

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»

Политехнический институт
Факультет «Автотранспортный»
Кафедра «Колесные и гусеничные машины»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ 2019 г.
« ____ » _____

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

к.т.н., профессор

_____ В.Н. Бондарь
« ____ » _____ 2019 г.

Электролизёр автономной генерации водородного топлива для бензинового
двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ (ПРОЕКТУ)
ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00.00 ПЗ ВКР (ВКП)

Консультанты (должность)

д.т.н., профессор

_____ Ю.И. Аверьянов
« ____ » _____ 2019 г.

Руководитель работы

к.т.н., доцент

_____ А.Г. Уланов
« ____ » _____ 2019 г.

старший преподаватель

_____ С.Ю. Лелекова
« ____ » _____ 2019 г.

Автор работы

студент группы ПЗ-603

_____ Я.И. Давлетов
« ____ » _____ 2019 г.

_____ 2019 г.
« ____ » _____

Нормоконтролер

к.т.н., доцент

_____ В.И. Дуюн
« ____ » _____ 2019 г.

Челябинск 2019

АННОТАЦИЯ

Давлетов Я.И. Электролизёр автономной генерации водородного топлива для бензинового двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля – Челябинск: ЮУрГУ, ПЗ – 603, 112 с., 29 ил., библиогр. список – 38 наименований, 10 листов чертежей ф. А1

Выпускная квалификационная работа выполнена с целью разработки электролизёра автономной генерации водородного топлива для двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля.

В выпускной квалификационной работе проанализированы виды альтернативных топлив и их применение на транспорте, существующие патенты на электролизные установки генерации водорода. В качестве прототипа выбран генератор водорода по патенту РФ № 2044151, в качестве прототипа автомобиля выбран ВАЗ-21061.

Представлена схема электролизёра автономной генерации. Осуществлен подбор устройства защиты и фильтрации водного топлива, произведен расчет необходимого количества и размера пластин электродов для генератора.

В выпускной квалификационной работе также проанализирована конкурентоспособность и перспективность, оценка его коммерческой состоятельности. Произведено обеспечение требований безопасности.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Давлетов Я.И.</i>			<i>Электролизёр автономной генерации водородного топлива для бензинового двигателя внутреннего сгорания легкового автомобиля</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Уланов А.Г.</i>					3	112
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра «КГМ»</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Дуюн В.И.</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Бондарь В.Н.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ВИДЫ ТОПЛИВА И АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ НА ТРАНСПОРТЕ.....	9
1.1 Виды топлив.....	11
1.2 Анализ применения топливно-водородных смесей для повышения эффективности рабочего процесса бензиновых двигателей и методика исследований.....	25
1.3 Способы получения водорода и анализ генераторов водорода.....	33
Выводы по разделу один.....	47
2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА АВТОНОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА	
2.1 Описание схемы системы электролизёра автономной генерации водородного топлива.....	49
2.2 Энергетическая эффективность процесса электролиза (КПД электролизёра).....	55
2.2.1 Физико-химические основы получения водорода.....	56
2.2.2 Термодинамика процесса разложения воды в процессе электролиза.....	59
2.2.3 Расход электроэнергии и воды в процессе электролиза.....	61
2.3 Обратный огнепредохранительный клапан.....	62
2.4 Выбор фильтра-осушителя.....	65
Выводы по разделу два.....	66
3 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА АВТОНОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА	
3.1 Общие положения.....	67
3.2 Общие размеры деталей установки	

3.2.1	Расчет необходимого количества и размера пластин ячеек и материала прокладок установки для получения кислородно-водородной газовой смеси.....	67
3.2.2	Общий вид установки для получения кислородно-водородной газовой смеси.....	71
3.3	Выбор генератора для работы электролизёра автономной генерации водородного топлива на автомобиле.....	75
3.4	Исследования электролизёра на эффективность генерации водородной смеси.....	76
	Выводы по разделу три.....	80
4	ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	81
4.1	Определение перспективности и конкурентоспособности объекта дипломного проектирования.....	81
4.2	Расчет затрат на производство детали.....	84
4.3	Оценка экономической состоятельности дипломного проекта.....	87
	Выводы по разделу четыре.....	95
5	БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	96
5.1	Область применения автомобиля.....	97
5.2	Анализ опасных и вредных факторов.....	98
5.2.1	Анализ механических опасностей.....	98
5.2.2	Анализ термических опасностей.....	99
5.2.3	Анализ опасностей от материалов и веществ.....	99
5.2.4	Анализ опасности возгорания газа.....	100
5.2.5	Анализ опасностей, связанных с выбросом в окружающую среду электролита.....	100
5.3	Меры по устранению существующих опасностей и защитные меры по снижению риска	
5.3.1	Комплекс применяемых мер по устранению механических опасностей.....	101

5.3.2	Комплекс применяемых мер по устранению термических опасностей.....	101
5.3.3	Комплекс применяемых мер по устранению опасностей от материалов и веществ.....	102
5.3.4	Комплекс применяемых мер по устранению опасности возгорания.....	102
5.3.5	Комплекс применяемых мер по устранению опасности, обусловленной выбросом в окружающую среду электролита.....	103
5.4	Требования, предъявляемые к безопасности и охране окружающей среды.....	103
5.5	Информация для конечного потребителя.....	105
	Выводы по разделу пять.....	106
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	107
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	108

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире насчитывается не один миллион автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, и производство такого транспорта постоянно растет. В ближайшие несколько лет производство легковых автомобилей будет еще больше увеличено, и соответственно все острее будет стоять топливно-экологическая проблема. В последние годы наблюдались тенденции увеличения производства нефти странами мира, в том числе входящими в ОПЕК, в том числе и для политико-экономического давления друг на друга. Но разум, приводящий к консенсусу между ними, приводит и к пониманию, что экологическая проблема из года в год только обостряется, и поэтому необходимо взять курс на снижение потребления нефтяных моторных топлив, а также заниматься разработкой и замещением их альтернативными энергоносителями.

К сожалению, такое природное богатство как нефть – невозобновляемый природный ресурс, и ввиду истощения данных запасов нефти на автомобильном рынке все больше и больше находят свое широкое применение альтернативные виды топлива.

К альтернативным видам топлива (альтернативным энергоносителям) относят топлива, которые не являются продуктами переработки нефти, и традиционные нефтяные топлива, которые модифицированы различными добавками. К наиболее перспективным альтернативным топливам относятся: природный газ, синтетические моторные топлива, в том числе спиртовые, биотоплива и водород, который может использоваться как основное топливо, так и в качестве высокоэффективной добавки к горючим смесям, а также как компонент, который необходим при производстве синтетических моторных топлив.

Уровень современной техники предлагает множество путей перевода существующих двигателей на другое топливо: с использованием штатных приборов приготовления смеси (карбюраторные системы), с использованием

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

дополнительных приборов приготовления смеси (смеситель-испаритель, дополнительные форсунки), разработка и установка многотопливных систем питания.

Актуальность темы. Применение водорода в качестве источника возобновляемой энергии является одним из наиболее перспективных направлений альтернативной энергетики.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

1 ВИДЫ ТОПЛИВА И АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ НА ТРАНСПОРТЕ

Со второй половины XX века начался интенсивный процесс автомобилизации общества, и возрастающие с каждым годом потребности человечества в производстве энергии предопределяют увеличение расхода природных ресурсов и соответственно увеличение загрязнения окружающей среды. Тем самым создается реальная экологическая угроза для жизнедеятельности человека.

Именно двигатели внутреннего сгорания (ДВС) потребляют наиболее значительную долю нефтепродуктов, и в значительной мере являются активным и постоянно действующим фактором теплового, химического, механического и иных видов вредного воздействия на окружающую среду. Самый максимальный ущерб окружающей среде причиняет химический фактор, так как именно он связан с загрязнением окружающей среды и атмосферы токсичными веществами, которые находятся в отработанных газах. Основным потребителем нефтяных топлив является автомобильный транспорт. И, исходя из мирового опыта, можно утверждать, что модернизировать автомобильный транспорт предоставляется возможным прежде всего за счет отказа от традиционных жидких нефтяных топлив. Для этого необходим переход на гибридные и полностью электрические автомобили, к примеру, на базе водородных топливных элементов. В настоящее время производством и продвижением электромобилей, а также решений для хранения электрической энергии занимается известная компания Tesla Motors.

