

УДК 629.3.014

Олександр Юрійович ПОДОЛЯН,
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних
засобів та спеціальної техніки Національної академії Державної
прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,
м. Хмельницький

Олександр Васильович ГЕРАСИМЮК,
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних
засобів та спеціальної техніки Національної академії Державної
прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького,
м. Хмельницький

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВОДНЮ ЯК ПАЛЬНОГО ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІДРОЗДІЛІВ ОХОРОНИ КОРДОНУ

Вирішення питання щодо оцінки перспективності застосування водню як енергоносія для гібридних силових установок транспортних засобів прикордонних підрозділів обумовлює потребу дослідження моторних властивостей цього виду пального.

Ключові слова: водень, транспортні засоби, моторні властивості, гібридна силова установка, паливна економічність, підрозділи охорони кордону.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Постійне зростання вимог до економічних та екологічних властивостей транспортних засо-

© Подолян О. Ю., Герасимюк О. В.

бів з боку суспільства активізує пошук автовиробниками шляхів покращення їх функціональних властивостей. Більшість провідних спеціалістів [1–2] визнають, що оснащення транспортних засобів гібридними силовими установками є перспективним напрямком підвищення їх паливної економічності. При цьому єдиного погляду щодо оптимального виду енергоносія для живлення силових установок досі не існує, оскільки відмінності умов експлуатації різної техніки досить суттєві.

Реалізація функцій оперативно-службової діяльності підрозділів охорони кордону пов'язана з інтенсивним використанням ними транспортних засобів. Саме специфіка їх функціонування в прикордонних підрозділах обумовила актуальність дослідження перспектив використання окремих видів пального для транспортних засобів відомства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Питання, пов'язані з використанням альтернативних видів пального на автотранспорті, активно вивчаються сучасними дослідниками [3–5], проте можливість ефективного функціонування транспортних засобів, які використовують водень як пальне, в умовах прикордонних підрозділів у відомих результатах досліджень не відображені.

Метою статті є аналіз моторних властивостей водню і оцінки перспектив його використання в ролі основного енергоносія для транспортних засобів з гібридними силовими установками в умовах прикордонних підрозділів.

Виклад основного матеріалу дослідження. У [6] було обґрунтовано переваги застосування колісних транспортних засобів з комбінованими (гібридними) силовими установками в оперативно-службовій діяльності прикордонних підрозділів. Однак питання вибору основного енергоносія для забезпечення роботи силової установки вирішено не було. У даній статті пропонується розглянути моторні властивості одного з найбільш перспективних на сьогодні [7] видів пального для двигунів внутрішнього згорання – водню.

Перші спроби використання водню як пального для двигунів внутрішнього згорання робили ще у ХХ столітті. Проте, широкого вико-

ристання результати цих робіт не знайшли. Упровадженню водневих двигунів перешкодили кілька невирішених технічних питань, а саме: складність безпечного зберігання запасу водню на автомобілі, висока вартість виробництва газу, проблеми транспортування і зберігання значних обсягів водню, відсутність мережі заправних пунктів тощо.

Необхідно відмітити, що зазначені проблемні питання мають переважно логістичний характер і безпосередньо з конструкцією силової установки транспортного засобу не пов'язані. Відповідно, в сучасних умовах постійного зростання вартості енергоресурсів, можна прогнозувати їх оперативне вирішення і появу в найближчому майбутньому реальної можливості використання водневих двигунів на транспортних засобах.

З метою забезпечення можливості прийняття обґрунтованого рішення щодо придатності водневих двигунів для використання на транспортних засобах прикордонних підрозділів необхідно проаналізувати в першу чергу моторні властивості водню.

Водень володіє якостями, які суттєво відрізняють його від нафтового пального (див. порівняльну таблицю). Розглянемо кожен з них детально.

Моторні властивості водню у порівнянні з бензином [8]

Властивість	Водень	Бензин
Енергоємність (питома теплота згорання), МДж/кг	120	44
Стехіометрична кількість повітря на 1 кг пального, кг/кг	34,2	14,95
Температура кипіння пального, °С	- 253	~ 150
Коефіцієнт дифузії, см ² /с	0,63	0,08
Межі спалахування (за коефіцієнтом надлишку повітря α)	0,15...10	0,27...1,7
Температура спалахування стехіометричної суміші, °С	600	550
Енергія спалахування, МДж	0,02	0,25
Швидкість поширення фронту полум'я, см/с	~ 270	~ 30
Відстань згасання полум'я, см	0,06	> 0,25

