

УДК 621.43

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОДОБАВОК ВОДОРОДА ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

А. Н. Авраменко,

канд. техн. наук

an0100@a.ukr.net

ORCID: 0000-0003-1993-6311

А. М. Левтеров,

канд. техн. наук

frpp@ipmach.kharkov.ua

ORCID: 0000-0001-5308-1375

В. Н. Бганцев,

канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0661-1040

Н. Ю. Гладкова

ORCID: 0000-0002-8043-4890

В. Н. Киреева

ORCID: 0000-0002-7532-1760

Институт проблем

машиностроения

им. А. Н. Подгорного

НАН Украины,

61046, Украина, г. Харьков,

ул. Пожарского, 2/10

Введение

Проблемами и перспективами использования водорода как топлива для ДВС занимаются многие ученые в разных странах мира. Одними из первых в этом направлении были работы Института проблем машиностроения им. А. Н. Подгорного НАН Украины [1, 2].

Повышение эффективности систем генерирования водорода является одним из приоритетных направлений исследований. Современный уровень энергозатрат стационарных систем генерирования водорода составляет 3,7–3,9 кВт·ч на 1 м³ водорода [3, 4].

На сегодня проблемам использования альтернативных топлив для ДВС уделяется большое внимание практически во всех развитых странах. К этому подталкивает ситуация, сложившаяся с энергоресурсами в мире – уменьшение запасов топлива нефтяного происхождения. Каждая страна выбирает свой путь в преодолении энергетических проблем и снижении уровня токсичности отрабо-

Проблема ухудшения экологической ситуации в мегаполисах, в том числе и из-за токсичности отработавших газов транспортных двигателей, требует комплексного решения. Особенностью процессов смесеобразования и сгорания в дизельных двигателях является наличие локальных зон, богатых топливом или воздухом. Это приводит к неполному сгоранию дизельного топлива и способствует формированию токсичных и канцерогенно-мутагенных соединений. Отработавшие газы дизельных двигателей содержат твердые частицы, которые благодаря своей развитой поверхности являются носителями канцерогенно-мутагенных соединений. Очень важным фактором, влияющим на полноту сгорания топлива в цилиндре двигателей внутреннего сгорания (ДВС), является интенсивный теплообмен между стенками камеры сгорания и рабочим телом. В результате этого возникает относительно холодный пристеночный слой газа. В этом слое остаются несгоревшие углеводороды C_nH_m и формируются твердые частицы. Добавление микропримесей водорода к свежему заряду позволяет значительно уменьшить толщину "холодного" слоя за счет интенсификации процесса сгорания в цилиндре ДВС и пристенных участках. Генерирование и использование на борту автомобиля водорода в качестве микропримеси к штатному топливу двигателя обосновано следующим. Во-первых, увеличивается активация процессов сгорания в цилиндре двигателя и, соответственно, полнота сгорания топлива, что способствует снижению уровня массовых выбросов твердых частиц и несгоревших углеводородов с отработавшими газами ДВС. Во-вторых, такой подход позволяет снизить уровень нагрузки на штатные системы нейтрализации отработавших газов двигателей современных транспортных средств, повысить надежность их работы и увеличить ресурс. Разработана конструкция бортового малогабаритного электролизера и алгоритм его управления. Проведены комплексные моторные исследования влияния микропримесей водорода к дизельному топливу на эффективные показатели дизеля 1Ч 8,5/11 и токсичность его отработавших газов. По данным результатов экспериментальных исследований установлено, что при добавлении микропримесей водорода, за счет повышения реакционной способности и полноты сгорания топлива, обеспечивается снижение уровня выбросов оксида углерода на 5–6% и на 20% дымности отработавших газов при практически полном отсутствии несгоревших углеводородов. Использование предлагаемой конструкции и алгоритма работы бортового электролизера позволит существенно снизить уровень токсичности отработавших газов транспортных ДВС при минимальных энергозатратах на функционирование системы.

Ключевые слова: бортовой электролизер, водород, микропримеси, дизельный двигатель, экологические показатели.

тавших газов (ОГ) ДВС, выбирая то сырье и альтернативные топлива, которые в наибольшей степени соответствуют ресурсным и экономическим особенностям страны. В США разработкой систем генерации водорода на борту автомобиля занимается, например, фирма "Ronn motor company" [5, 6]. Так, согласно отчетам фирмы, использование бортовых электролизеров позволяет снизить уровень токсичности отработавших газов ДВС различных типов в среднем на 10–12%.

