

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки)

Эксплуатация транспортных средств

(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Исследование эффективности применения водородного двигателя на легковых автомобилях.

Студент

И.М. Митюхин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

канд. техн. наук, доцент И.В. Турбин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	2
Состояние вопроса	5
1 Альтернативные источники энергии.....	6
1.1 Солнечные батареи, ветрогенераторы	6
2 Топлевные элементы.....	16
2.1 Водород	16
2.2 Добавка водорода в ДВС	39
3 Расчет гибридной системы.....	47
3.1 Обоснованность выбора	47
3.2 Схема подачи водорода в ДВС	49
4 Характеристики гибридных систем	51
4.1 Устройство бензиновых двигателей на водородном топливе	51
Заключение	65
Список используемых источников.....	66

Введение

ДВС значительно загрязняет окружающую среду и все больше увеличивается производство электрических, гибридных и водородных двигателей. Доступные альтернативные источники энергии, такие как ветровые и солнечные станции и самое главное, топливные элементы.

Мало того, они вырабатывают энергию и при этом не загрязняют окружающую среду. Каждое оборудование, транспорт имеющее ДВС становится ненадежным после долгого использования и вредит окружающей среде при их утилизации.

Для производства небольшого количества альтернативной энергии необходимы большие агрегаты, но все же, металлгидридный накопитель хорош тем, что система, зависимость продолжительности сохранения энергии, напрямую зависит от количества водорода, который хранится там.

В связи с этим, появляется необходимость в изобретении водородного двигателя, основанной на водородной системе.

Так же, такой вид альтернативной энергии может быть использован в жилых домах, производства где необходимо непрерывная энергия, системы транспортного управления, медицинских направлениях.

Как раз для этого и использованы рациональные ресурсы экологического топлива.

Альтернативная энергетика обладает высоким потенциалом в будущем машиностроении. Его использование будет как экономически выгодно, так и энергоэффективно.

Цель работы:

Провести анализ возможных вариантов использования альтернативной энергетике в автомобильной промышленности.

Задачи данной работы:

Исследовать актуальность применения водородного топлива в автомобильной промышленности. Провести анализ автономных систем энергосбережения, оценить рынки ДГУ БГУ, ВСЭ, ТЭ

Перечень сокращений и обозначений

АКБ – аккумуляторная батарея;

БУ – бензиновая установка;

ВСУ – водородная силовая установка;

ВСЭ – ветро-солнечная электростанция;

ВСЭС – водородная система энергоснабжения;

ГЭС – гидроэлектростанция;

ДГУ – дизель-генераторная установка;

КПД - Коэффициент полезного действия

ТЭС – теплоэлектростанция;

ТЭ – топливный элемент;

Состояние вопроса

Углеводородный источник сырья в основном и есть мировая энергетика, в связи с этим потребление ресурсов земли уменьшается, а катастрофы и за-за загрязнения окружающей среды сводятся к нулю.

Есть предположение, что в будущем, термоядерная энергетика займет свое место в мировом обществе.

На сегодняшний день, уже становится ясно, что проблемы с электричеством и окружающей средой растут быстрее, чем продвижение в использовании термоядерной станции. Даже если все-таки использовать такие станции, то вырабатываемого электричества едва хватит для поддержания работоспособности, например, транспорта.

В связи с этим, альтернативная энергетика становится приоритетным вопросом, которая могла бы вырабатывать энергию для всего человечества и на долгое время. Очевидно, что самым достойным претендентом на замену органического топлива – выступает водород

Водород способен работать во всех ДВС и при у водорода весьма достойное содержание энергии на его одну единицу массы, равную 120,7 МДж/кг.

Такую энергию не вырабатывает ни одно органическое топливо, если использовать альтернативный источник энергии – водород, то загрязнение окружающей среды резко упадет, т.к. при работе двигателя на водороде практически не образуется никаких вредных веществ, по сравнению с бензином. Ведь в реакции водорода используется в основном вода.

Именно топливные элементы с выкосим КПД лучшим образом используются для работы на водороде и именно они способны изменить ситуацию в будущем. Такой вид альтернативной энергии находит применение в транспорте и автомобильной промышленности в целом.

Транспорт на топливных элементах преимущественно должен использоваться в городских условиях. Так же топливные элементы возможно

использовать для длительной работы не больших электронных устройств, таких как мобильные телефоны, компьютеры и т.д.

Важно заметить, что все крупные автомобильные организации тратят большие ресурсы на развитие водородных двигателей.

Существует международное партнёрство, которое способно увеличить развитие в организации перехода к глобальной экономике. Международное партнерство так же осуществляет координацию и исследует разработки и программы реализации водородной энергетики.

1 Альтернативные источники энергии

1.1 Солнечные батареи, ветрогенераторы

В современном мире значительно известно, что перспектива энергетики движется в сторону альтернативной энергии, топливных элементов с применением водорода. Самым первым химическим элементов в таблице Менделеева как раз является водород, его символ H, а масса самая легкая из всех элементов, равная 1,00794.

Его форма одноатомная и он считается самым популярным химическим веществом, что не скажешь, например, о кислороде. Водорода в природе не найти как свободного элемента. Самым первым элементом в таблице Менделеева, является водород. Из-за того, что водород в газовом виде чрезвычайно легкий, он поднимается в атмосфере и его почти не найти в чистом виде.

Производство водорода может быть возобновляемым и не возобновляемым. Существующие варианты получения водорода – это реформирование природного газа, разложение при высокой температуре, термохимический цикл, фотоэлектролиз и расщепление воды электролизом.

Самыми практичными способами получения водорода, являются электролизы воды и природного газа. Из-за того, что мир стремительно растет спрос на водород и топливные элементы, увеличились и поиски по способам его производства.

Известно, что многие способы производства водорода было основано на гидроксидах натрия для главного ингредиента. Однако, такой вид получения водорода далеко не новый, т.к. такой процесс был изобретен еще в XIX веке.

«Самым большим источником энергии является солнце. На поверхность земли попадает $(0.75-1.0) \cdot 10^{17}$ кВт·ч/год и это значение равно при среднем значении проникновения излучения на поверхность. Разумеется, солнечное излучение попадает не на всю поверхность земли не равномерно. Представим, что мощность всех установок, выделяющих энергию равна 10 000 ГВт (10^{10} кВт), но солнечные излучения мощнее в десятки тысяч раз и составляет 10^{14} кВт».

Фотоэлектрические преобразователи

Солнечная энергетика — это та наука, где преобразовывается солнечная энергия в электрическую. Солнечные панели — это элементы, которые работают по принципу фотоэффекта. Солнечная панель считается первичной преобразовательной системой, которая и переводит энергию солнца в электричество. Именно солнечные панели чаще всего используют как автономные установки.

Фотоэлемент у солнечных панелей делятся на три типа:

- Монокристаллический;
- Поликристаллический;
- Аморфный.

Первые два типа «в современном мире» [28] имеют сравнимый друг с другом к.п.д. (13÷20%), как раз они и выделяют почти в два раза больше энергии, чем аморфные элементы.

Каждый такой элемент производится старого по определенным размерам, например, круглые элементы имеют размеры (диаметром 100;125 и 150 мм), а квадратные (82 x 82; 100 x 100 или 125 x 125 мм). Средняя мощность элементов 0,9÷2,7 Вт. Таблица 1 отражает характеристика солнечного элементы диаметром 150мм.

Таблица 1 - Технические характеристики одного солнечного элемента Ø150 мм.

Размер. мм	Ø 150мм
Ток короткого замыкания А	4.50
Ток максимальной мощности А	4.3
Напряжение максимальной мощности В.	0,46
Эффективность %	13

Фотоэлектрический модуль – это по своей сути солнечная панель, на которой рядом друг с другом расположены солнечные элементы. Они могут быть как круглые, так и квадратные. И от всей панели отходят клеммы для подключения в потребитель. Вся солнечная панель способна выдавать мощность от 10 до 300Вт.

В каждом фотоэлектрическом модуле присутствует паспорт по гарантированной выдаваемой мощности при нормальных условиях, а это значит, что температура воздуха должна быть +25оС, а солнечная радиация равна 1000 Вт/м². Но при замерах стоит учитывать различные факторы, такие как: время суток, угол попадания солнечных лучей на элементы.

Для того, чтобы получить максимальную мощность и напряжение, солнечные панели соединяют последовательно или параллельно. Все соединения фотоэлектрической системы выполнены механическим и электрическим путем.

Известно, что модульная система всегда мощнее, чем отдельной солнечной батареей так как происходит потеря мощности.

Если собрать большое количество фотоэлектрических батарей, то такая система называется фотоэлектрическая станция. Как раз такие станции были приняты наиболее перспективными альтернативными источниками энергии для гражданского потребления.

Поверхность фотоэлектрической станции является текстурированное закаленное стекло, благодаря этому покрытию эффективность поглощения солнечных лучей увеличивается в несколько раз.

Стало известно, что одним из самых ходовых и надежных моделей стали устройства, в компонент которых входят кремниевые кристаллы. Такая модель способна прослужить в течении тридцати лет, при этом ее производительность выработке энергии не изменится.

Для того, чтобы возможность потребления энергии была и ночью, используют аккумуляторы, которые заряжаются днем от солнечных батарей. А поскольку для использования необходим переменный ток, устанавливают специальный инвертор.

На рисунке 1 показана схема работы солнечных батарей, где панели принимают лучи, контроллер соблюдает правильный режим заряда аккумуляторов, инвертор преобразует переменный ток и из постоянного для потребителя.

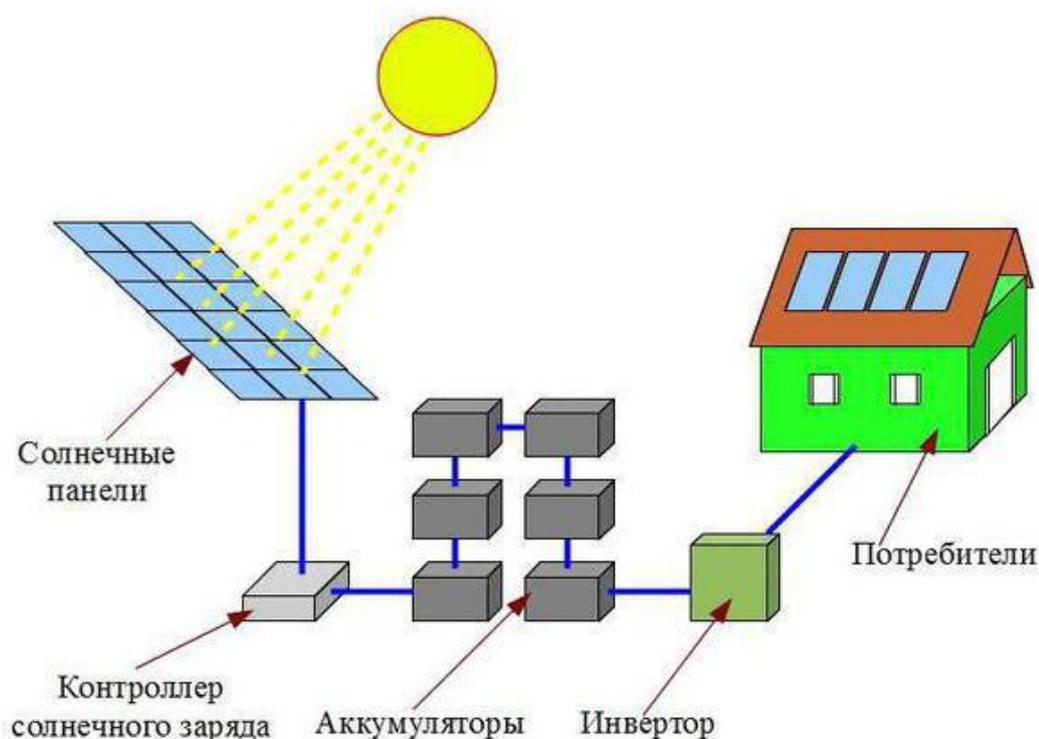


Рисунок 1 – Схема потребления солнечной энергии

Такая система применима для питания где необходима бесперебойная работа, например, сигнализация, освещение и т.д.

«Солнечная энергия» [30] для автотранспорта изображена на рисунке 2 и может быть использована как в демонстрирующих работу моделях, так и в действующих масштабных автомобилях.