Однако процесс модернизации всей автомобильной промышленности идет весьма медленно, и этому есть несколько причин. Во-первых, вся мировая автомобильная индустрия весьма пассивна, так как спрос рождает предложение. Во-вторых, немалую здесь роль играет и нежелание нефтяных компаний, и связанных с ними отраслей терять свой большой доход и бизнес.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						9
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Согласно прогнозам Института энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН) топливная корзина становится все более диверсифицированной, нефть окончательно перестанет доминировать в топливной корзине, ее доля в 2040 году сократится с 32% до 26%, доля угля снизится с 28% до 26%, а газ покажет наибольший прирост из всех видов топлива и сможет расширить свою нишу с 21% до 24% (рисунок 1.1) [38].

Структура потребления первичной энергии по видам топлива в мире
в 2010 и 2040 годах

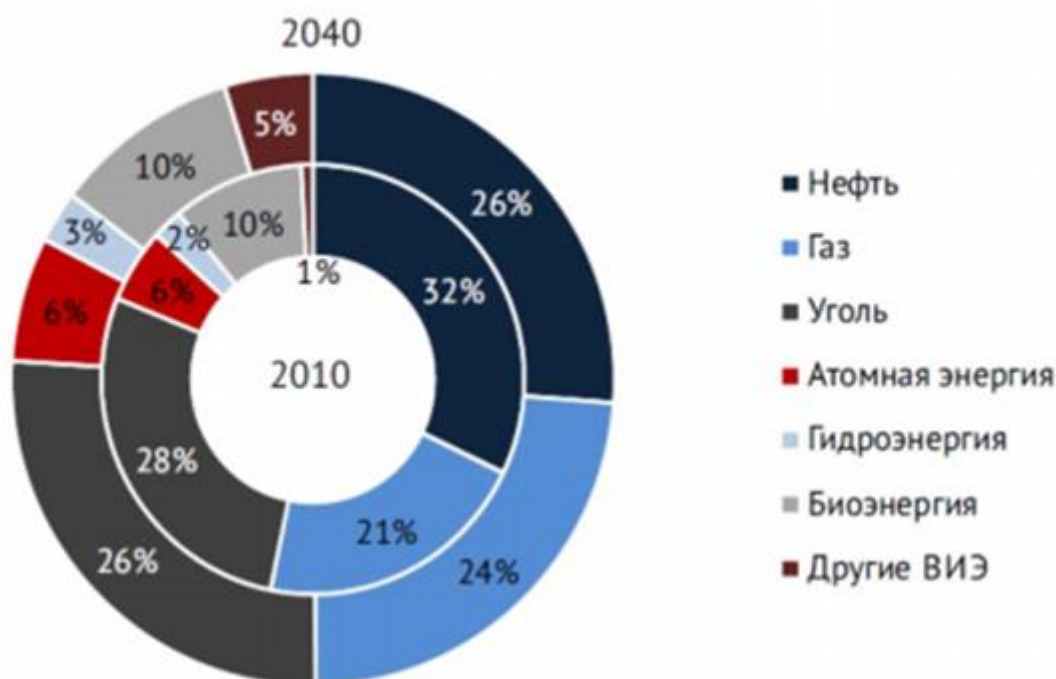


Рисунок 1.1 – Прогноз ИНЭИ РАН

На данный момент для автомобильного транспорта наиболее популярными по используемым видам топлива являются, конечно, бензиновые двигатели (74%), следующие дизельные (~ 23,4%), газовые (~1 %), гибридные (~ 1%), альтернативное топливо и водород (~ 0,4%). На диаграмме, изображенной на рисунке 1.2, наглядно отображено соотношение данных видов топлива:



Рисунок 1.2 – Используемые топлива в мире

Теперь необходимо рассмотреть более детально каждый из представленных видов топлива.

1.1 Виды топлив

Как видно из графика самым популярным видом топлива является бензин. Бензин – это горючая смесь легких углеводородов. Бензины используют в качестве моторного топлива и сырья в промышленном органическом синтезе. Он необходим для нормального функционирования поршневых двигателей внутреннего сгорания с воспламенением от искры. К современным маркам бензина предъявляется ряд требований, бензин должен:

- а) обеспечивать надежную и экономичную работу двигателя;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

- б) при длительном хранении не изменять свойств и состав;
- в) обладать хорошей испаряемостью, позволяющей получать при любых температурах оптимальный состав однородной топливоздушнной смеси;
- д) содержать групповой углеродный состав, который обеспечит на всех режимах работы двигателя устойчивый и бездетонационный процесс сгорания;
- ж) не оказывать вредного воздействия на резинотехнические изделия, резервуары и детали топливной системы.

Из-за повышенного загрязнения окружающей среды во всем мире, на первый план выходят экологические свойства марок бензина. В России бензин вырабатывается согласно государственным стандартам. Можно перечислить такие из них как: ГОСТ 32513-2013, ГОСТ 2084-77, ГОСТ 51105-97, ГОСТ 54283-2010 и другие [19,20,21,22]. Чтобы повысить конкурентоспособность марок российского бензина и довести их качество до уровня, установленного европейскими стандартами, был разработан ГОСТ 51105-97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия», по которому производят неэтилированные марки бензина (с максимальным содержанием свинца, не превышающим 0,01 г/дм³).

Дизельное топливо – топливо, получающееся из керасиново-газойлевых фракций прямой перегонки нефти. Дизельное топливо в основном состоит из двух компонентов: легко воспламеняемой жидкости (цетана) и плоховоспламеняющегося метилнафталина. Наиболее важными эксплуатационными свойствами дизельного топлива являются его воспламеняемость и прокачиваемость. Также, к ним относятся склонность дизельного топлива к образованию нагара и лаковых отложений в двигателе. Отложения приводят к нарушению в работе двигателя, что ухудшает его технико-экономические и экологические показатели. Согласно отечественным стандартам в дизельном топливе не допускается наличие воды и механических примесей.

Газовое топливо в своей перспективе рассматривается как неплохая альтернатива бензиновому топливу. Природный газ имеет низкую

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

энергетическую стоимость, примерно в 1,5 – 2 раза ниже стоимости бензина, а также меньшее количество выбросов в окружающую среду.

По имеющемуся мировому запасу и стоимости, природный газ следует рассматривать как одно из наиболее перспективных топлив для автотранспорта, особенно эксплуатируемого в крупных городах.

Гибридное «топливо» для автомобилей отличается своей способностью уменьшения расходов горючего. Показатель затратности топлива у гибридных автомобилей может достигать до 30% ниже по сравнению с обычными автомобилями. Гибридный автомобиль в тоже время является более экономичным и экологически чистым, так как сжигается меньше горючего, по сравнению с аналогами, которые оборудуются двигателями внутреннего сгорания. Гибридные автомобили по сравнению с электромобилями являются более универсальными и имеют больший запас хода, так как при ежедневной эксплуатации гибридного автомобиля его не обязательно заряжать от сети, его достаточно заправить бензином и после сгорания топлива часть энергии скапливается в аккумуляторе, благодаря чему начинает работать электродвигатель. Также, дополнительным источником питания заряда аккумулятора является преобразование кинетической энергии движущего автомобиля в электричество. Для большей экономии и уменьшения количества вредных выбросов гибридные автомобили имеют ряд конструктивных решений и вспомогательных систем (таких как система старт-стоп и т.п.).

В тоже время к недостаткам гибридных автомобилей можно отнести весьма высокую цену, сложности при ремонте и обслуживании, а также возможный критический разряд аккумулятора и быстрый выход из строя при больших перепадах температур.

К альтернативным видам топлива можно отнести: электричество, биоэтанол, биодизель, сжатый воздух, солнечную энергию, водород и другие.

Электромобиль – автомобиль, приводимый в движение одним и несколькими электродвигателями с питанием от автономного источника электроэнергии

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

(аккумуляторов, топливных элементов и т.п.). Согласно терминологии О.А. Ставрова у электромобиля для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока. Еще в начале 2000-х годов электромобили считались фантастикой, их производство было штучным. На данный момент электромобили уже являются «обыденностью», и передовиком в их производстве является компания Tesla Motors.

