

УДК 62-622

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВОДНЮ ЯК МОТОРНОГО ПАЛИВА ПРИ ВИКОРИСТАННІ В АВТОМОБІЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБАХ

Н.Г.Калмикова¹, С.В.Бойченко², І.О.Ландарь³,
Національний авіаційний університет, просп. Любомира
Гузара, 1. м. Київ, 03058, Україна, тел.: 0972192125,
e-mail: kalmykova82@ukr.net

У роботі наведено фізико-хімічні та експлуатаційні характеристики водню як моторного палива, модифікації двигунів, що здатні працювати на водневому паливі та аналіз ефективності використання водню з урахуванням конструкції двигуна та особливостей самого палива.

Ключові слова: водень, моторне паливо, ефективність, експлуатаційні характеристики, двигун внутрішнього згорання, двигун Стірлінга, паливні елементи, переваги, недоліки.

EFFICIENCY OF HYDROGEN AS A MOTOR FUEL FOR USE IN VEHICLES

N.G.Kalmykova¹, S.V.Boichenko², I.O.Landar³,
National Aviation University, ave. Lubomir Husar, 1. Kyiv,
Ukraine, 03058

The work presents physico-chemical and operational characteristics of hydrogen as a motor fuel, engine modifications, capable of operating on hydrogen fuel and

analysis of hydrogen efficiency taking into account the design of the engine and the features of the fuel itself.

Keywords: *hydrogen, motor fuel, efficiency, internal combustion engine, Stirling engine, fuel cells, advantages, disadvantages.*

ORCID: ¹0000-0001-5553-5721; ²0000-0002-2489-4980;
³0000-0002-7160-9580.

Сьогодні проблема екологічності палива набула самостійного та позачергового значення у зв'язку з більш жорсткими вимогами до самих палив і продуктів їх згорання. Ці вимоги зазначені у ряді міжнародних документів, на які орієнтована й Україна [1].

Відомо, що паливо для двигунів транспортних засобів є токсичною речовиною, здатною викликати захворювання або відхилення в стані здоров'я людей, що з ним контактують. Забруднення довкілля нафтопродуктами відбувається внаслідок їх випаровування і витоків, викидів в атмосферу продуктів неповного згорання палив під час роботи двигунів [1].

Найбільший тиск на навколишнє середовище спричиняють автомобільні палива (табл. 1) [1].

Таблиця 1. Баланс викидів шкідливих речовин транспортними засобами

№ з/п	Транспортний засіб	Кількість викидів шкідливих речовин, %
1.	Автомобільний	70%
2.	Сільськогосподарський	9,4%
3.	Залізничний	9,2%
4.	Повітряний	7,3%
5.	Водний	4,1%

Наприклад, у Німеччині автотранспорт утворює 85% усіх забруднень повітря окисом вуглецю, 79 % - вуглеводнем та 46 % - окислами азоту. У великих містах США автомобілі утворюють 60-80 % забруднення атмосфери [3].

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 [1].

Одним з найбільш перспективних енергоносіїв в транспортному секторі майбутнього виступає водень [4]: на нього припадає три чверті всієї матерії на планеті, запаси водню невичерпні і постійно поновлюються [4].

Незважаючи на численні спроби використання водню як палива в двигунах внутрішнього згорання, 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 мільйонів доларів США [1].

У той же час ціни на водень будуть неухильно знижуватися у зв'язку із зростанням масштабів його виробництва та із здешевленням електроенергії. Тому водень, що зараз значно дорожчий за бензин, з часом

стане дешевше його [2]. Таким чином, за наявності відповідних економічних механізмів зазначені капітальні витрати могли б окупитися за рахунок економії бензину й зниження екологічної шкоди[1].

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. 2)[1, 5,6, 7].

