

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 621.433.052

ЭШБОЕВ БЕКТОШ НОРКУЛОВИЧ

Перевод автомобиля «ISUZU» на питание водородом

**5А310605 – Испытание и эксплуатация
двигателей внутреннего сгорания**

**Диссертация
на соискание академической степени
магистра**

**Научный руководитель:
д.т.н., проф. Кадыров С.М.**

Ташкент 2013

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

Факультет: ЭАТ
Кафедра: АТД и ТЭ
Учебные год: 2012-2013 г

Студент магистратуры: Эшбоев Б.
Научный руководитель: проф.Кадыров С.М.
Специальность: Эксплуатация и испытание
ДВС

**АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ
на тему: Перевод автомобиля «ISUZU» на питание водородом**

Актуальность темы. Непрерывный рост энергетических потребностей человечества, приводящий к ускоренному истощению ресурсов органического топлива и все увеличивающимся загрязнению окружающей среды, создаёт ситуацию, которую все чаще характеризуют как энерго-экологический кризис. Поэтому в широком масштабе ведутся поиски решения проблемы уменьшения расхода не возобновляемых источников энергии и снижения темпов загрязнения окружающей среды вредными выбросами. В этих условиях все больший интерес представляет концепция водородной энергетики, т.е. использования водорода в широком промышленном масштабе в качестве носителя энергии, в том числе и на транспорте.

Перспективность применения водорода для автомобильных двигателей определяется, прежде всего, экологической чистотой, неограниченностью и возобновляемостью сырьевых запасов, а также уникальными моторными качествами, что открывает возможность его широкого применения в современных двигателях без существенных конструктивных изменений.

Цель и задачи диссертационной работы. Разработка теоретических основ, комплекса методов и средств для улучшения энерго-экономических и экологических показателей двигателей конвертированием рабочего процесса на водород.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие основные **задачи**:

- анализ конструктивных особенностей автомобилей, работающих на альтернативных топливах;
- анализ особенностей работы различных автомобилей на водородном топливе;
- расчет рабочего процесса двигателя с водородным топливом;
- построение внешних характеристик двигателей работающих на различных топливах;
- разработка конструкции устройства для получения водорода.

Объектом исследования является автобус ISUZU NP37.

Предмет исследования. Конвертация ДВС на водородные топливо, использующийся в качестве альтернативного топлива дизельному топливу.

Методика и методы исследования. Теоретические методы исследования базируются на существующих методах расчета: тепловой расчет двигателя и расчет внешней скоростной характеристик. Экспериментальные исследования будут выполнены на специальных стендовых установках с использованием стандартных и частных методик, с помощью специализированной контрольно-измерительной аппаратуры в соответствии с нормативными документами на проведение экспериментальных исследований.

Научная новизна работы заключается в следующих положениях, выносимых автором на защиту:

- анализ зависимостей для определения характеристик тепловыделения и математическая модель рабочего процесса водородного двигателя,
- границы возможного варьирования составов водородосодержащих топливных смесей с учетом обеспечения воспламеняемости и недопущения аномального сгорания;
- принципы выбора рациональных составов многокомпонентной водородосодержащей топливной смеси в широком диапазоне режимов токсичности отработавших газов;
- схема водородного питания двигателя.

Практическая значимость. Предложены практические рекомендации, обеспечивающие повышение эффективности теплоиспользования и снижения токсичности отработавших газов:

- характеристики регулирования состава смеси двигателя, работающего на водороде, и система топливоподачи, реализующая данные характеристики.

Реализация результатов работы. Результатами реализации работы являются разработанные методика расчета рабочего цикла двигателя с системой питания конвертированные на водород автобуса ISUZU.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит страницы основного текста, рисунки, таблицы, список использованной литературы из наименований.

Основные результаты по выполненной работе. Разработан алгоритм расчета с электронной таблицей (MS EXCEL) рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания работающий на водородном топливе.

Общие выводы и рекомендаций:

На основе созданных методов и средств решена научно-техническая проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение – улучшение экономических и экологических показателей двигателей конвертированием рабочего процесса на перспективные топлива не нефтяного происхождения, которыми являются водород.

Предположен метод теплового расчета двигателя при использовании водорода.

Научный руководитель:

(подпись)

Студент магистратуры:

(подпись)

THE MINISTRY OF THE HIGHER AND SECONDARY SPECIALIZED EDUCATION
OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

THE TASHKENT AUTOMOBILE AND ROAD CONSTRUCTION INSTITUTE

Faculty: ATM
Chair: ATE and TE
Educational year: 2012-2013 y

The Student of master courses: Eshboyev B.
The Scientific Supervisor: prof. Kadirov S.M.
The Speciality: Operation and test ICE

THE SUMMARY OF THE MASTER DISSERTATION
On a theme: Transfer of car "ISUZU" into a food by hydrogen

Theme urgency. Continuous growth of energy needs of the mankind, leading to the accelerated exhaustion of resources of organic fuel and all increasing to environmental contamination, creates a situation which even more often characterise as power-ecological crisis. Therefore searches of a solution of a problem of reduction of the expense of not renewed energy sources and decrease in rates of environmental contamination by harmful emissions are on a large scale conducted. In these conditions the increasing interest is represented by the concept hydrogen power, i.e. hydrogen use in wide industrial scale as the energy carrier, including on transport.

Perceptivity of application of hydrogen for automobile engines is defined, first of all, by ecological cleanliness, limitlessness and renewal's raw stocks, and also unique motor qualities that open possibility of its wide application in modern engines without essential constructive changes.

The purpose and problems of dissertational work. Working out of theoretical bases, a complex of methods and means for improvement of power-economic and ecological indicators of engines by converting of working process on hydrogen.

For achievement of the specified purpose following primary goals have been put:

- The analysis of design features of the cars working on alternative fuel's;
- The analysis of features of work of various cars on hydrogen fuel;
- Calculation of working process of the engine with hydrogen fuel;
- Construction of external characteristics of engines working on various fuel's;
- Working out of a design of the device for hydrogen reception.

Object of research is bus ISUZU NP37.

Object of research. Converting ICE on hydrogen the fuel, used as alternative fuel to diesel fuel.

Technique and research methods. Theoretical methods of research are based on existing methods of calculation: thermal calculation of the engine and calculation external high-speed characteristics. Experimental researches will be executed on special bench installations with use of standard and private techniques, by means of specialized instrumentation according to standard documents on carrying out of experimental researches.

Scientific novelty of work consists in the following positions which are taken out by the author on protection:

- The analysis of dependences for definition of characteristics of a thermal emission and mathematical model of working process of the hydrogen engine,
- Borders of a possible variation of structures hydrogen containing fuel mixes taking into account maintenance ignition and a non-admission of abnormal combustion;
- Principles of a choice of rational structures multi component hydrogen containing a fuel mix in a wide range of modes of toxicity of the fulfilled gases;
- The scheme of a hydrogen food of the engine.

The practical importance. The practical recommendations providing increase of efficiency heat of use and decrease of toxicity of fulfilled gases are offered:

- Characteristics of regulation of structure of a mix of the engine working on hydrogen, and system giving fuel, realising the given characteristics.

Realisation of work results. Results of realisation of work are developed a design procedure of a running cycle of the engine with a power supply system converted on bus ISUZU hydrogen.

Structure and work volume. The dissertation consists of the introduction, three heads, the conclusion, the list of references and appendices, contains pages of the basic text, drawings, tables, the list of the used literature from names.

The basic results on the executed work. The algorithm of calculation with a spreadsheet (MS EXCEL) an internal combustion engine running cycle working on hydrogen fuel is developed.

The general conclusions and recommendations:

On the basis of the created methods and means the scientific and technical problem having important economic value – improvement of economic and ecological indicators of engines by converting of working process on perspective fuel not an oil origin which are hydrogen is solved.

The method of thermal calculation of the engine is assumed at hydrogen uses.

The Scientific Supervisor:

(Signature)

The student:

(Signature)

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	7
Глава I. Анализ выполненных работ. Современное состояние проблемы. Выбор цели и задач исследований	11
1.1. Конструктивные особенности автомобилей, работающих на альтернативных топливах.....	11
1.2. Анализ особенностей работы автомобилей на водородном топливе	24
1.3. Анализ системы питания двигателя на водороде.....	38
Выводы по главе I	46
Глава II. Теоретические исследования показателей двигателей, работающих на водороде	47
2.1. Тепловой расчет двигателя при использовании водорода	47
2.2. Построение внешних скоростных характеристик двигателя	60
Выводы по главе II	64
Глава III. Экспериментальное исследование двигателя «ISUZU»	65
3.1. Объект и методика исследований.....	65
3.2. Установка система питания водородом на двигатель.....	69
3.3. Наладка стенда и измерительной аппаратуры.....	80
3.4. Снятие характеристик двигателя и обобщение полученных данных.....	81
Выводы по главе III	88
Общие выводы и рекомендации	89
Список использованной литературы	90
Приложения	94

Введение

Чем больше в мире производится автомобилей, тем значительнее интерес к альтернативным бензину видам топлива, при сгорании которых выделяется меньше вредных веществ. Во многих странах все более популярным становится биологическое топливо, изготавливаемое из растительного сырья. В шести государствах Европейского Союза, а также в США, Канаде, Бразилии, Малайзии такое биологическое топливо производят в промышленных масштабах, но все же его доля в топливном балансе не превышает 0,3%. [1]

В настоящее время двигатель внутреннего сгорания остаётся основной движущей силой автомобиля. В связи с этим единственный путь решения энергетической проблемы автомобильного транспорта - это создание альтернативных видов топлива. Новое горючее должно удовлетворить очень многим требованиям: иметь необходимые сырьевые ресурсы, низкую стоимость, не ухудшать работу двигателя, как можно меньше выбрасывать вредных веществ, по возможности сочетаться со сложившейся системой снабжения топливом и др. [21]

Нефть сегодня - основной и наиболее востребованный энергоресурс. Однако ее запасы катастрофически заканчиваются, и уже понятно, что наступает закат нефтяной эры.

Уже сейчас абсолютно ясно, что XXI век станет закатом нефтяной эры. Снижение темпов нефтедобычи в ряде стран, включая Россию, и снижение ее рентабельности наблюдается уже сегодня. Все это является первопричиной увеличения стоимости нефтепродуктов и, как следствие, накладывает определенные ограничения на развитие экономик отдельных стран и мировой экономики в целом. Данное обстоятельство, с учетом того, что 80% механической энергии, которую использует в своей деятельности человек, вырабатывается двигателями внутреннего сгорания, заставляет уже сегодня серьезно задуматься об альтернативном источнике энергии, не нефтяного происхождения.

В последнее время большое количество зарубежных научно-исследовательских центров моторостроительных фирм проводят исследования, направленные на экономию топлива и замену традиционных жидких углеводородных топлив новыми видами.[8]

Актуальность темы. Непрерывный рост энергетических потребностей человечества, приводящий к ускоренному истощению ресурсов органического топлива и все увеличивающимся загрязнению окружающей среды, создаёт ситуацию, которую все чаще характеризуют как энерго-экологический кризис. Поэтому в широком масштабе ведутся поиски решения проблемы уменьшения расхода не возобновляемых источников энергии и снижения темпов загрязнения окружающей среды вредными выбросами. В этих условиях все больший интерес представляет концепция водородной энергетики, т.е. использования водорода в широком промышленном масштабе в качестве носителя энергии, в том числе и на транспорте.

Перспективность применения водорода для автомобильных двигателей определяется, прежде всего, экологической чистотой, неограниченностью и возобновляемостью сырьевых запасов, а также уникальными моторными качествами, что открывает возможность его широкого применения в современных двигателях без существенных конструктивных изменений.

Цель и задачи диссертационной работы. Разработка теоретических основ, комплекса методов и средств для улучшения энерго-экономических и экологических показателей двигателей конвертированием рабочего процесса на водород.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие основные задачи:

- анализ конструктивных особенностей автомобилей, работающих на альтернативных топливах;
- анализ особенностей работы различных автомобилей на водородном топливе;

- расчет рабочего процесса двигателя с водородным топливом;
- построение внешних характеристик двигателей работающих на различных топливах;
- разработка конструкции устройства для получения водорода.

Объектом исследования является автобус ISUZU NP37.

Предмет исследования. Конвертация ДВС на водородные топливо, использующийся в качестве альтернативного топлива дизельному топливу.

Методика и методы исследования. Теоретические методы исследования базируются на существующих методах расчета: тепловой расчет двигателя и расчет внешней скоростной характеристик. Экспериментальные исследования будут выполнены на специальных стендовых установках с использованием стандартных и частных методик, с помощью специализированной контрольно-измерительной аппаратуры в соответствии с нормативными документами на проведение экспериментальных исследований.

Научная новизна работы заключается в следующих положениях, выносимых автором на защиту:

- анализ зависимостей для определения характеристик тепловыделения и математическая модель рабочего процесса водородного двигателя,
- границы возможного варьирования составов водородосодержащих топливных смесей с учетом обеспечения воспламеняемости и недопущения аномального сгорания;
- принципы выбора рациональных составов многокомпонентной водородосодержащей топливной смеси в широком диапазоне режимов токсичности отработавших газов;
- схема водородного питания двигателя.

Практическая значимость. Предложены практические рекомендации, обеспечивающие повышение эффективности теплоиспользования и снижения токсичности отработавших газов:

- характеристики регулирования состава смеси двигателя, работающего на водороде, и система топливоподачи, реализующая данные характеристики.

Реализация результатов работы. Результатами реализации работы являются разработанные методика расчета рабочего цикла двигателя с системой питания, конвертированные на водород автобуса ISUZU.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений, содержит страницы основного текста, рисунки, таблицы, список использованной литературы из наименований.

Основные результаты по выполненной работе. Разработан алгоритм расчета с электронной таблицей (MS EXCEL) рабочего цикла двигателя внутреннего сгорания работающий на водородном топливе.

Общие выводы и рекомендаций:

На основе созданных методов и средств решена научно-техническая проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение – улучшение экономических и экологических показателей двигателей конвертированием рабочего процесса на перспективные топлива не нефтяного происхождения, которыми являются водород.

Предположен метод теплового расчета двигателя при использовании водорода.

Глава 1. АНАЛИЗ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ВЫБОР ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.

Альтернативные приводы и источники энергии, не наносящие ущерба окружающей среде, называют надеждой завтрашнего дня. Топливные элементы считаются самым оптимальным решением энергетических проблем: из водорода и кислорода вырабатывается электрический ток, который используется для привода двигателя. В результате электрохимического процесса, помимо электрической энергии, образуются только тепло и водяной пар.

Для промышленного получения водорода было предложено большое количество различных способов. Однако перечислять все способы и патенты по производству водорода нет нужды; это представляет главным образом исторический интерес, поскольку большинство из предложенных способов вообще не было осуществлено в промышленном масштабе, а в практических условиях оправдали себя лишь некоторые из них.

1.1. Конструктивные особенности автомобилей, работающих на альтернативных топливах

Автомобильный парк нашей страны значительно вырос за последние годы и его увеличение продолжается.

Связанный с этим рост потребления жидкого топлива на транспорте сопровождается истощением нефтяных месторождений, вследствие чего приходится осваивать новые, расположенные в труднодоступных районах. Это, в свою очередь, приводит к удорожанию как сырой нефти, так и получаемых из нее нефтепродуктов.

Человек живёт в водородно-гелиевой вселенной. Поэтому водород представляет для нас очень большой интерес. Влияние и польза водорода в наши дни очень велика. Практически все известные сейчас виды топлива, за исключением, разумеется, водорода, загрязняют окружающую среду. В городах нашей страны ежегодно проходит озеленение, но этого, как видно,

недостаточно. В миллионы новых моделей автомобилей, которые сейчас выпускаются, заливают такое топливо, которое выпускает в атмосферу углекислый (CO_2) и угарный (CO) газы. Дышать таким воздухом и постоянно находиться в такой атмосфере представляет очень большую опасность для здоровья. От этого происходят различные заболевания, многие из которых практически не поддаются лечению, а уж тем более невозможно лечить их, продолжая находиться можно сказать «заражённой» выхлопными газами атмосфере. [22]

Водород - один из наиболее распространённых элементов и на Земле. В земной коре из каждых 100 атомов 17 - атомы водорода. Он составляет примерно 0,88 % от массы земного шара (включая атмосферу, литосферу и гидросферу). Если вспомнить, что воды на земной поверхности более $1,5 \cdot 10^{18}$ м³ и что массовая доля водорода в воде составляет 11,19 %, то становится ясно, что сырья для получения водорода на Земле - неограниченное количество. Водород входит в состав нефти (10,9 - 13,8 %), древесины (6 %), угля (бурый уголь - 5,5%), природного газа (25,13 %). Водород входит в состав всех животных и растительных организмов. Он содержится и в вулканических газах. Основная масса водорода попадает в атмосферу в результате биологических процессов. При разложении в анаэробных условиях миллиардов тонн растительных остатков в воздух выделяется значительное количество водорода. Этот водород в атмосфере быстро рассеивается и диффундирует в верхние слои атмосферы. Имея малую массу, молекулы водорода обладают высокой скоростью диффузионного движения (она близка ко второй космической скорости) и, попадая в верхние слои атмосферы, могут улететь в космическое пространство. Концентрация водорода в верхних слоях атмосферы составляет $1 \cdot 10^{-4}$ %.

Под водородной технологией подразумевается совокупность промышленных методов и средств для получения, транспортировки и

хранения водорода, а также средств и методов его безопасного использования на основе неисчерпаемых источников сырья и энергии.

Водород, получаемый из воды, - один из наиболее энергонасыщенных носителей энергии. Ведь теплота сгорания 1 кг H_2 составляет (по низшему пределу) 120 МДж/кг, в то время как теплота сгорания бензина или лучшего углеводородного авиационного топлива - 46 - 50 МДж/кг, т.е. в 2,5 раза меньше. К тому же водород - легко возобновляемое топливо.

Современная технология обеспечивает ежегодное получение во всём мире десятков миллионов тонн молекулярного водорода. Более 90% его получается каталитической конверсией метана, жидких углеводородов, газификацией твёрдого топлива. Совершенно ясно, что в будущем при переходе на водородную технологию такие источники получения водорода, кроме твёрдого топлива, будут в основном исключены. В качестве основного источника сырья будет использоваться вода. В качестве источника энергии для разложения воды - атомная энергия в различных её видах (тепло, электроэнергия) и энергия воды, ветра в виде электрической энергии, энергия солнечного излучения.

Электролиз воды проводится в промышленной практике давно и широко описан в литературе. Сейчас делаются значительные усилия в науке промышленности, чтобы использовать неисчерпаемую энергию солнечного излучения для разложения воды. Это и применение фотолизных ячеек для разложения воды, солнечных ячеек для получения электроэнергии с последующим её использованием при электролизе воды. Главная задача, которая здесь решается, заключается в том, чтобы провести под непосредственным воздействием солнечной энергии ряд фотохимических реакций с целевым назначением разложения воды до водорода и кислорода. Суть проблемы заключается в том, чтобы подобрать такие биологические системы, которые будут использовать солнечную энергию для разложения воды.

Очевидно, что при переходе транспорта на водородное топливо экологические проблемы больших городов были бы раз и навсегда решены. Однако перед таким переходом стоит ряд проблем, среди которых:

- потребность в огромных энергозатратах для получения водорода электролизом воды;
- необходимость использования специальных сверх герметичных емкостей для хранения и транспортировки водорода, т.к. в силу малого размера молекул он обладает высокой проникающей способностью.

Газ Брауна. Это самое совершенное топливо для наших транспортных средств. Получается он из воды (то есть водорода и кислорода), так же как и чистый водород, но сгорает в ДВС так, что, в зависимости от регулировки, может отдавать кислород в атмосферу. На выхлопе получается кислород и водяной пар (как и в случае топливных баков), однако кислород здесь берется из воды, используемой для получения газа. Поэтому при сжигании газа Брауна в атмосферу поступает дополнительный кислород.

Таким образом, использование газа Брауна помогает решить очень опасную для нас проблему уменьшения кислорода в окружающей среде. С этой точки зрения газ Брауна представляет собой идеальное топливо для автомобилей будущего.