За енергоємністю водень посідає одне з перших місць серед відомих видів пального. Його теплота згорання (120 МДж/кг) майже в три рази більша, ніж у бензину. Відповідно, застосування водню може сприяти підвищенню питомої потужності двигунів внутрішнього згорання. З іншого боку, мале стехіометричне співвідношення водень-повітря (для спалювання 1 моля водню необхідно 2,38 молів повітря, а для 1 моля нафтового пального – близько 50 молів повітря) призводить до малої густини заряду в циліндрах двигуна, що негативно впливає на його (заряду) енергоємність, і як наслідок, призводить до зменшення літрової потужності двигуна. Проте, вищезазначений недолік характерний лише для двигунів з зовнішнім сумішоутворенням, тобто може виявитись при спробі переведення карбюраторного або моноінжекторного двигуна на водень. При внутрішньому сумішоутворенні робочий об'єм циліндра в кінці впуску заповнюється тільки повітрям, а відповідно, за рахунок впорскування необхідної кількості водню в камеру згорання, можна досягти величини енергоємності заряду на 10...12 % вищої, ніж у бензинового двигуна. Отже, використовувати водень більш доцільно у двигунах з внутрішнім сумішоутворенням.

Наступна характеристика, яка суттєво впливає на якість горючої суміші – це температура кипіння. Для водню вона становить – 253 °С, що безперечно виключає можливість утворення в реальних умовах експлуатації рідкої фази в суміші та її розшарування. За цим показником водень перевершує будь-яке вуглеводневе пальне, включно з газоподібними.

Висока швидкість дифузії водню у повітрі (в середньому у 8 разів більша, ніж у вуглеводневих видів пального) сприяє формуванню високоомогенної суміші і забезпечує виконання максимально жорстких вимог до процесів сумішоутворення. Це обумовлює доцільність використання водню саме у двигунах з внутрішнім сумішоутворенням.

Решту властивостей водневого пального необхідно розглядати з точки зору якості воднево-повітряної суміші, а саме: меж спалахування горючої суміші, температури і енергії спалаху, швидкості поширення фронту полум'я, відстані згасання полум'я.

Межі спалахування горючої суміші, при яких можливе їх згорання, оцінюються коефіцієнтом надлишку повітря (α). Для водню $\alpha = 0,15...1,0$; для бензину $\alpha = 0,27...1,7$ (для метану $\alpha = 0,65...2,0$). Більш суттєвим показником при оцінці моторних якостей пального є нижня межа спалахування. Саме за нею визначають ступінь ефективного збіднення суміші та спосіб регулювання режиму роботи двигуна. З наведеного порівняння видно, що воднево-повітряна горюча суміш, навіть за низьких температур, забезпечує якісне регулювання потужності двигуна. Це сприяє високій паливній економічності водневих двигунів у широкому діапазоні навантажень і частот обертання колінчастого вала.

Температура спалаху водню при тиску 0,1 МПа становить 550...650 °С, що дещо вище, ніж у бензину. При цьому необхідно відмітити, що температура спалаху зростає з підвищенням концентрації водню в суміші, але різко зменшується при тиску, меншому за 0,1 МПа.

Енергія спалаху має значення при робочих процесах із запалюванням від іскрового розряду. З порівняльної таблиці видно, що енергія, необхідна для запалювання водню, приблизно в десять разів менша, ніж для вуглеводневого пального. Це суттєво спрощує вимоги до систем запалювання двигунів, а отже, сприяє здешевленню їх конструкції.

Максимальна швидкість поширення фронту полум'я у воднево-повітряній суміші досягається при коефіцієнті надлишку повітря $\alpha = 0,6...0,7$. При цьому швидкість згорання водневої горючої суміші у 8–10 разів вища, ніж бензинової, що позитивно впливає на ефективність робочих процесів двигуна внутрішнього згорання в цілому.

Відстань згасання полум'я на поверхні камери згорання характеризує повноту згорання в шарі суміші, який безпосередньо прилягає до її стінок. Від величини цієї відстані залежить повнота згорання заряду, а відповідно, викиди недоокислених продуктів. Суттєво менша відстань згасання полум'я воднево-повітряної суміші вказує на кращі показники екологічності роботи водневих двигунів, а також на їх високу ефективність.

Висновки та перспективи подальших розвідок у даному напрямку. Результати проведеного аналізу моторних властивостей вод-

ню підтвердили доцільність його використання як пального для гібридних силових установок транспортних засобів. Разом з тим варто реально оцінювати труднощі забезпечення роботи водневих двигунів в умовах прикордонних підрозділів. Вони обумовлені потребою обладнання специфічних сховищ для зберігання запасів водню та розробки низки додаткових заходів щодо підвищення безпечності експлуатації таких транспортних засобів. Необхідність вирішення даних питань визначає напрямок подальших досліджень.