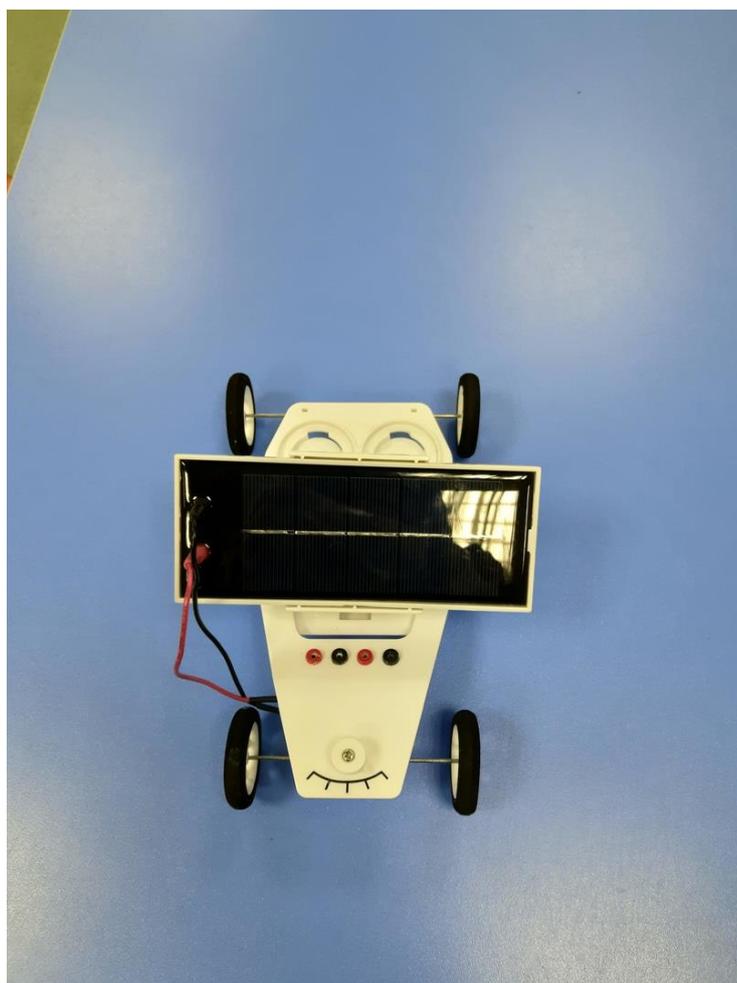


Рисунок 2 – Прототип на солнечной энергетике

Но следует заметить, что для движения не большого прототипа, необходима солнечная панель практически такого же размера, как и сам прототип.

Не мало важно то, что, несмотря на то, что солнечная панель размером как сам автомобиль, такой транспорт поедет исключительно под прямыми

лучами солнца, так как для его движения используется прямая передача энергии, без аккумуляторов.

Двигатель, питающийся от солнечной батареи будет работать до тех пор, пока есть солнце, но его скорости крайне малы, так как солнечная батарея не способна вырабатывать энергию для полноценной работы двигателя в полную мощность.

В случае, если бы был установлен аккумулятор, то мы могли бы его зарядить и с помощью солнечной панели препятствовали его разряду.

Ветреные генераторы

Данная система работает по принципу вентилятора, лопасти которого вращаются потоками воздуха, в следствии чего, генераторы вырабатывают энергию.

Так же, как и в системах солнечных батарей, для полноценной работы ветрогенераторов необходимо дополнительное оборудование. Это аккумулятор и инвертор для преобразования тока. На рисунке 3 схема ветрогенератора.

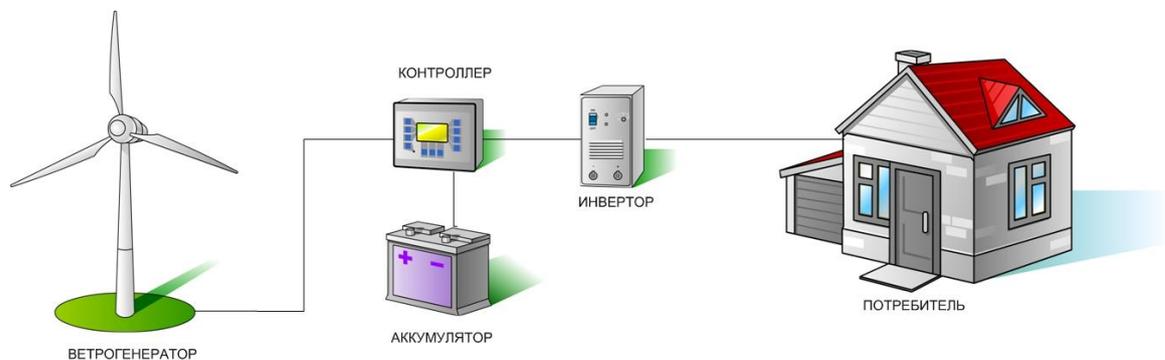


Рисунок 3 - Схема ветрогенератора

Альтернативные источники энергии бывают возобновляемые и не возобновляемые. Ветрогенератор относится к возобновляемым источникам энергии. Если подсчитать, сколько осталось ветра в мире, то эта цифра приближается к 170 квтч. в год. В мире электроэнергия потребляется в 8 раз

меньше. Ветрогенераторами считаются не только лопастные установки, но и любые установки, преобразующие энергию ветра в электричество.

Несмотря на то, что солнечные батареи эффективны, ветрогенераторы занимают лидирующее место, так как стоимость ветрогенератора и стоимость солнечной батареи, которые выдают одинаковое количество энергии различны в 3 раза, а именно дешевле будет ветрогенератор. Ведь ветер есть в любом месте на планете, утром и вечером, в любой сезон.

В тех местах, где проходят продолжительные дождевые дни, солнечные панели вырабатывают энергию в 5 раз меньше, что не грозит ветровой энергии.

Ветроэнергия хороша тем, что для получения энергии ненужные никакие ископаемые, не нуждается в охлаждении водой и, следовательно, не загрязняет атмосферу. Однако, у таких генераторов энергии есть недостатки, а именно переменчивое распределение энергии и низкая энергическая плотность.

Ветреной вид энергии на рисунке 4 хорошо используется на больших площадях, но при этом не большой заселенностью.

Такой энергией пользуются отделенные от большого населения производства. Это могут быть нефтедобывающие производства, деревоперерабатывающие производства, сельскохозяйственные производства и пр.



Рисунок 4 - Ветрогенераторы

Добыча электроэнергии ветрогенераторами способна покрыть около 30% не больших населённых пунктов и около 60% потребляемой электроэнергии у производств, что указано выше.

Так же существенным плюсом у ветровой энергии можно считать, что расположение таких установок может достигать (0,5 – 10 км).

Вывод по главе

У ветрогенераторов существенным недостатком является то, что в местах, где ветер остывает из-за природного расположения, установка ветрогенератора будет не целесообразна, в отличии от солнечных батарей.

Солнечные батареи так же не могут работать в местах, где продолжительно присутствуют лучи солнца. Из-за этого аккумуляторные батареи теряют свою емкость и КПД солнечных батарей становится все ниже.

Аккумуляторные батареи предназначены для аккумуляции выработанного электричества солнечными батареями и их главная проблема – малый объем и то, что они не предназначены для больших нагрузок.

Так же, солнечные батареи практически не могут конкурентоспособными из-за дороговизны всей установки.

Например, чтобы установить такой вид «альтернативного источника энергии» [29] потребителю, он вынужден будет заплатить около 180 тыс.руб. А учитывая, что окупаемость напрямую зависит от солнечных дней, установка в некоторых местах, считается не рентабельной.

2 Топливные элементы

2.1 Водород

Топливные элементы (ТЭ) – это такие электрохимические устройства, которые способны преобразовать химическую энергию топлива в электрическую, при этом не проходя никаких промежуточных стадий.

Когда топливные элементы вырабатывают электрическую энергию из химического топлива, а это значит водорода, то не выделяется никаких вредных веществ или продуктов, которые считаются токсичными, потому что в реакции использована лишь вода.

Так же ТЭ не издаются шумов, они не составляют труда при обращении с ними, и они компактны. Если брать в сравнения различные альтернативные источники энергии, то можно выделить, что у ТЭ ярко выражена эффективность преобразования химической энергии топлива в электричество. Если нам необходима мощность до 1000кВт, то самым альтернативным способом при большей КПД, считаются топливные элементы.

Топливный элемент на рисунке 5 – считается химическим источником.

В нем преобразуется химическая реакция восстановителя и окислителя, вследствие чего мы получаем электрическую энергию.

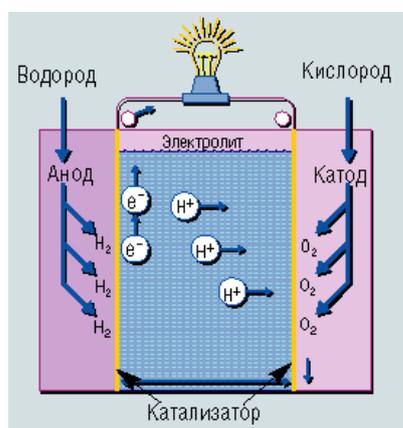
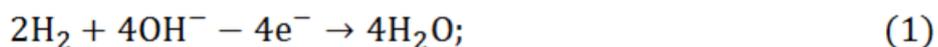


Рисунок 5 – Схема процесса в ТЭ

Реакция, происходящая в топливном элементе, в следствии чего выделяется энергия для движения, происходит следующим образом: водород окисляется на аноде, а в это время кислород восстанавливается на катоде. Химическая реакция проходит на специальных пористых электропроводящих электродах.

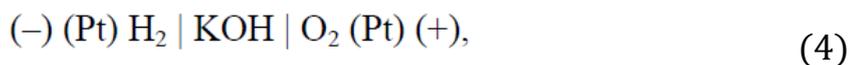


«Гидроксид-ионы OH^- перемещаются в электролите от катода к аноду, в свою очередь электроны e^- во внешней цепи – от анода к катоду. Суммируя уравнения реакций (1) и (2), получим уравнение токообразующей реакции:» [5]

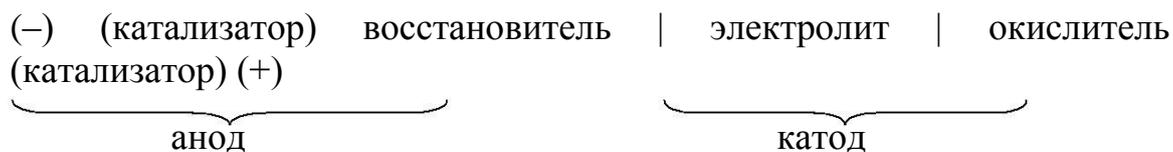


Благодаря этой химической реакции получается, что эти две полу реакции разделены между собой (1) и (2) в наружной цепи протекает реакция, выделяющая постоянный электрический ток, а значит происходит полноценное преобразование химической энергии (3) в электричество.

Система электрохимических ячеек топливных элементов, где и протекает брутто-реакция (3), выглядит формула таким образом:



или имеет общий вид:



Напряжение электрохимической системы в цепи равно

« $E = E_k - E_a$, где E_k и E_a – Потенциалы электродов катода и анода.

Расчеты их значения могут быть рассчитаны по уравнению Нернста.

Формула с щелочным электролитом для водокислородного топливного элемента.» [5]

$$E_k = E_{O_2/OH^-}^0 + 2,3 \frac{RT}{4F} \lg \frac{P_{O_2} a_{H_2O}^2}{a_{OH^-}^4}, \quad (5)$$

$$E_a = 2,3 \frac{RT}{4F} \lg \frac{a_{H_2O}^4}{P_{H_2}^2 a_{OH^-}^4}, \quad (6)$$

$$E = E_{O_2/OH^-}^0 + 2,3 \frac{RT}{4F} \lg \frac{P_{O_2} P_{H_2}^2}{a_{H_2O}^2}. \quad (7)$$

«Если парциальные давления единичны p_i и их активность a_i реагентов, то будет приниматься максимальное напряжение цепи, в примере указано стандартный электродный потенциал в щелочи кислородного электрода, значение (0,401 В).» [5]

Топливные элементы при работе используют восстановитель и окислитель. Они попадают, тогда, когда начинается работа, но не присутствуют заранее, в отличие от гальванического элемента.

Можно дополнить, что ТЭ выделяет энергию бесконечно, пока в него не закончится подача реагенты.

Если мы рассмотрим систему Лекланше рисунок 6, нам станет ясно, что металлический цинк выступает в роли восстановителя, но в свою очередь оксид натрия(IV) выступает как окислитель, при этом водный раствор применяется как электролит, а котором по большей своей части присутствуют хлориды аммония и цинка.

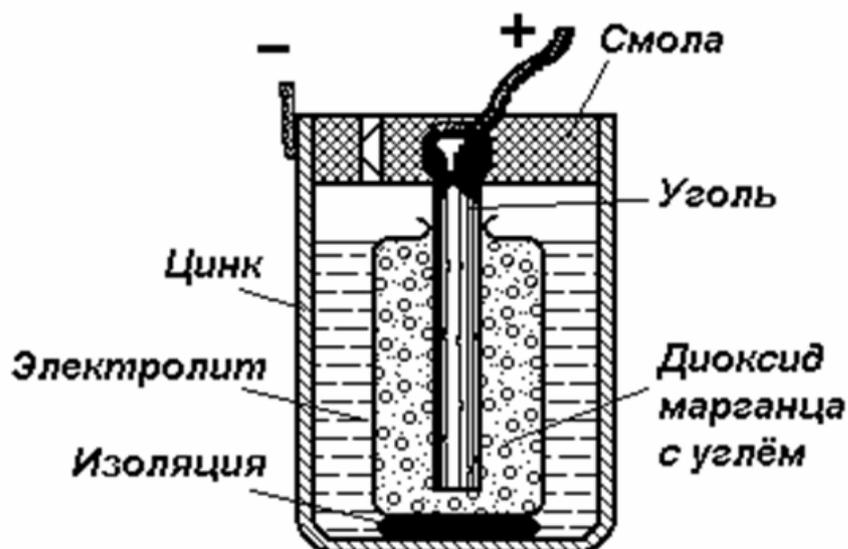
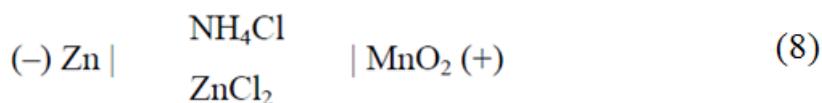


Рисунок 6 – Элемент Лекланше

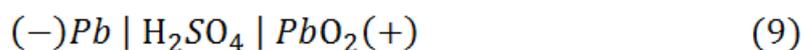
В химической ячейке система вещества, прописывается следующим образом:



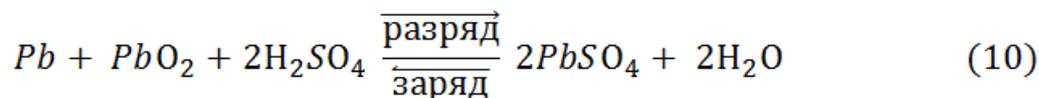
Когда в ТЭ происходит разряд, то все активные вещества анода и катода направлены в разные стороны.