Компания «Ротман Текнолоджиз Лтд» использует блок, увеличивающий выход газа вдесятеро по сравнению с обычным электролизом. В этом способе газ Брауна смешивается с водой, получаемая

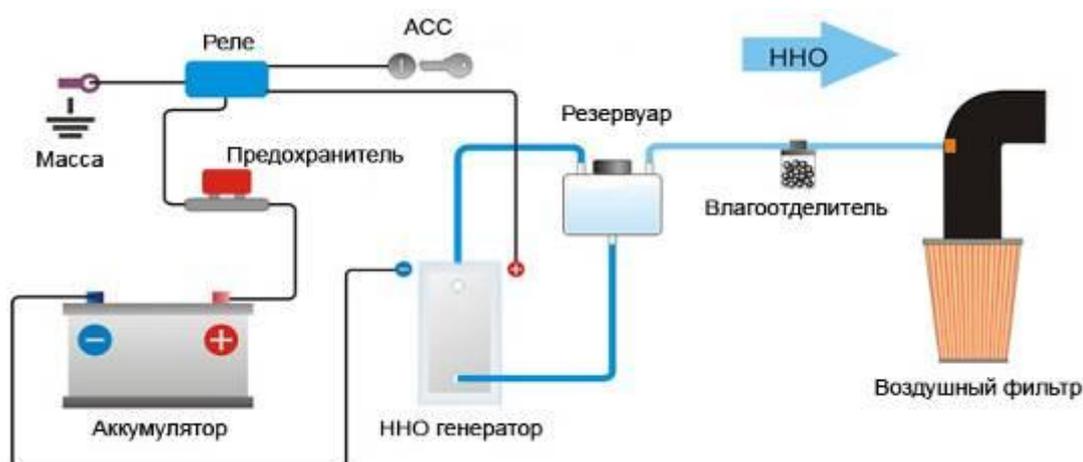


Рис.1.1. Принцип работы водородного генератора газа Брауна.

молочно-белая смесь подается затем на сепаратор, снова разделяющий воду и газ. Газ направляется в двигатель, а вода идет обратно в электролизер для повторного использования.

Это изобретение, на которое компания имеет заявленный патент США, является, возможно, самым важным открытием, когда-либо сделанным в области электролизных технологий. Десятикратный по сравнению с обычным выхода газа Брауна обеспечивает нормальную работу современных ДВС на воде. Такой способ электролиза, является, по-видимому, технологией будущего.

Среди зарубежных фирм, работающих в области электролиза воды, таких как «Proton Energy Systems Inc», «HSSI Electrolyzer», «H₂Gen Innovation Inc» и др., наибольший объем продаж имеют фирмы, ориентированные на щелочные электролизеры большой производительности. Значительные успехи в области их создания и реализации в настоящее время имеют фирмы «Norsk Hydro Electrolysers» (Норвегия), «Stuart Energy Systems» (Бельгия), «Teledyne Inc»(США).

Генераторы фирмы «Stuart Energy Systems» (Бельгия) производительностью до 120 нм³Н₂/ч состоят из двух блоков: источника тока и самого электролизера. Вес и массогабаритные характеристики в десятки раз ниже аналогичных по производительности Российских, поэтому они не требуют строительства отдельных зданий, поставляются полностью собранными в виде двух контейнеров. Аналогичные установки с несколько другой элементной базой производит фирма «Norsk Hydro Electrolysers».



Рис. 1.2. Универсальный генератор газа Брауна HC12/24V-RO.

Сегодня щелочной электролиз воды остается основным методом крупномасштабного производства электролитического водорода. Однако результаты исследований и разработок последних лет показывают, что электролизеры с твердополимерным электролитом уже в близкой перспективе могут стать серьезным конкурентом этой технологии. Сегодня в лабораторных условиях разработаны электрохимические ячейки с ТПЭ, обеспечивающие электролиз воды с КПД более 90% (энергозатраты менее 3,8 кВт×ч/м³) при плотностях тока, на порядок превышающих таковые в щелочных электролизерах. Основные проблемы, которые необходимо решить при создании эффективных электролизеров с ТПЭ — снижение стоимости мембранно-электродного блока, увеличение ресурса и масштабирование процесса, то есть выход на большие единичные модули.

Главным недостатком природного газа, как моторного топлива, является очень низкая объемная концентрация энергии. Если теплота сгорания одного литра жидкого топлива равна, примерно, 31 426 кДж, то у природного газа при нормальных условиях она равна 33,52–35,62 кДж, т. е. почти в 1000 раз меньше. По этой причине для использования газа в качестве моторного топлива на транспортном средстве его надо предварительно сжать до высоких давлений 20–25 Мпа (200-250 атм) и более и заполнить им специальные баллоны.

Для хранения газа под таким давлением выпускаются баллоны из углеродистых и легированных сталей на давление 15–32 МПа. Каждый баллон в незаполненном состоянии весит более 100 кг.

Сравнительные характеристики пропана, бутана, бензина, метана и водорода приведены в

табл. 1.1.

Параметры	Пропан	Бутан	Бензин	Метан	Водород
Химическая формула	C ₂ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₈ H ₁₇	CH ₄	H ₂
Молекулярная масса	44	58	114	16	2
Плотность жидкой фазы при, нормальных условиях, кг/м ³	510	580	730		70,8
Температура кипения при атмосферном давлении, °С	-43	-0,5	Не ниже 35	-161,6	-252,7

Теплота сгорания в газообразном состоянии, МДж/м ³	85	111	213	39	143,06
Пределы воспламеняемости в смеси с воздухом при нормальных условиях, % объема:					
Нижний	2,4	1,8	1,5	5	10
Верхний	9,5	8,5	6,0	15	80
Октановое число	110	95	92	120	
Степень сжатия	10...12	7,5...8,5	8,2	13	
Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг	15,8	15,6	14,7	17	23,8

Из данных таблицы видно, что свойства бензина отличаются от свойств пропана, бутана и метана углеродным числом, представляющим собой более благоприятное соотношение молекулярных масс углерода и водорода. [8]

Газовые конденсаты — жидкие смеси высококипящих углеводородов различного строения, выделяемые из природных газов при их добыче на газоконденсатных месторождениях.

В пластовых условиях при высоком давлении (от 10 до 60 МПа) и температуре в парообразном состоянии находятся некоторые бензино-керосиновые фракции и, что случается реже, более высокомолекулярные жидкие компоненты нефти. При разработке месторождений давление падает в несколько раз — до 4—8 МПа, и из газа выделяется сырой нестабильный конденсат, содержащий, в отличие от стабильного, не только углеводороды C₅ и выше, но и растворённые газы метан-бутановой фракции.

Содержание жидких компонентов в одном кубометре газа для различных месторождений составляет от 10 до 700 см³.

Шахтный метан - в последнее время к числу альтернативных видов автомобильных топлив стали относить и шахтный метан, добываемый из угольных пород. Так, к 1990 г. в США, Италии, Германии и Великобритании на шахтном метане работали свыше 90 тыс. автомобилей. В Великобритании, например, он широко используется в качестве моторного топлива для рейсовых автобусов в угольных регионах страны. Прогнозируется, что

газовая добыча метана в угольных бассейнах мира уже в ближайшее время составит 96-135 млрд. м³.

Синтетическое топливо — углеводородное топливо которое отличается от обычного топлива процессом производства, то есть получаемое путем переработки исходного материала, который до переработки имеет неподходящие для потребителя характеристики.

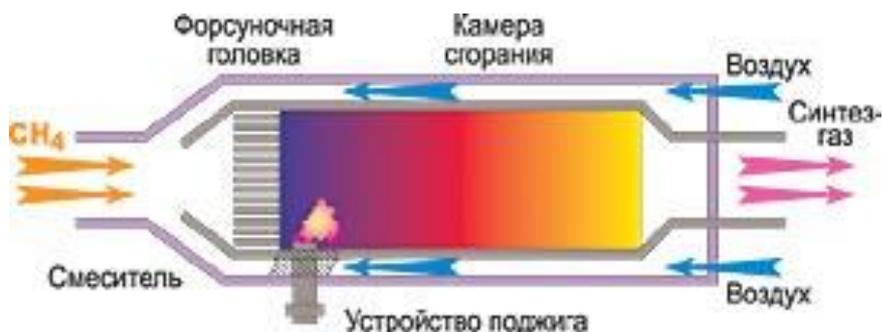


Рис.1.3. Схема химического реактора для получения синтез-газа при горении смеси метана и воздуха при высоких температурах.

Как правило этот термин относится к жидкому топливу полученному из твердого топлива (угля, опилок, сланцев) либо из газообразного топлива. Такие процессы, как например процесс Фишера — Тропша, использовались государствами не имеющими доступа к жидкому топливу.

Наиболее перспективным считается синтезирование бензина из природного газа. Из 1 м³ синтез-газа получают 120-180 г синтетического бензина. Синтетическое жидкое топливо и газ из твердых горючих ископаемых производят сейчас в ограниченном масштабе. Дальнейшее расширение производства синтетического топлива сдерживается его высокой стоимостью, значительно превышающей стоимость топлива на основе нефти.

Спирты – в первую очередь следует отметить среди альтернативных видов топлива, в частности метанол и этанол, которые можно применять не только как добавку к бензину, но и в чистом виде. Их главные достоинства - высокая детонационная стойкость и хороший КПД рабочего процесса, недостаток - пониженная тепловая способность, что уменьшает пробег между заправками и увеличивает расход топлива в 1,5-2 раза по сравнению с

бензином. Кроме того, затруднён запуск двигателя из-за плохого испарения метанола и этанола.

Электрическая энергия - заслуживает внимания применение электроэнергии в качестве энергоносителя для электромобилей. Кардинально решается вопрос, связанный с токсичностью отработанных газов, появляется возможность использования нефти для получения химических веществ и соединений. К недостаткам электроэнергии как вида электроносителя можно отнести: ограниченный запас хода электромобиля (под термином электромобиль имеется в виду автомобиль, у которого для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока), увеличенные эксплуатационные расходы, высокая первичная стоимость и высокая стоимость энергоёмких аккумуляторных батарей.

Топливный элемент — электрохимическое устройство, подобное гальваническому элементу, но отличающееся от него тем, что вещества для электрохимической реакции подаются в него извне — в отличие от ограниченного количества энергии, запасенного в гальваническом элементе или аккумуляторе.

Топливные элементы осуществляют превращение химической энергии топлива в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Это электрохимическое устройство в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Это устройства, генерирующие электроэнергию непосредственно на борту транспортного средства. В процессе реакции водорода и кислорода образуются вода и электрический ток. В качестве топлива, как правило, используется либо сжатый водород, либо метанол.

Биодизельное топливо - в последние годы в США, Канаде и странах Европейского Союза возрос коммерческий интерес к биодизельному

топливу, в особенности к технологии его производства из растительного масла.

В США планируется на 20% заменить обычное дизельное топливо биодизельным и использовать его на морских судах, городских автобусах и грузовых автомобилях. Применение биодизельного топлива связано, в первую очередь, со значительным снижением эмиссии вредных веществ в отработанных газах (на 25-50%), улучшением экологической обстановки в регионах интенсивного использования дизелей - сера в биодизельном топливе составляет 0,02%.

Биогаз - он представляет собой смесь метана и углекислого газа и является продуктом метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения. Биогаз относится к топливам, получаемым из местного сырья. Хотя потенциальных источников для его производства достаточно много, на практике круг их сужается вследствие географических, климатических, экономических и других факторов. Биогаз как альтернативный энергоноситель может служить высококалорийным топливом. Он предназначен для улучшения технико-эксплуатационных и экологических показателей работы ДВС. Применение биогаза в качестве топлива для ДВС, позволяет снизить выбросы, а также улучшить топливную экономичность.

Водород - сейчас каждая автомобильная компания имеет концепт-кар, который работает на водороде. Однако некоторые фирмы предлагают комбинированные решения. Так, «Мазда» предлагает автомобиль, который имеет возможность чередовать топливо (водород и бензин).

Представители Mazda утверждают, что по сравнению с двигателем Hydrogen RE автомобилей RX-8, новый двигатель Premacy может проехать вдвое большее расстояние на том же количестве водорода – 200 км против 100 км при полной заправке.

Группа исследователей из «НАМИ» (Россия), предлагают наиболее приемлемый вариант — использование в качестве энергоносителя не самого

водорода, а безопасного и удобного сырьевого продукта, из которого непосредственно на борту автомобиля можно было бы путем термохимического преобразования получать газообразные продукты с высоким содержанием водорода. В качестве сырьевого продукта для получения водородсодержащего топлива, в принципе, может быть использовано традиционное моторное топливо, поскольку содержание водорода в нем составляет около 15% от массы.

Очевидно, что в этом случае появляется реальная возможность использования «бесплатной» тепловой энергии отработавших газов для организации конверсионного процесса без дополнительного источника тепла.

Подобными свойствами обладают спирты и ряд эфиров. Этиловый и особенно метиловый спирты уже относительно давно применяются в автомобильных двигателях в качестве частичных заменителей традиционных

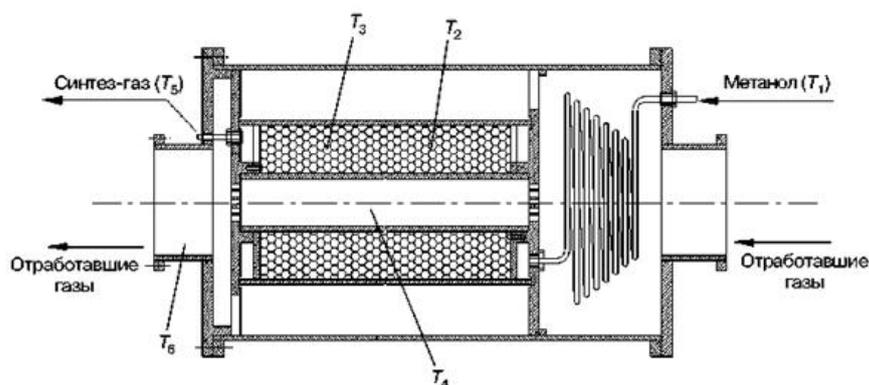


Рис. 1.4. Исходный вариант реактора: T_1 – T_6 — зоны измерения температур.

топлив. Для генерирования водородсодержащих газообразных продуктов был разработан опытный образец термokatалитического реактора конверсии метанола (рис.1.4).

В ходе разработки реактора был предложен более совершенный

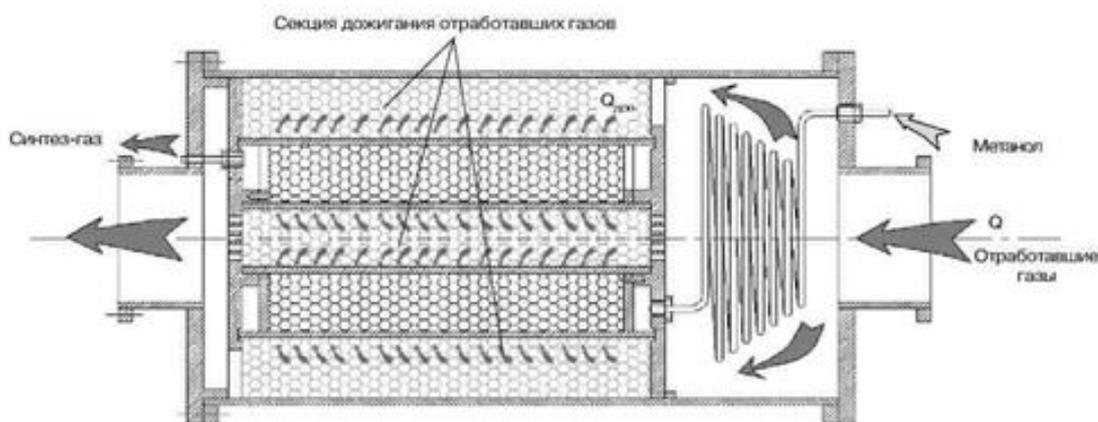


Рис1.5. Модифицированный реактор.

вариант (патент РФ №2175396), который обуславливает возможность использования для организации конверсионного процесса не только тепловой, но и химической составляющей энергии отработавших газов, не реализованной в рабочем цикле дизеля — химической энергии продуктов неполного сгорания топлива (рис.1.5).

Такой эффект достигается пропуском отработавших газов через каталитическую среду для доокисления продуктов неполного сгорания топлива (CO , CH и др.). Краткая характеристика реактора конверсии:

- объем реакционного пространства — $1,26 \text{ дм}^3$;
- коэффициент конверсии при объемных скоростях 3000 ч^{-1} — не менее 92%;
- номинальная производительность по синтезу газа — $1,2 \text{ кг/ч}$, по водороду — 150 г/ч ;
- габаритные размеры реактора — $340 \times 610 \text{ мм}$.

К наиболее важным характеристикам каталитического реактора конверсии метанола относится зависимость степени конверсии от температуры в реакционной камере. Подобные характеристики могут быть получены только на основе эксперимента.

При 310°C и выше достигается практически полная конверсия метанола ($\Phi_k \approx 100\%$) в опытном реакторе. При температуре 300°C процесс

диссоциации близок к своему завершению ($\Phi_k = 92\%$), что позволяет вполне обоснованно говорить о процессе конверсии как идеальном для условий реальной эксплуатации реактора в составе системы питания двигателя. При этом выбранная каталитическая среда способствует началу процесса разложения метанола уже при температуре 240-250°C, что обуславливает возможность частичной конверсии метанола с выходом водородного компонента на низких нагрузочных режимах работы двигателя с дефицитом по температуре.

Расчет показал, что удельный выброс NO_x уменьшается для гомогенной водородно-воздушной смеси в 28,7 раз, для ДМЭ — в 2,8 раза, смеси 10% ПКМ + 90% ДТ — в 1,23 раза по сравнению с дизельным топливом. Необходимо отметить, что в 13-ступенчатом цикле наибольший вклад в выброс NO_x оказывают режимы максимального момента и номинальной мощности. По результатам предварительных исследований можно сделать вывод, что применение водородсодержащих газовых ПКМ на дизелях в качестве добавок к основному заряду делает возможным решить актуальную проблему - совершенствование их эколого-экономических качеств. По мере совершенствования конверсионных систем двигателестроительная отрасль получает альтернативную возможность радикального решения топливно-энергетической проблемы на основе полной замены традиционных топлив продуктами переработки сырья растительного происхождения, в том числе и метанола. [22]

1.2. Анализ особенностей работы автомобилей на водородном топливе.

Человек живёт в водородно-гелиевой вселенной. Поэтому водород представляет для нас очень большой интерес. Влияние и польза водорода в наши дни очень велика. Практически все известные сейчас виды топлива, за исключением, разумеется, водорода, загрязняют окружающую среду. В городах нашей страны ежегодно проходит озеленение, но этого, как видно, недостаточно. В миллионы новых моделей автомобилей, которые сейчас выпускаются, заливают такое топливо, которое выпускает в атмосферу углекислый (CO_2) и угарный (CO) газы. Дышать таким воздухом и постоянно находиться в такой атмосфере представляет очень большую опасность для здоровья. От этого происходят различные заболевания, многие из которых практически не поддаются лечению, а уж тем более невозможно лечить их, продолжая находиться можно сказать «заражённой» выхлопными газами атмосфере.

Что касается воздуха, то здесь на повестке дня уже много лет стоит не менее важная проблема. И если представить, хотя бы на секунду, что все современные двигатели будут работать на экологически чистом топливе, коим, разумеется, является водород, то наша планета встанет на путь, ведущий к экологическому раю.

Сколько бы мы не говорили о положительном влиянии водорода, на практике это можно увидеть довольно таки не часто. Но всё же разрабатывается множество проектов, и целью моей работы явился не только рассказ о самом чудесном топливе, но и о его применении. Эта тема очень актуальна, поскольку сейчас жителей не только нашей страны, но и всего мира, волнует проблема экологии и возможные пути решения этой проблемы.

Переход транспорта, промышленности, быта на сжигание водорода - это путь к радикальному решению проблемы охраны воздушного бассейна от загрязнения оксидами углерода, азота, серы, углеводородами.

Переход на водородную технологию и использование воды в качестве единственного источника сырья для получения водорода не может изменить не только водного баланса планеты, но и водного баланса отдельных её регионов. Так, годовая энергетическая потребность такой высокоиндустриальной страны, как Германия, может быть обеспечена за счёт водорода, полученного из такого количества воды, которое соответствует 1,5% среднего стока реки Рейн. Отметим попутно, что на наших глазах становится реальной одна из гениальных догадок великого фантаста Жюль Верна, который устами героя романа «Таинственный остров» заявляет: «Вода - это уголь будущих веков».

