

Проблемы и перспективы применения водорода в тепловых двигателях

С.В. Беляев, Г.А. Давыдков

Институт лесных, горных и строительных наук Петрозаводский государственный университет

Аннотация: В статье проведен анализ применения водорода в тепловых двигателях, определены особенности сгорания водорода, на основе комплексного анализа показаны достоинства и недостатки его применения. Делается вывод, что более перспективное применение водорода на автомобильном транспорте связано с развитием топливных элементов.

Ключевые слова: альтернативные топлива, экология, парниковые газы, водород, энергетические свойства, топливные элементы, двигатель внутреннего сгорания, автотранспорт.

Изменение климата, истощение запасов нефти и проблемы энергетической и национальной безопасности, не говоря уже о загрязнении воздуха, вот основные факторы, определяющие будущее топлив, применяемых в тепловых двигателях автомобильного транспорта. Водородное топливо рассматривается многими экспертами как один из природных преемников нефтяного топлива [1-3].

Водород является одним из трех потенциальных претендентов на переход к низкоуглеродной энергетике. К двум другим можно отнести – биотоплива и возобновляемое электричество. Биотоплива включают в себя этанол, метанол, биодизель и некоторые другие менее исследованные варианты. В каждом случае, исходный органический материал, через известные технологии, превращается в жидкое топливо, которое можно использовать в двигателях внутреннего сгорания современных автомобилей. Биотопливо можно считать углеродно-нейтральным, потому что культуры, из которых его получают, поглощают столько же углекислого газа, сколько примерно выбрасывают в атмосферу автомобили на биотопливе. Электроэнергия будет считаться безуглеродным топливом, когда она

генерируется из возобновляемых источников первичной энергии, таких как ветер, солнце, вода или ядерная энергия.

В долгосрочной перспективе возможно использование водорода для питания двигателей внутреннего сгорания, как непосредственно, так и в смеси с природным газом (до 20%).

Известно, что сегодня в основном промышленность больше всего потребляет водород. На мировом уровне нефтепереработка является наиболее водородоемким сектором, за которым следует производство аммиака и производство других видов продукции химические вещества

Ископаемые виды топлива являются наиболее распространенными источниками энергии, используемыми для производства водорода. Сегодня паровой риформинг природного газа является технологией, наиболее часто используемой для производства большого количества при относительно низких затратах. Преобразование биомассы для получения водорода представляется привлекательной альтернативой, но требует более глубоких исследований и разработок. К основным недостаткам можно также отнести очень высокую стоимость (в настоящее время) и удовлетворительную эффективность в рамках жизненного цикла получения водорода из биомассы. Электролиз воды является предпочтительным способом получения водорода из возобновляемых источников. При этом экологическая и экономическая выгоды, фактически получаемые от его использования, будут зависеть от способа производства электроэнергии. Важно подчеркнуть, что в долгосрочной перспективе, при выборе водорода в качестве топлива потребуются развитие соответствующей инфраструктуры (транспортировка, промежуточные хранение, бортовые накопители и т.д.). При этом можно столкнуться с дополнительными техническими проблемами и большими дополнительными затратами. Хотя уже в настоящее время в мире

насчитывается десятки водородных станций, довольно равномерно распределенных между Европой, Северной Америкой и Японией

Вопросы безопасности энергоснабжения, локальных выбросов и выбросов парниковых газов должны быть сбалансированы поиском энергоносителей с оптимальной стоимостью и развитием недорогих и эффективным транспортными систем. [2- 4].

В течение XXI века, очевидно, будут разработаны новые виды топлива и технологии транспортных средств. Несколько стран (США, Япония, Евросоюз) играют ключевую роль в разработке инновационных решений через свою развитую сеть исследовательских лабораторий и партнерских отношений с автомобильной промышленностью и другими заинтересованными сторонами.

В конечном счете, задача будет заключаться в управлении переходом к использованию возобновляемых источников энергии. Это может быть связано с использованием водорода, производимого из возобновляемых источников, возможно, для транспортных средств на топливных элементах, или путем более широкого использования усовершенствованного биотоплива в высокоэффективных двигателях внутреннего сгорания.

Свойства водорода, как топлива, достаточно хорошо известны [1- 3, 5].

Водороду требуется мало энергии для воспламенения, что позволяет двигателю работать устойчиво на бедной смеси. Для водородного двигателя могут использоваться системы зажигания подобные бензиновым. Свечи зажигания для водородного двигателя должны быть с более высоким калильным числом.

Водород обладает относительно высокой температурой самовоспламенения. Высокая температура самовоспламенения водорода определяет высокое октановое число воздушно-водородной смеси, что

позволяет использовать в водород в двигателях с большей степенью сжатия, чем в обычных бензиновых двигателях и повышает термический к.п.д.

Главное преимущество заключается в том, что «водородный» двигатель может работать на бедной смеси. Тем самым достигается большая экономия топлива и полное сгорание. При этом температура сгорания понижается, тем самым, уменьшая количество токсичных веществ в отработавших газах, таких как оксиды азота. Существует предел того, насколько бедной может быть смесь, поскольку очень бедные смеси приводят к значительному снижению выходной мощности двигателя.