Привести в работоспособность аккумуляторы можно при помощи заряда.

Когда начинается реакция заряда, то разряженные продукты переходят в стадию первоначальных реагентов.



Реакция при токообразовании:



Когда вещество начинает заряжаться, при этом происходит обратный процесс и в этом случае, аккумулятор уже не производит энергию, а потребляет ее.

Достоинство топливного элемента – это его незначительный расход материала. При работе ТЭ вся выделяемая энергия направлена на работу, что считается наиболее эффективным, по сравнению с системами, где тратятся значительные энергии на сгорание веществ, при этом еще и выделяются опасные выбросы.

Энергоэффективность топливного элемента.

На рисунке 7 видно, что в электростанциях в первую очередь энергия переходит в тепловую, следом в механическую и в заключении превращается в электрическую энергию.

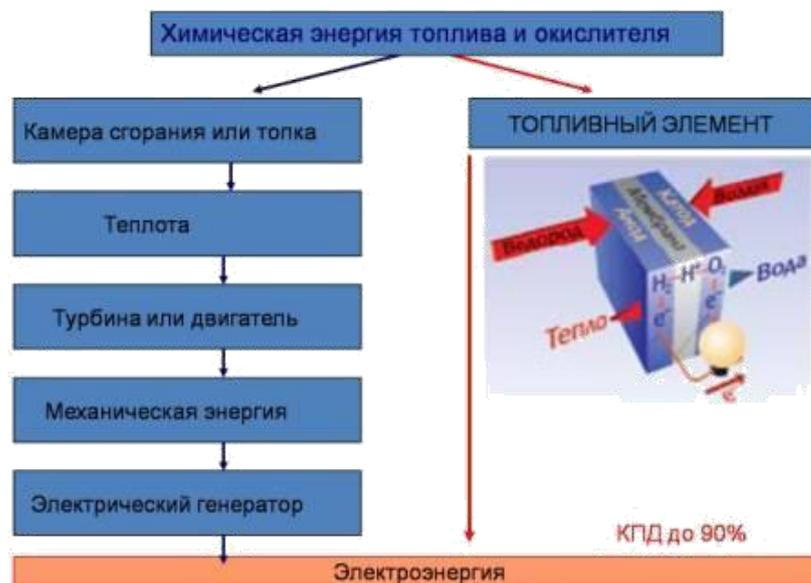


Рисунок 7 – Схема преобразования энергии

При данной схеме КПД преобразования около 20–45 %.

Энергия восстановителя в ТЭ преобразуется вместе с окислителем в энергию электричества напрямую, это значит не протекают никакие другие

виды энергий.

Известно, что ТЭ способны привести свое КПД к не более 65%.

Характеристики топливного элемента:

- Электродвижущая сила E ;
- Внутреннее электрическое сопротивление r ;
- Электрическая мощность P ;
- Электрический коэффициент η .

Известно, что ЭДС – это работа источника тока и перемещении заряда по замкнутой цепи, относящиеся к величине заряда.

Полная мощность электричества:

$$P_{\text{макс}} = EI \quad (13)$$

Данная мощность на сопротивлении нагрузки и на внутреннем сопротивлении элемента можно прописать так:

$$P_{\text{нагр}} = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R \quad (14)$$

Мощность электричества на внутреннем элементе сопротивления:

$$P_{\text{потерь}} = (E - U)I = \frac{(E - U)^2}{r} = I^2 r \quad (15)$$

КПД электрической системы:

$$\eta = \frac{P_{\text{нагр}}}{P_{\text{полн}}} = \frac{U}{E} = \frac{R}{R + r} \quad (16)$$

Отношение U/E принято называть как КПД напряжения.

На примере набора, изображенного на рисунке 8 альтернативного источника энергии “Horizon” работающего на топливном элементе, возможно продемонстрировать его работу.



Рисунок 8 - набор “Horizon”

Для проведения опыта нам необходимо подготовить топливный элемент, которой будем заполнять дистиллированной водой.

Когда топливный элемент будет заполнен дистиллированной водой, необходимо подвести к нему напряжение для осуществления реакции по разложению воды на составляющие.

Подготовленные баки на рисунке 9 для сбора расщепленных газов из дистиллированной воды под воздействием источника питания установим рядом с ТЭ и оба бака заполняются водяным затвором, что бы собранный газ не выходил в атмосферу.

После чего мы и будем использовать эти газы в качестве экологического топлива.



Рисунок 9 – Установленные накопительные баки

«Водород.» [32] рисунок 10 — известно, что самый распространенный элемент в природе (92 %). Водород нельзя учуять, почувствовать его на вкус или увидеть, так как в нормальных условиях он бесцветен.

Водород в основном существует в связанном состоянии с разными элементами. Из-за своей высокой активности, водород практически не встречается как единичный элемент

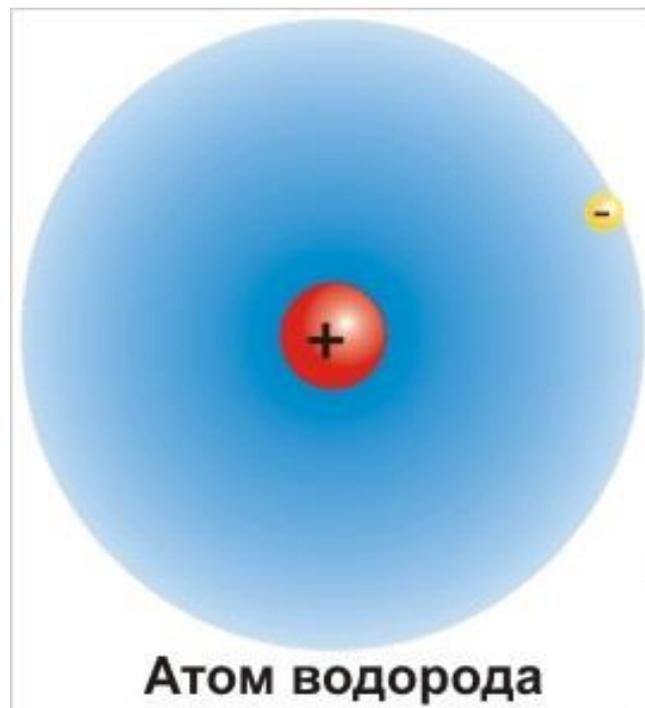


Рисунок 10 – Вид водорода

«Сжиженный водород занимает 1/700 объема от газообразного состояния. Водород при соединении с кислородом имеет самое высокое содержание энергии на единицу массы: 120,7 ГДж/т.

Благодаря этому его используют как топливо для ракет и в энергетике космического корабля, для которой малая молекулярная масса и высокое удельное энергосодержание водорода играют важнейшую задачу.

При сжигании водорода в кислороде выделяется — тепло и вода, что делает использование водорода экологически чистым» [1]

«В природе водород встречается преимущественно в связанном виде (вода, минералы, уголь, нефть, живые существа, органические вещества). В свободном виде небольшие количества водорода иногда выбрасываются вулканами, в результате диффузии рассеиваясь в атмосфере.» [30]

«А так как средняя скорость теплового движения молекул водорода из-за их малой массы близка ко второй космической, то из слоев атмосферы эти молекулы улетают в космическое пространство.

При обычных условиях водород — газ без цвета и запаха, почти в 15 раз легче воздуха. Обладает очень высокой теплопроводностью, сравнимой с теплопроводностью металлов. Это происходит из-за легкости молекул водорода и, следовательно, большой скорости их движения. Водород хорошо растворяется в некоторых металлах: в одном объеме палладия, например, растворяется до 900 объемов водорода. В соотношении 2:1 с кислородом образует взрывчатый гремучий газ.

Температура сгорания водорода чрезвычайно высока — 2800°С. Водород является великолепным восстановителем. Разнообразны области применения водорода в современной промышленности и народном хозяйстве: от производства аммиака, карбамида и метанола до использования в качестве весьма эффективного топлива для ракетных двигателей.

С развитием техники и промышленного производства возникают новые области практического использования водорода, и потребность в нем сильно возрастает. Ежегодно она увеличивается во всем мире на 8–10 %» [3]

«В связи с истощением запасов нефти особое внимание привлекают процессы глубокой переработки тяжелых фракций нефтепродуктов с целью увеличения выхода моторных топлив и нефтехимических продуктов. По этой же причине вероятно развитие процессов переработки углей и сланцев, на что потребуются большие количества водорода.» [30]

«Интерес к водороду как моторному топливу обусловлен следующими обстоятельствами:

- при сгорании водорода в двигателе образуется практически только вода, и в этом отношении двигатель на водородном топливе является наиболее экологически чистым;
- высокие энергетические свойства водорода — низшая теплота сгорания водорода составляет 120 МДж/кг, что практически в 3

раза выше по сравнению с бензином (41,9 МДж/кг), т. е. 1 кг водорода эквивалентен почти 3 кг бензина;

- практически неограниченная сырьевая база при условии получения водорода из воды.

Использование водорода в качестве моторного топлива для автомобилей может осуществляться по нескольким вариантам:

- применение самого водорода;
- применение водорода совместно с традиционными нефтяными топливами;
- использование водорода как топлива в топливных элементах.» [3]

«При высокой массовой энергоплотности объемная энергоплотность водорода на 15–20 % ниже по сравнению с бензином. С воздухом водород устойчиво воспламеняется в широком диапазоне концентраций вплоть до $\alpha = 10$, что обеспечивает устойчивую работу двигателя на всех скоростных режимах в широком диапазоне изменения состава смеси от $\alpha = 0,2$ до $\alpha = 5$. Критическая степень сжатия при стехиометрическом водородо-воздушном составе смеси не превышает 4,7, что соответствует октановому числу по исследовательскому методу 46 единиц, в то время как при $\alpha = 3,5$ степень сжатия достигает 9,4 и октановое число равно 114.

Таким образом, при достаточном обеднении смеси возможна бездетонационная работа водородного двигателя в широком диапазоне степеней сжатия.» [48]

Из-за того, что температура у водорода-воздушной смеси крайне высока, то использование данного вида топлива в дизельных двигателях усложняется. Как и в ДВС стабильное воспламенение смеси возможно только при принудительном возгорании от свечей зажигания.

«Технические трудности при использовании и высокая стоимость водорода привели к тому, что уделяется внимание разработке комбинированного топлива бензин-водород. Высокая активность водорода позволяет обеспечить работу двигателя на обедненных смесях которая

представлена в таблице 2, степень обеднения зависит от количества водорода в смеси.

Таблица 2 Коэффициент избытка воздуха от массового содержания водорода в топливе

Содержание водорода в %	0	10	20	40	100
a	1.13	1.68	2.49	3.35	5.1

Проведенные испытания показали, что использование бензино-водородных смесей позволяет вдвое снизить расход бензина при скорости 90–120 км/ч на 28 % при езде в городе.

Определенные сложности использования водорода в качестве моторного топлива создает его высокая взрыво-и пожароопасность. Водородо-воздушные смеси имеют широкие диапазоны воспламенения 4–75 % по объёму и взрываемости 18,3–74 %. Однако высокая температура воспламенения (590 °С) и быстрое рассеивание в атмосфере позволяют приравнивать водород по показателям пожаро- и взрывоопасности к природному газу.» [3]

Добыча водорода на сегодняшний день подходит к отметке, которая равна 40 млн т/год.

Одним из самых дорогостоящих методов получения водорода – это электролиз воды.

Энергия, которая тратится на его получение, почти равно энергии сгорания водорода в двигателе

Получение водорода

«Водород практически не встречается в природе в чистой форме и должен извлекаться из других соединений с помощью различных химических методов. Разнообразие способов получения водорода является одним из главных преимуществ водородной энергетики, так как повышает

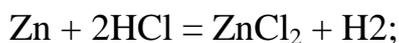
энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья

К ним относятся: 1 паровая конверсия метана и природного газа, 2 газификация угля, 3 электролиз воды, 4 пиролиз, 5 частичное окисление, 6 биотехнологии,

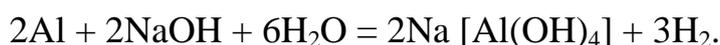
Все методы получения водорода можно разделить на лабораторные и промышленные.» [4]

«По данным в лабораторных условиях в настоящее время применяется:

- взаимодействие активных металлов с кислотами — неокислителями:

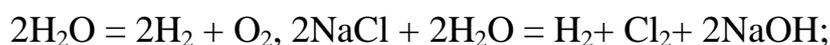


- взаимодействие алюминия (или цинка) с водными растворами щелочей:

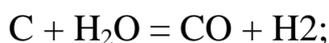


В промышленности:

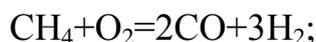
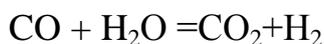
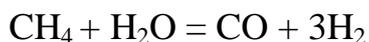
- электролиз воды и водных растворов щелочей и солей:» [3]



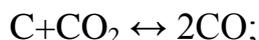
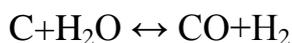
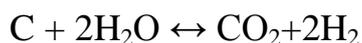
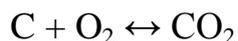
- пропускание паров воды над раскаленным углем при 1000°C:



- паровая и парокислородная конверсия метана:



- газификация угля:



- ядерная энергетика;

– Альтернативные источники энергии.