Биоэтанол – по своей сути биоэтанол является этиловым спиртом, свое название он получил благодаря тому, что производится из растительного сырья: кукурузы, сахарного тростника, сахарной свеклы, картофеля и т.д. На данном виде топлива работают автомобили типа Flex-Fuel – автомобили с гибким видом топлива, которые могут ездить как на бензине, так и на смеси бензина с этанолом, причем в гибких пропорциях (от 5% до 95%). Самыми важными преимуществами биоэтанола являются возобновляемость сырья и уменьшение выбросов в атмосферу.

Биодизель является продуктом переработки растительных масел, это топливо растительного происхождения, которое может использоваться в дизельных двигателях. От биодизеля, как и от биоэтанола, выбросы в атмосферу более низкие, и также оно является возобновляемым топливом. Однако минусом биодизеля является трудность его использования в холодное время года, так как выпадение парафинов в топливной системе препятствуют нормальной подаче топлива в двигатель.

Все перечисленные виды альтернативных моторных топлив имеют неоспоримое преимущество перед бензином – большую экологичность, однако интерес ученых в области двигателестроения к водороду, как к топливу для двигателей внутреннего сгорания, прослеживается во всей истории научно-технического прогресса в части создания и развития автономных силовых установок. Благодаря тому, что водородное топливо не содержит углерод, продукты его сгорания в воздухе теоретически не могут содержать парниковый газ CO₂, оксид углерода CO, несгоревшие углеводороды CH и сажу. Однако на

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

практике при сгорании водорода в двигателе внутреннего сгорания выбросы этих компонентов присутствуют, но в очень небольшом количестве, это в первую очередь связано со сгоранием масла в камере сгорания [26].

На сегодняшний день водородной энергетике пророчат большое будущее. Именно ее называют энергетикой будущего. Эксперты совета по водородным технологиям (Hydrogen Council) в своем докладе утверждают, что к 2050 году на водород придется 18% всех энергетических потребностей мира. По другим прогнозам, к этому времени мировое потребление водорода вырастет до 370 млн тонн в год (к 2100 году – до 800 млн тонн).

По данным Европейской комиссии еще в 2010 году главными инвесторами в развитии водородной энергетики были США (500 млн долларов), Япония (около 300 млн долларов), и страны ЕС (около 230 млн долларов). Также к лидерам следует отнести Южную Корею (100 млн долларов) и Китай (60 млн долларов).

Стоит отметить, что стимулы внедрения топливных элементов в разных регионах мира разные. Так, в странах ЕС и Японии акцент сделан на улучшение экологической обстановки, в то время как в США, прежде всего, отмечается повышение энергетической безопасности и удобство использования. Китай, во многом, развивает технологию в стремлении достичь мирового технологического лидерства. Все эти страны имеют долгосрочные программы развития водородной энергетики.

Так, Япония является лидером по объему использования водородных топливных элементов. Государство стремится субсидировать все существующие разработки, к примеру, такие, как системы отопления на водороде, счет которым идет на десятки тысяч. Основными потребителями являются поставщики энергии, автомобильные компании, строительно-монтажные компании и производители электроники. В апреле 2018 года премьер-министр Японии Синдзо Абэ заявил о намерениях своего правительства начать переход к водородной экономике при постепенном отказе от углеводородного топлива.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		15

К 2030 году в стране восходящего солнца должно быть уже 800 000 машин с водородными двигателями. Так, весьма больших успехов добилась компания Toyota. Легковой автомобиль Toyota Mirai, работающий на водородных топливных батареях, проезжая 100 км, производит около полуведра воды.

Устройство автомобиля Toyota Mirai показано на рисунке 1.3.

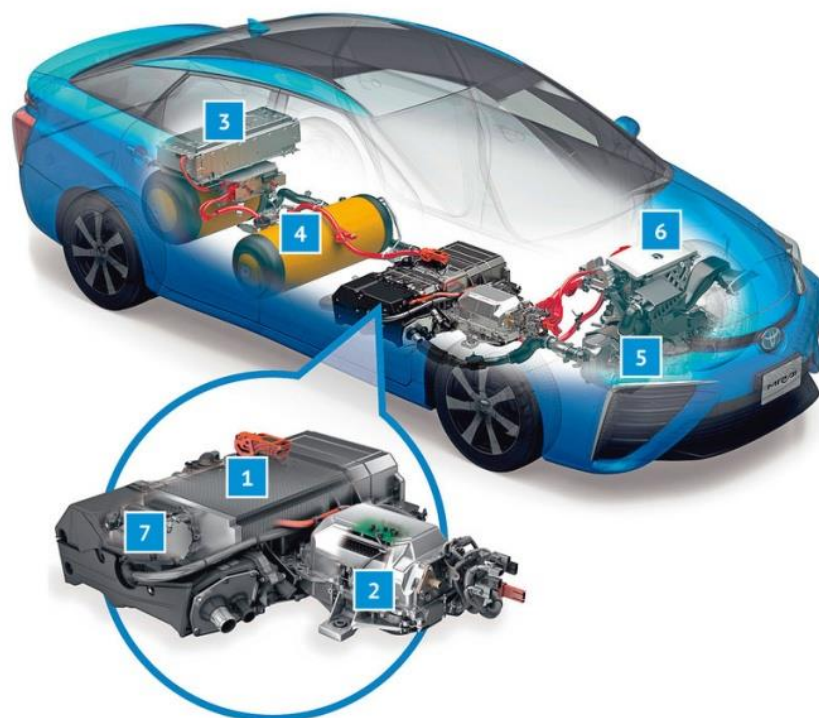


Рисунок 1.3 – Устройство автомобиля Toyota Mirai

Автомобиль Toyota Mirai состоит из следующих элементов:

- 1) Блок топливных элементов. Использованы первые серийно производимые концерном Toyota топливные элементы с высокой удельной мощностью на единицу объема (3,2 кВт/л). Максимальная мощность: 124 кВт.;
- 2) Повышающий преобразователь превращает постоянный ток, вырабатываемый топливным элементом, в переменный с повышением напряжения до 650 В;
- 3) Никель-металл-гидридный аккумулятор запасает энергию, рекуперированную при торможении. При трогании с места питает двигатель совместно с топливным элементом;

- 4) Баллоны высокого давления Рабочее давление внутри: 700 атм. Внутренний объем: 60 л (передний баллон) и 62,4 л (задний баллон);
- 5) Электрический мотор. Синхронный электродвигатель переменного тока: максимальная мощность – 113 кВт (153,6 л.с.) максимальный крутящий момент – 33 Нм.;
- 6) Блок управления. Управляет топливным элементом, а также зарядкой/разрядкой аккумуляторной батареи;
- 7) Дополнительные приспособления. Насос для подкачки водорода и проч.

США также разрабатывают и субсидируют государственные программы по разработке и покупке топливных элементов на водороде.

В Европе главным институтом развития водородной энергетики является платформа HFP (European hydrogen and fuel cell technology platform), инициированная в 2003 году. Одной из целей платформы называется создание водородно-ориентированной энергосистемы в странах ЕС к 2050 году.

Китай, как ни одна страна мира, нуждается в новых источниках энергии. В стране водородные топливные элементы и использование водорода рассматриваются на правительственном уровне как центральное направление долгосрочного развития технологий. На середину 2011 года суммарные инвестиции Китая в развитие технологии топливных элементов и соответствующей инфраструктуры составили 2,8 млрд долл. Основные области развития – производство портативной электроники, стационарных и мобильных устройств, получение водорода с использованием солнечной энергии, энергии биомассы, природного газа и угля.

Южная Корея пошла по пути Японии и предложила в 2010 году субсидию для покупателей водородных систем отопления в объеме 80% их стоимости. Правительство страны озвучило цели по достижению 20% мирового рынка топливных элементов к 2025 году и созданию 560 тыс. рабочих мест в отрасли.

К 2030 году топливные элементы должны занять 47% в общем объеме потребления "зеленого" электричества в Сеуле, т.е. их вклад будет сравним с

										<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>							<i>17</i>

вкладом всех других ВИЭ, в том числе энергии солнца, геотермальной энергии, энергии биомассы, вместе взятых.

Разработками в области крупнотоннажного ядерного производства водорода занимаются в лабораториях Айдахо, ORNL и General Atomics (США), институте ядерных и энергетических технологий INET Университета Синьхуа (Китай), Институте атомной энергии JAERI (Япония), Исследовательском институте атомной энергии KAERI (Республика Корея).