Современная технология обеспечивает ежегодное получение во всём мире десятков миллионов тонн молекулярного водорода. Более 90% его получается каталитической конверсией метана, жидких углеводородов, газификацией твёрдого топлива. Совершенно ясно, что в будущем при переходе на водородную технологию такие источники получения водорода, кроме твёрдого топлива, будут в основном исключены. В качестве основного источника сырья будет использоваться вода. В качестве источника энергии для разложения воды - атомная энергия в различных её видах (тепло, электроэнергия) и энергия воды, ветра в виде электрической энергии, энергия солнечного излучения.

При внимательном рассмотрении всего комплекса методов получения водорода видно, что если использование горючих ископаемых имеет прямой выход к водороду, то использование других первичных источников энергии в основном базируется на использовании электрической энергии для электролитического разложения воды, энергии Солнца в фотосинтетических системах для разложения воды и атомного тепла в термохимических системах для разложения воды. Электролиз воды проводится в промышленной практике давно и широко описан в литературе. Сейчас делаются значительные усилия в науке промышленности, чтобы использовать неисчерпаемую энергию солнечного излучения для разложения

воды. Это и применение фотолизных ячеек для разложения воды, солнечных ячеек для получения электроэнергии с последующим её использованием при электролизе воды. Главная задача, которая здесь решается, заключается в том, чтобы провести под непосредственным воздействием солнечной энергии ряд фотохимических реакций с целевым назначением разложения воды до водорода кислорода. Суть проблемы заключается в том, чтобы подобрать такие биологические системы, которые будут использовать солнечную энергию для разложения воды.

Но наиболее в технологическом плане являются методы термохимического разложения воды. Эти методы важны тем, что для разложения воды они могут использовать и тепло атомных реакторов, солнечное тепло, и тепло геотермальных вод, и любые другие виды тепла, например перепад температур верхних и нижних слоёв тропических морей. Разрабатываются и комбинированные термохимические процессы, которые наряду с теплом используют электрическую энергию - термоэлектрохимические процессы, солнечное излучение, фото- и термохимические процессы. Термохимические процессы разложения воды привлекательны ещё и тем, что в результате целого ряда химических превращений, протекающих в термохимическом цикле (системе), из цикла в окружающее пространство ничего, кроме водорода и кислорода, не выделяется. Все химические процессы, сопровождающие разложение воды, находятся в закрытом циркуляционном контуре. В этот контур подводятся только вода и тепло (высокопотенциальное), от контура отводятся водород, кислород и тепло (низкопотенциальное). [8]

Единственным выхлопным газом при сгорании водорода являются водяные пары, которые вступают в естественный природный круговорот воды. А, как известно, посредством электролиза из воды можно снова получить водород. Этот замкнутый цикл, лежащий в основе идеи водородной энергетики, позволяет назвать водород одним из самых экологичных видов топлива.

Очевидно, что при переходе транспорта на водородное топливо экологические проблемы больших городов были бы раз и навсегда решены. Однако перед таким переходом стоит ряд проблем, среди которых:

- потребность в огромных энергозатратах для получения водорода электролизом воды;
- необходимость использования специальных сверх герметичных емкостей для хранения и транспортировки водорода, т.к. в силу малого размера молекул он обладает высокой проникающей способностью.

Необходимость создания развитой сети заправочных станций в каждом населенном пункте и вдоль крупных автомагистралей: водород - самый легкий и наименее плотный газ, поэтому автомобилю с водородным двигателем придется заправляться намного чаще, чем автомобилям с бензиновым и дизельным двигателями.

Один из путей внедрения водорода на автотранспорте - сжигание его в ДВС. Такой подход исповедуют BMW и Mazda. Японские и немецкие инженеры видят в этом свои преимущества.

Прибавку в весе машины даёт лишь водородная топливная система, в то время, как в авто на топливных элементах прирост (топливные элементы, топливная система, электромоторы, преобразователи тока, мощные аккумуляторы) - существенно превышает "экономия" от удаления ДВС и его механической трансмиссии.

Потеря в полезном пространстве также меньше у машины с водородным ДВС (хотя водородный бак и в том, и другом случае съедает часть багажника). [8]

Эту потерю можно было бы вообще свести к нулю, если сделать автомобиль (с ДВС), потребляющий только водород. Но тут-то и проявляется главный козырь японских и германских исследователей.

BMW и Mazda предлагают сохранить в автомобиле возможность ездить на бензине (по аналогии с распространёнными ныне двухтопливными машинами "бензин/газ").

Такой подход, по замыслу автостроителей, облегчит постепенный переход автотранспорта только на водородное питание.

Между тем, серийный выпуск и массовые продажи машин на топливных элементах долгое время будут сильно сдерживаться малым числом таких заправочных станций. Да, и стоимость топливных элементов пока велика.

Кроме того, перевод на водород обычных ДВС (при соответствующих настройках) не только делает их чистыми, но и повышает термический КПД и улучшает гибкость работы.

Дело в том, что водород обладает намного более широким, по сравнению с бензином, диапазоном пропорций смешивания его с воздухом, при которых ещё возможен поджег смеси.

И сгорает водород полнее, даже вблизи стенок цилиндра, где в бензиновых двигателях обычно остаётся несгоревшая рабочая смесь.

Итак, "скармливаем" водород двигателю внутреннего сгорания. Физические свойства водорода существенно отличаются от таковых у бензина. Над системами питания немцам и японцам пришлось поломать голову. Но результат того стоил.

Показанные BMW и Mazda водородные автомобили сочетают привычную для владельцев обычных авто высокую динамику с нулевым выхлопом.

А главное - они куда лучше приспособлены к массовому производству, чем "ультраинновационные" машины на топливных элементах.

Очевидно, что если под "водородным двигателем" понимать электрический, получающий энергию от реакции соединения водорода и кислорода в топливных элементах, то окислов азота не будет совсем. А углеводородное топливо "поставляет" при сжигании целый букет токсичных соединений, среди которых сажа - далеко не самая вредная.

Производители автомобилей сделали первые шаги в направлении водородной энергетики. В частности, уже несколько лет выпускаются так называемые гибридные автомобили, снабженные как традиционным бензиновым двигателем, так и электродвигателем, работающим благодаря водородному топливному элементу.

Водородный топливный элемент во многом напоминает обычный аккумулятор: в нем энергия химической реакции преобразуется в электрическую энергию.

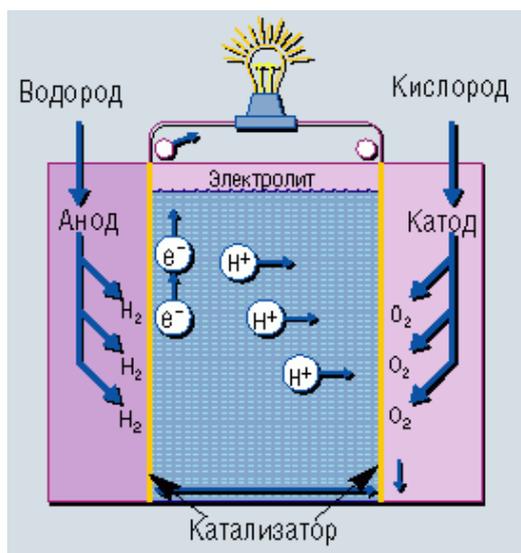
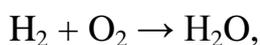


Рис.1.6. Принцип работы топливного элемента.

Водород из специальной герметичной емкости подается в топливный элемент, состоящий из двух электродов (анода и катода) и протоно-обменной мембраны - материала, пропускающего только протоны. На аноде, изготовленном с использованием благородного металла (например, платины или ее сплавов), молекулы водорода распадаются на атомы и теряют электроны. Освободившиеся при этом ядра водорода, т. е. протоны, начинают двигаться к катоду сквозь мембрану. Электроны же направляются как бы «в обход» мембраны, поскольку их она пропускать не будет. Поток электронов представляет собой электрический ток, который потребляется электродвигателем автомобиля. Минував двигатель, электроны поступают на катод. Там же, в свою очередь, распадаются на атомы молекулы кислорода, поступающего в топливный элемент из атмосферы.

Таким образом, на катоде происходит одновременная встреча атомов кислорода, протонов и электронов: это приводит, очевидно, к образованию молекул воды, которые благополучно выводятся за пределы элемента.

Фактически, топливный элемент позволяет провести высокоэнергетичную реакцию



но не в виде взрыва, а в спокойном, управляемом режиме.

Классическим примером подобной схемы может служить экспериментальный автомобиль УКЛА (UCLA, США), работающий на сжатом водороде. Автомобиль УКЛА, предназначенный специально для городских условий, создан на базе модели «Форд Босс» (FordBoss) 1971г. с двигателем V-8 объёмом 5,75 л. Мероприятия по модификации двигателя включают снижение степени сжатия с 11,7 до 8,9, установку ограничителя температуры топливной смеси (71°C) и изменение фаз газораспределения. Для предотвращения обратных вспышек водорода, снижения жёсткости его сгорания и уменьшения эмиссии NO_x использовалась частичная балластировка топливной смеси с помощью 25%-ной рециркуляции ОГ. [9]

Таблица 1.2. Объёмно – массовые характеристики различных систем хранения водорода на автомобиле.

Показатель	Бензин	Сжатый водород	Жидкий водород	Гидрид (MgH ₂)
Масса топлива, кг	53,5	13,4	13,4	181
Объём топлива, м ³	0,07	1,0	0,19	0,23
Масса бака, кг	13,06	1361	181	45,4
Объём бака, м ³	0,08	1,53	0,28	0,25
Общая масса топливной системы, кг	67	1374	195	227

Водород хранится в двух баллонах, размещаемых за передними сиденьями. В каждом баллоне массой 136 кг находится 1,36 кг H₂ под давлением 41МПа. Водород подаётся в двигатель двухступенчатым редуктором, снижающим давление до 30 мм вод. ст. Для повышения безопасности водород подаётся только при наличии разряжения во впускном

патрубке, для чего используется электромагнитный клапан, управляемый датчиком давления. При испытаниях автомобиля по методике CVS – 1973 расход топлива составлял 1 кг H₂ на 35 км, что обеспечило полный пробег без зарядки около 100 км. В выхлопных газах отсутствуют такие компоненты, как CO, CO₂ и CH, и содержится лишь примерно 0,205 г/км NO_x, что ниже Федерального стандарта США 1976 г.

Объёмно – массовые показатели топливной системы значительно улучшаются при использовании водорода в сжиженном состоянии. Основной проблемой при этом является низкая температура жидкого водорода, в связи с чем первостепенное значение имеет тепловая изоляция бака. Жидкий водород обычно транспортируют и хранят в криогенных резервуарах с двойными стенками, пространство между которыми заполнено изоляцией.

Наиболее эффективна многослойная изоляция, состоящая из чередующихся слоёв экранирующих и изолирующих материалов. Экранирующим материалом обычно является алюминиевая фольга, а для изолирующих слоёв используется стеклоткань, стеклобумага и др. При давлении в изолирующем пространстве ниже 1,33 Па такая изоляция практически не пропускает тепло, благодаря чему потери от испарения в цистерне ёмкостью 100 м³ не превосходят 0,25% в сут., а при хранении в стационарном резервуаре – 10% в год. В настоящее время созданы криогенные баки для автомобиля, имеющие утечку жидкого водорода менее 1% в сутки.

В двигатель жидкий водород подаётся путем его регазификации снижением давления газовой или нагревом жидкой фаз. Криогенный бак массой 120кг и ёмкостью 230л размещается в багажнике. Водород под давлением 0,4 – 0,5МПа подаётся во впускной патрубок с помощью клапанного механизма, приводимого в действие дополнительным кулачковым валом. Клапан впрыска водорода открывается одновременно с впускным клапаном двигателя и закрывается через 90°ПКВ. Для изменения расхода водорода используется двухступенчатый редуктор с двумя

игольчатыми клапанами. Проходное сечение первого клапана поддерживается в соответствии с оборотами двигателя с помощью вакуумного привода, а второго – механическим приводом от педали акселератора. Низкотемпературная изоляция топливных магистралей обеспечивает температуру водорода в точке впрыска порядка - 130⁰С, что позволяет значительно повысить наполнение цилиндров. Общая масса системы питания жидким водородом составляет 150кг. Средний расход сжиженного водорода непосредственно двигателем составляет 22л, а с учётом потерь при хранении и заправке – 25 л на 100 км, что обеспечивает полный пробег автомобиля порядка 1000 км. В пересчёте на бензиновый эквивалент топливная экономичность автомобиля составляет 5,7 – 6,5 л/100 км. При испытаниях автомобиля по городскому ездовому циклу в ОГ содержалось 0,05 г СН, 0,18 г СО и 2,56 г NO_x на 1 км пробега.

Для безопасной эксплуатации жидкого водорода необходима полная герметизация топливоподающей системы и организация сброса избыточного давления водорода в баке с его последующей нейтрализацией на каталитических дожигателях. Для заправки автомобиля жидким водородом требуется специальная система, обеспечивающая полное отсутствие утечек жидких и газообразных фаз топлива.

При организации комбинированного питания двигателя бензо - водородной смесью ввиду небольшого расхода водорода (обычно не более 20% от основного топлива) вполне приемлемо использовать его в сжатом виде. Включение и отсечка подачи водорода обычно производятся с помощью электромагнитного клапана.

Вторичные энергоносители являются наиболее перспективной формой использования водорода на мобильных потребителях. В противоположность схемам на чистом водороде применение вторичных энергоносителей позволяет прежде всего решить вопрос безопасности эксплуатации водородного топлива и, кроме того, обеспечивает приемлемый энергозапас без необходимости создания высоких давлений или криогенных температур

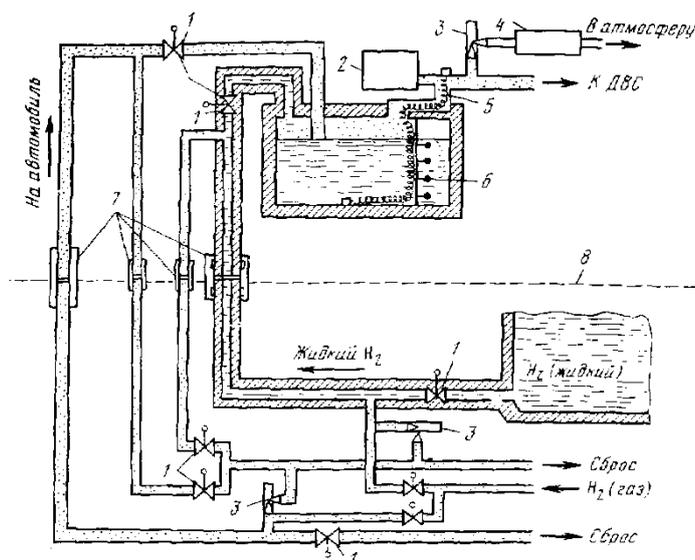


Рис.1.7. Схема системы заправки автомобиля жидким водородом:
 1-электроклапан; 2-контрольный блок; 3-сборники; 4-каталитический дожигатель;
 5-испаритель; 6-указатель уровня; 7-герметические разъёмы; 8-заправочная станция.

Наибольший практический интерес представляет аккумулярование водорода в составе металлгидридов. Выделение водорода происходит при подогреве гидридов с помощью, например, горячей жидкости из системы охлаждения или непосредственно ОГ. Для зарядки гидридного аккумулятора через восстановленный металлический компонент пропускается водород под небольшим давлением и одновременно отводится образующееся тепло. Процесс зарядки может повторяться несколько тысяч циклов без ухудшения энергоёмкости аккумулятора. В случае аварии и разрушения наружной оболочки ёмкости часть водорода быстро улетучивается, вызывая понижение температуры гидрида и прекращение выделения водорода. Благодаря этому во многих отношениях гидридный аккумулятор водорода безопаснее бака с бензином. [8]

Автомобиль с ДВС и гидридным аккумулятором водорода имеет большую массу и меньший запас хода по сравнению с автомобилем, работающим на бензине, однако превосходит по этим показателям существующие и перспективные типы электромобилей. Гидридный аккумулятор не требует существенного ухода, быстро заряжается, его себестоимость ниже, а срок службы больше, чем у аккумуляторных батарей.

Водородные автомобили с гибридными аккумуляторами наиболее целесообразно использовать в городских условиях, где они могут успешно конкурировать с обычными автомобилями и электромобилями. На рис.1.8. показана компоновка узлов гибридной системы питания водородной модификации автомобиля «Понтиак Гранд Вилл» выпуска 1975 г.

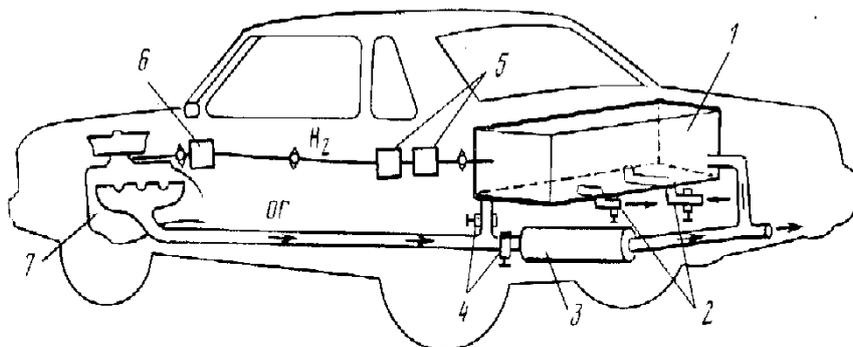


Рис.1.8. Гибридная система питания водородом автомобиля «Понтиак Гранд Вилл»: 1-гибридный аккумулятор; 2-подача и слив воды; 3-глушитель; 4-регулирующие клапаны; 5-система контроля и управления; 6-регулятор; 7-двигатель.

Топливный бак, размещаемый в багажнике, представляет собой пакет нержавеющей трубок, заполненных железо – титановым порошком и заключённых в общую оболочку. При зарядке водородом бак охлаждается водопроводной водой, подаваемой в пространство между трубками, которое также используется для пропускания ОГ при подогреве в процессе работы. Основные мероприятия по модификации двигателя включают повышение степени сжатия с 8 до 10, замену топливоподающей системы и установку угла опережения зажигания в 10^0 до ВМТ. Водород подаётся через редуктор низкого давления в смеситель, откуда совместно с воздухом поступает в упрощённый карбюратор, используемый для впрыска воды во впускной патрубок. Мощность двигателя регулируется дросселированием потока водородо – воздушной смеси, причём перевод на водород привёл к снижению мощности в рабочем диапазоне оборотов на 25 – 35%. Уменьшение крутящего момента и увеличение массы автомобиля потребовало модификации главной передачи.

Масса заправленного бака.....333,4 кг

Масса гидрида.....	197,8 кг
Давление заправки.....	3,4 МПа
Топливная экономичность.....	4,032 кг/100 км
Запас хода автомобиля.....	43,9 км
Максимальная скорость.....	144,8 км/ч

На водородной модификации автомобиля «Шевроле» выпуска 1973 г. (рис.1.9.) использована комбинированная гидридно – криогенная система питания.

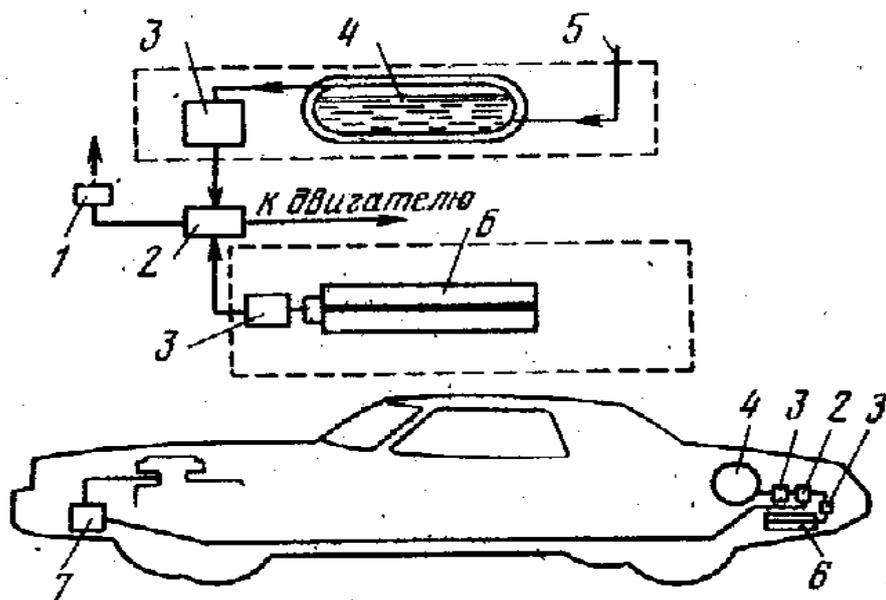


Рис.1.9. Гидридо – криогенная система питания водородом автомобиля «Шевроле Монте Карло»: 1- каталитический дожигатель; 2-ресивер; 3-электроклапан; 4-криогенный бак с жидким водородом; 5-заправочный трубопровод; 6-гидридный аккумулятор;7-регулятор.