«С развитием производства водорода в крупных масштабах претерпели изменение и методы его получения. Так, железо-паровой процесс, газификация твердого топлива и выделение водорода из образующегося коксового газа уступили место более экономичным новым способам, однако старые методы и в настоящее время продолжают еще применяться в промышленности в небольших масштабах». [3]

«Структура потребления водорода показана на рисунке 11. Как видно из данных рисунка, основными потребителями водорода (95 %) являются химическая промышленность и нефтепереработка. Водород является ключевым элементом в производстве минеральных удобрений (получение аммиака).» [2]

«Определяющее значение имеет использование водорода в многочисленных процессах органического синтеза, как в виде метанола, так и непосредственного реагента. Особое место водород занимает в нефтепереработке (гидрокрекинг, гидроочистка), способствуя увеличению глубины переработки сырой нефти и повышению качества конечных продуктов — углеводородных топлив с повышенной теплотворной способностью и уменьшенными вредными выбросами от их сжигания». [1]

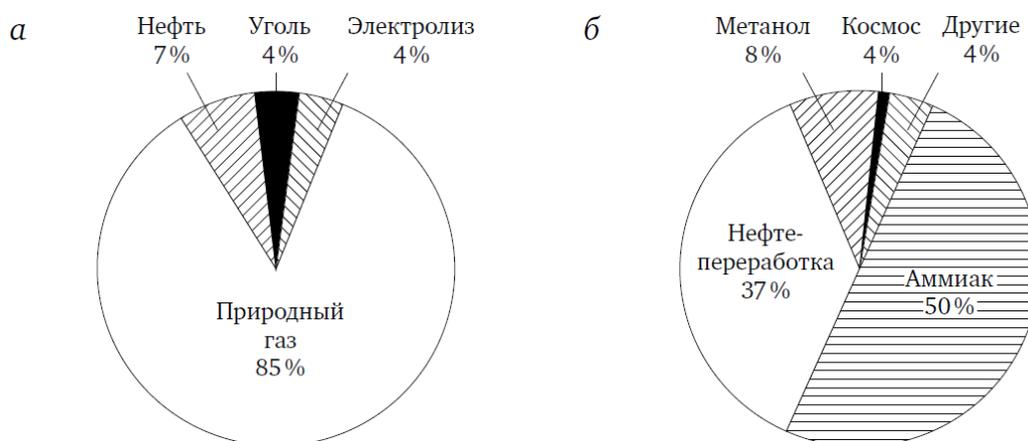


Рисунок 11 Структура мирового производства (а) и потребления (б) водорода.

Однако водорода в коммерческие цели уходит только 5% из всего его объема.

В основном, производства (потребители), которые нуждаются в водороде, добывают его самостоятельно, так как его приобретение считается не дешёвым процессом, а его хранение весьма опасная процедура также, как и транспортировка в больших объёмах.

Приобретение водорода в мировой экономике ограничено, но в Западной Европе достаточно активно. Это обуславливается тем, что там много развитых и развивающихся сетей газопроводов, в которых можно транспортировать безопасно водород.

«Совершенствование водородной технологии, связано с разработкой наиболее эффективных, безопасных и экономически выгодных процессов, направлено на решение проблем по его производству, хранению (транспортировки), а также использованию. Соответственно развитие технологии и ведется по данным направлениям.» [2]

Получения водорода путем конверсии природного газа

«Данный метод основан на том, что природный газ или метан в присутствии катализатора смешивается с предварительно разогретым до температуры 750-950°C водяным паром. Больше половины водорода, получаемого промышленным путем в мире, производится способом конверсии природного газа. Стоимость водорода, полученного таким способом, находится в пределах 1,8-4,5 \$/кг. В ближайшем будущем рассчитывать на значительное снижение стоимости водорода, полученного из природного газа не стоит, вряд ли цена опустится ниже 1,5 \$/кг. Кроме того, запасы природного газа на нашей планете ограничены, что также является проблемой» [2]

Получение водорода газификацией угля

«Данный способ получения водорода заключается в том, что уголь нагревается с водяным паром без доступа к воздуху до температуры 850-1300°C. Преимущества данного способа заключаются в том, что установки для получения водорода таким способом имеют довольно высокую удельную производительность, однако есть и два существенных недостатка — необходимость использования в качестве сырья угля, запасы которого ограничены, и значительное количество углекислого газа, который является продуктом переработки и оказывает негативное воздействие на экологию. Себестоимость водорода, полученного способом газификации угля, находится в пределах 1,9-2,8 \$/кг. Как и в случае получения водорода из природного газа, рассчитывать на значительное снижение стоимости водорода, полученного из угля не стоит» [35]

Получение водорода методом электролиза

«Электролиз воды рисунок 12, который имеет на выходе кислород и водород является наиболее перспективной технологией в будущем. На данный момент из-за его высокой стоимости, (которые составляют примерно от 5 до 8\$ на производство 1 килограмма водорода), данный метод в мировом производстве водорода не превышает 5 % .Наибольшей интерес данная технология вызывает за счёт экологической чистоты, при условии, что выработка электроэнергии также вызывало загрязнения окружающей среды, а также широкого диапазона производительности установки (от пары литров до сотен м³ в час). Также данный метод обладает простотой эксплуатации, высокой чистотой производимого водорода и имеет ценный побочный продукт (кислород). Технология имеет широкое применение в ряде стран обладающими большим ресурсам дешёвой гидроэнергетики, в таких как Норвегия, Египет, Индия и Канада.» [2]

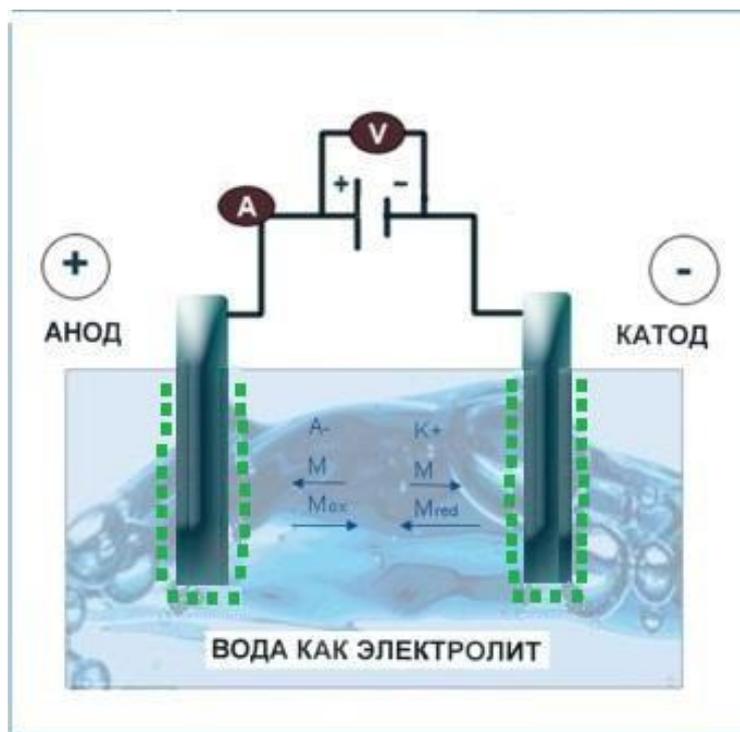


Рисунок 12 - Электролиз воды

«Из множества методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, так как он позволяет производить водород с большей пользой используемой электроэнергии около 70 %. При дальнейшем развитии технологии теоретически возможно увеличение данный показатель до 80 %, а при высокотемпературном электролизе и до 80–90 %.

На данный момент существует три способа использования электролизной технологии для производства водорода, различными по типу используемого электролита и условиями проведения электролиза.» [4]

Хранение водорода

«При крупномасштабном использовании водорода требуются безопасные и эффективные системы его централизованного хранения. Согласно источнику водород может храниться в жидком виде при его

охлаждении до -253°C . Для охлаждения водорода до этой температуры требуется затратить около одной трети содержащейся в нем энергии ($11 \text{ кВт} \cdot \text{ч/кг H}_2$), а для создания криогенных устройств необходимы специальные материалы и технологии. Водород может также быть запасен в виде газа. Этот процесс требует для сжатия водорода меньше энергии, чем для его ожижения таблица 3. Водород в газовой фазе может быть накоплен в подземных полостях, месторождениях природного газа.» [3]

- Методы хранения водородного топлива:
- Методы вкачают в себя и использование физических процессов (компрессированный или переход в жидкий вид).

Поскольку водород имеет газообразный, необходимо его перевести в данное состояние

Когда водород хранится физическим методом, он состоит из молекул H_2 , при этом контакт со средой хранения слабый. Существующие способы хранения водорода физическим способом

Газообразный водород в сжатом состоянии:

- баллон высокого давления;
- система хранения, включающие в себя подземные хранилища;
- трубопроводы;

Для хранения водорода в жидком виде используют криогенные контейнеры

Таблица 3 Параметры методов хранения водорода

Способ хранения	Удельное потребление энергии кВт ч/кгН	Удельный объем хранения дм/кг	Удельная масса хранения кг/кгН
Газообразный водород при низком давлении	0.38	1021	-
Газообразный водород при высоком давлении	0.94	82	16.1
Водород в гидридах	1.15	21	77
Жидкий водород	10.49	15	6.9
Криогенная адсорбция	3.19	58	19.9

«Для хранения очень больших количеств водорода экономически эффективным является способ хранения истощённых газовых и водоносных пластах. В США насчитывается более 300 подземных хранилищ газа.

Газообразный водород в очень больших количествах хранится в соляных кавернах глубиной 365 м при давлении водорода 5 Мпа, в пористых водонаполненных структурах, вмещающих до $20 \cdot 10^6$ м³ водорода.

Опыт продолжительного хранения (более 10 лет) в подземных газохранилищах газа с содержанием 50% водорода показал полную возможность его хранения без заметных утечек. Слои глины, пропитанные водой, могут обеспечивать герметичное хранение ввиду слабого растворения водорода в воде» [38]

$\text{Ц}, 10^3 \text{ долл./кВт}\cdot\text{ч}$

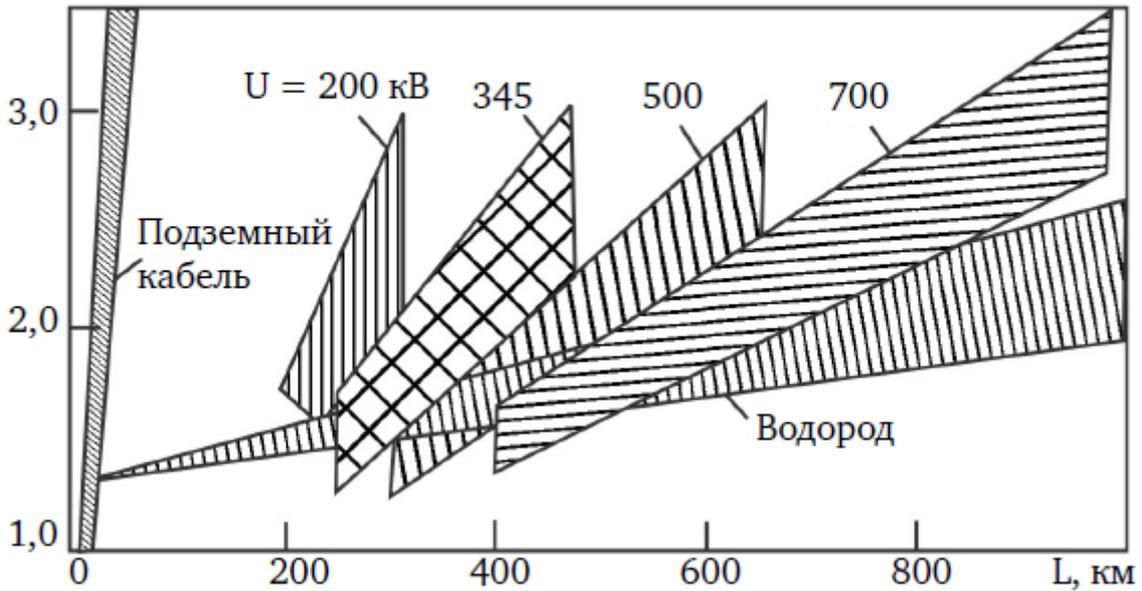


Рисунок 13 - Зависимость стоимости передачи энергии кабелем при заданном напряжении тока U и по водородопроводу от расстояния L .

$\text{Ц}, \text{цент}/(0,036 \text{ т у.т.} \cdot 161 \text{ км})$

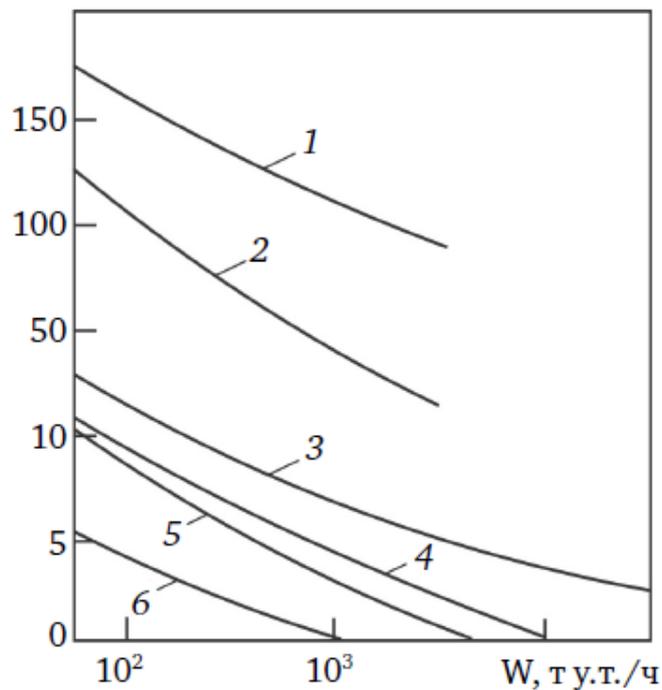


Рисунок 14 - Зависимость стоимости транспортирования энергии Ц от передаваемой мощности W :

1 — электроэнергия (по подземному кабелю); 2 — электроэнергия (по наземному кабелю); 3 — водород; 4 — метан; 5 — аммиак; 6 — нефть.

