

Список литературы: 1. *Касимов А.М.* Управление промышленными отходами. В 2-х томах, т.2. Технологии обезвреживания и утилизации промышленных отходов. Учебное пособие [Текст] / А.М. Касимов .-Х.: РИП «Оригинал»,2000. – 308 с. 2. *Касимов А.М., Александров А.Н.* Скоростное и глубокое выделение ванадия с использованием высокотемпературных газожидкостных струй [Текст] / А.М. Касимов, А.Н. Александров // Редкие металлы – взгляд в будущее. Научное издание. Сб. научных тр. ИГН НАНУ, -К.: 2001. – с. 57 – 58. 3. *Чепелевецкий М.Л.* Скрытые периоды кристаллизации и уравнение образования зародышей кристаллов [Текст] / М.Л. Чепелевецкий //ЖФХ, 1939 т.13 вып. 5 С.561. 4. *Фольмер М., Горбунов К. М.* Кинетика образования новой фазы [Текст] / М Фольмер., К. М. Горбунов – М Наука, 1986. – 204с. 5. *Френкель Я.И.* Кинетическая теория жидкостей [Текст] / Я.И. Френкель – М.: АН СССР. 1975. -592 с. 6. *Малин Дж.У.* Кристаллизация. [Текст] Пер. с англ. под ред. Вигдоровича В.Н. – М.: Металлургия. 1965. -342 с. 7. *Хавский Е.В.* Кристаллические вещества и продукты. Методы оценки и совершенствования свойств [Текст] / Е.В. Хавский – М.: Химия. 1986. – 223 с. 8. *Дьюлаи З.* Образование зародышей кристаллов в водных растворах. Рост кристаллов. Т.3. [Текст] / З. Дьюлаи– М.: АН СССР. 1981. – С.98-104. 9. *Франк-Каменецкий Д.А.* Диффузия и теплоотдача в химической кинетике. [Текст] / Д.А. Франк-Каменецкий – М.: Наука. 1967. – 338 с. 10. *Тимофеева В. А.* Рост кристаллов из растворов-расплавов [Текст] / В. А. Тимофеева – М.: Наука. 1978. – 267 с. 11. *Кафаров В.В.* Системный анализ процессов химической технологии. Процессы массовой кристаллизации из растворов и газовой фазы. [Текст] // Дорохов И.Н., Кольцова Э.М.; под общ. ред. В.В. Кафарова – М.: Наука. 1983. - 367 с. 12. *Виля. В.* Теория вихрей. [Текст] / В. Виля. –М.-Л.: ОНТИ.1935. – 182 с. 13. *Касимов А.М.* Технология утилизации ванадийсодержащих отходов ЗТМК [Текст] //Тез. докл. конференции с международным участием «Сотрудничество для решения проблемы отходов» – Х.: ИнжЭК. 2005 . – С. 195-199. 14. *Касимов А.М.* Кристаллизация соединений ванадия в дисперсной струе Экспресс-информация. [Текст] / А.М. Касимов - М.: Черметинформация, 1986. – 12 с. 15. *Касимов А.М.* Малоотходные и энергосберегающие технологии в производстве редких и тяжелых цветных металлов [Текст] / А.М. Касимов -М.: Металлургия. 1990. – 112 с.

Поступила в редколлегию 27.07.2011

УДК 662.769.2 : 621.43

Н.В. ВНУКОВА, канд.геогр.наук, , доц., заст. зав. каф., ХНАДУ, Харків
О.М. КОВАЛЬОВА, канд.техн.наук, доц., ХНАДУ, Харків
Г.М. ЖЕЛНОВАЧ, асп., ХНАДУ, Харків

ВИКОРИСТАННЯ ВОДНЮ ЯК ПАЛИВА ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ І ЕФЕКТИВНІСТЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Надана характеристика водню як палива для двигунів внутрішнього згоряння та порівняльна характеристика горіння водню і бензину в суміші з повітрям. Розроблені науково-технічні рішення конвертування двигуна автотранспортних засобів на живлення воднем при зовнішньому сумішоутворенні.

Ключові слова: водень, палива, двигуни внутрішнього згоряння, ефективність.

Дана характеристика водорода как топлива для двигателей внутреннего сгорания и сравнительная характеристика сгорания водорода и бензина в смеси с воздухом. Разработаны научно-технические решения конвертирования двигателя автотранспортного средства на использование водорода при внешнем смесеобразовании.