Запуск двигателя происходит на жидком водороде с включением водородного аккумулятора после стабилизации теплового режима, причём для подогрева гидрида служит вода из системы охлаждения.

Избыток газовой фазы в баке жидкого водорода используется для подзарядки гидридного аккумулятора, что позволяет полностью ликвидировать утечки низкокипящего компонента. Гидридный аккумулятор представляет собой стальной контейнер, заполненный 400кг $FeTiH_2$, обеспечивающего хранение 6,4 кг водорода. Нагрев аккумулятора до $70^{\circ}C$ позволяет получить водород под давлением 1 – 2 МПа с расходом около 1,3 кг/ч. Криогенный бак массой 41 кг содержит 3,8 кг водорода. [10]

Основные элементы гидридно – криогенной системы питания размещены в багажнике автомобиля.

Перспективным направлением является сочетание аккумуляторов с различными гидридными компонентами, например, на основе железотитанового сплава и сплавов магния. Низкотемпературный компонент обеспечивает запуск двигателя, а высокотемпературный, характеризующийся более высоким содержанием водорода, - его основную работу. Согласно расчётам, при такой комбинации двух аккумуляторов общей массой 200 кг и суммарной ёмкостью 50 – 75 л пробег автомобиля при одной заправке составит около 400 км.

Способы хранения водорода. Существуют разнообразные способы хранения водорода. Самый эффективный из них - это баллоны. Если баллон выдерживает 300 атм, то в нем можно хранить 9%(масс) водорода; 500 атм - 11%. В США разработаны баллоны, рассчитанные на 700 атм. Они хранят 13% водорода.

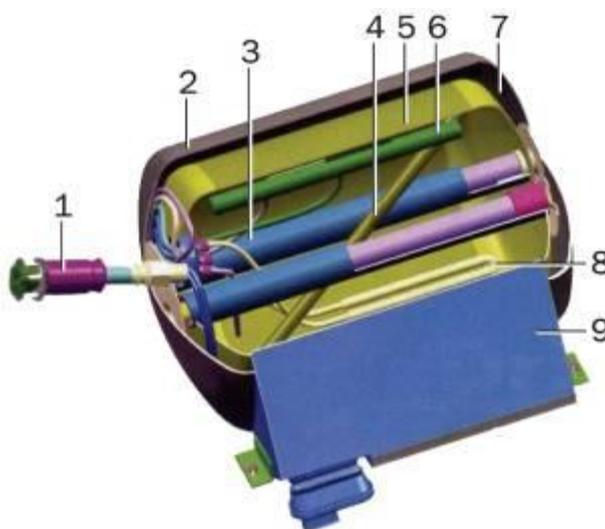


Рис.1.10. Конструкция «безопасного» топливного бака для сжиженного водорода:

- 1 - заправочное устройство;*
- 2 - наружный бак; 3 - опоры; 4 - датчик уровня; 5 - внутренний бак; 6 - заправочная линия;*
- 7 - изоляция и вакуум; 8 - нагреватель; 9 - крепежная коробка.*

Хорошие способы его хранения - адсорбция водорода в гидридах металлов (порядка 3%) и в интерметаллидах (до 5%). Есть идеи и проводятся уже эксперименты по таким способам хранения водорода, как углеродные

наноматериалы, нанотрубки и стеклянные микросферы. Целесообразно максимально согласовать во времени процессы производства водорода из традиционного топлива и его потребления, чтобы минимизировать потребность в хранении водорода.

Уникальных автомобилей Honda FCX Clarity, использующих для весьма комфортабельного передвижения в пространстве сжатый водород и электромотор, было построено всего 220 штук, из которых 20 были разбиты на краш-тестах, дабы развеять панику относительно безопасности водородных машин. Экспериментальный тираж, первые экземпляры которого прокатились по дорогам летом 2008 года, предназначен для сдачи в лизинг в США (конкретнее - в Калифорнии) и Японии.

Водород можно добывать множеством способов, но в Honda делают ставку на водный электролиз, который в будущем позволит навсегда попрощаться с углеродной энергетикой. Электричество, необходимое для разложения дистиллированной воды на водород и кислород, можно будет получать с помощью ветряных турбин или солнечных батарей, тем самым создавая т.н "круговорот возобновляемой энергии".

4 килограмма (171 литр) сжатого водорода позволяют проехать за рулем Honda FCX Clarity около 468 километров. Заправка занимает в среднем 3-4 минуты. Самая большая цифра, которую можно лицезреть на цифровом спидометре - 160 км/ч.

Отсутствие выхлопной системы позволило создать для FCX Clarity абсолютно плоское днище, что не может не сказаться на аэродинамике автомобиля: ветер просто "облизывает" машину. Расположение бака с водородом, аккумулятора и непосредственно самой батареи с топливными элементами обеспечивает низкий центр тяжести, улучшая управление и устойчивость.

1.3. Анализ системы питания двигателя на водороде.

Топливный кризис 70-х годов заставил многие автомобильные компании по новому взглянуть на альтернативные виды топлива. Тогда-то и был первый всплеск интереса к водороду, запасы которого на Земле огромны (его можно получать из воды). Однако вскоре кризис прошел, нефтепроводы заработали на полную мощность, и водородные исследования были приостановлены. Но прошло всего 30 лет, и эти исследования вновь стали актуальны, особенно учитывая современное экологическое настроение. Действительно, сжигая водород – получаем воду.

В сравнении с другими возможными видами автомобильных топлив преимуществами водорода в чистом виде являются:

- высокая теплота сгорания (28620 ккал/кг);
- хорошая воспламеняемость водородо-воздушной смеси в широком диапазоне температур, что обеспечивает хорошие пусковые свойства двигателя при любых температурах атмосферного воздуха;
- безвредность отработавших газов;
- высокая антидетонационная стойкость, допускающая работу при степени сжатия до 14,0;
- высокая скорость сгорания, для стехиометрической водородо-воздушной смеси она в 4 раза больше, чем для бензовоздушной, что обеспечивает лучшую полноту сгорания водорода и определяет более высокий термический КПД (в среднем на 20...25 %);

Можно выделить следующие перспективные направления разработок водородных двигателей:

- Двигатель распределенного впрыска (Оклахомский университет, США; фирма BMW, Германия и др.). Это переоборудованный обычный двигатель, мощность которого при переходе на водород несколько повысилась.
- Стирлинг-двигатель внешнего сгорания (фирма «Филипс», Голландия и др.). Современные двигатели внешнего сгорания с возвратно-

поступательно движущимися поршнями представляют собой двигатели двойного действия (например, с четырьмя цилиндрами), работающие с определенным сдвигом фаз и при высоких давлениях (от 5 до 20 МПа). В каждом цилиндре расположен один поршень, верхняя поверхность которого выполняет роль рабочего поршня, а нижняя работает как вытеснитель для следующего цилиндра. Он несколько тяжелее и значительно дороже из-за усложненной конструкции аналогичного ДВС (например, дизеля). Повысить удельную мощность пока мешают проблемы теплообмена (очень высокие значения рабочих температур и соответственно большие охлаждающие поверхности теплообменника). Двигатель абсолютно безвреден (очень низкая токсичность) и практически бесшумен, позволяет использование различных топлив (многотопливный).

- Электродвигатель на топливных элементах (концерн Ford, Daimler-Chrysler, Opel, MAN, Mazda, Honda и др.). Пока топливные батареи (электрохимический генератор) имеют высокую стоимость и требуют решения некоторых вопросов эксплуатации (в том числе при низких температурах).

Исследователями выяснено, что наиболее полно специфическим особенностям водорода как моторного топлива отвечает быстроходный двигатель с неразделенной камерой сгорания и внутренним смесеобразованием.

Установлено, что такой двигатель может работать при полностью открытом дросселе во всем диапазоне рабочих нагрузок, причем его эффективная мощность может изменяться (при холостом ходу и до полной нагрузки) за счет регулируемой подачи водорода. Были получены сравнительно высокие значения индикаторного КПД. При степени сжатия $\varepsilon = 5,45$ и числе оборотов двигателя $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ максимальный индикаторный КПД составлял 37,5% при среднем индикаторном давлении 0,42 МПа и

коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 2$, в то время как на бензине – 32% при $\alpha = 1,07 \dots 1,15$.

Проводя испытания на двигателе со степенью сжатия $\varepsilon = 7$ при 1500 мин⁻¹, получен на более бедной смеси индикаторный КПД, равный 43%, в то время как при работе с той же степенью сжатия на бензине максимально возможное его значение составило 37%.

Результаты исследований показали, что склонность водородовоздушной смеси к детонации существенным образом зависит от коэффициента α избытка воздуха в ней. Предельная степень сжатия снижается с уменьшением α и при стехиометрическом составе не превышает 4,6 что соответствует октановому числу топлива 42, а при $\alpha = 3$ достигает 9,4 (октановое число 114). [18]

Скорость распространения ударной волны составила (при $\alpha = 1,3$) 680 м/с, тогда как при детонации 2...4 км/с. Подобное сгорание необходимо рассматривать как результат очень высокой скорости распространения фронта пламени. На всех рабочих режимах отработавшие газы можно считать практически безтоксичными, т. е. сгорание являлось полным. Впрыск воды в карбюратор (впускной коллектор) и другие способы снижения температуры сгорания позволяют уменьшить количество NO_x до допустимых значений. При $\alpha = 2 \dots 2,5$ количество NO_x падает практически до 0 без применения дополнительных мер. [20]

ДВС на водороде с началом подачи водорода в цилиндр в конце такта сжатия и воспламенением с помощью свечи зажигания исключает возможность возникновения детонации, что позволяет работать при высоких степенях сжатия. В двигателях, работающих по данному принципу, подачу водорода в цилиндр следует организовывать таким образом, чтобы его струя попадала на электроды свечи зажигания. Это можно осуществить подачей водорода через отверстие в самой свече зажигания или подачей его в поток направленного движения воздушного заряда, созданного специальной

формой впускного трубопровода или выполнением в поршне камеры сгорания специальной формы.

Некоторые катализаторы (этилнитрат, амилнитрит и др.) одновременно с повышением скорости горения, снижают температуру воспламенения горючей смеси и уменьшают период задержки воспламенения, что как раз необходимо для двигателя, работающего на водороде.

Существуют твердые катализаторы, снижающие температуру воспламенения водородовоздушной смеси, которыми можно покрывать внутреннюю поверхность камеры сгорания. К ним относятся: никель, молибден, окись марганца, окись титана и др.

Одним из направлений создания в цилиндре ДВС условий, обеспечивающих надежное воспламенение водородовоздушной смеси, будет одновременное увеличение температуры и давления в конце такта сжатия. Это можно осуществить за счет увеличения степени сжатия, повышения давления и температуры воздушного заряда в начале такта сжатия. Для увеличения давления и температуры воздушного заряда в начале такта сжатия применяют турбо — или механический наддув.

Для реализации преимуществ водорода в качестве автомобильного топлива необходимы следующие основные конструктивные изменения дизельного двигателя:

- увеличение рабочего объема цилиндров (для получения той же мощности);
- уменьшение степени сжатия допустимой для водорода;
- предотвращение возможности преждевременного воспламенения, обратных вспышек, детонации, учитывая большую скорость распространения пламени водородовоздушной смеси;
- место форсунок надо ставить свечи зажигания;
- изменение (уменьшение) угла опережения зажигания с учетом полного сгорания смеси в верхней мертвой точке;

- изменение системы питания, уменьшение аэродинамического сопротивления с учетом возможности увеличения коэффициента избытка воздуха при работе на водороде;

В каком агрегатном состоянии заправлять водород в топливный бак. Для газообразного водорода потребуются довольно-таки объемные емкости, к тому же его способность проникать через малейшие неплотности, а также опасная концентрация в воздухе в объемном соотношении 2 : 1 (так называемый «гремучий газ») затрудняет развитие данного направления. Не лучшим образом дело обстоит и со сжиженным водородом, который нужно хранить при температуре – 253°С. Криогенные системы многосложный и дороже баллонных, при сжижении водорода требуется более сложное и дорогое оборудование и более высокие энергозатраты. Известен способ хранения – с использованием гидридов, металлов и сплавов, способных «разместить» между своими атомами атомы водорода. Емкость подобного «хранилища» (при равном объеме устройства) впятеро выше, чем у баллона со сжатым газом и почти вдвое – со сжиженным. Наилучшей основой для гидрида является титан. Гидридные наполнители довольно сложны в изготовлении, они не состоят из цельного металла, а больше напоминают губку с множеством каналов – для скорейшего поглощения и выделения водорода. Как уже было ранее отмечено, последнее происходит при нагреве гидридов.

Хотя гидриды безопаснее других способов хранения водорода – для автомобильного транспорта емкость и у них маловата, а вес и сложность устройства, напротив, велики. К тому же гидридные системы мало приспособлены к работе с переменными расходами из-за значительной тепловой инерции реакторов и поэтому должны иметь в своем составе ресивер или комбинироваться с другим источником водорода. Независимо от способа хранения водородного топлива на автомобиле, большинство существующих водородных систем питания обеспечивают подачу газообразного водорода во впускной коллектор двигателя. Схемы

внешнего смесеобразования базируются на системах непрерывного впрыска топлива, в которых центральный электрический дозирующий клапан и распределитель водорода направляют газообразный водород в отдельные впускные тракты двигателя.

Предотвращение обратных вспышек во впускном коллекторе осуществляется путем использования обедненных смесей или впрыскиванием в коллектор дополнительных порций воды. Проведенные исследования выявили положительные и отрицательные моменты в работе двигателей на водороде. К отрицательным можно отнести преждевременные вспышки, резкие колебания давления в цилиндре при сгорании, жесткий ход и детонацию.

Неустойчивое сгорание водорода в ДВС может быть улучшено путем мероприятий, направленных на снижение скорости распространения фронта пламени и уменьшения температуры рабочей смеси (впрыск во впускной коллектор воды, рециркуляция отработавших газов, снижение отношения водород/воздух в смеси, введение водорода в цилиндр через отдельный клапан).

Следующим направлением является получение водорода непосредственно на автомобиле. Самым перспективным здесь считается способ, при котором сырьем служит метанол.

Бак автомобиля наполняют метанолом. Отсюда он попадает в химический реактор, где испаряется и в присутствии катализатора реагирует с водяным паром, выделяя водород и двуокись углерода. Можно провести реакцию другим способом, тогда вторым из продуктов окажется не CO_2 , а CO . Поскольку H_2 и CO горючи, их можно вместе сжигать в цилиндрах ДВС.

Несмотря на активное развитие водородных систем питания двигателя, они еще уступают по весу и габаритам бензиновой и дизельной системам. Поэтому одним из направлений разработок является двигатель, работающий на дизельном топливе с присадкой водорода. При этом могут быть использованы существующие баллоны или водород можно получать

непосредственно на автомобиле путем термokatалитической переработки части расходуемого дизельного топлива.

В эксплуатационных условиях при добавках водорода в среднем 10% расхода дизельного топлива и сохранении автономии автомобиля такой же, как и на дизельном топливе, потребуется иметь на борту запас водорода 0,8...1,0 кг для автомобилей малого класса и 1,2...1,5 кг – для автомобилей среднего класса. Хранение такого количества водорода на автомобиле в настоящее время не представляет особых трудностей. Увеличение массы автомобиля не превышает 3% при хранении водорода в жидкой форме и 5...7% – в виде гидридов металлов. Экономия органического топлива при этом будет составлять 30...40 %.

Даже небольшое количество присадки водорода к дизельному топливу заметно улучшает сгорание, позволяет сильно обеднять смесь и уменьшает количество вредных выбросов.

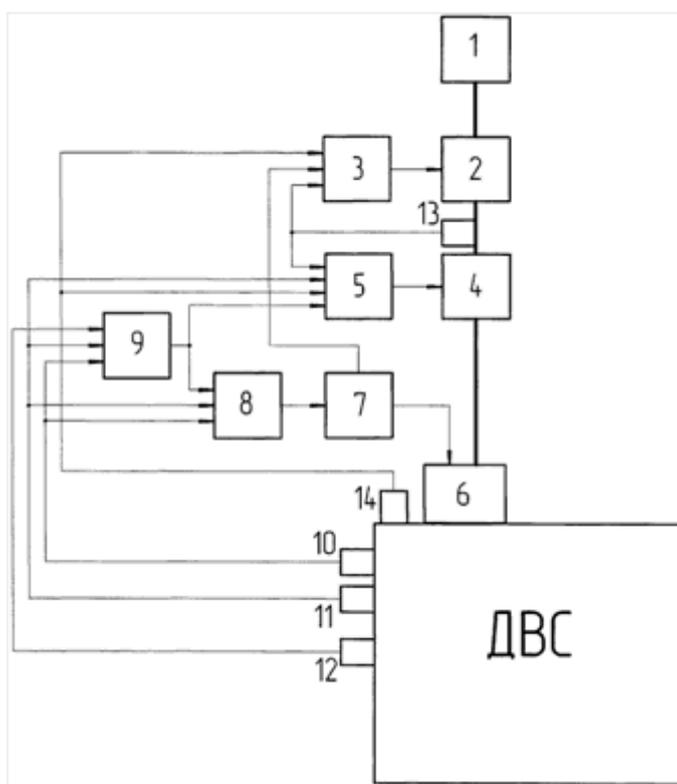


Рис.1.11. Схема системы питания водородом ДВС

Усредненный КПД двигателя по всему циклу испытаний с присадкой водорода был на 25% выше, чем при работе без присадки. Наиболее целесообразно использование топливных смесей с добавкой водорода до 20% по массе, соответствующих пределу обеднения порядка $\alpha = 2,5$. Этот предел эффективного обеднения определен при условии устойчивой работы двигателя без пропусков сгорания.

Система питания водородом ДВС содержит: источник водорода 1 высокого давления, регулятор давления 2, блок управления регулятором давления 3, электромагнитный клапан 4, блок управления электромагнитным клапаном 5, искровую свечу зажигания 6, систему зажигания 7, генератор запускающих импульсов 9, элемент задержки 8 запускающих импульсов, датчики нагрузки 10, частоты вращения коленчатого вала 11, давления газов 14 в камере сгорания и датчик давления подаваемого водорода 13. Блок управления регулятора давления 3 и блок управления электромагнитного клапана 5 соединены с датчиком давления газов 14 и датчиком давления водорода 13. Блок управления регулятора давления 3 соединен с системой зажигания 7. Технический результат заключается в сокращении расхода водорода при обеспечении требуемой подачи водорода в работающий ДВС.

Выводы по главе 1.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, ее научная новизна и практическая значимость. Представлены данные о реализации результатов исследования.

В первой главе проведен анализ физико-химических и моторных свойств различных альтернативных топлив для ДВС, способов их получения, хранения, систем топливоподачи.

Большой вклад в развитие тематики по использованию различных видов топлив в ДВС внесли российские ученые: Ю.Н. Васильев, В.А. Вагнер, А.И. Гайваронский, С.В. Гусаков, Л.Н. Голубков, К.Е. Долганов, В.И. Ерохов, Г.Н. Злотин, Н.А. Иващенко, Р.З. Кавторадзе, В.Ф. Каменев, Г.М. Камфер, А.А. Капустин, В.А. Лиханов, В.М. Луканин, В.А. Марков, Н.Н. Патрахальцев, В.М. Фомин, А.С. Хачиян, Н.А. Хрипач, А.П. Шайкин, зарубежные ученые Buchner H., Dell R., Furuhamu S., Lucas G., Pischinger F., Swain M. и другие.

Проведенный анализ научных исследований показал следующее:

В перспективе, предполагая, что ископаемые энергоносители будут близки к полному исчерпанию и основой энергетики станут ядерные или термоядерные установки, для транспорта будут использовать либо электромобили, либо тепловые двигатели, питаемые водородом. В этом случае возможно радикальным образом решить проблему загрязнения окружающей среды вредными выбросами. В ограниченном количестве такие энергоустановки уже применяются и в настоящее время в условиях предельно жестких ограничений на вредные выбросы с отработавшими газами.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ВОДОРОДЕ

2.1. Тепловой расчет двигателя при использования водорода.