«В настоящее время газовая промышленность подготовлена к приему водорода и его смесей с другими горючими газами. Она располагает сетью газопроводов со значительно большей энергопередающей мощностью, чем в случае электрических сетей. Стоимость передачи водорода в несколько раз ниже стоимости передачи электроэнергии.

Трубопроводный транспорт водорода обладает еще и тем преимуществом перед передачей электроэнергии, что водород легко накапливать и хранить в подземных и наземных хранилищах под давлением и передавать по газопроводам потребителям по их требованию в определенное время и в дозированных количествах. Сейчас в США функционирует около 1000 км водородных трубопроводов — в основном они проложены возле крупных потребителей этого газа, например, нефтеперерабатывающих заводов. Длина самой протяженной «нитки» в мире (между Бельгией и Францией) 400 км. Защита трубопроводов от агрессивной среды и высокого давления требует немалых капиталовложений — около 600 000 долл. на 1 км, но готовый трубопровод — самый дешевый путь для доставки больших количеств водорода (Таблица 4)» [3]

Таблица 4 – показатели происходящих издержек во время перевозки разной энергии, при больших расстояниях

Энергоноситель	Издержки (цены/т км)
Метан по трубопроводу	1.35
Водород по трубопроводу	1.47
Электроэнергия по высоковольтным ЛЭП	9.45
Бензин в танкерах	4.49

Для снижения потерь водорода при транспортировке на большие расстояния, созданы магистрали природного газа.

Условия для его транспортировки по газопроводу на сегодняшний день уже созданы

Таблица 5 – Характеристика

Система	Молекулярная масса	Содержание H ₂ в гидриде, г/кг
LaNi ₅ * 3H ₂	439	13.5
CuH	64	15.3
CbH	61	16.8
FeTiH ₂	105	18.8
NbH ₂	96	26.1
V H ₂	54	37.7
CrH ₃	56	54.4
MgH ₂	25	77.1
LiH	7	125.1

Хранение водорода и его технико-экономика оценка в различных вариантах

Таблицы 6,7,8 показывают преимущества и недостатки при хранении водорода

Так же в таблицах казаны необходимые требования и все необходимые данные для разных способов хранения водорода

Таблица 6 Оценка основных методов хранения водорода.

Способ хранения	Преимущества	Недостатки
Газообразный водород ($T=300\text{K}$, $p < 20 \text{ Мпа}$)	Данная технология изучена и доступна, маленькая сумма технологии	Не большое содержание, высокие давления приравниваются к жидкому водороду, но при таких высоких давлениях, технология не изучена полностью
Жидкий водород ($T=20,4\text{K}$)	Данная технология изучена и доступна, высокая плотность	При перевода водорода в жидкое состояние – высокие энергозатраты, в связи с чем высокая стоимость
Криогенная адсорбция ($T=155\text{K}$)	Данная технология изучена и доступна	Содержание объёмов - низкое
Углеродные нано структуры, нано трубки, фуллерены	Данная технология изучена и доступна и позволяют обеспечить высокую плотность	Углеродные структуры недостаточно отработаны.
Гидриды металлов, сплавов, интерметаллические соединений и композитов	Хорошо отработанная технология. Хранение водорода в твердом виде безопасно и удобно.	Из-за не большой емкости и вынужденном подогреве – стоимость велика

Таблица 7 Современные требования к мобильным системам хранения водорода.

Японская правительственная программа WE-NET	Департамент энергетики США	Международное энергетическое агентство
Количество водорода > 3 мас. % Температура дегидрирования < 370K Циклическая устойчивость > 90% после 5000 циклов	Количество водорода > 6 мас. % Количество водорода по объёму > 60 кг/м ³	Количество водорода > 5 мас. % Температура дегидрирования < 420K

Таблица 8 Свойства методов хранения водорода по сравнению с хранением углеводородных горючих.

Наименование горючего	Чистое горючее		Горючее + контейнер	
	кг	м ³	кг	м ³
Бензин (1т = 1,64 т у.т.)	609	0.86	689	0.90
Нефть (1т = 1,43 т у.т.)	706	0.80	789	0.84
Мазут (1т = 1,39 т у.т.)	719	0.74	799	0.80
Метанол (1т = 1,64 т у.т.)	1279	1.60	1359	1.66
Аммиак (1т = 0,83 т у.т.)	1209	1.78	1929	3.31
Метан газ (1т = 1,71 т у.т.)	586	5.49	6399	7.78
Метан жид. (1т = 0,1 МПа)	586	1.39	761	5.61
Водород газ (1т = 4,1 т у.т.)	243	18.09	23798	25.59
Водород жид.	243	3.49	1858	12.19

2.2 Добавка водорода в ДВС

«Сегодня возможность использования водорода как топлива для тепловой машины (в частности, для ДВС) либо в чистом виде, либо в виде добавки к основному углеводородному топливу не вызывает сомнений.

Водород рисунок 15, как моторное топливо имеет ряд преимуществ: хорошую воспламеняемость в смеси с воздухом, обеспечивающую легкий запуск двигателя при практически любых возможных температурах окружающей среды; высокую скорость и полноту сгорания, что позволяет приблизить реальный цикл работы ДВС с искровым зажиганием к идеальному с подводом теплоты к смеси при постоянном объеме, т.е. увеличить КПД цикла.» [2]



Рисунок 15 – Водород в ДВС

«По данным Я. Б. Зельдовича, П. Я. Садовникова и Д. А. Франк-Каменецкого, «энергия активации образования NO превышает $5 \cdot 10^5$ кДж/кмоль. Это означает, что повышение максимальной температуры горения T_z от 2500 до 2600 К приводит при прочих равных условиях к увеличению скорости реакции в 2,6 раза, а снижение T_z с 2500 до 2300 К уменьшает скорость образования NO в 8 раз.

Снижение выбросов оксидов азота NOx может быть достигнуто качественным регулированием путем обеднения горючей смеси (увеличения коэффициента избытка окислителя α примерно до 2) или понижением температуры сгорания смеси при помощи рециркуляции газов, добавки воды и т. д.» [8]

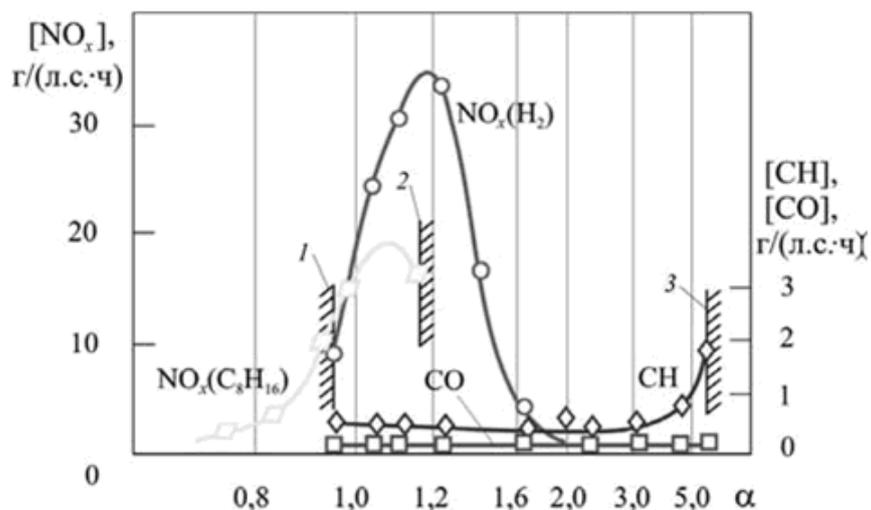


Рисунок 16 - Состав продуктов сгорания в двигателе, работающем на водороде

Рисунок 16 демонстрирует данные расчетов циклов используя разное топливо в работе двигателей, принимая $\epsilon = 9$

«Но концентрация O₂ и N₂ в водородно-воздушных смесях меньше, чем в углеводородно-воздушных. Данная концентрация объясняется более низким соотношением необходимого кислорода для сгорания топлива (L₀)

Однако различные данные говорят о различных концентрациях NO_x, которые представлены на рисунке 14, б–г., следовательно, вопрос о концентрации NO_x в продуктах сгорания водорода ДВС нуждается в дополнительном изучении.» [1]

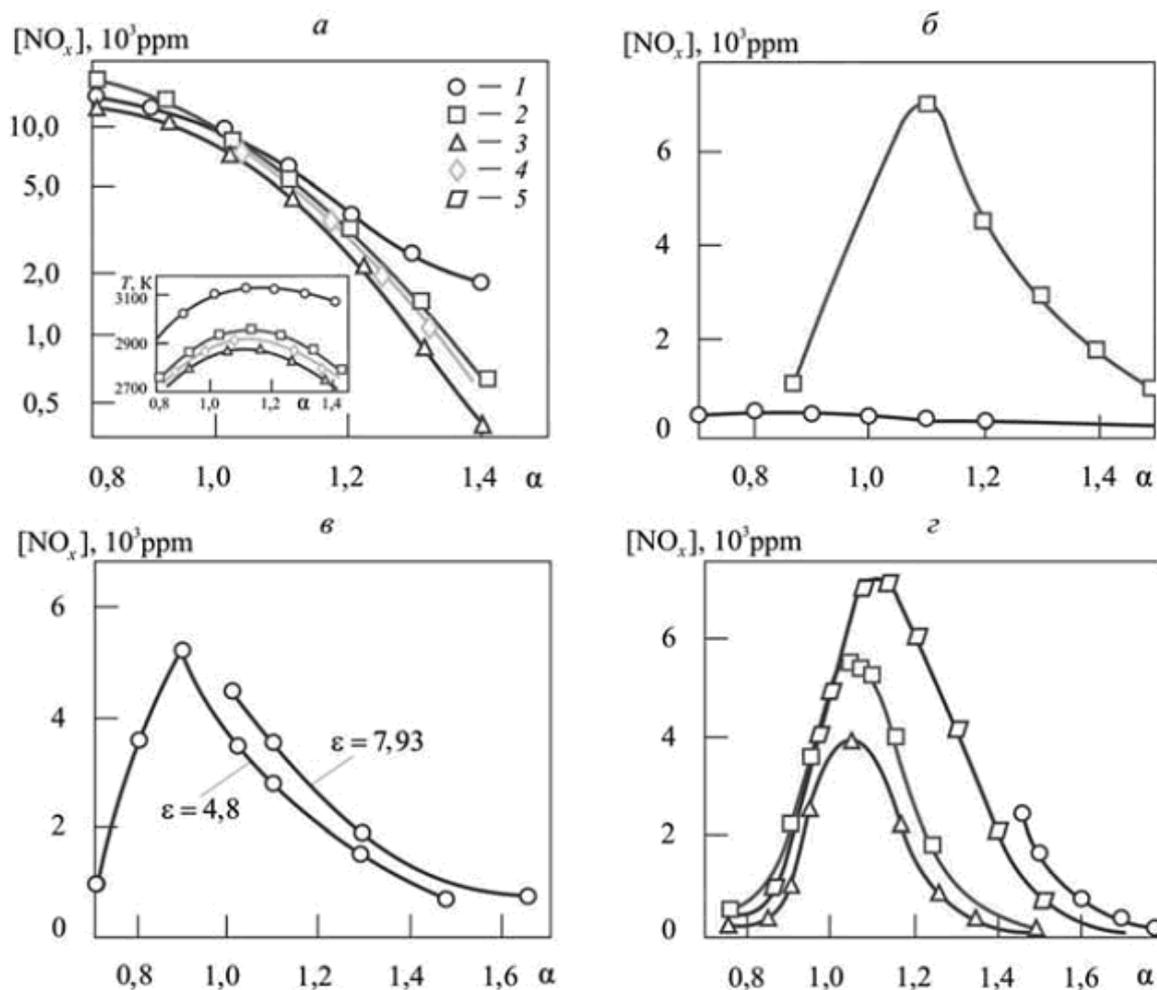


Рисунок 17 - Зависимости концентраций оксидов азота в продуктах сгорания двигателей от коэффициента α при использовании различных топлив:

«Из рисунка 17 следует, что наибольшее количество выбросов NO_x при сгорании водорода примерно вдвое выше, чем у бензина, что объясняется более высокой температурой горения водорода. С обеднением смеси удельный выброс оксидов азота NO_x в продуктах сгорания водорода резко снижается, а при $\alpha > 1,8$ практически отсутствует.