Водородная энергетика лишь дополняет атомную, нефтяную или «возобновляемую» энергетика, но сама по себе не является новым источником энергии. Другими словами, водородная энергетика – это способ наиболее эффективного применения имеющихся источников энергии, повышения КПД их использования или получения иных преимуществ. Интерес к водородной экономике объясняется рядом преимуществ водорода перед другими топливами:

- а) преимуществом водорода как энергоносителя является возможность экологически чистого использования. Это связано с замкнутостью жизненного цикла преобразования его энергии или вещества, особенно если для производства водорода использовать солнечную энергию;
- б) кроме того, работа на водороде обеспечивает повышение эффективности двигателя внутреннего сгорания;
- в) применение водорода в качестве моторного топлива позволяет также повысить КПД и топливную экономичность двигателя с искровым зажиганием за счет более совершенного протекания рабочего процесса. В целом за счет более быстрого сгорания и качественного регулирования можно повысить индикаторный КПД двигателя до 52%, существенно улучшить топливную экономичность [33];
- д) водород является одним из самых энергоемких топлив, и составляет 120·10³ кДж/кг, что в 2,87 раза выше дизельного топлива, однако для сжигания водорода необходимо в 2,3 раза больше воздуха.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

Концепция экологически чистой водородной энергетики, часто называемая «водородной экономикой», включает в себя:

- а) производство водорода из воды с использованием невозобновляемых источников энергии (углеводороды, атомная энергия, термоядерная энергия);
- б) производство водорода с использованием возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, энергия морских приливов, биомасса);
- в) надежная транспортировка и хранение водорода;
- д) широкое использование водорода в промышленности, на транспорте (наземном, воздушном, водном и подводном), в быту;
- ж) обеспечение надежности материалов и безопасности водородных энергетических систем.

Два основных рынка потребления водорода сегодня – производство аммиака и метанола; на них уходит до 80 % общего объема потребления. В химической промышленности водород также используют в производстве карбамида, мыла и пластмасс. В газопереработке водород необходим для получения смесей, например, с метанолом, этиленом и пропиленом.

В перспективе водород будет использоваться в качестве топлива на транспорте. Автогиганты уже сейчас активно экспериментируют с водородными двигателями. Как минимум три автогиганта серийно выпускают легковые автомобили на водородных топливных ячейках: Hyundai ix35 Fuel Cell стоит \$53 тыс., Toyota Mirai – \$57 тыс., а Honda Clarity – \$59 тыс.

Все чаще водород используют в автономных источниках электроэнергии мощностью от одного до нескольких тысяч кВт. Портативные приборы и аккумуляторы, резервные генераторы, системы энергообеспечения собственных нужд различных энергоустановок, робототехника, беспилотные аппараты, энергетические установки, генераторы для постоянного снабжения теплом и электричеством частных домов – все это потенциальные потребители водорода.

Водородные заправки уже работают в США, Японии, Китае и некоторых странах Евросоюза.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		19

Развитием водородной заправочной инфраструктуры занимаются такие европейские компании, как Air Liquide, Air products, Danish Hydrogen Fuel, H2 Logic, Hydrogen Link, Hydrogen Sweden, Icelandic New Energy, Linde, McPhy.

Для тотального перехода на водород потребуются не только энергоресурсы для его производства, но и развитая инфраструктура для его транспортировки и хранения – трубопроводы, железнодорожные цистерны, морские танкеры, резервуары, автозаправки. Одна из главных причин несколько настороженного отношения общества к водородной революции заключается в том, что водород очень летуч и взрывоопасен. Там, где будет храниться, транспортироваться или использоваться водород, необходимо наличие высокочувствительных газоанализаторов, которые просигналят о малейшей утечке. Правда, сторонники активного использования водорода утверждают, что опасность преувеличена. В отличие от тяжелых газов типа метана, утекший из баллона легкий водород мгновенно поднимается вверх и развеивается. В пример приводят историю катастрофы дирижабля «Гинденбург», в котором вспыхнувший водород горел всего 32 секунды, что позволило 62 из 97 пассажиров не сгинуть в огне и выжить. Но в любом случае присутствие на улицах большого количества транспортных средств, в которых под давлением находится взрывоопасный газ, потребует нового уровня безопасности движения.

В мире сейчас активно разрабатываются танкеры, авто- и ж/д цистерны, предназначенные для доставки водорода. Появляются новые распределительные системы, автозаправки, водородные баллоны высокого давления. К сожалению, в России в эти разработки не вкладываются настолько большие ресурсы.

Еще в годы Великой Отечественной войны в СССР появился первый автомобиль на водороде, им была легендарная полуторка – ГАЗ-АА, такая необходимость была продиктована блокадным положением Ленинграда и соответственно катастрофической нехваткой топлива. Использовать водород в качестве горючего предложил техник-лейтенант войск противовоздушной обороны Б. Шелищ.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

Схема работы была предельно простой. Выработанный водород из матерчатого газгольдера объемом 125 м³ по дюймовому шлангу подводился к всасывающему коллектору двигателя «ГАЗ-АА» через технологическую пробку. Минуя карбюратор, газ поступал в рабочие цилиндры. Дозировка водорода и воздуха обеспечивалась дроссельной заслонкой или педалью акселератора

Однако не все получилось с первого раза. Методом проб и ошибок была выработана надежная рабочая конструкция. За свою изобретательность в боевых условиях Б. Шелищ был награжден орденом Красной Звезды, а двигатели боевых машин, которые использовались после войны в сельском хозяйстве, показали свою работоспособность.

Активные работы были начаты в 60-х годах XX века в научных и производственных учреждениях СССР. Они возглавлялись НАМИ, Институтом проблем машиностроения Украинской Академии наук, Волгоградским политехническим институтом (ВПИ) и другими организациями. Практическая реализация результатов этих исследований позволила создать конструкции автомобилей, использующих добавку водорода к бензовоздушным смесям. В 1979 году под научным руководством Шатрова Е.В. творческим коллективом работников НАМИ в составе Кузнецова В.М. Раменского А.Ю., Козлова Ю.А. был разработан и испытан опытный образец микроавтобуса РАФ, работающий на водороде и бензине.

В теоретических исследованиях серьезный вклад был внесен коллективом научных сотрудников ВПИ и коллективом Тольяттинского политехнического института.

Применение водорода в машиностроении потребовало изучения его теплофизических и моторных свойств. Такие исследования были описаны в кандидатской диссертации Ю. А. Трелина. Фрагменты его исследований, учитывающие свойства водорода как добавки к бензовоздушным смесям, показаны в таблице 1.1.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

Таблица 1.1 – Термохимические характеристики бензоводородных топливных композиций (БВТК)

Показатель	Процент (по массе) добавки водорода вБВТК					
	0	10	20	30	50	80
Эквивалентная углеводородная формула БВТК	C7,16H14	C7,16H25,1	C7,16H38,38	C7,16H56,8	C7,16H113,9	C7,16H199,34
Отношение C/H	0,511	0,285	0,184	0,125	0,063	0,036
L0, кмоль/кмоль	50,2	64,5	81,25	102,8	171,3	531,43
l0, кг/кг	14,835	16,835	18,83	20,825	24,813	30,791
Низшая теплота сгорания БВТК, МДж/кг	46,17	49,95	57,51	65,07	80,19	102,87
Теплота сгорания топливоздушной смеси с БВТК, МДж/кг	2,863	2,878	2,934	2,993	3,128	3,292

В 2006 – 2007 годах Национальной ассоциацией водородной энергетики на форумах в Москве и Санкт-Петербурге был представлен первый российский водородный автомобиль, оснащенный двигателем внутреннего сгорания и комбинированной энергоустановкой. Работа выполнена в тесном сотрудничестве с такими компаниями как: ОАО «АВЭКС», Московским энергетическим институтом МЭИ (ТУ), ЗАО Автокомбинат № 41, ООО «Аудит-Премьер».

В 2005 году «Норильский Никель» совместно с РАН основал инновационную компанию «Новые энергетические проекты» (НИК «НЭП»). В настоящее время научные программы НИК «НЭП» направлены на создание топливных элементов, разработку эффективных и дешевых технологий производства водорода, а также ведутся работы по созданию нормативной базы для создания в стране водородной энергетики и экономики.