Тепловой расчет позволяет с достаточной степенью точности аналитическим путем определить основные параметры вновь проектируемых двигателей, а также оценивать степень совершенства действительного цикла реально существующих ДВС.

Мощность и частота вращения коленчатого вала. При расчете двигателя величиной номинальной мощности обычно задаются или ее определяют с помощью тяговых расчетов. Номинальной мощностью N_e называют эффективную мощность, гарантируемую заводом-изготовителем для определенных условий работы. В автомобильных и тракторных двигателях номинальная мощность равна максимальной мощности при номинальной частоте вращения коленчатого вала.

Частота вращения коленчатого вала характеризует тип двигателя, его динамические качества. В настоящее время частота вращения коленчатого вала легковых автомобилей колеблется в пределах 4500 ... 6000 мин⁻¹, грузовых (карбюраторных) 3000 ... 4000 мин⁻¹. Тракторных и автомобильных (грузовых) дизелей – 1500 ... 2600 мин⁻¹.

Число и расположение цилиндров. Выбор числа цилиндров и их расположение зависят от мощностных, динамических и конструктивных факторов. В настоящий момент наиболее распространены четырех- и шести цилиндровые автомобильные двигатели. Количество цилиндров во многом определяется литражом двигателя.

Размеры цилиндра и скорость поршня. Размеры цилиндра – диаметр (D) и ход поршня (S) – являются основными конструктивными параметрами ДВС. Величина D для различных двигателей находится приблизительно в следующих пределах:

- для карбюраторных двигателей легковых автомобилей, мм . . 60 – 100;
- для карбюраторных двигателей грузовых автомобилей, мм . . 60 – 100;
- для тракторных дизелей, мм 70 – 150;

- для автомобильных дизелей, мм 80 – 130.

Ход поршня обычно характеризуется относительной величиной S/D . Короткоходные двигатели имеют отношение $S/D < 1$, а длинноходные – $S/D > 1$.

Автомобильные карбюраторные двигатели проектируются с невысоким отношением $S/D = 0,7 – 1,0$; дизели и тракторные дизели - $S/D = 1,1 – 1,3$.

Скорость поршня $V_{п.ср.}$ является критерием быстроходности двигателя. Двигатели подразделяют на тихоходные $V_{п.ср.} < 6,5 \text{ м/с}$ и быстроходные - $V_{п.ср.} > 6,5 \text{ м/с}$.

В современных АТД $V_{п.ср.}$ обычно изменяется в пределах:

- для карбюраторных двигателей легковых автомобилей, м/с . . 12 – 15;
- для карбюраторных двигателей грузовых автомобилей, м/с . . . 9 – 12;
- для автомобильных газовых двигателей, м/с 7 – 11;
- для тракторных дизелей, м/с 5,5 – 10,5;
- для автомобильных дизелей, м/с 6,5 – 12.

Степень сжатия. Величина степени сжатия является одной из важнейших характеристик двигателя. Ее выбор в первую очередь зависит от способа смесеобразования и рода топлива. Для искровых двигателей степень сжатия прежде всего определяется детонационной стойкостью топлива. В современных карбюраторных двигателях $\epsilon = 6 – 12$. Однако, в последние годы наметилась тенденция к некоторому понижению ϵ , что позволяет снизить токсичность продуктов сгорания и продлить срок службы двигателей. Как правило, даже двигатели легковых автомобилей высокого класса имеют ϵ не более 10.

Для современных дизелей $\epsilon = 14 – 22$, увеличение степени сжатия более 22 нецелесообразно, так как приводит к высоким давлениям сгорания, падению механического к.п.д. и утяжелению двигателя.

Выбор степени сжатия для дизелей прежде всего зависит от формы камеры сгорания и способа смесеобразования:

- для дизелей с неразделенными камерами сгорания и
объемным смесеобразованием 14 – 17;
- для вихрекамерных дизелей 16 – 20;
- для предкамерных дизелей 16,5 – 21;
- для дизелей с наддувом 11 – 17.

На основе установленных или заданных исходных данных (тип двигателя, мощность N_e , частота вращения коленчатого вала n , число i и расположение цилиндров, отношение S/D , степень сжатия ϵ , производят тепловой расчет двигателя, в результате которого определяют основные энергетические, экономические и конструктивные параметры двигателя. По результатам теплового расчета строят индикаторную диаграмму, они также используются для построения скоростной характеристики и выполнения динамического и прочностных расчетов.

Особенности теплового расчета ДВС при использовании компьютерных технологий.

Внедрение компьютерных технологий в исследовательский и учебный процессы предполагает, в первую очередь, широкое использование возможностей «стандартного набора» программ, составляющих основу математического обеспечения большинства современных компьютеров.

В частности, в настоящей работе, предложена методика применения программы «Microsoft Excel» - электронные таблицы для выполнения теплового расчета ДВС (ТР ДВС) и последующего, на основе полученных данных, компьютерного построения индикаторной диаграммы двигателя.

При составлении данной методики, в том числе учитывалось, одно из ее назначений - использование в учебном процессе. В этой связи она ориентирована таким образом, чтобы слушатель при расчетах работал с компьютером в диалоговом режиме. Для этого ввод «исходных данных» для каждого раздела осуществляется последовательно и автономно после выполнения предыдущих расчетов и их анализа. [21]

2.2. Построение внешних скоростных характеристик двигателя

Общее сведение

Внешней скоростной называют характеристику, получаемую при полном открытии дроссельной заслонки (заслонок в многокамерных карбюраторах) в карбюраторных двигателях или при крайнем предельном положении рычага управления рейкой топливного насоса высокого давления (ТНВД), соответствующем полной подаче топлива в дизелях. Предельное положение рычага ТНВД устанавливается по инструкции завода-изготовителя. Строго говоря, понятие внешней скоростной характеристики предполагает получение предельно возможных энергетических показателей двигателя. Для дизелей такие показатели, как известно, лежит за пределом дымления, когда коэффициент избытка воздуха уменьшается до единицы. Однако с регулировкой ТНВД на такую подачу топлива недопустима эксплуатация дизеля из-за обильного дымления и опасности выхода двигателя из строя вследствие повышенного нагарообразования в камере сгорания.

Кроме графического изображения мощности, крутящего момента, часового и удельного расходов топлива, характеристику иногда дополняют графиками угла опережения зажигания или подачи топлива, разрежения в заданной зоне впускного тракта, температуры смеси или газа, расхода воздуха, состава смеси и т.д.

Внешнюю скоростную характеристику снимают в диапазоне чисел оборотов коленчатого вала:

- для двигателей с искровым зажиганием, работающих без ограничителя;
- для дизелей, $n = n_{\min} \dots n_{\max}$.

При наличии регулятора (или ограничителя) частоты вращения вала двигателя внешняя характеристика позволяет также определять момент включения регулятора (ограничителя) и судить о степени неравномерности работы последнего.

Учитывая, что получаемые при стендовых испытаниях эффективные показатели ДВС определенным образом зависят от состояния окружающей среды (давления, температуры и влажности воздуха), сравнение данных различных испытаний и характеристик отдельных двигателей выполняют только после приведения результатов к стандартным атмосферным условиям. Исправленные показатели $M_{кр}$ и N_e называют приведенными.

Частичной скоростной называют характеристику, получаемую при некоторых промежуточных положениях дроссельной заслонки (заслонок), постоянных для каждой характеристики, или неизменном промежуточном положении рычага управления, соответствующем неполной подаче топлива ТНВД в дизелях. Особенности протекания частичных скоростных характеристик поршневых двигателей можно проследить по графикам.

Так же, как и внешние скоростные, эти характеристики позволяют оценить основные параметры двигателей, но в случае работы с частичными нагрузками. [21]

Таблица 2.1.

Рассчитанные данные для построения ВСХ дизельного двигателя

п, %	20	40	58	80	100	110	Исходные данные:	
п, мин-1	640	1280	1856	2560	3200	3520	п, мин-1	3200
Ne, %	20	50	73	92	100	92	Ne, кВт	132
Ne, кВт	26,4	66	96,4	121,4	132	121,4	Me, Н*м	392,7
Мк, Н*м	393,9375	492,4219	495,8179	453,0281	393,9375	329,475	ge, г/кВт*ч	243,1
ge, %	110	100	95	95	100	115		
ge, г/кВт*ч	267,41	243,1	230,945	230,945	243,1	279,565		

Таблица 2.2.

Рассчитанные данные для построения ВСХ водород двигателя

п, %	20	40	58	80	100	110	Исходные данные:	
п, мин-1	680	1360	1972	2720	3400	3740	п, мин-1	3400
Ne, %	20	50	73	92	100	92	Ne, кВт	139
Ne, кВт	27,8	69,5	101,5	127,9	139	127,9	Me, Н*м	388,38
Мк, Н*м	390,4265	488,0331	491,3988	448,9904	390,4265	326,5385	ge, г/кВт*ч	225,3
ge, %	110	100	95	95	100	115		
ge, г/кВт*ч	247,83	225,3	214,035	214,035	225,3	259,095		

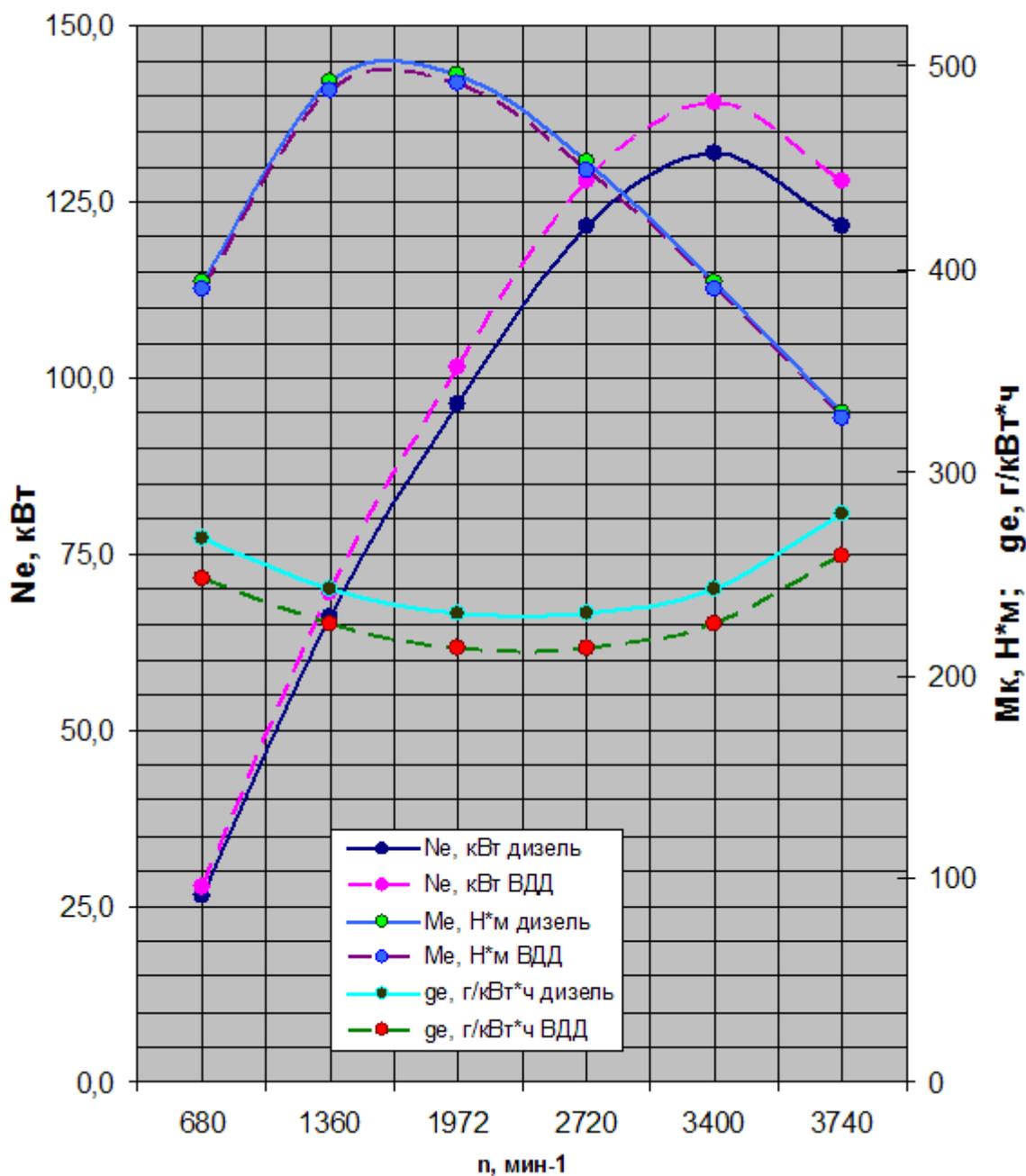


Рис. 2.1. Внешняя скоростная характеристика совмещенная (дизель, водородный двигатель)

Выводы по главе 2

Во втором главе изложена тепловой расчет водородного двигателя и совмещенная внешняя скоростная характеристика двигателей работающих на различных видах топлива. Тепловой расчет и внешняя скоростная характеристика рассчитан с помощью ПЭВМ программой MS Office Excel. Полученные результаты соответствует экспериментальным исследованиям что удовлетворяется дальнейшему применению к учебный процесс ТАДИ.

Ведется активный исследований по конвертацию дизельных двигателей на водородный двигатель. День за днем актуальность водородной энергетики растет.

ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ «ISUZU»

3.1. Объект и методы исследований

Объектом исследования является городской автобус «ISUZU»



Рис.3.1. Городской автобус «ISUZU»

Экологическая обстановка во всём мире, особенно в крупных городах развитых стран (Берлин, Лондон, Париж, Рим, Нью-Йорк, Москва и др.) требует немедленного освоения новых альтернативных топлив, которые обеспечивают чистый воздух в городах и тем самым резко снизят заболеваемость среди населения.

В 2004 году было сообщение: Автобус МАН, работающий на водороде начал бесплатно перевозить пассажиров по Берлину. В отличие от традиционных дизельных автобусов, бак с водородным топливом находится на крыше. Размещение там же емкости для сжатого водородного газа соответствуют самым высоким директивам по безопасности, за счет чего этот автобус приравнивается к транспортным средствам, работающим на традиционном топливе. [30]

Летом 2009 года было новое сообщение: в Британии разработан первый водородный автомобиль масс-класса. На этом автомобиле водород при помощи небольшого топливного элемента превращается в электроэнергию.

Создатели экомобиля уверены, что их подход позволяет гораздо быстрее вывести на рынок автомобиля на водородном топливе по сравнению с разработками, которые ведут ведущие автомобильные концерны.[26]

Энергетические и экологические выгоды от использования водорода в качестве топлива очевидны – в ходе реакции окисления водорода вырабатывается гораздо больше энергии, чем от любого вида углеводородного топлива, а выхлопы представляют собой пары воды и оксидов азота.

Основной проблемой является дороговизна платины, используемой в качестве катализатора в топливных элементах.

Европейский союз принял программу «Чистый городской транспорт Европы».

Наиболее опасное соединение в составе выхлопных газов окись углерода (СО). Попадая в кровь, она вытесняет железо, которое является центром гемоглобина, после чего человек умирает. 10-15% выхлопа – это окись углерода. Чрезвычайно вредны – свинцовые соединения, вызывающие тяжелейшие заболевания.

Химические соединения в составе выхлопных газов (C_xH_x) влияют на белые клетки крови и вызывают ослабление иммунитета. В результате растет смертность.

Главное на взгляд специалистов, причина высокого уровня загазованности городской атмосферы заключается в том, что машины, на которых ездят многие граждане, устарели, т.е. изношенные. Но следует отметить, что и любой новый автомобиль, работающий на жидком топливе, выбрасывает в атмосферу большое количество вредных веществ. Поэтому, сейчас в Европе принят экологический стандарт для автомобилей четвертого поколения Евро-4.

По статистическим данным количество легковых автомобилей в г.Ташкенте по сравнению с 1996 годом возросла в 4 раза и составляет в

настоящее время 238 единиц на 1000 человек населения. Общее же количество возрос до 700 тысяч единиц.

Количество автобусов Мерседес и Исузу составляет более 1000 единиц.

Автомобильный транспорт перевозит более 80% пассажиров. Поэтому проблемы экологической безопасности автомобильного транспорта является составной частью экологической безопасности всего государства. Значимость и острота этой проблемы в мировом масштабе растёт с каждым годом. [27]

Справка: один автомобиль ежегодно поглощает из атмосферы в среднем более 4 т кислорода, при этом выбрасывается 800 кг угарного газа, 40 кг оксидов азота и 200 кг различных углеводов. Теперь не трудно посчитать сколько тонн вредных веществ выбрасывается в атмосферу г.Ташкента в год! [30]

В настоящее время единственным путём повышения экологичности автотранспорта является его перевод на альтернативные виды топлива, что обеспечивает сокращения вредных выбросов в окружающую среду двигателями.

Экологические проблемы, связанные с использованием традиционного моторного топлива в двигателях, актуальны для всех стран мира. Во многих странах приняты жесткие требования по экологизации автотранспорта. В настоящее время многие зарубежные двигателестроительные фирмы взяли курс на решение задачи достижения нулевой токсичности отработавших газов. Многолетний опыт показывает, что добиться этого возможно только в случае использование альтернативных видов топлив. Следует подчеркнуть, что в строгом смысле альтернативное топливо не имеет нефтяную основу.

Крупные автомобилестроительные фирмы инвестировали 2 млрд. долларов в проектирование работающих на водороде автомобилей, автобусов и грузовиков и рассчитывают на то, что через пару лет по улицам будут ездить первые серийно изготовленные машины.

В Германии принят 50-летний план построения водородной экономики – это великое экономическое видение. Инвестиции в водородную экономику вдохнут новую жизнь в рынки капиталов, повысят производительность труда, создадут новые экспортные рынки и увеличат валовой внутренний продукт Германии. Согласно новому исследованию Price Waterhouse Cooper благодаря водородной экономике к 2020 году можно было бы заработать 1,7 триллиона долларов.

Здесь хотелось подчеркнуть, что если завод «Самавто» перейдет в перспективе на водородное топливо страна получила бы огромную прибыль от реализации автобусов ИСУЗУ в другие страны мира.

3.2. Установка система питания водородом на двигатель

Особенности рабочего процесса

По физико-химическим свойствам и моторным качествам водород сильно отличается от применяемых в настоящее время топлив, что ведет к ряду особенностей в организации и протекании рабочего процесса ДВС.

С воздухом водород устойчиво воспламеняется в широком диапазоне концентраций – вплоть до $\alpha=10$. Столь низкий предел воспламенения обеспечивает работу водородного двигателя на всех скоростных режимах в широком диапазоне изменения составов смеси: примерно от $\alpha =0,2$ до $\alpha =5$. В связи с этим мощность водородного двигателя может изменяться качественным регулированием, при котором его КПД на частичных нагрузках увеличивается на 25 – 50%.

Температура воспламенения водородных смесей выше, чем углеводородных, однако благодаря более низким значениям энергии активации для воспламенения водорода требуется меньшее количество энергии. Сравнительные характеристики параметров воспламенения различных топлив в двигателе с принудительным воспламенением приведены в табл. 3.1.

Таблица 3. 1. Характеристики воспламенения некоторых топлив

Показатель	Водород	Изооктан	Метан
Температура воспламенения, К	858	810	530
Потенциал ионизации, эВ	15,4	12,6	9,86
Минимальная энергия воспламенения, мДж	0,02	0,28	0,23

Водородно-воздушные смеси характеризуются высокой скоростью сгорания в двигателе (табл.3.2), причем в стехиометрической области периоды индукции очень малы и сгорание протекает практически при постоянном объеме, что ведет к резкому возрастанию давления.

Скорость нарастания давления в цилиндре водородного двигателя для стехиометрических смесей почти в 3 раза выше по сравнению с бензиновым эквивалентом. При обеднении смеси она снижается и для $\alpha=1,9$ достигает значений скорости нарастания давления при работе на стехиометрических смесях.

Таблица 3.2. Характеристики сгорания топливных смесей в ДВС.