На рисунке 18 представлены результаты измерений концентрации NO на расстоянии 3 см за фронтом водородно-воздушных пламён предварительно перемешанной смеси в зависимости от стехиометрического

коэффициента (коэффициента избытка горючего) и их сравнение с результатами расчетов по схеме реакций.» [1]

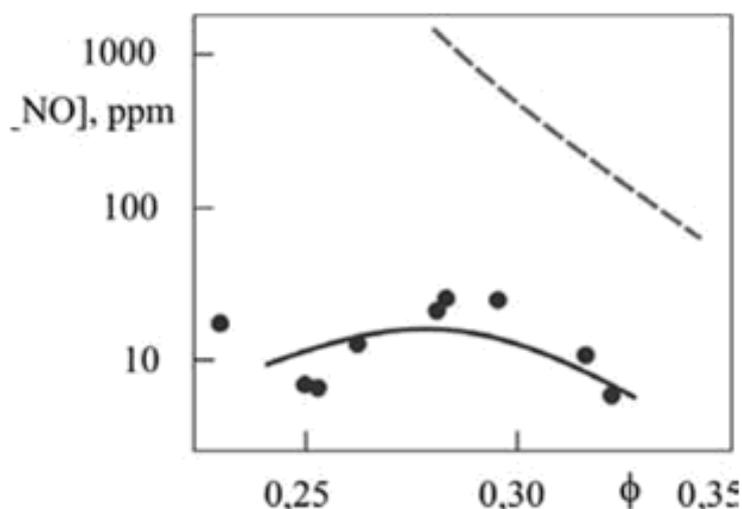


Рисунок 18 - Результаты измерений концентрации NO

«Так, по данным получено хорошее согласие расчетных и экспериментально измеренных концентраций. Снижение эмиссий оксидов азота NO_x с продуктами сгорания водорода без существенных потерь мощности двигателя или ухудшения его КПД возможно путем добавления воды. При отношении (по массе) H₂O/H₂ = 8 содержание оксидов азота NO_x в продуктах сгорания уменьшается в среднем в 8–10 раз.» [8]

«На современном этапе реальное использование H₂ для автомобильных двигателей представляется, скорее всего, как добавка к основному топливу. В этом случае происходит снижение эмиссии таких продуктов сгорания, как CO, CO₂, CH и сажевых частиц. На рисунке 19 показано изменение состава продуктов сгорания в зависимости от коэффициента избытка окислителя (воздуха) α при работе двигателя на водородно-изооктановых смесях в области предельного обеднения. До α = 1,1 двигатель работает на чистом изооктане, затем добавляется водород с наращиванием его добавки вплоть до перехода на чистый водород.» [8]

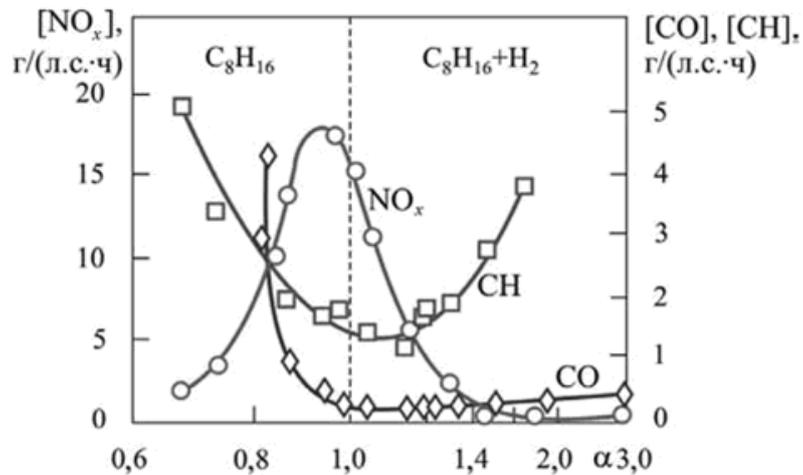


Рисунок 19 - Изменение состава продуктов сгорания при работе двигателя на водородно-изооктановых смесях в области предельного обеднения.

«Иной характер носят результаты испытаний автомобиля с регулируемой подачей водорода. Добавка водорода на всех режимах поддерживалась на уровне 10% от количества бензина, при этом значения коэффициента избытка окислителя (воздуха) изменялись от $\alpha = 1,8$ на холостом ходу до $\alpha = 1,5$ при скорости автомобиля 90 км/ч.» [9]

На рисунке 20 видно, что выделение NOx увеличиваются с повышением скорости автомобиля по нарастающей, но уже после 50 км/ч, наблюдается резкое увеличение их эмиссии.

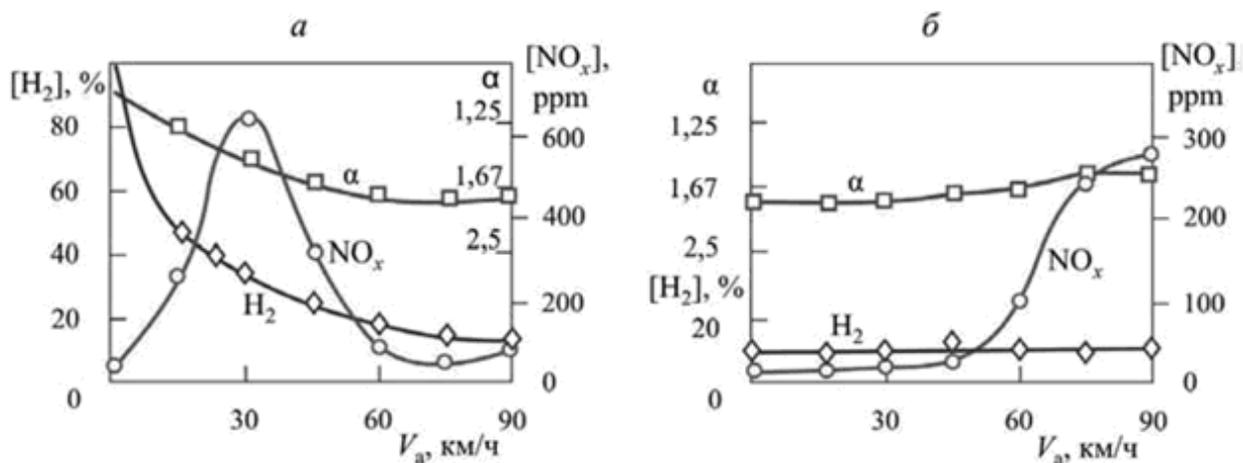


Рисунок 20 - Характеристики топливной смеси и выбросы NO_x при работе двигателя при различных способах добавки водорода:

«В работе отмечается, что 5%-ная добавка водорода позволяет улучшить экономические и токсические параметры двигателя при сохранении его максимальной мощности. Так, при работе двигателя ГАЗ-24 на бензине с постоянной 5%-ной добавкой водорода удельный расход топлива при полностью открытой дроссельной заслонке снижается на 11,5%. При этом выбросы углеводородов СН на всех скоростных режимах выше 2000 об/мин снижаются в 2–3 раза, а концентрация монооксида углерода СО в продуктах сгорания не превышает 1%.» [9]

«При использовании газообразного водорода в экспериментальном автомобиле UCLA (США), созданном на базе модели «Ford-Boss» 1971 г. с двигателем V-8 объемом 5,75 л, расход топлива составлял 1 кг H₂ на 35 км. В продуктах сгорания этого автомобиля отсутствуют такие компоненты, как СО, СО₂ и СН, и содержит 0,205 г/км NO_x. При испытаниях автомобиля «Datsun B-210», работающего на жидком водороде, с двигателем рабочим объемом 1,4 л и $\epsilon = 9,5$ по городскому ездовому циклу в продуктах сгорания содержалось СН – 0,05 г, СО – 0,18 г и NO_x – 2,56 г на 1 км пробега.» [11]

Вывод по главе

Используя возможность добавление водорода в топливо, которое загрязняет окружающую среду такими выбросами как СО и СН, мы достигаем результатов такого монотоплива, которое при своей работе не выделяет вредных выбросов, в связи с этим, это нам говорит о том, что создание экологически чистых тепловых машин – возможно.

3 Расчет гибридной системы

3.1 обоснованность выбора

«Конвертирование на водород и переход с бензина на водород обуславливается тем, что данную систему наиболее перспективна в наиболее отдаленных областях, где затруднено или невозможно провести ЛЭП, и транспортировка топлива в такие районы ведет к увеличению его стоимости в разы.

Бензиновый двигатель LAUNTOP LT240 расходует при 100% нагрузке 3,67 кг/ч бензина (311,86 г/кВт·ч), при нагрузке 75 % расход составляет 2.2 л/ч (189,2 г/кВт·ч)

- Номинальная мощность двигателя составляет 11,8кВт (16л.с.)
- Переводя с бензина на водород через эквивалент вырабатываемого тепло на единицу мощности за час или (1г водорода \approx 3г бензина).
- Низшая теплота сгорания водорода 120 МДж/кг, бензина 41,9 МДж/кг
- Вес 1л бензина составляет 0,76кг, а 1л водорода 0,09г.

Рассчитывать необходимо на максимальную нагрузку для гарантированного обеспечения топливом двигателя. При 100% нагрузки расход бензина составляет 311,86 г/кВт·ч получим.

Определяем полученную энергию от сгорания бензина» [1]

$$311,86 \cdot 41,9 / 1000 = 13,1 \text{ МДж}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$$

Следовательно, для получения такого же тепла потребуется

$$13,1 / 120 \cdot 1000 = 108,9 \text{ г}/\text{кВт} \cdot \text{ч}$$

Переводим в массовый расход

$$108,9 \cdot 11,8 / 1000 = 1,28 \text{ кг/ч}$$

В объемный

$$1,28 / 0,09 = 14,24 \text{ л/ч}$$

При нагрузке 75 % расход водорода составит 0,77 кг/ч или 8,64 л/ч

Большой расход топлива – причина износов узлов двигателя. Увеличим электролиз на 25% в следствии чего будет обеспечен двигатель топливом на 100% нагрузку. Получим:

$$Q_{\text{ЭЛтроб}} = Q_{\text{ЭЛнеобх}} \cdot 25\% = 14,24 \cdot 1,25 = 17,8 \text{ л/ч}$$

Отталкиваясь от производительности в 17,8 л/ч подбираем электролизер для гарантированного обеспечения топливом двигателя.

Данную производительность способен обеспечить генератор водорода "Кулон-20", стоимостью 120 тыс. руб.

Окупаемость электролизера

Цена бензина АИ 92 за 1 л = 38,2 руб (без учета транспортировки топлива)

Определяем стоимость установки в литрах бензина

$$S_{\text{л}} = 120000 / 38,2 = 3141,4 \text{ л}$$

Расход двигателя на бензине составляет $G_{\text{бен}} = 3,67 \text{ л/ч}$

Определим время, за которое установки израсходует данный объем топлива

$$T_{\text{исп}} = 3141,4 / 3,67 = 856 \text{ ч}$$

856 ч < моторесурса двигателя

Следовательно, электролизер окупится за 856 часов работы установки, и обеспечит независимость от углеродного топлива.

3.2 Схема передачи водорода в ДВС

Схема добавки водорода представлена на рисунке 21. В данном случае электролизёр выступает в роли источника водорода.

Для того, чтобы водород в система поступал в определённом количестве в трубку впуска, которое необходимо для стабильной работы, создана специальная водородная магистраль, которая состоит из осушителя и электромагнитного клапана, который работает за счет блока управления.

В случае, если электромагнитный клапан выйдет из строя, то обязательно устанавливается предохранительный клапан.

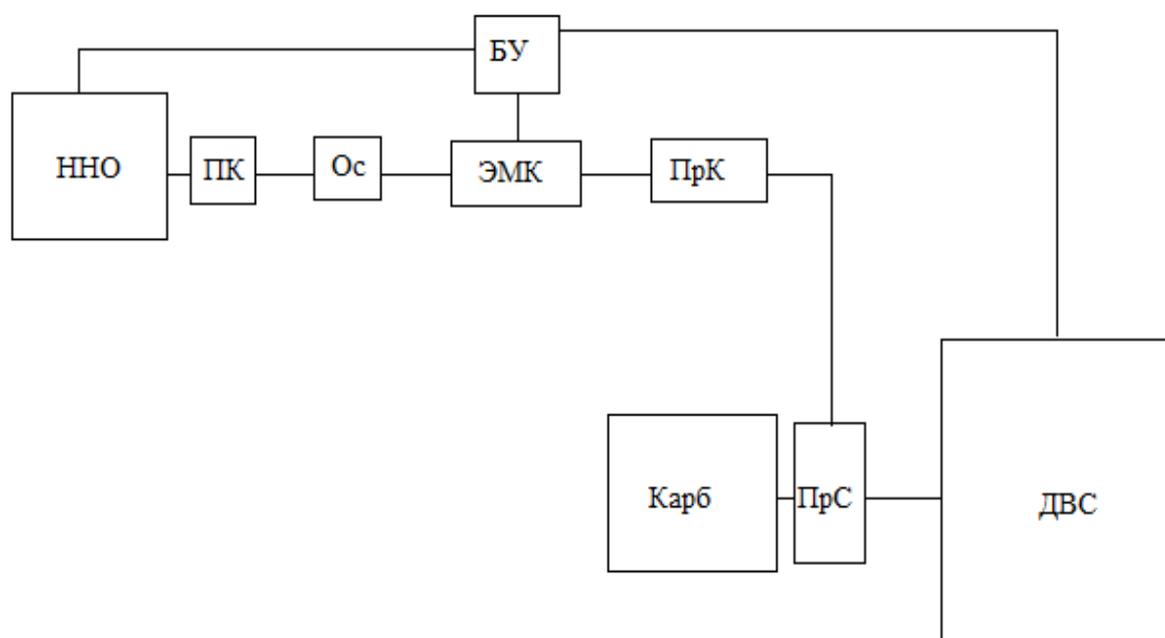


Рисунок 21 - Схема добавки водорода

ННО – электролизер, ПК – пожарный клапан, Ос – осушитель, ЭМК – электромагнитный клапан, БУ – блок управления, ПрК – предохранительный клапан, ПрС – проставка, Карб – карбюратор, ДВС – двигатель

Вывод по главе

Когда моторесурс будет подходит к завершению, то не нужно будет менять систему полностью и покупать новую.