Ключевые слова: водород, топлива, двигатели внутреннего сгорания, эффективность.

It's presented characteristics of hydrogen as a fuel for combustion engines and comparative characteristics of hydrogen and gasoline burning in a mixture with air. Scientific and technical solutions of motor vehicle engine converting for usage hydrogen in an external mixing were developed.

Keywords: hydrogen, fuels, combustion engines, efficiency.

Вступ

Викиди в атмосферне повітря від сотні мільйонів автомобілів у світі стали серйозною загрозою для здоров'я та життя людей. Неможливість вирішити екологічні проблеми, пов'язана з експлуатацією автомобільних двигунів, механічними способами змушує шукати інший шлях – хімічний, тобто пошук заміників традиційних палив нафтового походження або добавок і присадок до них, хоча при використанні традиційних палив коефіцієнт корисної дії від їх спалення не перевищує 15-17 %. Слід зазначити, що першим поштовхом до такого пошуку в західних країнах світу стали не екологічні, а економічні проблеми – обмеження в постачаннях нафти і різкий стрибок ціни на неї в середині минулого десятиліття змусили деякі країни проводити пошуки альтернативних палив.

Постановка завдання

На фоні зростання попиту на енергію, паливо та загострення проблеми охорони навколишнього природного середовища світова спільнота змушена звернути увагу на пошук нових енергетичних та паливних технологій, які б не уповільнювали б економічного зростання і в той же час забезпечували прийнятний рівень забруднення навколишнього природного середовища. Одним з способів вирішення цього питання і є можливість застосування водню як палива для двигунів внутрішнього згорання.

Аналіз останніх досліджень

Останніми роками багато уваги приділяється розробці і використанню в автомобільному транспорті водню як палива для двигунів. На думку багатьох фахівців в розв'язанні зазначеної проблеми провідне місце займе воднева енергетика, а саме виробництво водню та його використання на основі в промисловості, енергетиці, будівництві та насамперед на транспорті [1-3].

Формування цілей та викладення основного матеріалу

Якийсь симбіоз механічного і хімічного впливу на токсичність ВГ являють собою нині активно використовувані на Заході системи каталітичної нейтралізації ВГ автомобільних двигунів. Ці системи дозволяють практично цілком позбутися від CO, значно (на 70 %) скоротити викиди C_nH_m і на 20 % викиди NO_x . Але їхня установка призводить до збільшення витрати палива на 3-5 %.

Крім того, каталізатори в системах нейтралізації виготовляються на основі платини і паладію, що призводить до великої їхньої витрати на ці цілі. Наприклад, у США тільки платини для виробництва каталітичних нейтралізаторів ВГ щорічно витрачається близько 40 т [4].

Через величезну кількість експлуатованих автомобілів, неможливості корінної зміни конструкцій двигуна й автомобіля, розвинутої інфраструктури автомобільного транспорту (систем збереження, автозаправних станцій)

замінники традиційних палив повинні мати фізико-хімічні властивості, що не потребують корінної зміни конструкцій двигуна паливної апаратури і системи збереження палива на борті. У зв'язку з цим і з метою економії дефіцитних і дорогих видів палива і для зниження викиду токсичних речовин одним з ефективних способів є застосування палива з добавками.

Водень – одна з таких перспективних добавок. Перевагою водню перед іншими можливими добавками є те, що він робить двояку дію: не тільки знижує викиди практично всіх токсичних компонентів ВГ, але і підвищує паливну економічність.

Вплив, що робить вміст водню в паливі, у тому числі і водню, що вводиться додатково в зону горіння, на утворення КУ і ТЧ, зв'язано з реакціями окислювання радикалами ОН попередників їхнього утворення.

Тому збільшення в бензині вуглеводнів з підвищеним вмістом водню забезпечує м'який режим горіння, повноту вигорання палива, відсутність закоксування і руйнування полімерних ущільнювачів, запобігання утворення конденсованої канцерогенної ароматики в камері згорання і викиду її з ВГ двигунів в атмосферу. Тому поява на ринку бензинів марки Premium з їхнім високим вмістом ізо-парафінових вуглеводнів і обмеженим вмістом ароматики (до 30 %) навіть без добавок оксигенатів складає серйозну конкуренцію традиційним вітчизняним бензинам.