Таблиця 2. Фізико-хімічні і експлуатаційні характеристики традиційних палив і водню

Показник	Автомобільний бензин	Дизельне паливо (літне)	Стиснутий нафтовий газ	Водень
Густина (20°C), кг/м ³	740 - 760	820-850	150 (тиск 20 МПа)	70(T=20 К)
В'язкість (20°C), мм ² /с	0,5 – 0,7	3,5 – 6,0	-	-
Температура(°C):				
- застигання	до – 60	до – 10	-182	-259
- кипіння	35-200	180-360	-162	-253
- спалаху	-50 - +100°C	до – 40	-	-
- самозаймання	350-500	0 - 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, °C	2060	2100	2020	2180

Крім того, треба брати до уваги різну здатність палива до утворення відкладень і нагарів на деталях паливного обладнання і камери згорання. Відкладення порушують нормальний режим горіння, призводять до зменшення економічності роботи двигуна і підвищення токсичних викидів продуктів неповного згорання. Водень як паливо, в цьому випадку повністю усуває небезпеку утворення СО і вуглеводнів, але в цьому разі зростає емісія оксидів азоту.[1].

Для потреб транспорту водень можна використовувати як шляхом безпосереднього спалювання в двигунах внутрішнього згорання, зовнішнього згорання (двигун Стірлінга), так і застосовувати в паливних елементах [1].

Водень – ідеальне паливо, у якого найвища теплотворна здатність[2]. При згоранні 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. (все на 1 кг.) [3].

Водень, як паливо дозволяє зняти конфлікт енергетики та біосфери, так як у циклі «отримання – згорання» він майже не дає шкідливих для навколишнього середовища сполук. Навпаки, при його отриманні в атмосферу виділяється кисень, а при згоранні утворюється вода [3].

Зауважимо, що в даний час водень отримують головним чином хімічним шляхом з вуглеводневої сировини – нафти та природного газу. В 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) [3] – один з найбільш відомих і добре досліджених методів

добування водню. Він забезпечує одержання чистого продукту (99,6-99,9 %) за один технологічний цикл. Однак процес одержання водню розкладанням води електролізом потребує значних енергетичних затрат [1].

Водень як моторне паливо можна використовувати у газоподібному, зрідженому стані та у вигляді паливних елементів, що працюють на водні.

Автомобільний транспорт, що працює на водневому паливі можна класифікувати за різновидами двигунів:

- Двигун внутрішнього згорання (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 (СО) і вуглеводнів (C_nH_m) зменшується в півтора рази, оксидів нітрогену (N_nO_m) — до п'яти разів) [8]. 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 згорання. Крім того, водень при температурах і тисках, що створюються у двигуні, здатний вступати в реакцію з матеріалами двигуна й мастильними матеріалами. спричиняючи швидке зношування [1].

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 [8].

Водневі двигуни внутрішнього згорання наближені до традиційних поршневих, утім, їх випускають зараз обмеженими дослідними партіями[1]. 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 впускного [1].

- 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) [8]. Він був запропонований шотландцем Р. Стірлінгом та запатентований у 1816 році.

За даними автора [9], найвищі значення ККД були отримані при роботі двигуна Стірлінга саме на водні – 40,25%, в тому числі: на повітрі – 29,4%; на гелії – 35,1%. Це дало можливість зменшити питому масу двигуна на 30%. Проте, в процесі роботи відбувався витік водню з робочих порожнин внаслідок дифузії та через ущільнення, що викликало зниження середнього тиску циклу, а отже, і потужності [9].

Підкреслимо, що використання водню, як палива для двигуна Стірлінга не викликає ускладнення його конструкції і не потребує вирішення проблем по збереженню ефективних показників, що отримують при використанні інших видів палива, незначна витрата мастильних матеріалів, невеликий обсяг технічного обслуговування тощо [9].

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[11].

Використання водню для двигуна «Стірлінга» може визначити одне з найперспективніших напрямів при створенні екологічно-чистого транспортного засобу [9].

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 (при підвищенні 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 в 25 разів порівняно з використанням бензину.

До недоліків відносяться:

- недосконалі технології зберігання (водень має виняткові проникаючі властивості, вимагаючи застосування особливих матеріалів).