Разработки в области водородной энергетики ведутся также в трех институтах Российской Академии Наук: в Институте нефтехимического синтеза им. А. В. Топчиева (ИНХС), в Институте проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов (ИПТМ), а также в Институте проблем химической физики (ИПХФ).

Предполагается, что на базе этих институтов и Ассоциации «Аспект» в России будет создано опытно-промышленное производство градиентно-пористых матричных структур для реализации портативных топливных элементов, не имеющих мировых аналогов. Таким образом, водородная программа в Российской Федерации находит поддержку не только со стороны правительственных структур в форме федеральных программ, но и со стороны коммерческих организация, осуществляющих венчурные вложения.

Безусловно, переход на новый энергоноситель сопряжен с различными сложностями и рисками, наличие которых требует серьезных дополнительных исследований. К основным недостаткам водорода, как моторного топлива, можно отнести:

- а) в природе водород находится в связанном состоянии и является не энергоресурсом (как нефть, уголь, газ и др.), а энергоносителем, т.е. для его получения необходимо использовать другие ресурсы и энергию;
- б) утечки водорода в закрытых или плохо вентилируемых помещениях могут быть опасны, т.к. увеличивается вероятность взрыва, сила которого значительно возрастает, если газ находится при высоком давлении, что так же справедливо и для углеводородных топлив;
- в) при дневном свете тушение водородного пламени осложняется тем, что его сложно заметить человеческим глазом;
- д) существует опасность, что массовое использование водорода при несоблюдении правил безопасности может привести и к негативным экологическим последствиям. Основными токсичными компонентами, образующимися при сгорании водорода в двигателе, являются оксиды азота;

ж) для обеспечения парка автомобилей достаточным количеством водорода и создания соответствующей инфраструктуры необходимы крупные инвестиции.

В настоящий момент существует наиболее перспективный путь использования водородного топлива, который заключается в использовании мелкодисперсной воды в дизельном топливе. Это топливо эмульгировать намного проще, нежели бензин и керосин. Оно менее требовательно к высоким реологическим характеристикам (вязкотекучим свойствам). Использование водотопливной эмульсии (ВТЭ) на транспорте не в полной мере исследовано, вызывает особый интерес и открывает реальные возможности для создания экологически чистых двигателей.

Исследование возможности использования водорода в качестве топлива для ДВС и дизельных двигателей, основывается на системе топливоподачи обеспечивающей растворение водорода в дизельном топливе, системе топливоподающей аппаратуры дизель-водородного двигателя, вихрекамерного дизеля. Первая обеспечивает равномерное насыщение дизельного топлива водородом в смесительной камере форсунки и впрыскивание водородом насыщенного топлива в цилиндр. Вторая система обеспечивает подачу водорода непосредственно в цилиндр через специально сконструированную дополнительную клапан-форсунку с электронным приводом, с воспламенением порции топлива, подаваемого через основную топливную систему дизеля.

Наиболее значительный вклад в разработку теоретических положений в исследовании вопроса применения водорода в качестве автомобильного топлива среди российских ученых внесли: А. Ю. Раменский, П. Б. Шелищ, С. И. Нефедкин, А. А. Рычаков, М. В. Старостин, А. И. Мищенко, А. Л. Гусев, Ю. П. Дедюченко, В. М. Кузнецов, А. В. Белогуб, В. Д. Савицкий, Г. Б. Талда, Е. В. Шатров.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		24

1.2 Анализ применения топливно-водородных смесей для повышения эффективности рабочего процесса бензиновых двигателей и методика исследований

Согласно прогнозам, мировые ресурсы нефти ограничены, например, для стран Европы, включая Российскую Федерацию, – двумя – тремя десятками лет. Запасов природного газа в указанных странах (при современном уровне его потребления) предположительно должно хватить примерно на 60 лет [23].

Современный уровень техники предлагает множество путей перевода существующих поршневых двигателей на другое топливо: с использованием штатных приборов приготовления смеси (карбюраторные системы), с использованием дополнительных приборов приготовления смеси (смеситель-испаритель, дополнительные форсунки), разработка и установка многотопливных систем питания.

Основные параметры рабочего процесса определяются свойствами топлива – скоростью горения, склонностью к детонации, низшей теплотой сгорания, а также зависят от способа приготовления горючей смеси. Уменьшение удельного эффективного расхода топлива может быть достигнуто модернизацией системы питания и изменением свойств рабочего тела.

При переводе системы питания на работу на водороде можно применить следующую классификацию технических решений:

- а) по конструкциям – создание новой оригинальной конструкции двигателя, ориентированного на применение чистого водорода в качестве топлива или присадки к другому топливу, либо разработка переходной модели двигателя с использованием стандартных деталей;
- б) по способам организации рабочего процесса – внешнее образование топливоводородной горючей смеси либо непосредственный впрыск или образование водорода в цилиндре двигателя;

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

в) по технологиям перевода двигателя на работу с добавкой водорода – сохранение базовой конструкции двигателя с применением дополнительных узлов и систем, например, применение бортовых систем накопления водорода (с использованием сплавов накопителей, криогенных систем, баллонов со сжатым или сжиженным водородом), использование бортовых генераторов водорода (электролиз, химические генераторы, термическое разложение) или технологически новая разработка и перерасчет характерных точек термодинамического цикла [6].

Применение водорода в качестве автомобильного топлива активно изучалось и научными учреждениями СССР. Так, в Волгоградском политехническом институте были проведены ряд исследований, которые подтверждают, что топливные смеси, включающие бензин, воздух, водород, имеют моторные свойства, определяемые соотношением содержания в них углерода и водорода. С уменьшением отношения С/Н расширяются концентрационные пределы горения смеси и растет скорость сгорания. Наибольшее влияние содержания водорода на моторные свойства проявляется при малых нагрузках и режиме холостого хода. В частности, это приводит к сокращению продолжительности первой фазы сгорания в двигателях с внешним смесеобразованием. Чем больше содержание водорода в смеси, тем быстрее протекает первая фаза сгорания.

Проверка этого предположения проводилась на четырехтактном одноцилиндровом карбюраторном двигатели воздушного охлаждения со степенью сжатия $\varepsilon = 4$. Такая степень сжатия обеспечивала достаточно высокую стабильность пробивных напряжений и энергии искры как при работе на бензовоздушных смесях, так и при добавках водорода. Расход водорода фиксировался при помощи протарированной мерной диафрагмы, расход воздуха – разработанным в ВПИ устройством, топлива – объемным способом. Индицирование двигателя проводилось с помощью тензодатчика давления.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

На рисунке 1.4 приведены кривые изменения продолжительности первой фазы сгорания τ_1 при угле открытия дроссельной заслонки $\varphi_{др} = 15\%$ и разной частоты вращения вала двигателя. Коэффициент избытка воздуха находился в пределах $0,8 \div 1,0$. Меньшие значения α относятся к работе двигателя без добавок водорода. При подаче водорода соответственно уменьшалось количество бензина в смеси. Как видно, добавка водорода при неизменной энергии искры вызвала сокращение длительности первой фазы сгорания τ_1 в $2 \div 2,5$ раза (большие величины отвечают меньшей частоте вращения вала двигателя)