Двигатель	Скоростной режим, мин ⁻¹	Степень сжатия	Скорость распространения пламени, м/с.	Время сгорания, град. ПКВ
Водородный	1500	12	48,3	15,7
»	1500	14	51,6	14,4
Бензиновый	1500	12	16,45	41,0
»	1500	14	16,0	42,2

В настоящее время для подачи водорода в ДВС применяются следующие способы:

- впрыск во впускной трубопровод;
- использование модифицированного карбюратора, применяемого в системах питания пропан-бутановыми и природными газами;
- индивидуальное дозирование водорода в область впускного клапана каждого цилиндра;
- непосредственный впрыск под высоким давлением в камеру сгорания;

Первые два способа обеспечивают устойчивую работу двигателя лишь совместно с такими мероприятиями как частичная рециркуляция ОГ, присадка воды к топливному заряду, а также добавка к нему бензина.

Частичная рециркуляция ОГ за счет разбавления заряда инертными компонентами предотвращает обратные вспышки и смягчает сгорания при работе двигателя на стехиометрических и богатых смесях. Количество рециркулируемых газов, как правило, не превышает 10-20% от поступающего в двигатель топливного заряда, однако любая степень рециркуляции ведет к дополнительным потерям наполнения цилиндра. В отличие от рециркуляции ОГ добавление воды или бензина (обычно

впрыском во впускной трубопровод) не приводит к ухудшению наполнения двигателя.

Типичные два варианта индивидуального дозирования водорода показаны на рис.3.2.

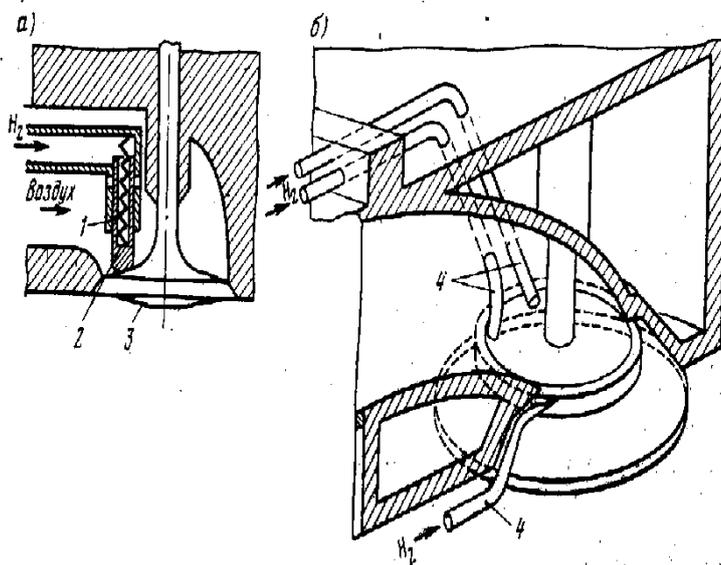


Рис.3.2.Устройства для дозирования водорода под впускной клапан.

В конструкции (рис. 3.2,а) подача водорода в камеру сгорания происходит следующим образом. На такте всасывания впускной клапан открывается, освобождая тем самым расходные отверстия трубопроводов 4, подающих водород. Под действием разрежения в цилиндре водород всасывается в камеру сгорания. Так как в системе впуска отсутствуют дросселирующие участки, величины разрежения при впуске будут несколько снижены, благодаря чему снижается количество масла, засасываемого через поршневые кольца в камеру сгорания и сгорающего вместе с топливом. Это приводит к уменьшению вредных выбросов ДВС, особенно при старении двигателя и износе поршневых колец. По другому варианту конструкции (рис.3.2,б) дозирующее устройство обеспечивает впрыск водорода непосредственно на впускной клапан 3. Центральный поршень 2 поддерживается в постоянном контакте с поверхностью впускного клапана посредством легкой пружины 1 и давления газа, которое составляет

примерно 0,1МПа. Устройство отрегулировано таким образом, что отверстия для впуска водорода открываются позже впускного клапана 3, а закрываются раньше, при этом время их открытия соответствует половине времени открытия впускного клапана.

Наилучшие результаты дает организация впрыска водорода непосредственно в камеру сгорания. При этом полностью исключаются обратные вспышки во впускном трубопроводе, а максимальная мощность не только не снижается, но даже может быть повышена на 10-15%.

Использование водорода в дизельных двигателях затрудняется его высокой температурой самовоспламенения. Поэтому для организации устойчивого воспламенения водорода дизели конвертируются в двигатели с принудительным зажиганием от свечи или запальной дозы жидкого топлива. При этом водород может подаваться как совместно с воздухом, так и путем непосредственного впрыска в цилиндры. Однако устойчивая работа дизеля на водороде обеспечивается только в узком диапазоне топливных смесей, ограниченном пропусками воспламенения и детонацией. В случае газожидкостного процесса граница детонации (см.рис.3.3) определяется составом смеси и ее температурой.

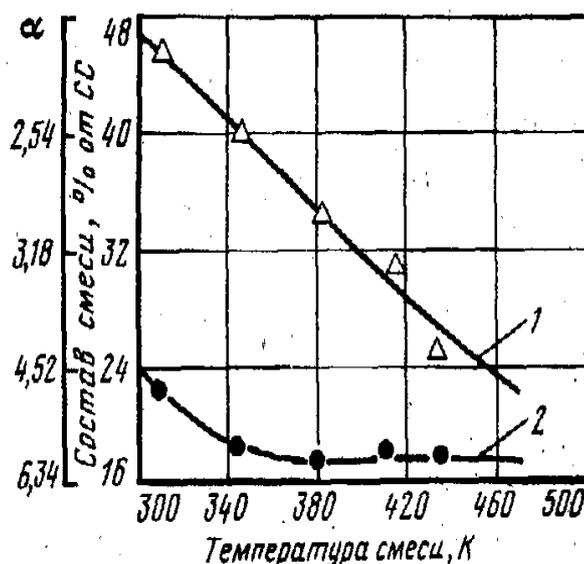


Рис.3.3. Границы устойчивой работы дизельного двигателя на водороде: 1-детонация; 2-воспламенение.

Повышение дозы запального топлива улучшает антидетонационную стойкость смеси и в то же время расширяет границы воспламенения. Поэтому нормальная работа водородного дизеля возможна только при строго определенном минимальном расходе запального топлива, определяемом режимом работы и составом смеси.

Следует отметить, что при работе ДВС на водороде значительно уменьшается выделение твердых частиц примерно в 1000 раз по сравнению с бензином. Благодаря этому, а также отсутствию органических кислот, образующихся при сжигании углеводородов, увеличивается срок службы двигателя и сокращаются затраты на его ремонт.

Согласно результатам, полученным при индицировании одноцилиндрового двигателя, работающего на водороде, при обеднении топливной смеси динамика нарастания давления резко падает, а при значениях $\alpha > 3,5$ остается практически постоянной. Напротив, величина задержки воспламенения растет, главным образом, за счет увеличения времени саморазгона реакций сгорания при уменьшении концентрации водорода в топливной смеси. В связи с этим при $\alpha > 1,8$ появляются колебания максимального давления в цикле, которые при $\alpha > 4,5$ приводят к неустойчивой работе водородного двигателя. Неустойчивость также имеет место при обогащении топливо-воздушной смеси, однако обуславливается в этом случае чрезмерно высокими скоростями нарастания давления при сгорании. Подобное неустойчивое сгорание обычно связано со слышимыми «стуками» и мгновенными колебаниями скорости вращения вала двигателя.

Особо следует остановиться на явлениях преждевременного воспламенения и обратных вспышек во впускном трубопроводе водородного двигателя. Причинами преждевременного воспламенения могут быть перегрев источника зажигания, масляный нагар, а также индуктивные наводки в проводах и других элементах системы зажигания. Обратные вспышки - характерный недостаток большинства систем дозирования водорода во впускной трубопровод. Они происходят на такте впуска

вследствие воспламенения водородо-воздушной смеси от отдельных перегретых точек свечи зажигания, а также от горячих остаточных газов. Снижение частоты появления обратных вспышек может быть достигнуто посредством увеличения степени сжатия (с целью уменьшения количества остаточных газов) или установкой специальной свечи зажигания. При использовании обычной свечи зажигания водородный двигатель устойчиво работает в очень узком диапазоне изменения α , тогда как модифицированная свеча зажигания обеспечивает его нормальную работу, начиная с $\alpha = 1,55$. Что касается показателей работы двигателя на соответствующих режимах, то они практически идентичны на обоих типах свечей.

При дозировании водорода во впускной трубопровод сгорание топливных смесей вблизи стехиометрического состава происходит с очень высокими скоростями и практически без задержки воспламенения. Кроме того, в этой области имеется тенденция к преждевременному воспламенению. В результате указанные факторы приводят к остановке водородного двигателя при обогащении топливной смеси. Характерно, что на оборотах ниже примерно 0,7 от номинальных двигатель останавливается без появления обратных вспышек. Причиной остановки двигателя в этом случае является раннее завершение процесса сгорания, вследствие чего работа газа на ходе сжатия получается больше, чем на ходе расширения. С другой стороны, при оборотах двигателя, близких к номинальным, возможно обогащение топливной смеси вплоть до $\alpha=1$. Однако дальнейшее обогащение топливного заряда в этих условиях приводит к появлению обратных вспышек и остановке двигателя, что связано с перегревом элементов камеры сгорания, ведущим к преждевременному воспламенению водородо-воздушной смеси.

Для получения удовлетворительных мощностных показателей водородного двигателя, а следовательно, обеспечения его устойчивой работы в области $\alpha \leq 1$, в первую очередь необходимо снизить температурную напряженность рабочего цикла. С этой целью целесообразно увеличивать рабочий объем цилиндров двигателя, что, в частности, позволяет

предотвратить самовоспламенение благодаря снижению температуры стенок цилиндров. Хорошие результаты дают охлаждение зоны выпускного клапана, а также использование «холодной» свечи зажигания, снижающие тенденции водородных двигателей к детонации при работе на стехиометрических смесях. Однако наилучшие показатели двигателя обеспечиваются при использовании управляемой подачи (впрыска) водорода непосредственно в камеру сгорания. Помимо полного устранения обратных вспышек и преждевременного воспламенения смеси, при этом обеспечиваются более приемлемые скорости нарастания давления в цикле даже в области стехиометрических соотношений.

В случае обеднения смеси при подаче водорода во впускной трубопровод на режимах малых нагрузок и холостого хода также имеют место обратные вспышки, однако они не приводят к остановке двигателя и проявляются только в колебаниях его оборотов. Частота обратных вспышек на этих режимах не зависит от типа свечи зажигания, так как основной причиной появления неустойчивости данного типа является относительно большое количество кислорода в остаточных газах, с которым активно реагирует водород в момент подачи в камеру сгорания.

Максимум индикаторного КПД водородного двигателя имеет место при $\alpha = 2,5-2,7$ и при дальнейшем обеднении смеси несколько снижается. При этом оптимальный угол опережения зажигания изменяется в довольно широких пределах, например, при увеличении α от 1,0 до 3,1 соответственно от $1,5$ до 25° при 1500 мин^{-1} . Вследствие высокой скорости сгорания водорода оптимальный угол опережения зажигания даже для ультрабедных водородо-воздушных смесей ($\alpha=3,0-3,5$) не превышает оптимум угла опережения зажигания бензо-воздушных смесей с $\alpha = 1,1$.

Состав отработавших газов водородного двигателя существенно отличается от состава отработавших газов бензинового ДВС в основном за счет отсутствия углерода в топливе. Тем не менее в выхлопных газах водородного ДВС присутствует незначительное количество CO и CH (см. рис

3.4), наличие которых обусловлено выгоранием углеводородных смазок, попадающих в камеру сгорания. Максимальная величина эмиссии NO_x вследствие более высоких температур сгорания водорода примерно вдвое выше, чем у бензинового двигателя.

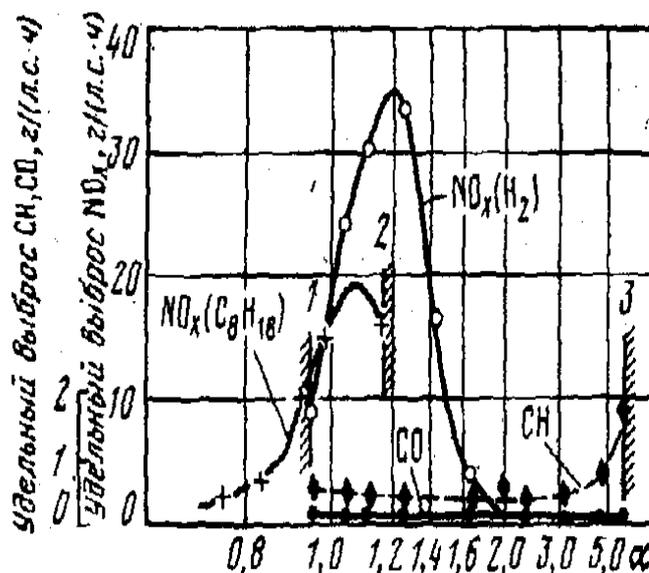


Рис.3.4. Состав отработавших газов водородного двигателя:
1-богатая граница устойчивой работы на водороде; 2-бедная граница устойчивой работы на изооктане; 3-бедная граница работы на водороде.

Добавка к водородному топливу воды позволяет резко снизить содержание окислов азота в ОГ без существенных потерь мощности двигателя или ухудшения его КПД.

При работе ДВС на бензо–водородных смесях - в этом случае благодаря повышению реакционной способности топливо–воздушной смеси, появляется возможность работы двигателя, как и в случае чистого водорода, на переобедненных смесях, главным образом в области частичных нагрузок и режиме холостого хода. Согласно экспериментальным данным, зависимость эффективного предела обеднения бензо – водородных смесей от количества добавок водорода носит нелинейный характер:

Содержание H_2 , % по массе - нижняя граница устойчивой работы	0	10	20	40	100
ДВС, α	1,12	1,67	2,5	3,34	5,0

Поэтому наиболее целесообразно использование топливных смесей с добавкой водорода до 20% по массе, соответствующих пределу обеднения порядка $\alpha = 2,5$. Этот предел эффективного обеднения определен при условии устойчивой работы двигателя без пропусков сгорания. Пропуски сгорания достаточно точно могут быть определены по моменту резкого возрастания концентрации СН в ОГ ДВС, а также значительным колебаниям давления с понижением температуры в выпускном коллекторе.

На рис. 3.5 показано изменение состава ОГ по α при работе двигателя на добавках водорода, соответствующих рассмотренным нижним пределам обеднения топливной смеси. До $\alpha=1,1$ двигатель работает на чистом изооктане, затем постепенно наращивается процент водорода в смеси вплоть до перехода на чистый водород.

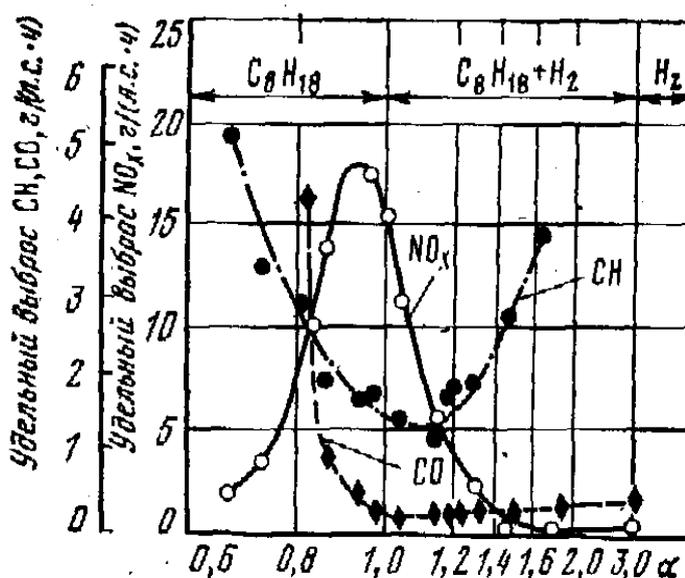


Рис. 3.5. Изменение состава ОГ при работе двигателя на водородо - изооктановых смесях в области предельного обеднения.

Изменение количества окислов азота при этом практически соответствует количеству NO_x в ОГ при работе ДВС на чистом водороде: при $\alpha > 1,8$ концентрация NO_x незначительна. Что касается эмиссии углеводородов, то после достижения минимума при $\alpha=1,25$ по мере дальнейшего обеднения смеси их количество в ОГ снова возрастает, отражая тем самым увеличение недогорания углеводородного топлива. В то же время работа двигателя в ультраобедной области лишь незначительно сказывается на

эмиссии CO. Значение индикаторного КПД двигателя при переходе к переобедненным смесям возрастает от 33% для $\alpha=1$ до 37% при $\alpha=1,8$, а индикаторная мощность уменьшается в том же диапазоне на 30% за счет снижения количества подведенного тепла.

Первый вариант дозирования отличается простотой, так как в этом случае требуется лишь дозирующая шайба, обеспечивающая определенный расход водорода на номинальном режиме работы двигателя. Для поддержания исходной теплопроизводительности топливной смеси количество подаваемого бензина следует уменьшать, в частности посредством отключения системы холостого хода карбюратора. Необходимая работоспособность двигателя на холостом ходу и режимах малых нагрузок успешно обеспечивается водородо – воздушными смесями.

На рис.6,а представлено изменение параметров топливной смеси в эмиссии NO_x при различных скоростях движения с постоянным расходом добавки водорода, равным 18 г/мин. На основании этих данных можно заключить, что выброс NO_x при движении автомобиля со скоростью 30 км/ч примерно в 5 раз больше, чем при движении со скоростью 60-100 км/ч. Эта закономерность обусловлена обогащением топливной смеси при низких скоростях движения автомобиля из-за постоянного расхода водорода.

Для поддержания постоянного соотношения «водород/топливо» и состава смеси на всех режимах работы требуется система дозирования водорода и бензина в соответствии с изменением расхода воздуха. Для этой цели может быть использован газовый редуктор в комбинации с бензиновым карбюратором.

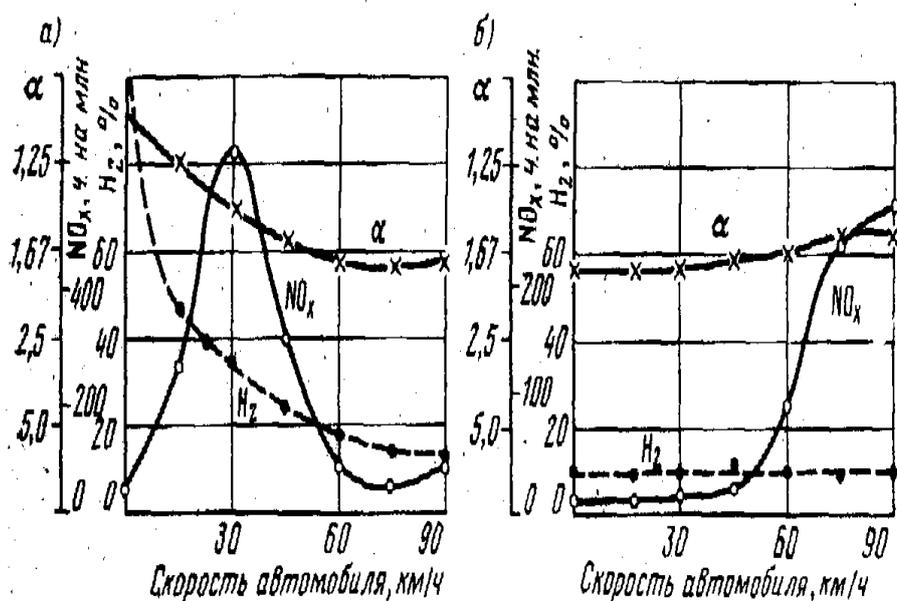


Рис.3.6. Характеристики топливной смеси и выбросы окислов азота при работе двигателя с различными способами добавки водорода: а-постоянная добавка; б-регулируемая добавка.

Результаты испытаний автомобиля с комбинированной системой подачи водорода и бензина представлены на рис.3.6.б. Добавка водорода на всех режимах поддерживалась практически постоянной – 10%, тогда как состав смеси изменялся от $\alpha=1,8$ на холостом ходу до $\alpha=1,5$ на скорости автомобиля 100 км/ч. Это сравнительно небольшое обогащение смеси на высоких скоростях движения ведет к существенному увеличению выбросов NO_x. Тем не менее в условиях городского движения с низкими и средними скоростями этот способ дозирования, несомненно, обеспечивает более приемлемые уровни эмиссии NO_x с ОГ автомобиля. Это подтверждается результатами испытания автомобилей с рассмотренной системой дозирования топлива по стандартному ездовому циклу:

Компонент ОГ	NO _x	CO	CH
Удельный выброс, г/км.....	0,24	2,1	1,9

Снижение добавок водорода до 5% позволяет сохранить максимальную мощность двигателя при определенном улучшении его экономических и токсических характеристик.