В зависимости от метода использования водорода в двигателе, выходная мощность по сравнению с бензиновым двигателем составляет от 85% до 120%.

Вместе с тем у водорода имеются и существенные недостатки при его использовании двигателях внутреннего сгорания автомобилей.

Малое количество энергии для воспламенения означает, что горячие отработавшие газы и поверхности камеры сгорания и другие элементы с высокой температурой могут служить причиной самовоспламенения, создавая проблемы калильного зажигания. Предотвращение этого представляет собой одну из важнейших задач перевода тепловых двигателей на водород. Так как водороду для воспламенения требуется меньше энергии, чем бензину, даже малое количество водорода, проникшего в картер, может привести к возгоранию или взрыву. Воспламенение водорода внутри картера, вызывает внезапный скачок давления, что может вызвать разрушение элементов двигателя.

Водород и рабочие газы, проникающие в картер двигателя влияют на качество моторного масла – увеличивают скорость его старения и процесс деструкции.

При работе ДВС на водороде основным продуктом сгорания топлива является вода. Хорошо известно, что ее взаимодействие с моторным маслом может привести к резкому снижению его смазывающей способности, что в свою очередь влечет снижение ресурса двигателя.

Важность высокой степени сжатия обусловлена тем, что она влияет на термодинамическую эффективность двигателя. С другой стороны, обладая высокими антидетонационными свойствами, что важно для применения в бензиновых двигателях, водород проблематично использовать в дизельных двигателях без серьезных конструктивных изменений.

При использовании сверх бедных смесей, скорость их горения заметно уменьшается, снижая выходную мощность двигателя. Следует отметить, что возможно повысить эффективность сгорания [3, 6, 7].

Водород обладает низкой плотностью, в связи с этим энергетическая плотность смеси с воздухом, а, следовательно, и выходная мощность, понижаются.

Очевидно, что замена всех бензиновых двигателей на водородные не реальна. Тем не менее в некоторых случаях, почти без всяких конструктивных изменений двигателя, можно использовать бензин с 1 до 10-процентной водородной добавкой, что может способствовать улучшению экологической обстановки в крупных городах.

Адаптация или изменение системы подачи топлива может быть эффективным способом понижения или избавления от основной проблемы применения водорода в современных двигателях - преждевременного воспламенения.

В процессе сгорания водорода с чистым кислородом образуется вода. В реальных тепловых двигателях в камеру сгорания поступает воздух с большим содержанием азота. Высокие температуры и давление в камере сгорания и наличие свободного кислорода приводит к образованию

токсичных оксидов азота (NO_x). Количество оксида азота зависит от: состава горючей смеси, степени сжатия, нагрузки на двигатель, частоты вращения коленчатого вала, и др.

Кроме оксидов азота, в отработавших газах могут содержаться окиси углерода и двуокиси углерода, образовавшихся в результате сгорания попавшего в камеру сгорания моторного масла и картерных газов. В зависимости от состояния двигателя (расход масла на угар, степени изношенности деталей кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов) и управляющей стратегии (богатые и бедные смеси) у водородного двигателя эмиссия может меняться почти от нулевых до высоких значений оксидов азота и окиси углерода.

В общем, заставить двигатель внутреннего сгорания работать на водороде и его смеси не так сложно. Однако заставить его работать должным образом с высокой эффективностью гораздо сложнее, что может сказаться не лучшим образом в условиях реальной эксплуатации.

Например, достоинства, получаемые от добавки водорода к бензину, проявляется в повышении реакционной способности смеси, что приводит к расширению пределов ее воспламеняемости и появляется возможность устойчивой работы двигателя на обедненных смесях, что обеспечивает высокую полноту сгорания топлива и повышает топливную экономичность двигателя.

Низкая плотность газообразного водорода затрудняет возможность его применения в сжатом виде из-за очень большой массы баллонов для хранения. Применение жидкого водорода с другой стороны связано с необходимостью установки дорогостоящих криогенных баллонов со специальной термоизоляцией. Следует отметить, что современные технологии позволяют частично снять эти проблемы, если использовать аккумулялирование водорода в металлгидридах. В этом случае выделение

водорода происходит с помощью, например, горячей жидкости из системы охлаждения или непосредственно выхлопными газами [1].

Использование водорода в тепловых двигателях и создания энергетических циклов, в которых участвует теплота сгорания водорода в качестве основного топлива, похоже, откладывается на неопределенное время. Хотя ряд крупных автомобильных компаний в Германии и Японии настойчиво работают в этом направлении. Вместе с тем, после нефтяного кризиса в 70 годах прошлого века были предпосылки активного применения водорода и его смеси в ДВС. Масштабные исследования проводились и в мире и в СССР. В настоящее время с учетом всех объективных и субъективных факторов перспективы применение водорода на автомобильном транспорте все же связывают с развитием водородных топливных элементов, в которых нет процесса сгорания, а происходит химическая реакция [1, 8, 9, 10, 11].

Выводы.

1. Технологии получения водорода в больших объемах уже существуют в том числе и в России и активно развиваются.