Анализ публикаций

Одним из перспективных направлений развития двигателестроения является не только применение альтернативных топлив, таких, как низшие спирты (метанол, биоэтанол, бутанол), природный и попутный нефтяные газы, растительные масла специально выращиваемых сельскохозяйственных культур, водород и т.д., но и различных добавок к штатному моторному топливу. В первую очередь исследования ведутся с целью замены или частичного замещения основного вида топлива для выпускаемых автомобилей без внесения в двигатель существенных конструктивных изменений, а также для изучения возможностей их комбинирования и применения в качестве добавок. При этом одновременно оценивается влияние такой замены на окружающую среду.

Из всех видов альтернативных топлив отдельно следует выделить водород. Добавка водорода к штатному топливу не только способна заменить энергетический потенциал части бензина или дизельного топлива. Водород обладает высокой скоростью диффузии, что обуславливает его способность образовывать однородную смесь в камере сгорания за очень короткий промежуток времени [7]. Кроме того, весьма значимым остаётся тот факт, что массовая удельная теплота сгорания водорода примерно в 3 раза выше, чем у бензина [8–10].

При горении водорода толщина зоны гашения пламени (пристеночный слой, в котором не идут окислительные процессы) меньше примерно в 5 раз, чем у углеводородных топлив. Это доказывает высокую эффективность воздействия водорода на кинетику сгорания смеси во всем объёме [11]. Соответственно, увеличивается полнота сгорания топлива и уменьшается эмиссия токсических веществ, что приводит к существенному снижению уровня вредных выбросов несгоревших углеводородов и твердых частиц, а также оксидов углерода и азота.

Компания «Канадская водородная энергия» (Canadian Hydrogen Energy Company) разработала и запатентовала систему HFI впрыскивания водорода во впускной коллектор двигателя внутреннего сгорания [12].

Принцип действия HFI технологии основан на том, что электролизный аппарат, потребляющий энергию из бортовой электрической сети автомобиля, разлагает дистиллированную воду и направляет высвободившийся водород и кислород во впускной коллектор двигателя. Количество поступающего в дизельный двигатель водорода очень незначительно, но такая микродобавка повышает полноту сгорания дизельного топлива, за счет чего меняется характер распространения фронта пламени в цилиндрах двигателя. Именно это и способствует повышению КПД дизельного двигателя и увеличению полноты сгорания традиционного топлива.

Система HFI может работать с любым двигателя (дизельный, бензиновый, газовый). Крупные американские компании, занимающиеся грузоперевозками, модернизируют свои большегрузные автомобили, при этом экономия эксплуатационных расходов на одно транспортное средство составляет более 700 \$ в месяц [13]. Также работа ДВС с добавкой водорода к штатному топливу позволяет уменьшить нагарообразование на стенках камеры сгорания и положительно влияет на экономические показатели и ресурс ДВС [14, 15].

Из приведенного обзора видно, что разработка и доводка бортовых систем генерирования водорода для улучшения эксплуатационных показателей ДВС является перспективным направлением исследований.

Цель и задачи исследования

Цель работы – снижение уровня выбросов вредных веществ с отработавшими газами транспортного дизельного двигателя путем использования микродобавок водорода к штатному топливу.

Для решения поставленной цели в работе решались такие задачи:

- провести литературный обзор по системам генерирования водорода на борту автомобиля;
- разработать бортовой электролизер и алгоритм его работы;

- провести моторные исследования влияния микродобавок водорода к штатному топливу на энергоэкологические показатели дизельного двигателя;
- сформулировать выводы и рекомендации по использованию микродобавок водорода для улучшения экологических показателей ДВС.

Основные результаты исследования

Объект исследования – экологические показатели дизельного двигателя, работающего на штатном и дизельном топливах с микродобавками водорода. Краткая техническая характеристика дизельного двигателя 1Ч 8,5/11 приведена ниже:

- диаметр цилиндра $D=85$ мм;
- ход поршня $S=110$ мм;
- количество цилиндров $z=1$;
- номинальная мощность $N_e=4,5$ кВт;
- частота вращения коленчатого вала $n=1500$ мин⁻¹.

Алгоритм работы силовой установки транспортного средства с электролизером, интегрированным в систему питания двигателя, представлен на рис. 1.

В существующих системах [5, 12] обычно бортовой электролизер работает непрерывно, с момента запуска ДВС до его остановки, что приводит к повышенным энергозатратам на генерирование водорода и кислорода и, в конечном итоге, по соотношению расход топлива–токсичность отработавших газов является малоэффективным.

