міра досконалості будь-якого двигуна визначається тим, наскільки його реальний цикл відповідає теоретичному. Для ДВС з іскровим запаленням, що працюють по циклу з підведенням тепла при постійному об'ємі, ця відповідність визначається швидкістю згорання, оскільки теоретичний цикл припускає миттєве підведення тепла, тобто нескінченну швидкість згорання. У цьому плані реальний цикл двигуна при роботі на водні набагато ближче до теоретичного, чим при роботі на будь-якому вуглеводневому паливі.

На підставі проведеного аналізу з'ясовано позитивні і негативні якості водню, як джерела живлення двигуна внутрішнього згорання. До негативних можна віднести передчасність спалаху, різкі коливання тиску в циліндрі при згоранні, жорсткий хід і детонацію. Також те, що в світі досі не існує затвердженої моделі водневого двигуна внутрішнього згорання. Але поряд з недоліками існує ряд переваг. Це екологічність цього виду палива та актуальність розвитку, дослідження і впровадження такого джерела живлення у двигуни внутрішнього згорання.

### **Список літератури**

1. Емельянов В.Е. Улицам – воздух без свинца. / В.Е. Емельянов. – М: «Нефть России», 1996.- 95 с.
2. [http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/va2000\\_2/pages/14/14.htm](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/va2000_2/pages/14/14.htm).
3. Долматовский Ю.А. Автомобиль за 100 лет. – М.: Знание, 1986. – 235 с.
4. Сороко-Новицкий В.И., Куренин А.К. Об использовании возможности работы двигателя на водороде: Отчет о НИР /МММИ им. М.В. Ломоносова. -М., 1935. 87 с.
5. Раменский А.Ю. Исследование рабочих процессов автомобильного двигателя на бензино-

водородных топливных композициях. Кандидатская диссертация. 1982 г., Москва.

6. Варшавский И.Л., Мищенко А.И. Анализ работы поршневого двигателя на водороде. Известия вузов № 10. – М.: Машиностроение, 1977.

### References

1. Yemelyanov V.E. Ulitsam – vozdux bez svenca. / V.E. Yemelyanov. – M: «Nefty Rosii», 1996.- 95 c.
2. [http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/va2000\\_2/pages/14/14.htm](http://elib.altstu.ru/elib/books/Files/va2000_2/pages/14/14.htm).
3. Dolmatovski Y.A. Avtomobil za 100 let. – M.: Znaniye, 1986. – 235 c.
4. Soroko-Novickiy V.I., Kurenin A.K. Ob ispolzovanii vozmozhnosti rabotu dvigatelya na vodorode: Otchet o NIR /ММММИ im. M.V. Lomonosova. -М., 1935. 87 с.
5. Ramenskiy A.Yu. Issledovaniye rabochicx procesov avtomobilnogo dvigatelya na btznino-vodorodnix toplivnix kompoziciyax. Kandidatskaya dissertaciya. 1982 г., Moskva.
6. Varshavskiy I.L., Mishenko A.I. Analiz rabotu porshnevoogo dvigatelya na vodorode. Izvestiya vuzov № 10. – М.: mashinostroueniye, 1977.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

**Аннотация:** в статье рассмотрены актуальность применения водорода в качестве альтернативного источника энергии для двигателей внутреннего сгорания. Освещены исторические аспекты развития и внедрения водорода для различных средств передвижения. Данная характеристика водорода как перспективного вида топлива.

**Ключевые слова:** водород, энергия, топливо, автомобильный двигатель.

## PERSPECTIVES APPLICATION OF ALTERNATIVE HYDROGEN AS OF THE SOURCE OF ENERGY

**Summary:** in the article rassmotreny relevance of application of hydrogen AS of the source of energy alternative for the engine combustion vnutrenneho. Osvescheny Historic aspects of development and vnedrenyya for hydrogen DIFFERENT funds of movement. Dannaya characteristic hydrogen kak perspective available fuel.

**Keywords:** hydrogen, energy, fuel, for car engines.