2. Накопленный опыт использования водорода в традиционных тепловых двигателях (ДВС) не дает оснований прогнозировать его широкое применение.

3. Очевидно, что при эксплуатации водородных тепловых двигателей потребуются дополнительные затраты и при их производстве и в условиях эксплуатации. Не вызывает сомнения, что применение водорода и его смесей с любым топливом (бензином, природным газом и т.д.) повышает экологические характеристики мобильных и других энергоустановок.

4. Существенное снижение стоимости получения водорода и топливных элементов может привести к более широкому применению водорода на

автомобильном транспорте с большей эффективностью и высокими экологическими характеристиками.

Литература

1. Шаманов Н.П. Калмыков А.Н. Электрохимические транспортные энергоустановки с водородным топливом. СПб: СПбГМТУ, 2006. 306 с.
2. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: справочник / Гамбург Д. Ю. и др. М: Химия, 1989. 672 с.
3. Беляев С.В. Давыдков, А.А. Селиверстов Перский С.Н. Водород как топливо // "Новые материалы и технологии в машиностроении - 2015" 21-я Международная научно-техническая конференция. - Брянск: БГИТА, 2015. URL: sciencebsea.bgita.ru/2015/mashin_2015_21/belyaev_vodorod.htm.
4. Зайцева М.М., Мегера Г.И., Хаперская И.М., Копылов Ф.С., Крымский В.С., Кужель Д.М. Основные тенденции развития индустрии электротранспорта // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5689
5. Беляев С.В., Давыдков Г.А., Перский С.Н. Современное состояние и перспективы развития энергосберегающих и экологически чистых технологий на транспорте. // Периодический научный сборник по материалам XIX международной научно-практической конференции "Современные тенденции развития науки и технологий". - г. Белгород, 2016. - №10. - с.19 - 22.
6. Береснев А.Л., Будко А.Ю. Повышение эффективности теплоэнергетических установок методом контроля горения топлива по сигналу ионного тока // Инженерный вестник Дона, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1973

7. Морозов В.А., Морозова О.Н. Совершенствование эффективности и экологичности двигателей внутреннего сгорания // Инженерный вестник Дона, 2016, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3503
8. Юнусова Э.А., Константинов Н.В. Экспериментальная оценка скорости горения метано-водородного топлива с воздухом при изменении концентрации водорода // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5317
9. Gross K. The Reversible Hydrides Solution for Hydrogen Storage. Sandia National Laboratories, Livermore, California, 2003. – 25 p.
10. Arthur D. Little, Inc. Guidance for Transportation Technologies: Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles, ADL Phase II Results Comparison to MIT Study, Revised Phase 3 Deliverable to DOE, 75111-00, 2002. – 60 p.
11. Fuel Cell Technology for Vehicles. Society of Automotive Engineers. 2004. – 282 p.

References

1. SHamanov N.P. Kalmykov A.N. Elektrohimicheskie transportnye energoustanovki s vodorodnym toplivom. [Electrochemical transport power plants with hydrogen fuel]. SPb: SPbGMTU, 2006. 306 p.
 2. Vodorod. Svoystva, poluchenie, hranenie, transportirovanie, primeneniye [Hydrogen. Properties, receipt, storage, transportation, application. Handbook]. D. YU. Gamburg i dr. M: Himiya, 1989. 672 p.
 3. Belyaev S.V. Davydkov, A.A. Seliverstov Persky S.N. "Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii - 2015" 21-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya. [21st International Scientific and Technical Conference]. (Rus), 2015. URL: science-bsea.bgita.ru/2015/mashin_2015_21/belyaev_vodorod.htm.
-

4. Zajceva M.M., Megera G.I., Haperskaya I.M., Kopylov F.S., Krymskij V.S., Kuzhel' D.M. Inzenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5689
5. Belyaev S.V., Davydkov G.A., Persky S.N. Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya energosberegayushchih i ekologicheski chistyh tekhnologij na transporte. Periodicheskiy nauchnyy sbornik po materialam XIX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Sovremennye tendencii razvitiya nauki i tekhnologij" [Current status and development prospects of energy-saving and environmentally friendly technologies in transport. Periodic scientific collection based on the materials of the XIX international scientific-practical conference "Modern trends in the development of science and technology."] (Rus), Belgorod, 2016. № 10. pp. 19 - 22.
6. Beresnev A.L., Budko A.YU. Inzenernyj vestnik Dona, 2013, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/1973
7. Morozov V.A., Morozova O.N. Inzenernyj vestnik Dona, 2016, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2016/3503
8. YUnusova E.A., Konstantinov N.V. Inzenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5317
9. Gross K. The Reversible Hydrides Solution for Hydrogen Storage. Sandia National Laboratories, Livermore, California, 2003. 25 p.
10. Arthur D. Little, Inc. Guidance for Transportation Technologies: Fuel Choice for Fuel Cell Vehicles, ADL Phase II Results Comparison to MIT Study, Revised Phase 3 Deliverable to DOE, 75111-00, 2002. 60 p.
11. Fuel Cell Technology for Vehicles. Society of Automotive Engineers. 2004. 282 p.