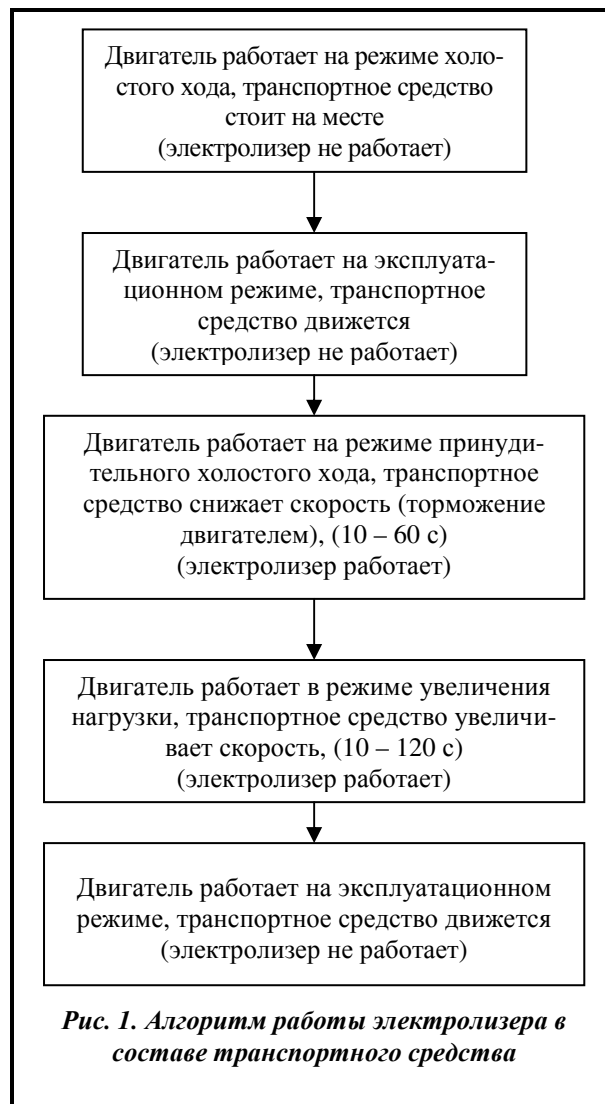
Предложенный в работе алгоритм ситуативного функционирования электролизера (в зависимости от режима нагрузки двигателя) позволяет минимизировать энергозатраты на генерирование водорода и снизить токсичность отработавших газов.

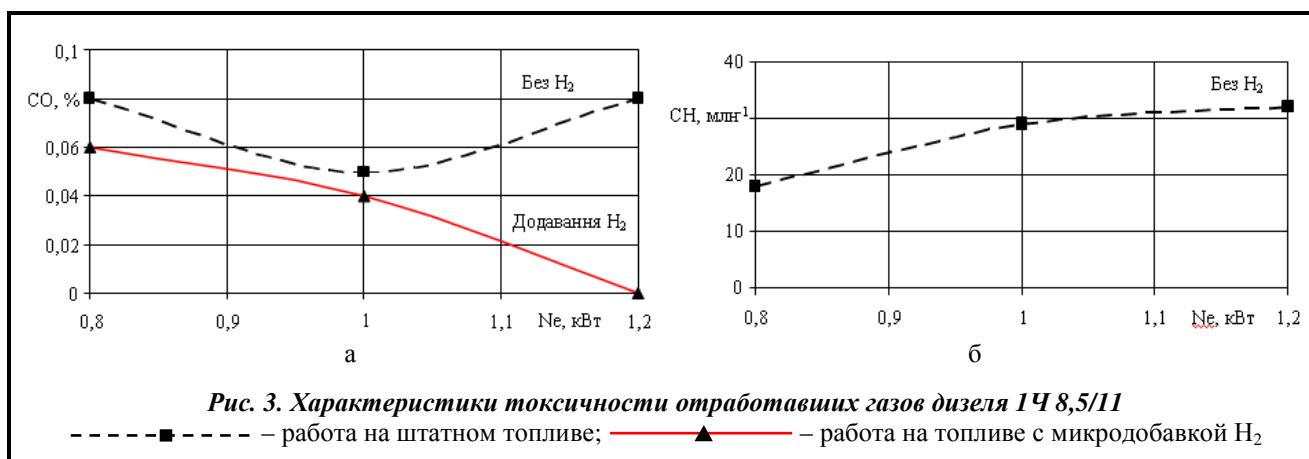
Принципиальная схема силовой установки с электролизером представлена на рис. 2.