3.3. Наладка стенда и измерительной аппаратуры

Наше устройство производит водород и кислород, смесь газов подается непосредственно в воздухозаборник двигателя.



Рис.3.7. Схема монтажа водородной установки

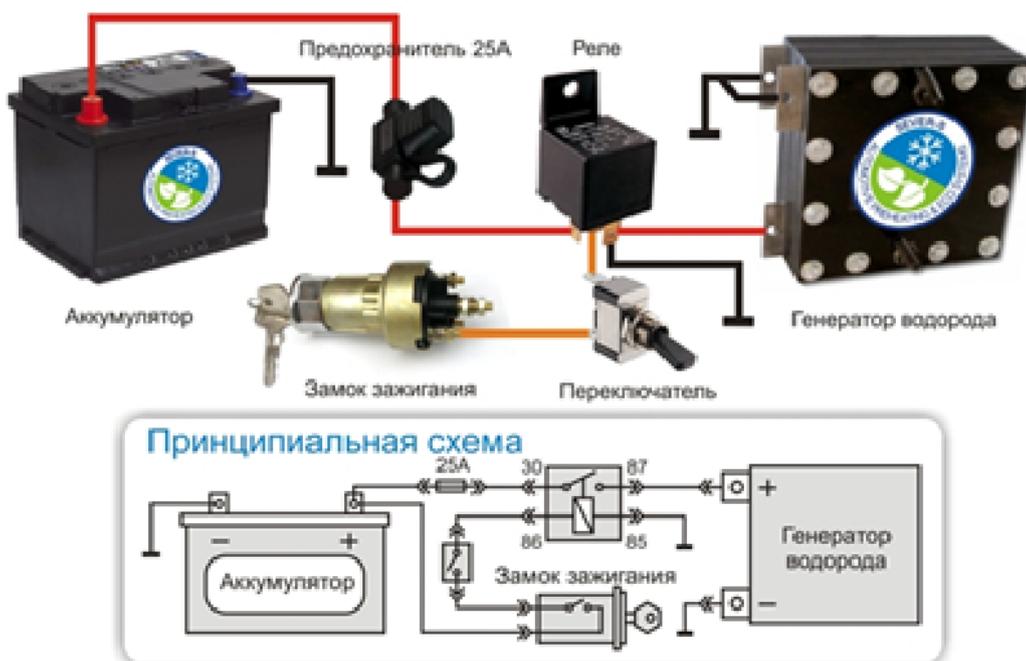


Рис.3.8. Схема электрического подключения водородной установки

3.4. Снятие характеристик двигателя и обобщение полученных данных

Например, организацию топливоподачи бензоводородных топливных композиций (БВТК) для существующих автомобилей необходимо осуществлять таким образом, чтобы на режимах холостого хода и частичных нагрузок двигатель работал на топливных композициях с высоким содержанием водорода. По мере возрастания нагрузок концентрация водорода должна снижаться и на режиме полного дросселя подачу водорода необходимо прекратить.

Как видно из графиков, по мере увеличения концентрации водорода в БВТК эффективный КПД двигателя возрастает. Максимальное значение КПД при мощности 6,2 кВт и частоте вращения коленчатого вала 2400 мин⁻¹ достигает на водороде 18,5%. Это в 1,32 раза выше, чем при работе двигателя на этой же нагрузке на бензине. Максимальное значение эффективного КПД двигателя на бензине составляет на этой нагрузке 14%. При этом состав смеси соответствующий максимальному КПД двигателя (эффективный предел обеднения) смещается в сторону бедных смесей.

Так при работе на бензине эффективный предел обеднения топливно-воздушной смеси соответствовал коэффициенту избытка воздуха (α) равному 1,1 единицы. При работе на водороде коэффициент избытка воздуха соответствующий эффективному пределу обеднения топливно-воздушной смеси, $\alpha = 2,5$. Не менее важным показателем работы автомобильного двигателя внутреннего сгорания на частичных нагрузках является токсичность отработавших газов.

Исследование регулировочных характеристик двигателя по составу смеси на БВТК с различными концентрациями водорода показали, что по мере обеднения смеси концентрация окиси углерода (CO) в отработавших газах снижалась практически до нуля независимо от вида топлива.

Увеличение концентрации водорода в БВТК приводит к снижению выброса с отработавшими газами углеводородов C_nH_m . При работе на водороде концентрация этого компонента на отдельных режимах падала до

нуля. При работе на этом виде топлива выброс углеводородов во многом определялся интенсивностью сгорания в камере сгорания ДВС. Образование окислов азота N_xO_y , как известно, не связано родом топлива. Их концентрация в отработанных газах определяется температурным режимом горения топливно-воздушной смеси. Возможность работы двигателя на водороде и БВТК в диапазоне бедных составов смесей позволяет снизить максимальную температуру цикла в камере сгорания ДВС. Это существенно уменьшает концентрацию окислов азота. При обеднении топливно-воздушной смеси свыше, $\alpha = 2$, концентрация N_xO_y снижается до нуля.

В отработавших газах двигателей внутреннего сгорания содержится свыше 200 различных углеводородов.

Теоретически, в случае сгорания гомогенных смесей (из условий равновесия) углеводородов в отработавших газах ДВС не должно содержаться, однако из-за негомогенности топливовоздушной смеси в камере сгорания ДВС возникают разные начальные условия протекания реакции окисления топлива.

Другим важным источником образования углеводородов является моторное масло, которое попадает в цилиндр двигателя в результате не эффективного удаления со стенок маслосъемными кольцами или через зазоры между стержнями клапанов и их направляющими втулками.

При работе ДВС на водороде в топливе не содержится углеродосодержащих веществ.

В процессе сгорания топлива окислы азота формируются за фронтом пламени в зоне повышенной температуры, вызванной реакцией сгорания топлива. Образование окислов азота, если это не азотосодержащие соединения образуются в результате взаимодействия кислорода и азота воздуха.

Общепринятой теорией образования окислов азота является термическая теория. В соответствии с этой теорией выход окислов азота определяется максимальной температурой цикла, концентрацией азота и кислорода в продуктах сгорания и не зависит от химической природы топлива рода топлива (при отсутствии в топливе азота).

В отработавших газах ДВС с искровым зажиганием содержание окиси азота составляет 99% от количества всех окислов азота (NO). После выхода в атмосферу происходит окисление NO до NO_2 .

При работе ДВС на водороде образование окиси азота имеет некоторые особенности по сравнению с работой двигателя на бензине. Это связано с физико-химическими свойствами водорода. Главными факторами в этом случае являются температура сгорания водородо-воздушной и ее пределы воспламенения.

Как известно пределы воспламенения водородо-воздушной смеси находятся в диапазоне 75% – 4,1%, что соответствует коэффициенту избытка воздуха 0,14 – 9,85, в то время как у изооктана в диапазоне 6,0% – 1,18%, что соответствует коэффициенту, избытка воздуха 0,29 – 1,18.

Важной особенностью сгорания водорода является повышенная скорость сгорания стехиометрических смесей.

Представлен график зависимостей, характеризующих протекание рабочих процессов ДВС при работе на водороде и бензине (рис.3.9).

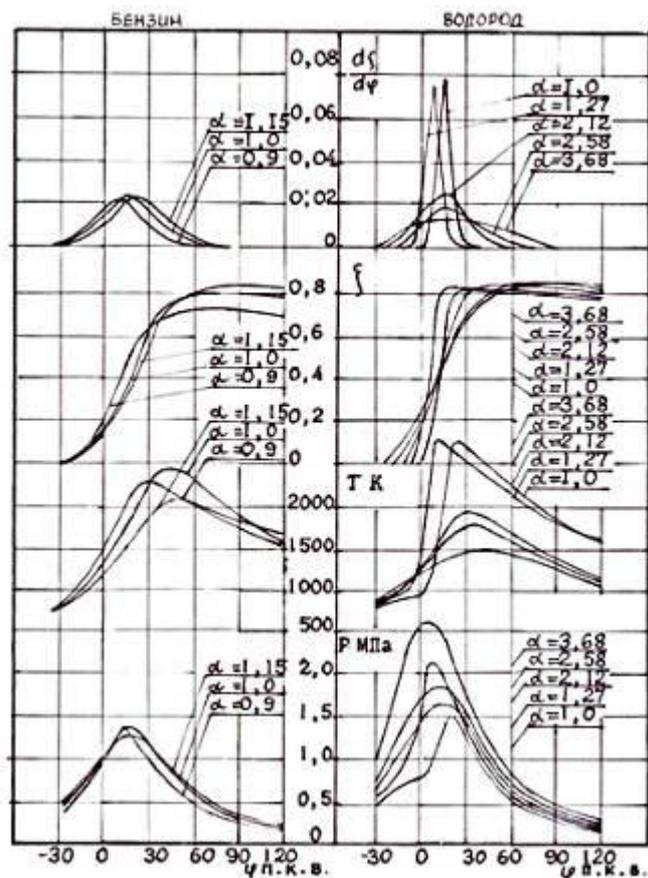


Рис.3.9. Изменение параметров рабочего процесса ДВС при работе на H_2 и бензине, мощность ДВС 6,2 кВт, частота вращения коленчатого

Как следует из их графиков, перевод ДВС с бензина на водород приводит в области стехиометрических смесей к резкому возрастанию максимальной температуры цикла.

На графике видно, что скорость тепловыделения при работе ДВС на водороде в верхней мертвой точке ДВС в 3-4 раза выше, чем при работе на бензине.

При этом на индикаторной диаграмме отчетливо видны следы

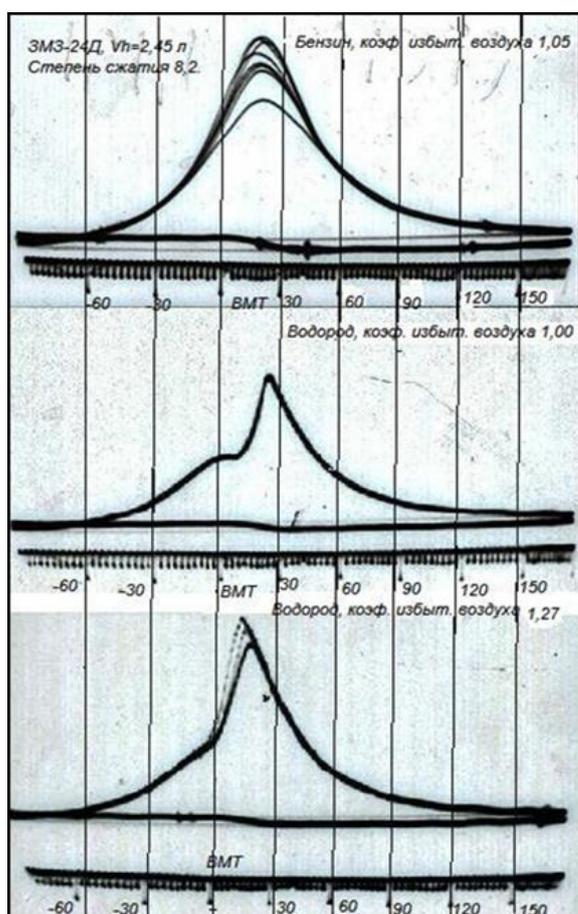


Рис.3.10. Индикаторные диаграммы ДВС (ЗМЗ-24-Д, $V_h = 2,4$ л., $\varepsilon = 8,2$) при мощности 6,2 кВт и ч.в.к 2400 мин^{-1} , при работе на бензине и водороде

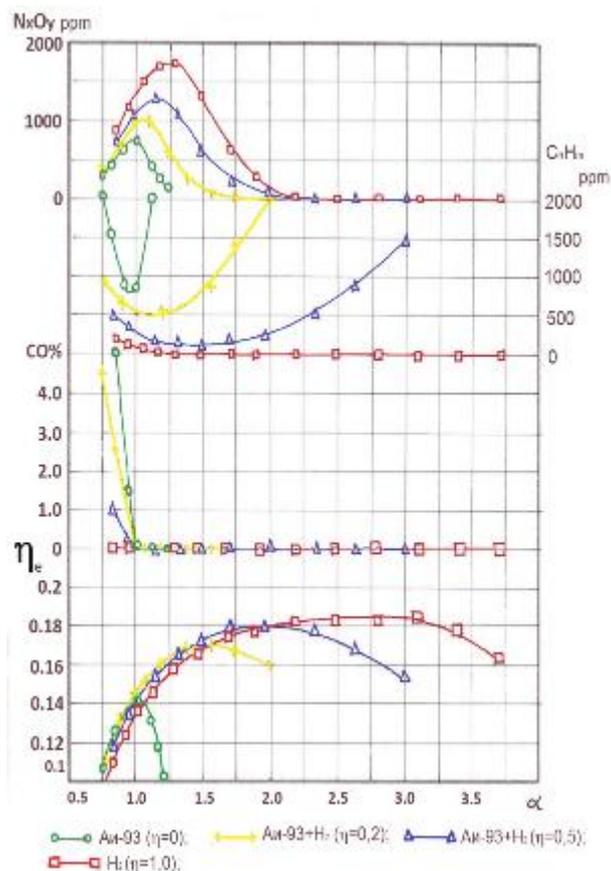


Рис.3.11. Регулировочные характеристики по составу смеси при работе ДВС на бензоводородных топливных композициях. 1. Бензин, 2. Бензин + H_2 (20%), 3. Бензин + H_2 (50%), 4. H_2 .

колебания давления, появление которых в конце такта сжатия свойственно «жесткому» сгоранию топливовоздушной смеси.

На рис.3.10, представлены индикаторные диаграммы, описывающие изменение давления в цилиндре ДВС (ЗМЗ-24Д, $V_h = 2,4$ л. $\varepsilon = 8,2$), в

зависимости от угла поворота коленчатого вала (мощность 6,2 кВт, ч.в.к 2400мин⁻¹) при работе на бензине и водороде.

На рис. 3.11 представлены индикаторные диаграммы при работе на водороде при коэффициенте избытка воздуха 1,27. Угол опережения зажигания составлял 100 поворота коленчатого вала. На некоторых индикаторных диаграммах явно видны следы «жесткой» работы ДВС.

Такой характер протекания рабочего процесса ДВС при использовании в качестве топлива водорода способствует повышенному образованию окислов азота. Максимальное значение концентрации окислов азота в отработанных газах, соответствует работе ДВС с коэффициентом избытка воздуха 1,27.

На рис. 3.12, представлены зависимости изменения выброса токсичных веществ с ОГ ДВС при работе на бензине, бензоводородных композициях и водороде. Как следует из графика, наибольшее значение выбросов *NO* соответствует работе ДВС на водороде. Вместе с тем по мере обеднения топливовоздушной смеси концентрация *NO* снижается, достигая практически нулевого значения при коэффициенте избытка воздуха больше 2 единиц.

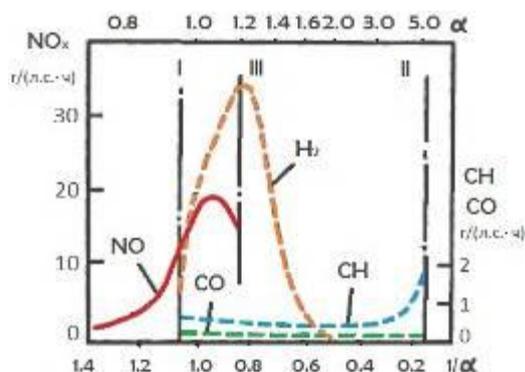


Рис. 3.12. Состав отработавших газов водородного двигателя: I, II – границы устойчивой работы на водороде; III – нижняя граница работы на изооктане; — — бензин; — — водород

С воздухом водород устойчиво воспламеняется в широком диапазоне концентраций — вплоть до $\alpha = 10$. Столь низкий предел воспламенения обеспечивает работу водородного двигателя на всех скоростных режимах в широком диапазоне изменения составов смеси: от $\alpha = 0,2$ до 5,0. В связи с этим мощность водородного двигателя может изменяться качественным регулированием, при котором уменьшаются потери двигателя, а его КПД при частичных нагрузках увеличивается на 25-50% .

**Экологический расчёт, городского автобуса произведённого
опираясь к приложению №1 Кабинета Министров от 06.02. 2006 г.
за №15**

Таблица 3.3. Размеры компенсационных выплат за выброс загрязняющих веществ в атмосферу на территории Республики Узбекистан.

№	Наименования загрязняющих веществ.	Компенсация выплат за выброс 1 тн. загрязняющих веществ в атмосферу (тыс.сум)
1	Окись азота	0.818
2	Углеводороды	9,670
3	Окись углерода	0.312
4	Сажа	0.390
5	Сернистый ангидрид	2.457

Размеры компенсационных выплат за выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании 1 тонны дизельного топлива составляет 0.1404 тыс.сум. Автобусный парк города Ташкента составляет более 2600 автобусов.

За год 1 автобус сжигает в среднем 38 тонн дизельного топлива. В год автобусный парк города Ташкента сжигает 98800 тонн топлива.

Размеры компенсационных выплат автобусного парка за выброс загрязняющих веществ в атмосферный воздух при сжигании 98800 тонн дизельного топлива за год составляет 13.832.000 сум.

Раздел охраны труда

1) В соответствии с законом Республики Узбекистан принятым 06.05.1993г. «Об охране труда» государственная политика в области охраны труда основывается на принципах:

- приоритета жизни и здоровья работников по отношению к результатам производственной деятельности предприятия;
- координация деятельности в области охраны труда с другими направлениями экономической и социальной политики;
- установления единых требований в области охраны труда для всех предприятий, независимо от форм собственности и хозяйствования;

- обеспечения экологически безопасных условий труда и систематического контроля за состоянием окружающей среды на рабочих местах;
- осуществления надзора и контроля за повсеместным выполнением требований охраны труда на предприятиях;
- участия государства в финансировании охраны труда;
- подготовка специалистов по охране труда в высших и средних специальных учебных заведениях;
- стимулирования разработки и внедрения безопасной техники, технологии и средств защиты работающих;
- широкого использования достижений науки, техники и передового отечественного и зарубежного опыта по охране труда;
- бесплатного обеспечения работников специальной одеждой и обувью, средствами защиты, лечебно профилактическим питанием;
- социальной защиты интересов работников, пострадавших от несчастных случаев на производстве или получивших профессиональное заболевание.

2) Расчет пожарной нагрузки является составной частью определения пожарной опасности, а снижение этой нагрузки – одним из направлений борьбы с пожарами на транспорте. Пожарная нагрузка автобуса определяет основные параметры пожара; время развития и горения, размеры ОФП. Пожарную нагрузку подразделяют на постоянную и временную.

Выводы по главе 3.

В третьей главе представлены стенд для исследование двигателей, методика исследования, измерительная аппаратура, обработка экспериментальных данных, а также представлены результаты исследования опытных образцов дизельных двигателей конвертированных на водородоискровой систему. Результаты экспериментальных исследование показали, что водородоискровые конвертированные двигатели: при работе на водороде степень сжатия ϵ должна быть в пределах 13-14,5. При конвертации дизеля в водородоискровой двигатель вместо форсунки устанавливается свеча зажигания, опытная эксплуатация водородного двигателя на базе дизеля ISUZU NP-37 показала возможность установки свечи с резьбой M14Ч1,25.

Общие выводы и рекомендации

Исследователями выяснено, что наиболее полно специфическим особенностям водорода как моторного топлива отвечает быстроходный двигатель с неразделенной камерой сгорания и внутренним смесеобразованием.

Установлено, что такой двигатель может работать при полностью открытом дросселе во всем диапазоне рабочих нагрузок, причем его эффективная мощность может изменяться (при холостом ходу и до полной нагрузки) за счет регулируемой подачи водорода.

Рекомендации при переводе дизеля на водородный двигатель:

- увеличение рабочего объема цилиндров (для получения той же мощности);
- уменьшение степени сжатия допустимой для водорода;
- предотвращение возможности преждевременного воспламенения, обратных вспышек, детонации, учитывая большую скорость распространения пламени водородовоздушной смеси;
- место форсунок надо ставить свечи зажигания;
- изменение (уменьшение) угла опережения зажигания с учетом полного сгорания смеси в верхней мертвой точке;
- изменение системы питания, уменьшение аэродинамического сопротивления с учетом возможности увеличения коэффициента избытка воздуха при работе на водороде;
- осуществление мер по предотвращению образования окислов азота в отработавших газах при использовании атмосферного воздуха в качестве окислителя и другие меры.