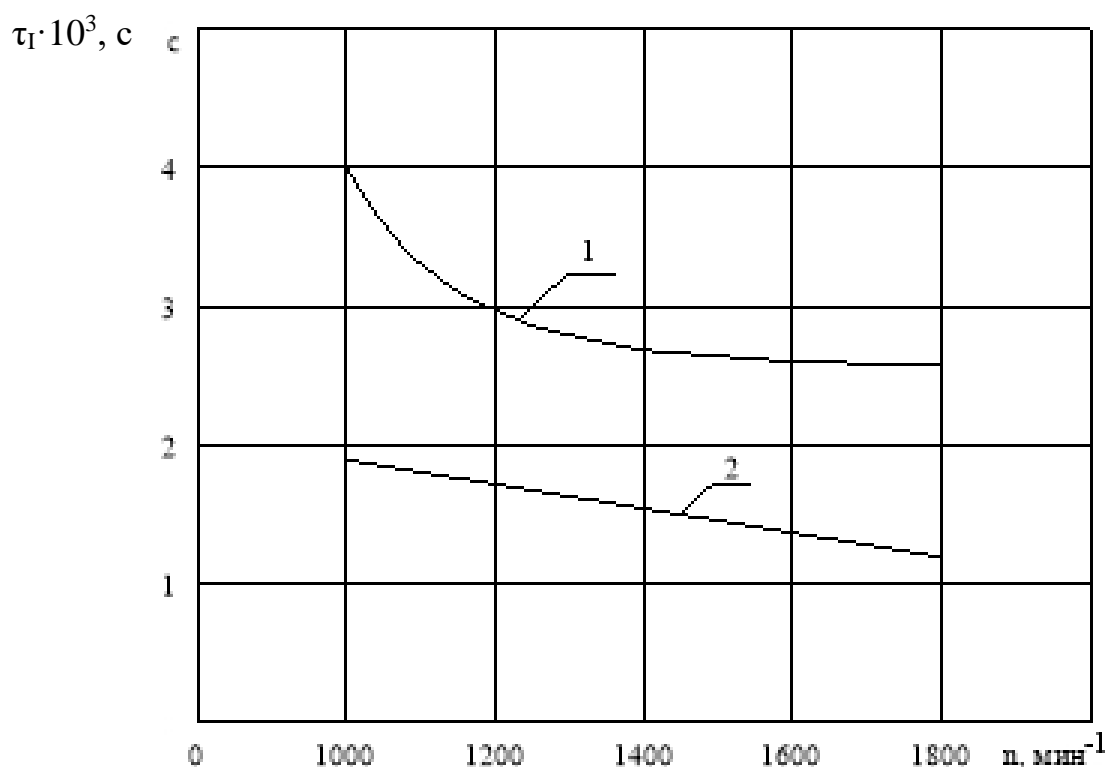


Рисунок 1.4 – Зависимость продолжения первой фазы сгорания от частоты вращения коленчатого вала при $\varphi_{др} = 15\%$: 1 – бензовоздушная смесь; 2 – бензовоздушная смесь с добавками водорода.

Это сокращение τ_1 объясняется ростом активных центров при добавлении в смесь водорода, атомы которого обладают высокой активностью.

Сокращение τ_1 приводит к повышению цикловой стабильности воспламенения, что, в свою очередь, позволяет повысить предел эффективного обеднения смеси и работать ДВС на бедных смесях, т. е. с большим КПД. Влияние водорода тем значительнее, чем беднее основная бензовоздушная смесь (рисунок 1.5).

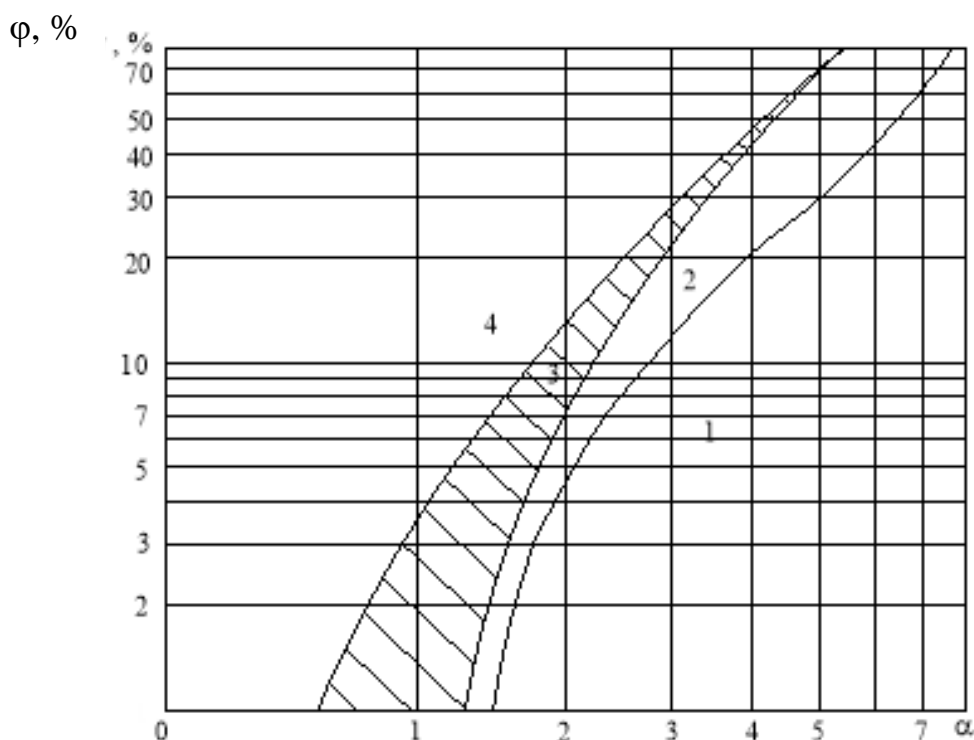


Рисунок 1.5 – Пределы обеднения бензовоздушных смесей: 1 – теоретический; 2 – экспериментальные по пределу воспламенения; 3 – область высокой эмиссии C_nH_m ; 4 – экспериментальный по минимуму эмиссии C_nH_m

Как показали эксперименты В. З. Гибадуллина форсирование воспламенения имеет место и при локальном обогащении бензовоздушной смеси в области межэлектродных зазоров свечей зажигания как в поршневых, так и в роторно-поршневых двигателях. Позитивное влияние на воспламенение локального обогащения ТВС водородом оказывает замена в ТВС бензина на метан, имеющим меньшую скорость сгорания.

Это подтвердили опыты, проведенные с локальной подачей водорода в область межэлектродного зазора при использовании в качестве топлива метана и пропана.

Исследования, проведенные учеными АвтоВАЗа, подтвердили, что обогащение метановоздушной смеси водородом не только ускоряет процесс воспламенения, но и заметно повышает топливную экономичность двигателя. Этот результат очень важен при замене питания ДВС метаном вместо бензина.

Проведенные позднее в Тольяттинском и Волгоградском технических университетах исследования показали, что влияние добавок водорода в смесь проявляется по-разному на разных стадиях процесса сгорания в ДВС: оно больше на стадии воспламенения и догорания. Влияние этих добавок на основную стадию турбулентного сгорания требует уточнения роли, которую играют на этой стадии параметры турбулентности. На стадии догорания добавка в смесь водорода заметно ускоряет процесс догорания и его полноту, обеспечивая улучшение энергоэкологических показателей двигателя.

В работе было установлено, что с ростом добавок водорода и увеличением скорости сгорания повышается эффективность преобразования теплоты в работу. Эта эффективность оценивалась в доле теплоты, выделившейся в характерных точках цикла двигателя: ВМТ – $X_{ВМТ}$; максимального давления цикла P_z – X_{Pz} ; максимальной температуры T_z – X_{Tz} . Отмечено, что наибольшее влияние добавки водорода в смесь оказывают на $X_{ВМТ}$, что благотворно сказывается на топливной экономичности двигателя. В работе с использованием методов математической статистики было показано, что токсичность отработавших газов двигателя с искровым зажиганием, работающего на бензоводородовоздушных смесях определяется совокупным влиянием доли водорода в смеси, частоты вращения вала двигателя, расхода бензина, угла опережения зажигания, межэлектродного зазора в свече зажигания.

Для получения оптимальных характеристик двигателя приготовленная горючая смесь должна отвечать двум основным требованиям: сгорать быстро и

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		29

полностью. Поступающую в двигатель топливо-водородную горючую смесь можно представить условным топливом и в упрощенных расчетах рассматривать обобщенные свойства этого условного топлива.

При расчетах и проектировании двигателя необходимо стремиться к наилучшим эффективным показателям важнейшими из которых являются крутящий момент и удельный эффективный расход топлива. Для достижения наилучших показателей эффективности, двигатель следует рассматривать как систему «источник теплоты – устройство преобразования теплоты в работу», учитывая при этом требования конструктивных особенностей к характеру протекания рабочего процесса.