Результаты моторных исследований влияния микродобавок водорода на экологические показатели дизельного двигателя приведены на рис. 3.

Энергозатраты на генерирование водорода для исследуемого режима составили 0,2 кВт·ч.

Кривые зависимости эмиссии оксида углерода от нагрузки двигателя свидетельствуют о следующем. Когда двигатель работает на штатном дизельном топливе, при увеличении нагрузки от 0,8 до 1 кВт уровень эмиссии оксида углерода (рис. 3, а) снижается





от 0,08 до 0,05%, а затем наблюдается устойчивый рост выделения этого токсичного компонента с отработавшими газами. Содержание CO в ОГ двигателя, работающего на штатном дизтопливе с микродобавкой водорода, с увеличением нагрузки неуклонно снижается, достигая нулевого значения. Характер эмиссии несгоревших углеводородов (рис. 3, б) с ОГ дизеля обусловлен качественным регулированием мощности, т.е. на режимах малых нагрузок коэффициент избытка воздуха в топливовоздушной смеси α большой (до шести на холостом ходу), а с возрастанием нагрузки доля топлива в смеси увеличивается, α уменьшается до 1,2–1,4 количество несгоревших углеводородов увеличивается и в основном зависит от толщины пристеночного слоя. Это подтверждается кривой эмиссии CH, когда двигатель работает на штатном дизтопливе. Микродобавки водорода к дизтопливу позволяют практически исключить эмиссию CH с отработавшими газами дизеля (рис. 3, б).

Такой способ представляется особенно эффективным для улучшения характеристик токсичности транспортных ДВС, т.к. как наибольшая интенсивность образования токсичных составляющих в продуктах сгорания имеет место в переходных процессах цикла поршневого двигателя, которые в силу особенностей модели эксплуатации транспортного средства составляют значительную долю времени работы двигателя.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно отметить следующее:

- использование бортовых систем генерирования водорода для улучшения экологических и ресурсных показателей ДВС является перспективным направлением исследований;
- разработанная оригинальная конструкция бортового электролизера и алгоритм его работы в составе транспортного средства отличается минимальной энергоемкостью;
- моторные исследования характеристики токсичности дизеля 1Ч 8,5/11 показали, что микродобавка водорода (до 1% по энергосодержанию) к штатному дизельному топливу позволяет существенно снизить уровень эмиссии оксида углерода и исключить из состава отработавших газов несгоревшие углеводороды.
- модификация моторных топлив путем микродобавок водорода к ним может быть рекомендована как эффективное средство улучшения энергоэкологических характеристик транспортных ДВС.

Литература

1. Подгорный А. Н. Водород – топливо будущего. Киев: Наук. думка, 1978. 133 с.
2. Подгорный А. Н., Варшавский И. Л., Приймак А. И. Водород и энергетика. Киев: Наук. думка, 1984. 144 с.
3. Solovey V., Zipunnikov M., Shevchenko A., Vorobjova I., Kotenko A. Energy Effective Membrane-less Technology for High Pressure Hydrogen Electro-chemical Generation. *French-Ukrainian J. Chemistry*. 2018. Vol. 6. No 1. P. 151–156. <https://doi.org/10.17721/fujcV6I1P151-156>
4. Solovey V., Nguyen Tien Khiem, Zipunnikov M., Shevchenko A. Improvement of the Membrane – less Electrolysis Technology for Hydrogen and Oxygen Generation. *French-Ukrainian J. Chemistry*. 2018. Vol. 6. No 2. P. 73–79. <https://doi.org/10.17721/fujcV6I2P73-79>
5. URL: <https://www.ronnmotorgroup.com/>