Как и с автомобилем более чем достаточно будет провести капитальный ремонт, но в большинстве случаев все обходится техническим своевременным обслуживанием.

При использовании такой системы, продолжительность ее использования будет больше, а стоимость на обслуживания – меньше.

4 Характеристики гибридных систем

4.1 Устройство бензиновых двигателей на водородном топливе

Бензиновый двигатель на водородном топливе

В составе рассматриваемой системы входят:

- бензиновый двигатель на водородном топливе;
- блок свинцово-кислотных аккумуляторов (АКБ);
- зарядное устройство для заряда АКБ;
- инвертор (преобразователь напряжения АКБ в ~220Вольт).

На рисунке 22 бензиновый генератор KIPOR KGE6500E/X мощностью до 5 кВт. Средняя цена данного генератора составит Цена 57 860 Р .



Рисунок 22 – Бензиновый генератор KIPOR KGE6500E/X

Технические характеристики генератора приведены в таблице 9.

Таблица 9 – Характеристика генератора KIPOR KGE6500E/X

Мощность, кВт	5.4
Частота, Гц	49
Напряжение, В	229/13
Сила тока, А	21.7
Расход топлива, л/ч	2.1

При работе бензинового двигателя внутреннего сгорания ведет за собой траты на расходные материалы, такие как масло, фильтры, и само топливо, в связи с этим, траты на расходные материалы приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Расчет затрат на топливо за год эксплуатации

	Время работы, ч	Топливо, литры	Цена, руб
День	6	12	452,4
Месяц	180	360	13572
Год	2160	4320	162864

Затраты за год:

- Топливо - 162 864 Р ;
- Масло - 18 000 Р ;
- Фильтры - 7 700 Р .

В таблице 11 приведены затраты на топливо, расходные материалы (масло, фильтры) в течении 10 лет эксплуатации, с учетом срока службы бензинового генератора, который составляет 7 лет.

Таблица 11 – Затраты на топливо и расходные материалы в течении 10 лет эксплуатации бензинового генератора

Год эксплуатации	Цена владения, рубли
1	152680
2	247500
3	342320
4	437140
5	531960

Продолжение таблицы 11

Год эксплуатации	Цена владения, рубли
6	626780
7	721600
8	874280
9	969100
10	1063920

Остальные части установки такие же как в предыдущей системе.

Таблица 12 демонстрирует затраты для гибридной установки на базе бензинового двигателя.

Таблица 12 – Затраты на систему в течении 10 лет эксплуатации

Год эксплуатации	Цена владения, рубли
1	416 464
2	488 184
3	583 004
4	834 108
5	928 928
6	1 023 748
7	1 274 852
8	1 427 532
9	1 522 352

В итоге, за год эксплуатации системы на бензиновом генераторе на газовом топливе с буферным АКБ обойдется в 416464 Р .

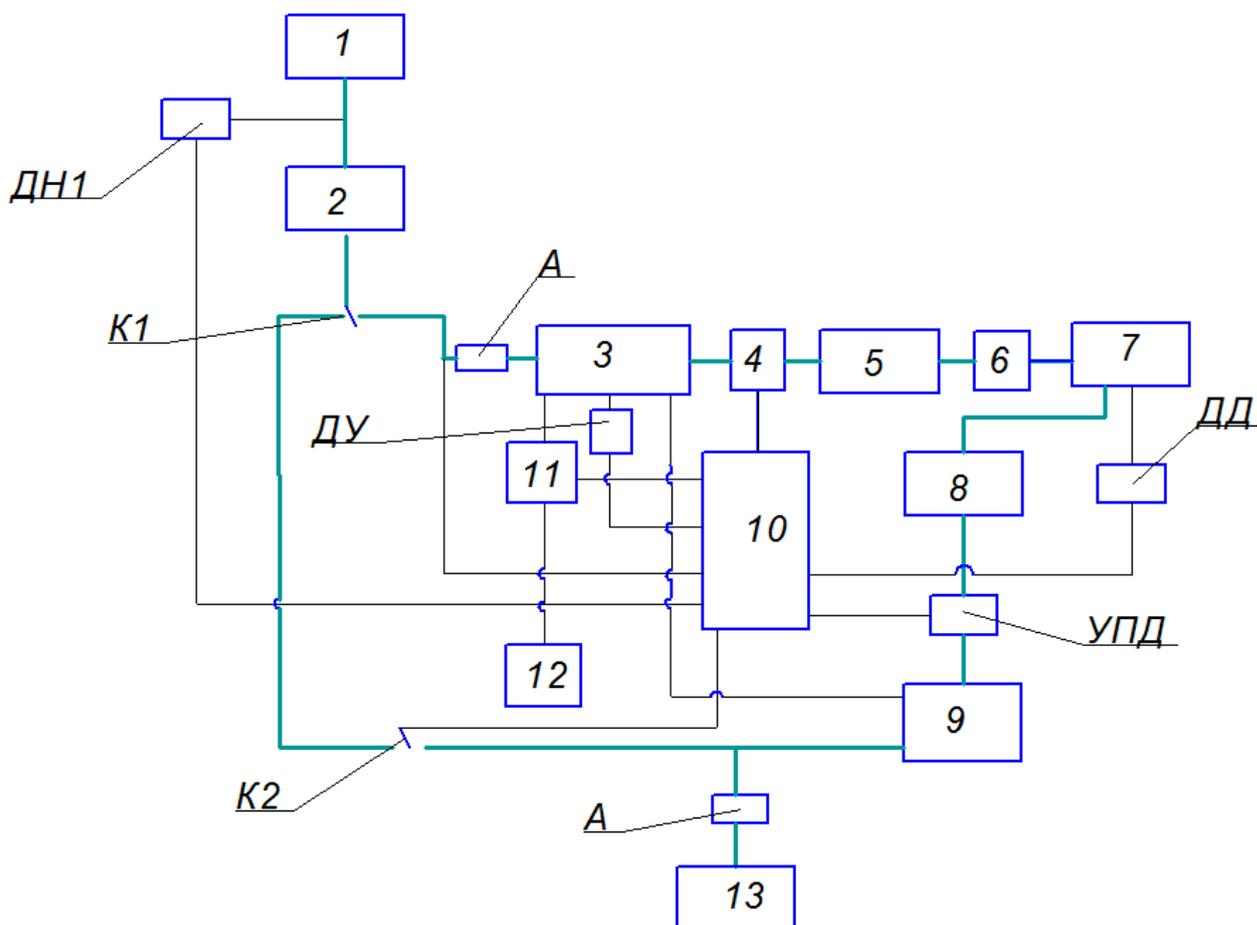
Цена владения установкой за 10 лет составит 177345рублей.

Автономная гибридная установка энергообеспечения на базе водородной системы.

В составе рассматриваемой системы входят:

- генератор водорода;
- модуль на топливных элементах;
- инвертор (преобразователь напряжения в ~220Вольт);
- металлгидридный накопитель.

Схема водородной электростанции представлена на рисунке 23.



1–внешний источник; 2– стабилизатор напряжения; 3–генератор водорода;4–осушитель; 5–компрессор; 6–Обратный клапан;7–металлогидридный накопитель;8–редуктор;9– топливный элемент;10–ЭБУ;11–клапан подачи дистиллированной воды; 12–H₂O; 13–

потребитель; А–амперметр; ДН1– датчик напряжения; К1, К2– ключ цепи; ДУ– датчик уровня; УПД– управление подачи водорода; ДД– датчик давления

Рисунок 23 – Схема автономной гибридной установки энергообеспечения на базе водородной электростанции

Данная модель выполняет функцию генерации электроэнергии самостоятельным образом, если отсутствует внешнее питание. Первым контуром данной установки является внешний источник, который дает возможность потребление энергии потребителю. Вторым контуром является водородная станция с мощностью 5кВт.ч, как раз-таки второй контур и обеспечивает стабильную добычу энергии в отсутствии внешнего источника.

Модуль на топливных элементах Dantherm Power DBX5000 приведен на рисунках 24,25 - мощностью 5 кВт. Средняя цена топливного элемента составит 550 000.



Рисунок 24– Модуль на топливных элементах Dantherm Power DBX5000

Данный модуль на топливных элементах, считается резервным питанием, который вырабатывает ток в 5000Вт. В своем роде этот модуль считается самым высокопроизводительным по добыче электроэнергии. Несмотря на высокую производительность, данный модуль имеет не большие размеры, что позволяет ему разместиться в помещении.



Рисунок 25 – DBX 5000 инсталлированный в стойке, в закрытом помещении

Технические характеристики топливного элемента приведены в таблице 13.

Производительность	5000Ватт
Выходное напряжение VDC	47-53 VDC (48VDC)
Входное напряжение VAC	90-264/ 50-60Hz
Давление на входе в блок клапанов	5 bar
Длительность работы на одном баллоне из расчета использования 40 литрового баллона	150 мин
Требования к окружающей температуре	-0 до +40С
Требования влажности	5-95% без конденсата
Диапазон высоты	До 3000м над уровнем моря
Наличие вредных выбросов	нет

На рисунке 26 генератор водорода ЦветХром-16 Средняя цена генератора составит 160000 Р .



Рисунок 26 – Генератор водорода

Данный генератор водорода может приобрести любая организация или частное лицо и использовать как в личных, так и коммерческих целях. Его принцип работы состоит в том, чтобы получать газ водорода из дистиллированной воды.

Ионообменная мембрана выступает в роли электролита и расщепляет воду на водород и кислород. Данный генератор способен работать полностью автоматизировано, благодаря большому количеству датчиков.

Все добывающие газ водорода генераторы делятся по следующим параметрам:

- Давление газа водорода;
- количество заливаемого дистиллята в бак;
- герметичность системы и потери газа;
- микроконтроллер для точного задания параметров;
- качество газа водорода.

Технические характеристики генератора приведены в таблице 14

Таблица 14 – Технические характеристики генератора водорода

Частота водорода в пересчете на сухой газ %об.	99.995
Концентрация водяных паров при 20С и 1атм, не боле, ppm	5
Суммарная производительность по водороду, приведенная к нормальным условиям, л/ч	16
Диапазон задаваемого выходного давления водорода, атм	От 1.5 до 6.1 атм
Стабильность выходного явления водорода, не хуже, атм	0.02
Время установления рабочего режима, не более, мин	30
Объем заливаемой дотированной воды, л	1.0
Расход дистиллированной воды, не более, л/ч	0.01
Потребление воды, г/л водорода	1.6
Средний ресурс сменного картриджа фильтра	1 год
Средняя потребляемая мощность Вт	250
Температура окружающей среды, С	От +10 до +35

Поскольку водород добывается за счет дистиллированной воды, и мы можем считать воду как расходующий материал, то мы можем подсчитать сколько необходимо воды для получения водорода за разные промежутки времени.

Эксплуатация генератора водорода предполагает затраты на воду, поэтому приведем расчеты затрат за день, месяц и год, которые приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет затрат на воду за год эксплуатации

	Время работы, ч	Вода, литры	Цена, руб
День	10	0,1	0,1
Месяц	2100	21	21
Год	25200	252	252

В таблице 16 приведены затраты на воду в течении 10 лет эксплуатации.

Таблица 16 – Затраты на воду в течении 10 лет эксплуатации

Год эксплуатации	Цена владения, рубли
1	252
2	504
3	756
4	1000
5	1260
6	1512
7	1764
8	2016
9	2268
10	2520

На рисунке 27 металлогидридный накопитель водорода BL-25. Средняя цена 50000. Нам нужно два накопителя. Поэтому цена составит 100000 Р .



Рисунок 27 – Металлогидридный накопитель водорода VL-25

Технические характеристики генератора приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики металлогидридного накопителя

Объем, л	25
Давление , атм	5
Длина, мм	147
Масса, гр	307

Неотъемлемым плюсом гибридной установки считается то, что эксплуатация такой системы подразумевает длительные сроки и способна работать долгое время без технического обслуживания, по сравнению с двигателями внутреннего сгорания на органическом топливе. Среднее время эксплуатации гибридной системы составляет 10 лет

Далее в таблице 18 приведены затраты на автономную гибридную установку на базе водородной системы с АКБ в течение 10 лет эксплуатации.

Таблица 18 – Затраты на систему в течении 10 лет эксплуатации

Год эксплуатации	Цена владения, рубли
1	810 252
2	810 504
3	810 756
4	811 000
5	811 260
6	811 512
7	811 764
8	812 016
9	812 268
10	812 520

В итоге, за год эксплуатации водородной системой обойдется в 810 252 Р . Цена владения установкой за 10 лет составит 812 520рублей. 1 кВт будет стоить 30,6 рублей

Результаты сравнения стоимости от срока обладания систем резервного энергообеспечения таких как: водородная электростанция, дизельный генератор с буферным АКБ, бензиновый генератор на газовом топливе с буферным АКБи ветро-солнечная электростанция с АКБ с мощностью 5 кВт, приведены на рисунке 28.