Список использованной литературы

Законы Республики Узбекистан

1. Закон Республики Узбекистан «Об экологической экспертизе». 20 мая 2000 г.
2. Закон Республики Узбекистан «О воде и водопользовании». 6 мая 1993 г.
3. Закон Республики Узбекистан «О городском пассажирском транспорте». 25 апреля 1997 г., №419-І.

Указы и постановления Президента Республики Узбекистан,

Постановления Кабинета Министров

4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан об утверждении положения о государственной экологической экспертизе в Республике Узбекистан. 01 ноября 2012 г.

Произведения Президента Республики Узбекистан

Ислама Каримова

5. Каримов И.А. По пути модернизации страны и устойчивого развития экономики. Ташкент издательско-полиграфический дом «Узбекистан», 2008 год.
6. Каримов И.А. Высокая духовность – непобедимая сила. Ташкент: Манавият, 2011. – 176с.
7. Каримов И.А. По пути преодоления последствий мирового кризиса, модернизации страны и достижения уровня развитых государств. Ташкент: Узбекистан, 2010. – 248с.

Основная литература

8. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А.И. Мищенко. – К. : Наукова думка, 1984. – 143 с.
9. Лавров Б. Е. Некоторые результаты исследования рабочего процесса поршневого двигателя на водороде / Б. Е. Лавров, В. И. Хмыров // Труды. АН Казань. – 1985. - №2 – С. 326 – 332.
10. Breshers R. Partial hydrogen Injection into internal combustion engines – effect on emissions and fuel economy / Breshers R., Cotrill H., Rupe J. // EPA – First symposium on low pollution power system development (Ann Arbor, Michigan, 1983), 1983.
11. Furuhami S. Combustion Characteristics of Hydrogen Fueled Spark Ignition Engine / Furuhami S. // Vol. I SAE. – 1976. – № 6. – P. 1–10.
12. Фомин В.М., Иванов Р.А. Улучшение эколого-экономических показателей дизеля применением термохимической переработки части топлива, поступающего в цилиндры//Проблемы теории и практики инженерных исследований.- Сб. научн. трудов.- М.: Изд-во АСВ, 1988.-С. 199-204.
13. Фомин В.М., Хрипач Н.А. Двигатель, работающий на смеси дизельного и водородного топлив // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006.- № 5. - С. 31-37.
14. Каменев В.Ф., Фомин В.М., Хрипач Н.А. Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на водородно-топливных композициях // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAEE).- № 7.- 2005.- С. 32-42.
15. Seleznev K. P. & al. Development and Investigation of the Hydrogen Fueling Systems used for Automobile Engines / Proc. of the 7th World Hydrogen conf. Moscow: Pergamon Press,1988, v.3 P.2105

16. Магидович Л. Е., Румянцев В. В. Условия сгорания водородовоздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания / Двигателестроение. 1983, №5.
17. Галышев Ю. В., Магидович Л. Е., Румянцев В. В., Серебренников В. В. Основные принципы выбора и расчета системы водородного питания транспортного двигателя / Рабочие процессы компрессоров и установок с ДВС. Труды ЛПИ №419 // Л.: изд. ЛПИ, 1985. С.43 – 45.
18. Каменев В.Ф., Фомин В.М., Хрипач Н.А. «Теоретические и экспериментальные исследования работы двигателя на дизельно-водородных топливных композициях», Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ, №7 (27), 2005 г.
19. Enomoto R., Furuhami S., Nishiguchi T. Ignitability of Hydrogen Air Mixture by Hot Surfaces and Hot Gases in Hydrogen Fueled Engine / JSAE Rev. №5, 1981, P. 23-29.
20. Шатров Е.В., Раменский А.Ю., Кузнецов В.М. «Исследование мощностных, экономических и токсических характеристик двигателя, работающего на бензоводородных смесях». Автомобильная промышленность, 1979 г.
21. Кадыров С.М., Никитин С.Е. Автомобильные и тракторные двигатели: Учебник для студ. техн. вузов /Под ред. А.А.Муталибова Т.: Укитувчи, 1990, 488 с.
22. Базаров Б.И. Альтернативные моторные топлива и системы питания. – Ташкент: Фан, 2010 – 202 с.

23. Кадыров С. М., Файзуллаев Р. Ф. Водородное топливо для автобусов. Сб. мат. Республиканский научно-технический конференции. Т – 2012.
24. Кадыров С.М., Юсупов И.Х., Эшбоев Б. (ТАДИ). Сб. мат. Республиканский научно-технический конференции. Т – 2012.

Дополнительная литература

25. <http://eco.m-club.ru/> Сайт альтернативных топлив.
26. <http://www.elektrolizer.com/production.html>. Сайт электриков.
27. <http://hyundai-tucson.org/> Сайт компании Хюндай.
28. <http://www.mercedes-benz.ua/> Сайт компании Мерседес Бенц.
29. <http://www.hydrogen-motors.com/toyota-fchv-bus.html> Сайт водородной энергетики.
30. <http://www.uzavtosanoat.uz> Сайт автопрома Республики Узбекистана.

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ВОДОРОДНОГО ДВИГАТЕЛЯ

1 Номинальная мощность двигателя	Ne кВт	75,6
2 Номинальная частота вращения коленчатого вала	n мин ⁻¹	3200
3 Степень сжатия	ε	19
4 Коэффициент избытка воздуха	α	1,3
5 Количество цилиндров	i	4
6 Отношение хода поршня к диаметру цилиндра	S/D	0,98
7 Способ охлаждения		жидкостной
8 Прототип		ISUZU
9 Топливо		Водород
10 Низшая теплота сгорания	Ни Мж/	42 42000 кЖ/кг

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛО

1. Элементарный состав водорода:

здесь: Н – водород, O₂ – кислород
молекулярная масса – μ_r

Н	O ₂
0,5	0,5

2. Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива:

$$l_o = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O_2 \right) \quad l_o = 15,2174 \text{ кг}$$

$$L_o = \frac{1}{0,21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_2}{32} \right) \quad L_o = 0,52083 \text{ кмоль}$$

3. Количество свежего заряда (воздуха)

$$M_1 = \alpha L_o \quad M_1 = 0,67708 \text{ кмоль}$$

4. Суммарное количество продуктов сгорания

$$M_2(\alpha=1) = C/12 + H/2 + 0,79 \cdot \alpha \cdot L_o \quad M_2(\alpha=1) = 0,66146 \text{ кмоль}$$

Количество избытка свежего воздуха

$$M_{\text{изб.возд}} = (\alpha - 1)L_0$$

$$M_{\text{изб.возд}} = 0,15625 \text{ кмоль}$$

$$M_2 = M_2(\alpha = 1) + M_{\text{изб.возд}}$$

$$M_2 = 0,81771 \text{ кмоль}$$

5. Теоретические коэффициент молекулярного изменения

Теоретические коэффициент молекулярного изменения $\mu_o = \frac{M_2}{M_1}$ $\mu_o = 1,208$

2. ВЫБОР НЕКОТОРЫХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЕ

1. Давление окружающей среды $P_o = 0,1 \text{ МПа}$ $[P_o = 0,1033 \text{ МПа}]$ 0,1

2. Температура окружающей среды $T_o = 310^\circ\text{K}$ $[T_o = 273 - 313] \text{ K}$ 310

3. Давление остаточных газов $P_r = 0,12 \text{ МПа}$ $[P_r = (1,1 \div 1,25) P_o]$ 0,12

4. Температура остаточных газов $T_r = 800^\circ\text{K}$ $[T_r = 700 \div 900 \text{ }^\circ\text{K}]$ 800

5. Температура свяжего заряда поступающий в цилиндр: $T_o^1 = T_o + \Delta T$

$\Delta T = 20-40^\circ\text{C}$ изменяется в этом интервале.

$$\Delta T = 20$$

$$T_o^1 = 330$$

6. Показатели политропик сжатия и расширение n_1 ва n_2

$$n_1 = 1,41 - \frac{100}{n} \quad n_1 = 1,37875 \quad [n_1 = 1,3 \div 1,39]$$

$$n_2 = 1,22 + \frac{130}{n} \quad n_2 = 1,26063 \quad [n_2 = 1,22 \div 1,3]$$

7. Коэффициент активного тепловыделения

$$\xi_{z=} = 0,8$$

$$[\xi_z = 0,8 \div 0,9]$$

8. Давление газов в конце впуска

$$P_a = 0,09$$

$$P_a = 0,85 \div 0,95 P_o$$

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ В КОНЦЕ ПРОЦЕССА ВПУСКА

1. Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_{кол} = \frac{T_o^1}{T_z} \cdot \frac{P_z}{\varepsilon P_a - P_z}$$

$$\gamma_{кол} = 0,03113$$

$$[\gamma_{кол} = 0,03 \div 0,06]$$

2. Температура газов в конце впуска

$$T_a = \frac{T_o^1 + \gamma_{кол} \cdot T_z}{1 + \gamma_{кол}}$$

$$T_a = 344,19$$

$$[T_a = 310 \div 350 \text{ } ^\circ K]$$

3. Коэффициент наполнения

$$\varphi = 1,05$$

$$[\varphi = 1,05 \div 1,1]$$

$$\eta_v = \varphi \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{P_a}{P_o} \cdot \frac{T_o}{T_a (1 + \gamma_{кол})}$$

$$\eta_v = 0,87129$$

$$[\eta_v = 0,8 \div 0,9]$$

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ В КОНЦЕ ПРОЦЕССА СЖАТИЯ

1. Давление газов в конце сжатия

$$P_c = P_a \varepsilon^{n_1}$$

$$P_c = 5,21584$$

$$[P_c = 3,5 \div 5,5 \text{ МПа}]$$

2. Температура газов в конце сжатия

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1-1}$$

$$T_c = 1049,85$$

$$[T_c = 800 \div 950 \text{ }^\circ \text{K}]$$

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ В КОНЦЕ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ

1. Уравнение сгорания для водородных двигателей

$$\frac{\xi_z \cdot Hu}{M_1(1 + \gamma_{\text{кол}})} + \frac{U_c + \gamma_{\text{кол}} \cdot U_c^{11}}{1 + \gamma_{\text{кол}}} + 8,314 \cdot \lambda \cdot T_c = \mu(U_z^{11} + 8,314 T_z)$$

2. Действительные коэффициент для молекулярного изменения

$$\mu_x = \frac{M_2 + M_1 \cdot \gamma_{\text{кол}}}{M_1(1 + \gamma_{\text{кол}})} = \frac{\mu_o + \gamma_{\text{кол}}}{1 + \gamma_{\text{кол}}}$$

$$\mu_x = 1,201$$

Внутренняя энергия в конце процесса сжатия свяжего горючего 1 моля

$$U_c = (\mu c_v)_c \cdot t_c$$

$$t_c = 776,848$$

μc_v	$t = t_c$	=	22,65	кЖ/(кмо)
	$t = 0^\circ$			

тогда

$$U_c = (\mu c_v)_c \cdot t_c$$

$$U_c = 17597,5$$

Примем что теплоемкость горючего равен на теплоемкость воздуха.

Значение внутреняя энергии горючего при $\alpha=1$ и для газов t_c

U_c и найдем $U_{c(\alpha=1)}^{11}$

$$U_c^{11} = U_{c(\alpha=1)}^{11} \cdot (rM_2)_{(\alpha=1)} + U_c \cdot r_{\text{изб.возд}}$$

$$U_c^{11} = U_{c(\alpha=1)}^{11} \cdot (rM_2)_{(\alpha=1)} + U_c \cdot r_{изб.возд}$$

Теплоемкость горючего при $\alpha=1$ находим зпо таблице 3

$$(\mu c_v)_c^{11} = 25,4332707 \text{ кЖ/кмоль}$$

тогда внутренняя энергия горючего при $\alpha=1$, находим по таблице 4

$$U_{c(\alpha=1)}^{11} = 19741,4$$

$$U_c^{11} = U_{c(\alpha=1)}^{11} \cdot (rM_2)_{(\alpha=1)} + U_c \cdot r_{изб.возд}$$

$$U_c^{11} = 19331,7$$

здесь

$$(rM_2)_{\alpha=1} = \frac{(M_2)_{\alpha=1}}{M_2}$$

$$(rM_2)_{\alpha=1} = 0,809 \text{ 1 кмоль в горючей продукции}$$

абсолютное количество горючей продукции при $\alpha = 1$

$$r_{изб.возд} = \frac{M_{изб.возд.}}{M_2}$$

$$r_{изб.возд} = 0,191 \text{ 1 кмоль в горючей продукции}$$

абсолютное значение избыточного воздуха

тогда левое часть уравнение

$$\frac{\xi_z \cdot Hu}{M_1(1 + \gamma_{осм})} = 48126,3425 \text{ кЖ / кмоль}$$

$$\frac{U_c + \gamma_{осм} \cdot U_c^{11}}{1 + \gamma_{осм}} = 17649,8218 \text{ кЖ / кмоль}$$

Выбираем степень расширения давление λ

$$\lambda = 1,8 \quad 1,4 - 2,2$$

$$8,314 \cdot \lambda \cdot T_c = 15711,19 \text{ кЖ / кмоль}$$

$$\frac{\xi_z \cdot Hu}{M_1(1 + \gamma_{осм})} + \frac{U_c + \gamma_{осм} \cdot U_c^{11}}{1 + \gamma_{осм}} + 8,314 \cdot \lambda \cdot T_c = 81487,3543 \text{ кЖ / кмоль}$$

тогда

$$\mu_x(U_z^{11} + 8,314 \cdot T_z) = 81487,3543$$

или

$$\mu_x = 1,20142 \text{ тогда}$$

$$(U_z^{11} + 8,314 \cdot T_z) = 67826 \text{ кЖ / кмоль}$$

U_z^{11} следовательно
решаем используя таблицы 4- ва 2. (Ответ приведен в таблице)

$$(U_z^{11} + 8,314 \cdot T_z) = 67825,7757 \text{ ищем ответ в таблице}$$

$$tz1 = 1900$$

$$tz2 = 2000$$

$$U_z^{11} = 71637$$

$$U_z^{11} = 75655$$

$$tz2 - tz1 = 100$$

$$\Delta = 4017,33631$$

$$A = -3811,4189$$

$$X = -94,874281$$

$$tz = 1805,12572$$

$$Tz = 2078,12572$$

5. Давление в конце сгорания вычисляется по следующему уравнению

$$P_z = P_c \cdot \lambda$$

$$P_z = 9,38850716 \text{ МПа}$$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСШИРЕНИЯ

1. Предварительная степень расширения

$$\rho = \frac{\mu_x}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_c}$$

$$\rho = 1,3212$$

2. Следующие предварительные расширения

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}$$

$$\delta = 14,3809$$

3. Давление в конце расширения

$$P_e = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}$$

$$P_e = 0,32588$$

$$P_e = 0,2 \div 0,4 \text{ МПа}$$

$$P_{\epsilon} = \frac{P_z}{\delta^{n_2}}$$

P_{ϵ}

$$P_{\epsilon} = 0,2 \div 0,4 \text{ МПа}$$

4. Температура в конце расширения

$$T_{\epsilon} = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}$$

$$T_{\epsilon} = 1037,35 \text{ К}$$

$$T_{\epsilon} = 1000 \div 1200^{\circ} \text{ К}$$

7. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЦИКЛА

1. Среднее индикаторное давление цикла:

$$P_{ix} = \frac{P_a \cdot \epsilon^{n_1}}{\epsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_1-1}} \right) \right]$$

$$P_{ix} = 0,978 \text{ МПа}$$

2. Коэффициент округления индикаторной диаграммы

$$\varphi_i = 0,92 \div 0,97$$

$$\varphi_i = 0,96$$

то тогда настоящий среднее индикаторное давление

$$P_i = \varphi_i \cdot P_{ix}$$

$$P_i = 0,93842 \text{ МПа}$$

$$P_i = 0,8 \div 1,9 \text{ МПа}$$

3. Доля индикаторного давления, затраченного на трение и привод вспомогательных механизмов с учетом опытных коэффициентов А и В из табл.5

$$P_m = A + B \cdot C_n$$

a	b
0,105	0,012

Средняя скорость поршня

$$C_n = 8 \div 15 \text{ м/с}$$

$$C_n = 15 \text{ м/с}$$

то тогда

$$P_m = 0,285 \text{ МПа}$$

4. Среднее эффективное давление цикла

$$P_e = P_i - P_m$$

$$P_e = 0,65342 \text{ МПа}$$

$$P_e = 0,6 \div 1,0 \text{ МПа}$$

5. Механический КПД

$$\eta_m = \frac{P_e}{P_i}$$

$$\eta_m = 0,6963$$

$$\eta_m = 0,7 \div 0,82$$

6. Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{3600 \cdot \eta_v \cdot \rho_0}{p_i \cdot \alpha \cdot l_0}$$

$$g_i = 189,85 \text{ г / кВт} \cdot \text{ч} \quad g_i = 175 \div 220 \text{ г / кВт} \cdot \text{ч}$$

$$\rho_0 \text{ плотность входящего заряда} \quad \rho_0 = p_0 / (RT_0)$$

$$\text{для воздуха } R_B = 8314 / \mu_B \quad \mu_B = 28,96 \text{ у холда}$$

$$\rho_0 = \frac{p_0 \cdot \mu_B}{8314 \cdot T_0} \cdot 10^6 = 1,12364 \text{ кг / м}^3$$

$$\mu_B = 28,96$$

$$R_B = 287,0856354$$

7. Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}$$

$$g_e = 272,657 \text{ г / кВт} \cdot \text{ч}$$

$$g_e = 270 \div 380 \text{ г / кВт} \cdot \text{ч}$$

8. Индикаторный КПД цикла

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot H_u}$$

$$\eta_i = 0,45148$$

$$\eta_i = 0,25 \div 0,40$$

9. Эффективный КПД цикла

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m$$

$$\eta_e = 0,31437$$

$$\eta_e = 0,22 \div 0,33$$

10. Часовой расход топлива

$$G_{\bar{e}} = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3} = 20,6128 \text{ кг / с}$$

$$G_{\bar{e}} = g_e \cdot N_e \cdot 10^{-3} \quad \text{кг/с}$$

8. ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ ЦИЛИНДРА

1. Рабочий объем цилиндра

$$iV_h = \frac{30 \cdot N_e \cdot \tau}{p_e \cdot n}$$

$$iV_h = 4,33872 \text{ л}$$

τ тактность двигателя

$$\tau = 4$$

2. Рабочий объем одного цилиндра

$$V_h = iV_h / i$$

$$V_h = 1,08468 \text{ л}$$

3. Диаметр цилиндра

$$D_{\text{ц}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_h}{\pi \cdot \frac{S}{D}}}$$

$$D_{\text{ц}} = 1,12133 \text{ дм} \quad 112,13348 \text{ мм}$$

$$\pi = 3,14$$

4. Ход поршня

$$S = D_{\text{ц}} \cdot \frac{S}{D}$$

$$S = 109,891 \text{ мм}$$

Округляем значение диаметра цилиндра и хода поршня

$$D_{\text{ц}} = 112 \text{ мм}$$

$$S = 110 \text{ мм}$$

5. Средняя скорость поршня

$$C_n = \frac{S \cdot n}{30 \cdot 10^3} = 11,7333 \text{ м/с}$$

6. Литраж двигателя

$$V_l = 0,785 \cdot D_y^2 \cdot S \cdot i \cdot 10^{-6}$$

$$V_l = 4,3327 \text{ л}$$

7. Эффективный мощность двигателя

$$N_{e \max} = \frac{P_e \cdot V_l \cdot n}{30 \cdot \tau}$$

$$N_{e \max} = 75,4951 \text{ кВт}$$

8. Индикаторный мощность двигателя

$$N_i = \frac{N_{e \max}}{\eta_m}$$

$$N_i = 108,424 \text{ кВт}$$

9. Литровая мощность двигателя

$$N_l = \frac{N_{e \max}}{V_l}$$

$$N_l = 17,4245 \text{ кВт}$$

10. Эффективный крутящий момент двигателя

$$M_e = 10^3 \cdot \frac{N_{e \max}}{n}$$

$$M_e = 23,5922 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

11. Индикаторный крутящий момент двигателя

$$M_i = \frac{M_e}{\eta_m}$$

$$M_i = 33,8824 \text{ Н} \cdot \text{м}$$