Слід особливо зазначити, що в звичайному неетилованому бензині міститься до 10 видів ПАУ, а в дизельних паливах – до 20 ПАУ. У США (Каліфорнія) введені обмеження на якість дизельних палив, у тому числі встановлена норма на вміст не більш 10 % ароматики. Сучасні стандарти «Євро» у числі інших обмежують вміст бензолу й ароматичних вуглеводнів у ВГ автомобільних ДВЗ [5].

Значно важливим на найближче майбутнє є також те, що в синтетичних бензинах, одержуваних з вугіль, міститься велика кількість ПАУ, що структурно відрізняються від ПАУ, які зустрічаються в нафтових бензинах. Їхня присутність здатна викликати такі проблеми як: підвищена канцерогенність ВГ двигунів, утворення відкладень ТЧ у камері згорання і випускному тракті, підвищення вимог до октанового числа з часом.

Елементний склад нафтових палив: С, Н, S, О, N і волога (W). Пальними елементами палив є: С, Н, S. Основним пальним елементом у традиційних нафтових паливах є вуглець з теплотою згорання 34,1МДж/кг. Саме вміст вуглецю в паливі визначає питомі рівні викидів парникового газу – діоксида вуглецю (CO₂). Найбільшу теплоту згорання на одиницю маси має водень (120,5МДж/кг), але його в складі нафтових палив небагато. У світлих нафтопродуктах – 13-15 %, у метані – 25 %. Підвищений вміст водню в паливі або пальній суміші (наприклад, з використанням добавок водню) сприяє істотному зниженню рівнів утворення ТЧ і канцерогенних інгредієнтів при спалюванні палив. Сірка є шкідливою домішкою, тому що вона при згоранні виділяє мало теплоти (9,3МДж/кг), а при експлуатації двигунів продукти згорання сірки викликають великі труднощі: діоксид сірки, що утворюється, є екологічно гранично шкідливим сполученням і негативно впливає на надійність і

ресурс двигуна. Крім того, сірка сприяє збільшенню рівнів утворення і дисперсності ТЧ, а також – канцерогенних речовин. Тому зниження вмісту сірки в моторних паливах, у першу чергу дизельних, представляється одним з важливих напрямків у зниженні екологічної небезпеки МЕНУ і підвищення їхньої параметричної надійності і ресурсу. У Європі обмежений вміст сірки в дизельних паливах на рівні 0,02 %.

Основні теплотехнічні показники ряду моторних палив, у тому числі альтернативних, приведені в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні властивості вуглеводних моторних палив і водню

Моторні палива	ρ , кг/м ³	H_T , МДж/кг	L_0	T_{max} , К	$\alpha_{гран}$	ОЧД	Состав, %				
							С	Н	S	N	О
Бензин А-92	710-760	44,0	15	2350	0,7-1,1	93	85	15	–	–	–
Дизельне	820-870	42,4	14,2	2370	0,9-5	–	86	13	1	0,01	–
Метанол	795	19,7	6,5	2175	0,7-1,4	106	37	13	–	–	50
Пропан-бутан	542	45,7	15,2	2149	0,7-1,2	102-110	84	16	–	–	–
Метан	0,8 (416)	49,8	17	2065	0,8-1,5	120	75	25	–	–	–
Водень	0,09 (71)	120,2	34,5	2470	0,2-5	130	–	100	–	–	–

Примітки:

1). ρ – щільність; H_T – енергоємність; T_{max} – максимальна температура при горінні палива в повітрі; $\alpha_{гран}$ – границі сталої роботи за коефіцієнтом надлишку повітря; ОЧД – октанове число, обумовлене дослідницьким методом; 2). У дужках дані щільності метану і водню в рідкій фазі.

Вибір водню як палива для двигунів внутрішнього згорання, що є основними джерелами забруднення навколишнього середовища міст і промислових центрів, був зроблений на основі аналізу і порівняння його фізичних і хімічних властивостей з такими ж показниками інших найбільш важливих видів палива. При цьому були враховані такі фактори, як доступність його запасів, вартість сировини для його одержання, безпека виробництва, економічність транспортування до місць споживання, мінімальні переробки в конструкціях устаткування, мінімальні забруднення навколишнього середовища при виробництві і споживанні. Крім того, при рішенні цього питання приймалися до уваги стабільність при збереженні по відношенню до кисню і вологості повітря, токсичність самого палива і продуктів його згорання, інертність по відношенню до конструкційних матеріалів і, нарешті, можливість спалювання палива з досить високим ступенем використання отриманого тепла. За цими показниками водень виявився конкурентоздатним з кожним із вуглеводних палив, перевершуючи їх за екологічною сумісністю з навколишнім середовищем (табл. 2).