З іншого боку, очікуваний у найближчому майбутньому технологічний прорив у створенні надійних і дешевих водневих паливних елементів може дозволити обійтись взагалі без застосування двигунів внутрішнього згорання у гібридних силових установках транспортних засобів. Це автоматично вирішить останню з вищезазначених проблем і практично нівелює шкідливий вплив автотранспорту на зовнішнє середовище (відсутні викиди надлишкової теплоти) [9], а значить відкриє додаткові перспективи щодо використання водню як енергоносія для гібридних силових установок транспортних засобів прикордонних підрозділів.

Список використаної літератури

1. Барінова Л. Д. Экология и транспорт / Л. Д. Барінова // РАН. Транспорт, наука, техника, управление. – 1997. – № 7. – С. 5–10.
2. Гутаревич Ю. Ф. Защита окружающей среды от вредных выбросов автомобильного транспорта : учеб. пособие / Ю. Ф. Гутаревич, А. Г. Говорун, А. И. Ковалев. – К. : УМК ВО Минвуза УССР, 1989. – 138 с.
3. Луканин В. Н. Оценка влияния транспорта на загрязнение атмосферного воздуха в крупных городах / Луканин В. Н. // РАН. Транспорт, наука, техника, управление, 1997. – № 6. – С. 2–5.
4. Лютко В. А. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. А. Лютко, В. Н. Луканин, А. С. Хачиян. – М. : МАДИ(ТУ), 2000. – 311 с.
5. Златин П. А. Электромобили и гибридные автомобили / П. А. Златин, В. А. Кеменов, И. П. Ксеневиц. – М. : Агроконсалт, 2004. – 296 с.
6. Подолян О. Ю. Перспективи використання транспортних засобів з гібридними силовими установками у процесі оперативно-службової діяльнос-

ті підрозділів охорони державного кордону / О. Ю. Подолян // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : військові та технічні науки / [гол. ред. Олексієнко Б. М.]. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2013. – №1 (59). – С. 285–295.

7. Подгорный А. Н. Водород – топливо будущего / А. Н. Подгорный, И. Л. Варшавский. – К. : Наук. думка, 1998. – 134 с.

8. Мищенко А. И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А. И. Мищенко. – К. : Наук. думка, 1984. – 141 с.

9. Бондаренко Е. В. Оценка экологической опасности автомобиля, работающего на разных видах топлива / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов, М. В. Коротков // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 4. – С. 29–30.

Рецензент – доктор технічних наук, доцент Лисий М. І.

Стаття надійшла до редакції 23.02.2015.

Подолян А. Ю., Герасимюк А. В. Перспективы использования водорода в качестве топлива для транспортных средств подразделений охраны границы

Решение вопроса относительно оценки перспективности использования водорода в качестве энергоносителя для гибридных силовых установок транспортных средств пограничных подразделений обуславливает потребность исследования моторных свойств этого вида топлива.

Ключевые слова: *водород, транспортные средства, моторные свойства, гибридная силовая установка, топливная экономичность, подразделения охраны границы.*

Podolian O. Y., Gerasymyuk O. V. Prospects for the use of hydrogen as a fuel for vehicles departments of the state border

At the present stage of development of the autotechnical provision system of the Border Guard Service has become quite urgent, regarding the question of automobiles selection with high fuel efficiency and environmental friendliness for the border guard units. Best values of these parameters represent automobiles with combined (hybrid) power plants.

Decision regarding border guard units equipment with vehicles having hybrid power plants requires careful study. This is due to the high cost of the

“hybrids” themselves and what concerns creation and establishment of the operating system.

On the other hand, the results of analysis of an automobile operation with a hybrid power plant show that its efficiency directly depends on the type of fuel. Thus, today there is no consensus among experts on the best type of energy for vehicles, which are used in order to provide realization of border protection units’ tasks. Therefore current situation determines the relevance of this article.

This publication deals with motor properties of hydrogen as one of the options for alternative fuel vehicles with hybrid power plants based on reciprocating internal combustion engine.

The survey results indicate significant advantages over other hydrogen fuels, in particular, in terms of energy content (specific heat of combustion), boiling point, diffusion coefficient and so on. After comparing hydrogen-air mixture with gasoline-air mixture, the first one is considered to have more advantages such as lower limit of fire and flame extinction distance, faster flame front propagation, that requires less energy to fire. All of them confirm the availability of using hydrogen as the main energy source for hybrid power plants based on reciprocating internal combustion engines (excluding engines with external fuel mixture formation).

The results obtained are intended for use in evaluating the effectiveness of the vehicles with hybrid power plants by border guard units.

Keywords: *hydrogen, vehicles, motor properties, hybrid power plant, fuel economy, border guard units.*