6. URL: <https://www.vox.com/energy-and-environment/2018/2/16/16926950/hydrogen-fuel-technology-economy-hytech-storage>
7. Фомин В. М., Платунов А. С. Водород как химический реагент для совершенствования показателей работы автомобильного двигателя с НВБ. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2011. № 4(22). С. 30–39.
8. Певнев Н. Г., Понамарчук В. В. Анализ свойств водорода с целью возможности его применения в качестве добавки к основному топливу. *Прогрессивные технологии в транспортных системах*: тр. конф. 2015. С. 304–309.
9. Перетрухин С. Ф., Бризицкий О. Ф., Кириллов В. А., Кузин Н. А., Козлов С. И. Бортовой генератор синтез-газа для ДВС с искровым зажиганием. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2010. № 5(17). С. 68–74.
10. Мацкерле Ю., Иванова В. Б., Бенедиктова А. Р. Современный экономичный автомобиль. М.: Машиностроение, 1987. 320 с.
11. Смоленская Н. М., Смоленский В. В., Шайкин А. П. Влияние добавки водорода на процесс горения в бензиновых двигателях с искровым зажиганием. *Прогресс транспортных средств и систем*: тр. конф. 2009. С. 247–248.
12. Gilchrist S., Rand T. Hydrogen fuel injection to improve engine efficiency the practical beginning of the hydrogen economy. Canada: Canadian Hydrogen Energy Company, 15 p. URL: <http://nha.confex.com/nha/2007/recordingredirect.cgi/id/196> (Дата обращения: 30.05.2019)
13. Водород, как присадка к стандартному топливу ДВС. Просто добавь воды. Автомобильное и газовое оборудование: официальный сайт. URL: <http://carscomfort.ru/dvs/vodorod-v-dvs.html> (Дата обращения: 30.05.2019)
14. Кудряш А. П., Мараховский В. П., Кайдалов А. А. Теоретические и экспериментальные исследования сгорания водорода в дизеле. *Вопр. атом. техники и технологии. Сер. ядер. техника и технологии*. 1989. Вып. 2. С. 48–50.
15. Мараховский В. П., Кайдалов А. А. Водородный дизель. *Автомоб. пром-сть*. 1992. № 2. С. 17–19.

Поступила в редакцию 12.03.2019

Перспективи застосування мікродомішок водню для поліпшення екологічних показників дизельного двигуна

Авраменко А. М., Левтеров А. М., Бганцев В. М., Гладкова Н. Ю., Кіреєва В. М.

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,
61046, Україна, м. Харків, вул. Пожарського, 2/10

Проблема погіршення екологічної ситуації у мегаполісах, в тому числі й через токсичність відпрацьованих газів транспортних двигунів, потребує комплексного вирішення. Особливістю процесів сумішоутворення та згоряння в дизельних двигунах є наявність локальних зон, багатих паливом або повітрям. Це призводить до неповного згоряння дизельного палива та сприяє формуванню токсичних та канцерогенно-мутагенних сполук. Викиди дизельних двигунів містять тверді частинки, які завдяки розвиненій поверхні є носіями канцерогенно-мутагенних сполук. Дуже важливим чинником, що впливає на повноту згоряння палива в циліндрі двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), є інтенсивний теплообмін між стінками камери згоряння та робочим тілом. Внаслідок цього виникає відносно холодний пристінний прошарок газу. В цьому прошарку залишаються незгорілі вуглеводні C_nH_m та формуються тверді частинки. Додавання мікродомішок водню до свіжого заряду дозволяє значно зменшити товщину "холодного" прошарку за рахунок інтенсифікації процесу згоряння у циліндрі ДВЗ та пристінних ділянках. Генерування на борту автомобіля та використання водню як мікродомішки до штатного палива двигуна обґрунтовується таким. Підвищується активація процесів згоряння у циліндрі двигуна та, відповідно, збільшується повнота згоряння палива, що сприяє зниженню рівня масових викидів твердих частинок та незгорілих вуглеводнів з відпрацьованими газами ДВЗ. Крім того, такий підхід дозволяє знизити рівень навантаження на штатні системи нейтралізації відпрацьованих газів ДВЗ сучасних транспортних засобів, підвищити надійність їхньої роботи та збільшити ресурс. Розроблено конструкцію бортового малогабаритного електролізера та алгоритм його керування. Проведено комплексні моторні дослідження впливу мікродомішок водню до дизпалива на ефективні показники дизеля ІЧ 8,5/11 та токсичність його відпрацьованих газів. За даними результатів експериментальних досліджень встановлено, що під час додавання мікродомішок водню, за рахунок підвищення реакційної здатності та повноти згоряння палива забезпечується зменшення рівня викидів оксиду вуглецю на 5–6% й на 20% димності відпрацьованих газів за практично повної відсутності незгорілих вуглеводнів. Використання запропонованої конструкції та алгоритму роботи бортового електролізера дозволить суттєво знизити рівень токсичності відпрацьованих газів транспортних ДВЗ за мінімальних енерговитрат на функціонування системи.

Ключові слова: бортовий електролізер, водень, мікродомішки, дизельний двигун, екологічні показники.