Таблиця 2. Характеристика горіння водню і бензину в суміші з повітрям

Показник	Водень	Бензин	Показник	Водень	Бензин
Енергія запалювання, мДж	0,02	0,25	Швидкість поширення полум'я, см/с	270	30
Відстань гасіння, см	0,06	>0,25	Теплота згорання:		
Температура запалювання, К	903	724	Нижня, кДж/кг	$120 \cdot 10^3$	$44 \cdot 10^3$
Границі запалювання по об'ємному вмісту, %	4,7-74,2	0,59-6,00	Суміші при стехіометричній витраті повітря, кДж/м ³	3180	3710
Коефіцієнт дифузії, см ² /с	0,63	0,08	Стехіометрична витрата повітря, кг/кг	34,20	14,95

Дані експлуатації свідчать про те, що застосування водню як палива в ДВЗ забезпечує безумовну перевагу по основних техніко-економічних показниках. Більш того, навіть невелика його добавка до традиційного палива (5–10 %) дозволяє в міських умовах експлуатації автомобіля скоротити витрату бензину на 20–30 % і приблизно вдвічі зменшити емісію вуглеводнів. Крім того, це приводить до зменшення викидів CO у 10 разів, а NO_x – у 5 разів.

Перспективність застосування водню для автомобільних двигунів визначається насамперед екологічною чистотою та унікальними моторними властивостями, що відкриває можливість його широкого застосування в сучасних двигунах без корінної перебудови. Однак деякі фізичні властивості водню, що визначають його моторні якості, висувують ряд серйозних науково-технічних проблем, що вимагають рішення при переводі ДВЗ на живлення воднем. У процесі досліджень встановлено, що однією з основних проблем є виникнення у водневому двигуні зворотного спалаху і калильного запалювання. Усунення цього явлення зажадало розробки способів, що забезпечують повне придушення зворотного спалаху в конвертованому двигуні. Крім того, низька щільність водню, використовуваного як паливо, приводить до необхідності оптимізації робочого циклу водневого ДВЗ за ступенем стиску і коефіцієнту надлишку повітря.

Висновки

При проведенні досліджень робочих процесів у ДВЗ була встановлена фізична природа виникнення зворотного спалаху, що базується на кінетичному механізмі самоzapalювання водньоповітряної суміші в результаті розігріву її залишковими газами. Встановлено, що ефективним способом придушення зворотного спалаху є подача водню із запізнюванням за кутом повороту колінчатого вала відносно відкриття впускного клапана.

На підставі отриманої інформації був розроблений і реалізований спосіб роботи ДВЗ, при якому водень під тиском, що регулюється у залежності від режиму роботи двигуна, подається за допомогою спеціального пристрою в

коллектор у зону впускного клапана. У цьому випадку забезпечується утворення в місці розташування впускного клапана зони, у якій вміст водню перевищує верхню межу (більш 74 % за об'ємом) запалення водньоповітряної суміші. Запропоноване рішення практично не погіршує техніко-економічні показники водневого двигуна в порівнянні з прототипом, а його конструктивне втілення відрізняється простотою технічного виконання і надійністю експлуатації.

Отримані на моторному стенді навантажувальні і швидкісні характеристики водневих двигунів з якісним регулюванням потужності і результати дорожніх іспитів автомобілів послужили вихідними даними для створення системи автоматичного регулювання витрати водню і кута випередження запалювання, що забезпечує його найбільш ефективну і надійну роботу (табл. 3).

Проведені іспити показали, що двигуни ВА3-2101, УМ3-451 МП і ЗМ3-402 їхні модифікації, що оснащені спеціальною конструкцією впускного колектора, працюють на водні стійко у всьому діапазоні зміни частоти обертання колінчатого вала і коефіцієнта надлишку повітря, характерних для режимів експлуатації автомобіля як в умовах міської їзди, так і на трасі.