- висока собівартість водню;

- висока займистість і вибухонебезпечність водневоповітряної 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 достатньо 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 [10].

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

- Справжній водневий автомобіль — це машина з електродвигуном, який працює від паливного елемента, що знаходиться в автомобілі. 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 сьогоднішній день вдалося створити двигуни з ККД, що перевищує 75% - це вже вдвічі більше, ніж в найкращих двигунах внутрішнього згорання. У міських умовах такі автомобілі отримують перевагу перед автомобілями, що працюють на бензині. Автомобілі на водні швидко заправляються і не потребують тривалої зарядки, а також володіють більш широким запасом ходу при меншій вазі в порівнянні з електромобілями, оснащеними важкими акумуляторними батареями [10].

Використання паливного елемента для живлення електродвигуна в два-три рази ефективніше, ніж використання двигуна внутрішнього згорання. Автомобіль з паливними елементами - це тип електричного транспортного засобу, який використовує паливний елемент замість акумулятора або в 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[7].

Грунтуючись на вищесказаному, можемо зробити висновок, що водень вирішує проблему одержання найефективнішого й «чистого» палива для автотранспорту, проте на шляху використання водню існує чимало технічних перешкод при його зберіганні, транспортуванні та експлуатації.

Ефективність застосування водневого палива справедливо оцінювати у повному циклі, тобто з урахуванням його виробництва, транспортування,

зберігання, експлуатації та з урахуванням екологічності палива [1], а саме:

- Водень, як паливо, дозволяє зняти конфлікт енергетики та біосфери;
- висока питома теплота згоряння;
- ККД при роботі на водні значно перевищує ККД при роботі на бензині;
- легкий запуск водневого двигуна;
- водневе паливо не дає у двигуні вуглеводневих відкладень, продукти згоряння хімічно не агресивні, тому зношення двигуна і витрати оливи в процесі експлуатації помітно знижуються.

Проте, найбільш істотними перешкодами на шляху впровадження водневого палива є:

- недостатньо розвинена інфраструктура заправних станцій;
- недосконалі технології зберігання водню;
- висока собівартість
- фізико-хімічні показники водню (виняткові проникаючі властивості вимагають застосування особливих матеріалів);
- висока займистість і вибухонебезпечність воднево-повітряної суміші;
- інерція споживачів через відсутність стимулювання при переході на альтернативне паливо.

Тому, перехід на альтернативні палива неможливий без широкої державної підтримки, що полягає в стимулюванні їх виробництва і застосування.

Література:

1. Кустовська А.Д., Іванов С. В., Бережний Є. О. *Альтернативні палива.* – К.: НАУ, 2014. – 624 с.

2. Чирков Ю. В. *Занимательно об енергетике. М.: Мол. гвардия, 1981. – 207 с.*
3. Веников В. А., Журавлёв В. Г., Филиппова Т. А. *Энергетика в современном мире. – М.: Знание, 1986. – 192 с.*
4. Інтернет ресурс: https://24tv.ua/timur_chmeruk_tag5480
5. Інтернет ресурс: zakon.rada.gov.ua «Про затвердження Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, суднових та котельних палив».
6. Інтернет ресурс: mash-xxi.info
7. Андрішин М. П., Марчук Я. С., Бойченко С. В. та ін. *Газ природний, палива та оливи: монографія. – Одеса: Астропринт, 2010. – 232 с.*
8. Гуцаленко О. В., Василенко Т. С. *Перспективи застосування водню як альтернативного джерела енергії, Вінницький національний аграрний університет, Серія: Технічні науки. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. 2014. № 1 (84).*
9. Подгорный А. Н., Варшавский И. Л., Приймак А. И., *Водород и энергетика. Киев: Наукова думка, 1984.*
10. Милаева И. И. *Особенности двигателей внутреннего сгорания при работе на водороде. Таверический государственный агротехнологический университет.*
11. Інтернет ресурс:
[sites.google.com>site>yakavoska>articles>stirling](https://sites.google.com/site/yakavoska/articles/stirling)