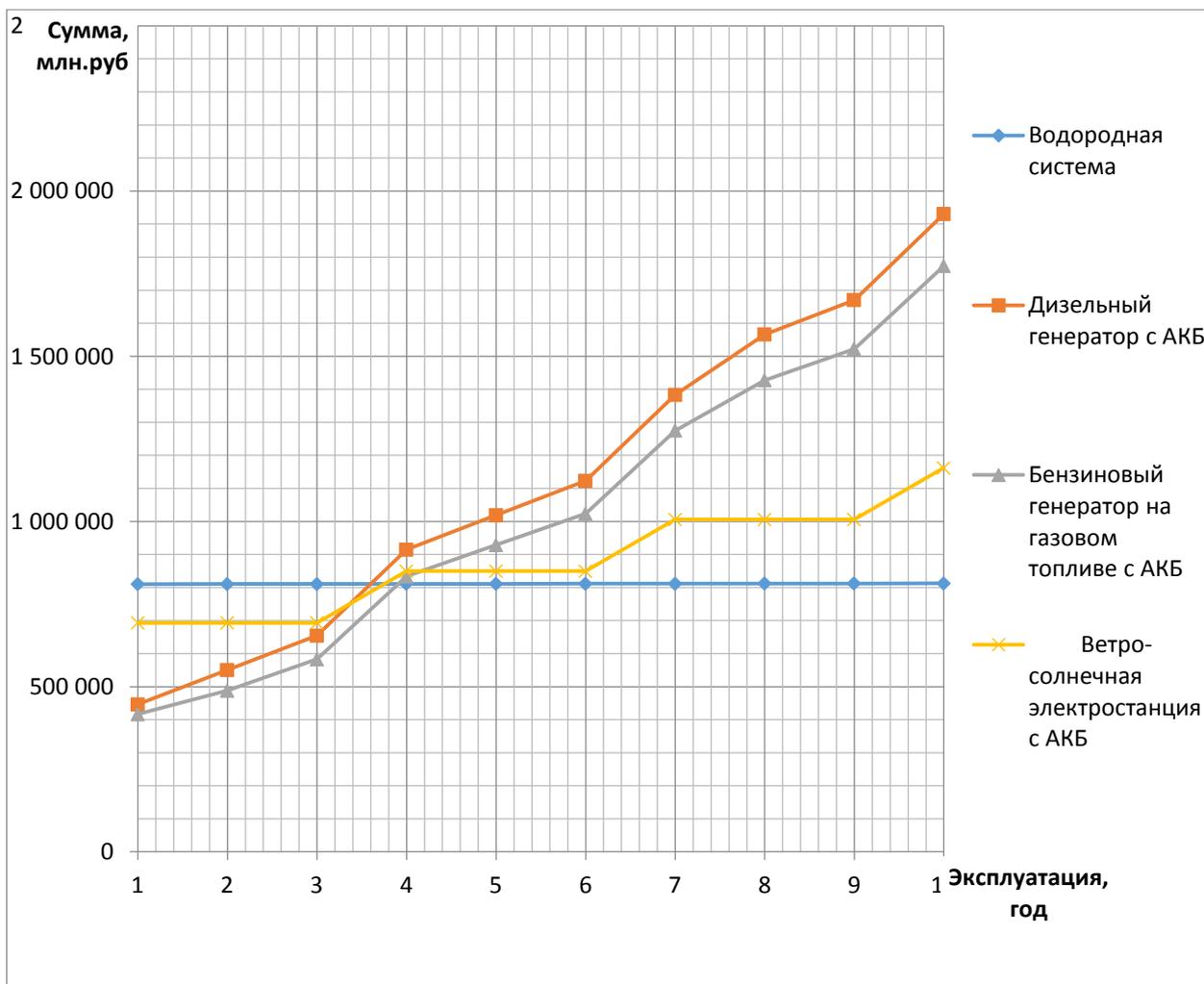


Рисунок 28 – Стоимость мощностью 5 кВт

«На график видно, что начальная цена дизельного генератора с буферным АКБ мощностью 5 кВт достигает 500 тыс. руб., а с увеличением срока эксплуатации стоимость обладания увеличивается почти в 4 раза (за 10 лет). У бензинового генератора на газовом топливе с буферным АКБ начальная цена самая низкая по сравнению с другими системами, но за 10 лет цена возрастает почти до 1 800 000 рублей, чуть уступая дизельной системе.

Стартовая цена системы автономной системы энергообеспечения на водороде составляет 810 тыс. руб., но дальнейший рост цены увеличивается всего лишь на 2 000 рублей при сроке эксплуатации 10 лет. К тому же срок службы данной системы свыше 20 лет, что приводит к окупаемости данной системы.» [6]

Вывод по главе

«Из расчетов можно сделать вывод, что использование автономной гибридной системы энергообеспечения на базе ветро-солнечной электростанции с АКБ и водородной системы имеет более низкую стоимость на протяжении 10 лет.

Выводы:

- автономная система энергообеспечения на базе водородной системы можно считать современным решением, поскольку соответствует актуальным мировым трендам в сфере систем электроснабжения.
- внедрение водородной системы на топливных элементах осуществит экологически чистые решения в замене двигателей внутреннего сгорания на водородные двигатели в основу которых входит водород.
- по функциональным характеристикам топливные элементы значительно превосходят существующие системы, что подтверждено в реализованных проектах во всем мире.
- по стоимостным показателям для усредненных (типовых) исходных данных системы на ТЭ начальная стоимость незначительно выше по стоимости владения на (10 – 30) % по сравнению с существующими» [4]

«На расчетном горизонте (20) лет общая стоимость владения меньше стоимости существующих систем.

- водород является чистым источником энергии. К тому же энергия необходимая для создания водорода требуется меньше, чем можно вывести из него.» [4]
- снижение зависимости от ископаемых и ядерных источников энергии освободит страну от дорогостоящего иностранного участия и улучшения здоровья и благосостояния его граждан. Это будет достигнуто за счет значительного сокращения выбросов парниковых газов и количества других ядов, относящихся к ископаемым и ядерным источникам энергии в воздухе, земле и воде.

– солнечная энергия может служить источником питания электролизера для получения водорода. Водород будет храниться в накопителях для запуска ТЭ, когда солнечной энергии будет не хватать для обеспечения электричеством потребителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении работы были сделаны следующие выводы:

- У бензиновых двигателей очень высокий уровень шума, при том, что топливный элемент абсолютно бесшумный
- ДВС загрязняет окружающую среду в больших объемах. Топливный элемент в свою очередь не выделяет негативных выбросов в атмосферу
- Проведен анализ стоимости гибридной установки, вследствие чего применение данного двигателя считается целесообразным
- Так же проведены следующие работы:
- Проведен структурный анализ существующих гибридных систем с использованием топливных элементов
- Выявлена структурная схема перспективной водородной системы
- Проведен анализ гибридной установки, позволяющий определить необходимое количество ТЭ для должной работы двигателя. Данная установка состоит из одного генератора водорода, одного модуля на топливных элементах, один преобразователь в 220 Вольт, один аккумулятор и два накопителя).

Появление автомобилей, работающих на топливных элементах, безусловно приведет к резкому развитию средств обслуживания такого транспорта. Несмотря на то, что существуют электромобили на аккумуляторах, у них не решена проблема их длительного запаса хода и долгая зарядка аккумуляторов. Инженеры, работающие над созданием автомобиля будущего на водороде, предполагают, что в будущем электромобиль решит все недостатки, но к этому времени, водород заберет основную долю рынка и будет вне конкуренции.

На основе данной диссертационной работы можно сделать вывод, что применение альтернативного источника энергии – топливного элемента безусловно эффективно.

Список используемых источников

1. Альтернативные источники энергии
<http://energystock.ru/vetrogenerator/vetryanyeelektrogenerator/vetryaki-dlya-doma-kupit>
2. Альтернативные источники энергии и энергосберегающие технологии [Электронный ресурс]. <http://energokeeper.com/sposobyi-polucheniya-vodoroda.html>
3. Ассад, М. С. Состав продуктов сгорания водородсодержащих топлив на режиме холостого хода двигателя внутреннего сгорания / М. С. Ассад, О. Г. Пенязьков // Тепло- и массоперенос–2008. – Минск: ИТМО им. А. В. Лыкова НАН Беларуси, 2009. – С. 82–88. __ 25. Ассад, М. Улучшение основных показателей работы моноцикла тракторного двигателя / М. Ассад, А. Н. Карташевич // Диагностика, повышение эффективности, экономичности и долговечности двигателей: постоянно действующий науч.-техн. семинар стран СНГ. – СПб., 1992.
4. Бортников Л.Н. Экспериментальная и расчетная оценка эффективности применения водорода на автомобиле / Л.Н.Бортников, Д.А.Павлов, М.М.Русаков // Автомобильная промышленность. -2013. -№ 6. - С. 28-33.
5. Вагнер, В. А. Насыщение топлива водородом и предел его эффективного использования при улучшении экономических и экологических характеристик дизелей / В. А. Вагнер // Альтернативные топлива в двигателях внутреннего сгорания: тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Киров, 1988. –С. 155–156.
6. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение : справочник. М. : Химия, 1989.
7. Водородная энергетика. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pnpi.spb.ru>; <http://lepfed.narod.ru/>.

8. Ветреная ветряная энергетика. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.nkj.ru/archive/articles/22733/>.
9. Виссарионов В.И. «Солнечная энергетика» учебное пособие для вузов - Издательский дом МЭИ. - 2008. повтор
10. Гафуров Н.М., Хакимуллин Б.Р., Багаутдинов И.З. Основные направления альтернативной энергетики. // Инновационная наука. - 2016. - № 4-3. - С. 74-76.
11. ГЕНЕРАЦИЯ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ УСТАНОВОК Гудков С.А., Лебедева Е.А. Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет (ННГАСУ) Нижний Новгород, Россия
12. Ефремов И. В. На пути к термоядерному реактору / И. В. Ефремов. М. :, 1993.
13. Жегалин, О. И. Альтернативные топлива и перспективы их применения в тракторных дизелях: Обзор / О. И. Жегалин, Е. Г. Пономарев, В. К. Журавлев. – М.: ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1986. – 40 с.
14. Зельдович, Я. Б. Окисление азота при горении / Я. Б. Зельдович, П. А. Садовников, Д. А. Франк-Каменецкий. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 147 с.
15. Информационный сайт «Солнечные элементы». [Электронный ресурс]. - Режим доступа <http://solarwind.net.ua/bars.html>.
16. Почти все об альтернативной энергетике. [Электронный ресурс.] URL: http://www.dom-spravka.info/_alt_energo/gb_00.html (дата обращения 09.11.2017)
17. Канило, П. М. Токсичность ГТД и перспективы применения водорода / П. М. Канило. – Киев: Наукова думка, 1982. – 140 с.
18. Кашкаров А. - Современные био-, бензо-, и дизель-генераторы. ДМК-Пресс, 2011 г., стр.136.

19. Кашкаров А. - Современные био-, бензо-, и дизель-генераторы. ДМК-Пресс, 2011 г., стр.136. Экологические проблемы энергетического обеспечения человечества. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://nuclphys.sinp.msu.ru/ecology/ecol/ecol05.htm>.

20. Калимуллина Д.Д., Гафуров А.М. Влияние альтернативной энергетики на окружающую среду. // Инновационная наука. - 2016. - № 3-3. - С. 97-98. Солнечные батареи. [Электронный ресурс]. <http://greensector.ru/inzhenernye-sistemy/solnechnye-batarei-dlya-doma-skhema-oborudovaniya-raschet-stoimosti-komplekta.html>

21. Нанохимия и нанотехнология. [Электронный ресурс] . http://him.1september.ru/view_article.php?ID=200902102

22. Применение водорода в качестве топлива для тепловых двигателей / А. Н. Подгорный [и др.] // Вопр. атомной науки и техники. Сер. Атомно-водородная энергетика. – М.: Изд-во ИАЭ АН СССР, 1977. – Вып. 2(3). – С. 52–60.

23. Радченко Р. В., Мокрушин А. С., Тюльпа В. В. Водород/ Екатеринбург 2014

24. Шкаликова, В. Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях / В. Н. Шкаликова, Н. Н. Патрахальцев. – М.: Изд-во Рос. ун-та дружбы народов, 1993. – 64 с.

25. Экологические проблемы человечества и пути их решения. Часть 2. Энергетика. [Электронный ресурс] / http://www.chemfive.ru/news/ehkologicheskie_problemy_chelovechestva_i_puti_ikh_reshenija_ehnergetika/2014-04-25-266.

26. Электролиз, или вода вместо бензина. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.skyzone.ru/tech/meyer_h2.htm.

27. D. P. Greodgy, D. Y. C. Ng, and G. M. Long, in *Electrochemistry of Cleaner Environments*, J. O. V. Bockris, ed., Plenum Press, New York, 1972.

28. Gemma Herranz, Gloria P. Rodriguez. Uses of Concentrated Solar Energy in Materials Science. -Spain: INTECH, 2010. ISBN 978-953-307-052-0, 399 p.

29. J.O.M Bockris, A Solar – Hydrogen Economy, A. N. Z. Book Co., Brook – vale, New South Wales, 1975, Ch. 8.

30. J.O.M Bockris, A Solar – Hydrogen Economy, A. N. Z. Book Co., Brook – vale, New South Wales, 1975, Ch. 14.

31. Vissarionov V. I., Deriugina G. V., Kuznetsov V. A., Malinin N. K. Solar energy. Textbook for high schools. Moscow: Publishing House MEI. 2008., 320 p.

Свободное цитирование при указании авторства: <https://scientific-conference.com/h/sborniki/tekhnicheskie-nauki/706-alternative-energy.html>