Таблиця 3. Дані іспитів на токсичність і паливну економічність

Живлення	Концентрація CO, %		Викид шкідливих речовин, г/км			Витрати палива, л на 100 км
	$N_{xx, \min}$	$0,6 n_{\text{ном}}$	CO	CH	NO _x	
Бензин + водень	0,04	0,01	5	4,6	2,0	6,8 л бензину + 1,56H ₂
Бензин (карбюратор К-126Г)	1,5	2,3	44	9,9	14,0	15,9

Розроблені науково-технічні рішення конвертування двигуна автотранспортних засобів на живлення воднем при зовнішнім сумішоутворенні реалізовані також у двигуні УМ3-451МП ($\epsilon=6,7$), встановленому на автонавантажувачі моделі 4092.

Як систему збереження водню на борті автонавантажувача використаний гідридний акумулятор масою 498 кг і місткістю 2,7 кг водню, що встановлений на місце верхньої частини противаги. При цьому загальна маса автонавантажувача і розподіл навантаження по осях не змінилися. Іспиту експериментального зразка водневого автонавантажувача показали гарну працездатність конвертованої машини і її екологічні переваги в порівнянні з бензиновим прототипом.

У процесі промислових іспитів автонавантажувача в закритих складських приміщеннях і трюмах морських судів в Одеському порту встановлено, що використання водню як палива знижує кількість оксидів азоту в 1,5 рази, а наявність оксиду вуглецю, незгорілих вуглеводнів і інших токсичних речовин зводить до нуля. Створений зразок водневого автонавантажувача експонувався на виставці VII Міжнародної конференції по водневій енергетиці й одержав високу оцінку вітчизняних і іноземних фахівців.

Досвід, накопичений при конвертації двох варіантів автотранспорту, дозволили створити експериментальний зразок водневого транспортного засобу на базі вантажно-пасажирського автомобіля «Газель» моделі ГАЗ-2705 із двигуном ЗМЗ-4026.

Дорожні іспити створеного експериментального зразка водневого автомобіля, що проведені в умовах міської експлуатації, підтвердили ефективність прийнятої концепції використання водню як палива.

При іспитах по замкнутому кільцевому маршруту довжиною 41,6 км була визначена контрольна витрата водню, що склала 0,0384 кг/км, яка забезпечує пробіг автомобіля без дозаправлення близько 140 км. При цьому емісія єдиного токсичного компонента (оксидів азоту) приблизно вдвічі нижче, ніж у бензинового прототипу (табл. 4, 5).

Таблиця 4. Показники токсичності ВГ бензинового ДВЗ (г/кг спаленого палива)

Живлення	Запуск із холодного стану		
	CO	C _n H _m	NO _x
Бензин	52	21	37
Бензин+водень	15	13	6
Зменшення у викиді	37	8	31
Те ж у перерахунку на 1 т H ₂ , т	0,37	0,08	0,31

Таблиця 5. Показники токсичності викидів дизельного двигуна (г/кг спаленого палива)

Компонент ВГ	Потужність 100 %		Потужність 80 %	
	Чисте паливо (Н/С=2,125)	Добавка H ₂ 3,3 % (Н/О~2,7)	Чисте паливо (Н/С=2,125)	Добавка H ₂ 5% (Н/С~3)
Сажа	5,9	3,6	2,7	1,1
C _n H _m	3,7	4,5	3,1	4,2
NO _x	15,9	19,4	13	16,6

Список літератури: 1. *Месяц Г.А.* На пути к водороду : [круглый стол по проблемам водородной энергетики] [Текст] / Г. А. Месяц, Б. Н. Кузык // Экономические стратегии. - 2005. - N 4. - С. 6-13. 2. Водородная энергетика и топливные элементы. Взгляд в будущее [Текст] / Европейская комиссия, - 2003. 3. *Г.С.Асланин.* Проблематичность водорода в плане замещения нефти [Текст] / Энергетическая политика. – Вып.2. – 2006. – С. 42-51. 4. *Казаков Н., Масленникова И.* Экологическая безопасность транспорта [Текст] / Н. Казаков, И. Масленникова. СПб. – «Автобизнесмаркет». – 2004. – №14.- С.5-9. 6. Директива 98/69/ЕС Европейского парламента и совета от 13 октября 1998 г. о мерах против загрязнения воздуха выбросами автомобилей и во изменение Директивы 70/220/ОЕЭС Совета. Официальный бюллетень Европейского сообщества L 350. – 73 с.

Поступила в редколлегию 27.05.2011