В качестве критерия оценки соответствия характера протекания рабочего процесса конструктивным особенностям кривошипно-шатунного механизма (КШМ) можно взять отношение тангенциальной силы « T » к силе давления газов в цилиндре « P_2 ».

$$K_{эф} = \frac{T}{P_2} \quad (1.6)$$

На рисунке 1.7 показано изменение эффективности двигателя по критерию « $K_{эф}$ » в зависимости от угла поворота коленчатого вала, а также изменение плеча кривошипа коленчатого вала « R » в относительных единицах. Из графиков следует, что из-за конструктивных особенностей КШМ стремление получить максимальное давление цикла в верхней мертвой точке (ВМТ) не имеет практической ценности, кроме того, приводит к ограничению степени сжатия и увеличению удельного эффективного расхода топлива вследствие возникновения детонаций. При применении топливо-водородной смеси благодаря физико-химическим свойствам водорода отпадает необходимость в большом угле опережения зажигания, так как H_2 сгорает очень быстро, выделяя достаточное количество теплоты, чтобы обеспечить полноту сгорания основного бензовоздушного заряда. Видимый процесс сгорания завершается при 20 – 25 ° поворота коленчатого вала.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		30

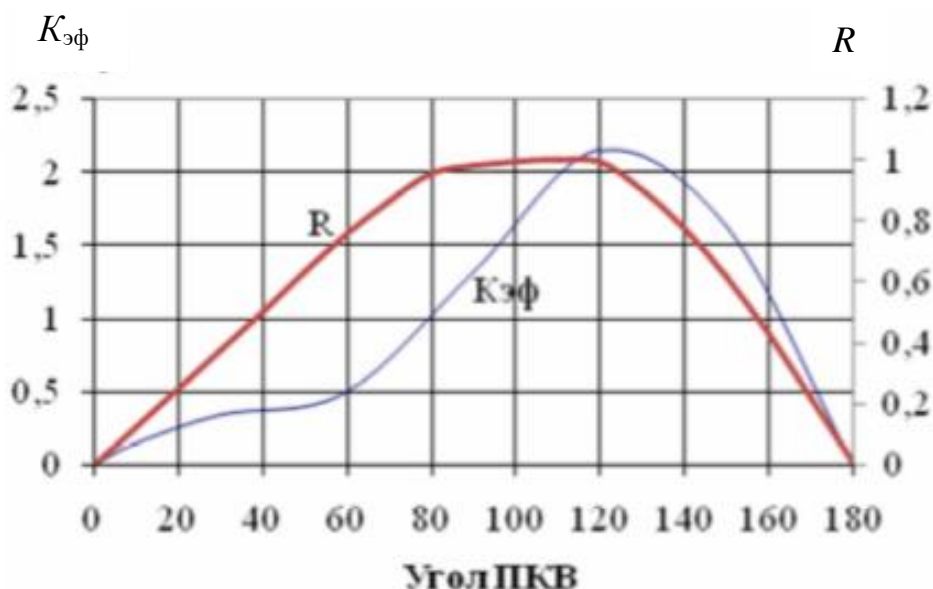


Рисунок 1.7 – Эффективность цикла бензинового ДВС

При этом рабочие параметры системы питания должны обеспечивать подачу нужного количества добавочного водорода для обеспечения максимально эффективного рабочего цикла. К рабочим параметрам системы питания можно отнести качество приготовления горючей смеси (гомогенность), соответствие ее количества нагрузочно-скоростному режиму работы двигателя, равномерность состава смеси. При применении топливо-водородных смесей качественный состав смеси сдвигается в сторону обедненных и бедных смесей, благодаря свойствам водорода происходит более полное сгорание, а также снижение токсичности отработавших газов.

Применение водорода в качестве моторного топлива позволяет также повысить КПД и топливную экономичность двигателя с искровым зажиганием за счет более совершенного протекания рабочего процесса. Благодаря экстремально широким пределам обеднения и повышенной скорости сгорания водорода (и водородсодержащих топлив) двигатель может устойчиво работать на очень бедных смесях, в том числе с качественным регулированием нагрузки.

В целом за счет более быстрого сгорания и качественного регулирования можно повысить индикаторный КПД двигателя до 52%, существенно улучшить топливную экономичность.

Проблемы использования водородсодержащего топлива, связанные с организацией рабочего процесса:

- а) детонация является наиболее критическим явлением аномального сгорания. Когда пламя распространяется по камере сгорания и несгоревшая смесь перед пламенем, называемая энд-газом, сжимается, что вызывает повышение его температуры, давления и химической активности, в связи с чем возникает, по-видимому, двух-стадийный термокинетический процесс, в котором относительно медленные холодно-пламенные реакции завершаются быстрым самовоспламенением. При этом происходит экстремально быстрое (взрывное) выделение большей части энергии содержащейся в энд-газе, ведущее к локальному повышению давления, которое возбуждает распространение волн давления по камере сгорания с частотами, совпадающими с частотами собственных колебаний камеры (5 – 10 кГц);
- б) калильное (поверхностное) зажигание, т.е. воспламенение топливовоздушной смеси перегретыми клапаном или свечей зажигания, раскаленным нагаром или другими горячими частями камеры сгорания, любым способом за исключением обычного искрового разряда. Любой процесс, который приводит к опережению начала сгорания по сравнению с оптимальным углом опережения зажигания (обеспечивающим максимальный крутящий момент), будет приводить к повышенному отводу тепла из-за увеличения давления и температуры сгоревшего газа;
- в) обратные вспышки. При разработке водородных двигателей с внешним смесеобразованием, наиболее часто упоминаемой проблемой являются обратные вспышки.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

В лучшем случае, они вызывают резкий хлопок и остановку двигателя из-за взрывного сгорания смеси во впускной системе до завершения наполнения и совершения полезной работы, в худшем случае – приводят к разрушению впускной системы. Влияние степени сжатия на возникновение обратной вспышки неоднозначно. С одной стороны, уменьшение степени сжатия увеличивает противодействие обратной вспышке благодаря понижению температуры камеры сгорания, с другой – увеличение степени сжатия ведет к росту отношения площади камеры сгорания к ее объему, увеличивая теплоотдачу и охлаждая остаточные газы. Кроме того, увеличение степени сжатия уменьшает количество остаточных газов. По-видимому, существует оптимальная степень сжатия, которая обеспечивает повышение мощности и КПД.

Последующие работы, в том числе проведенные на АвтоВАЗе, показали, что положительное влияние на показатели ДВС дает подача в бензовоздушную смесь не чистого водорода, а газовой смеси с большой концентрацией водорода. В качестве такой смеси сейчас рассматривается синтез-газ, представляющий собой промежуточный продукт переработки углеводородного горючего (бензина, метана, метанола и т. п.). Синтез-газ в основном, смесь водорода и оксида углерода СО.

1.3 Способы получения водорода и анализ генераторов водорода

Промышленное производство водорода – неотъемлемая часть водородной энергетики, первое звено в жизненном цикле употребления водорода. Водород практически не встречается в природе в чистой форме и должен извлекаться из других соединений с помощью различных химических методов.

Именно разнообразие способов получения водорода стало одним из главных преимуществ водородной энергетики, потому что это повышает энергетическую безопасность и снижает зависимость от отдельных видов сырья.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		33

Для получения водорода на данный момент существует множество различных вариантов из ряда известных источников, они представлены на рисунке 1.8:

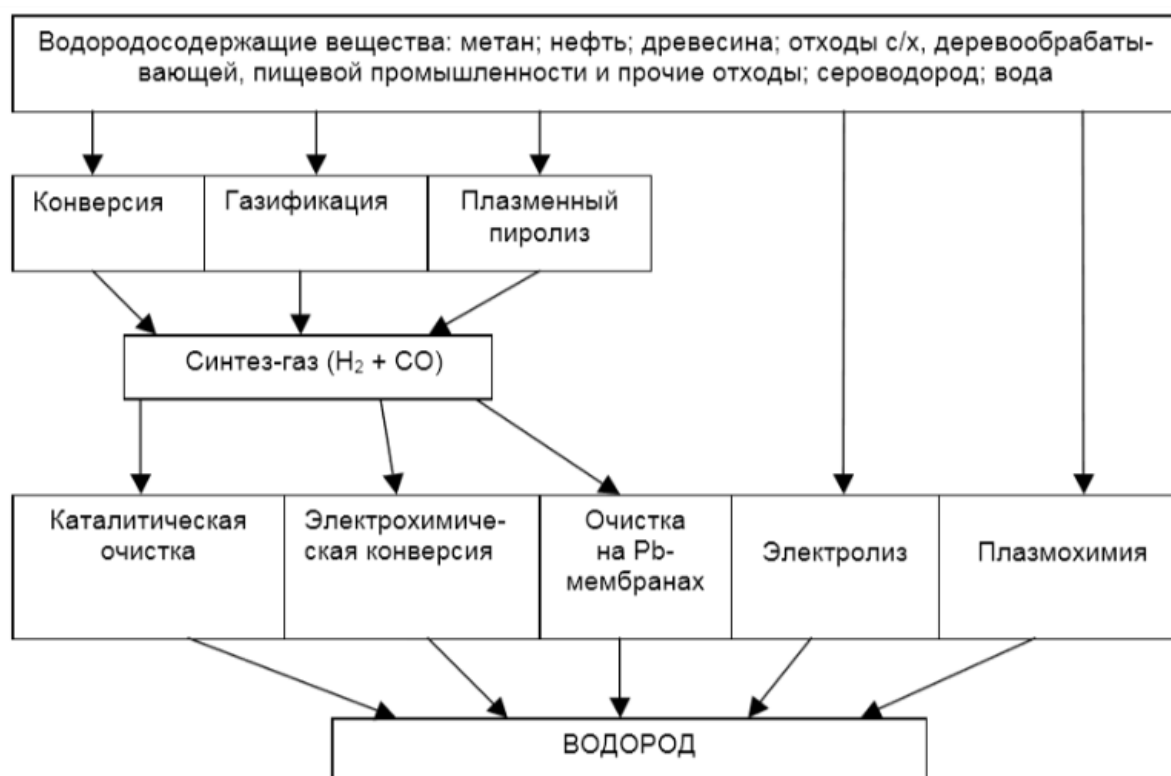


Рисунок 1.8 – Возможные источники и пути получения водорода

Конверсия природного газа. В настоящее время крупнотоннажное производство водорода и водородосодержащих продуктов осуществляется в мире в основном путем паровой конверсии метана, являющегося основным компонентом природного газа и содержащего 25 % водорода. Чтобы отделить водород от углеродной основы в метане, требуются пар и тепловая энергия при температурах 750 – 850°C, что и происходит в химических паровых реформерах на каталитических поверхностях.

Первый шаг реакции расщепляет метан и водяной пар на водород и монооксид углерода (синтез-газ):



Выход водорода увеличивается благодаря дополнительной реакции CO с водой при пониженных температурах в присутствии катализаторов. «Реакция сдвига» превращает монооксид углерода и воду в диоксид углерода и водород:



Эта реакция происходит при температурах 200 – 250°С.

При осуществлении указанных реакций может быть извлечено около 96 % водорода, а необходимая теплота процесса получается при сжигании части природного газа. Производительность подобных установок достигает 4 – 12 тыс. м³ водорода в час.

В том случае, если требуется получать особо чистый водород, установка дополняется секцией адсорбционного разделения конвертированного газа. В отличие от предыдущей схемы конверсия CO здесь одноступенчатая. Газовая смесь, содержащая H₂, CO₂, CH₄, H₂O и небольшое количество CO, охлаждается для удаления воды и направляется в адсорбционные аппараты, заполненные цеолитами. Все примеси адсорбируются в одну ступень при температуре окружающей среды. В результате получают водород со степенью чистоты 99,99%. Давление получаемого водорода составляет 1,5 – 2,0 МПа.

С целью экономии природного газа и снижения загрязнения окружающей среды продуктами его сгорания, в России, США и Японии проводились и продолжают проводиться разработки технологии паровой конверсии метана с подводом тепла от высокотемпературного гелиевого реактора (ВТГР). Высокотемпературные реакторы с гелиевым теплоносителем способны вырабатывать тепло с температурой около 1000°С, которое может быть использовано для производства электроэнергии с высоким КПД в прямом газотурбинном цикле и для снабжения высокотемпературным теплом и электричеством процессов производства водорода, технологических процессов химической, нефтеперерабатывающей, металлургической и других отраслей

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						35
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

промышленности и опреснения воды. Такой комплекс состоит из ядерной части, вырабатывающей синтез-газ, который транспортируется к технологической части производства, где применяется для выработки конечной продукции.

Возможно использование и жидкометаллических быстрых реакторов. Например, действующий российский реактор БН-600 имеет параметры пара на выходе из РБН (13,2 МПа и 500°C), близкие к тем, которые требуются для конверсии метана.

Для достижения полного соответствия температуры пара рабочей температуре 850°C предлагается осуществить дополнительный нагрев парогазовой смеси сжиганием части подводимого к реформеру природного газа.

В дальнейшей перспективе, в случае создания высокотемпературных (800 – 850°C) быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем, доля сжигаемого углеродного топлива может быть сокращена или полностью замещена атомным теплом.

В РНЦ «Курчатовский институт» выполнены исследования плазменной конверсии метана в синтез-газ. Эта технология может быть применена на заправочных станциях или на борту водородных автомобилей при использовании обычного жидкого или газообразного топлива.

В настоящее время паровая конверсия метана является наиболее рентабельным способом производства водорода.

В последние годы особое внимание обращают еще на один важный природный источник метана – Мировой океан. Когда метан, поднимаясь из недр земли, встречается с водой, просочившейся сквозь трещины земной коры, он сразу остывает. При этом образуется вещество, похожее на лед, гидрат метана. Это горючее вещество, его запасы превышают запасы нефти, угля и природного газа, вместе взятые. В условиях истощения запасов привычных видов топлива оно может сыграть весьма положительную роль в энергетике, но его использование может привести к изменению климата.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		36

Хранилища метангидрата не только труднодоступны, но и таят опасность неконтролируемого внезапного выхода метана на поверхность океана в случае нарушения сохраняющегося в них равновесия внешних и внутренних параметров. Такой риск существует даже в условиях естественно протекающих природных процессов и возрастает в связи глобальным потеплением.

Газификация угля. Газификация – процесс высокотемпературного взаимодействия горючих ископаемых, в рассматриваемом случае – угля, с парами воды, кислородом, диоксидом углерода или их смесями, с целью получения горючих газов: H_2 , CO , CH_4 . Они могут использоваться как топливо и как сырье для химической промышленности. Газифицироваться могут практически все виды газообразных, жидких и твердых топлив. Выбор сырья для процесса обычно бывает обусловлен экономическими соображениями, а иногда – направлением дальнейшей переработки образующейся газовой смеси.

В настоящее время распространен способ производства водорода из водяного и паровоздушного газов, получаемых газификацией угля. Процесс основан на конверсии окиси углерода. Водяной газ содержит до 50 % H_2 и 40 % CO ; в паровоздушном газе, кроме H_2 и CO , имеется значительное количество N_2 , который используется вместе с получаемым водородом для синтеза NH_3 . Из коксового газа водород выделяют путем удаления остальных компонентов газовой смеси, сжижаемых более легко, чем водород, при глубоком охлаждении [29].

Получение водорода из аммиака. Реакция термokatалитической диссоциации аммиака имеет вид:



Эта реакция характеризуется достаточно высоким выходом водорода (примерно 17,6 %) на один килограмм аммиака. Массовое содержание водорода в единице объема жидкого аммиака в 1,5 раза превышает плотность жидкого водорода.

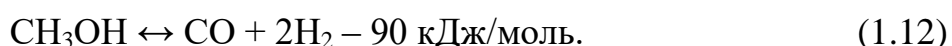
					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		37

Разложение аммиака начинается при температуре 270°C, а при температуре 900°C он практически полностью диссоциирует.

В установках для получения водорода диссоциацией аммиака применяют катализаторы на основе окислов железа, и процесс проводят при температуре 600 – 700°C.

В результате диссоциации получается газовая смесь с объемным содержанием 75 % H₂ и 25 % N₂ при атмосферном давлении. Энергозатраты на реакцию составляют 25 – 27 % от низшей теплоты сгорания получаемого водорода.

Получение водорода из метанола. Эндотермическая реакция разложения метанола происходит с использованием гетерогенного катализатора при температуре, лежащей в диапазоне 500 – 700°C, и описывается уравнением:



Удельный выход водорода по этой реакции – 0,125 кг/кг CH₃OH. Поскольку плотность метанола достигает приблизительно 700 кг/м³, объемный выход водорода будет составлять 87 кг/м.

Для получения водорода из метанола может использоваться процесс паровой конверсии:



Обычно для процесса паровой конверсии применяют цинк-хромовый катализатор. Процесс протекает при 573 – 673 К. Метанол можно использовать как горючее для процессов конверсии. В этом случае КПД процесса получения водорода составляет 65 – 70 % (отношение теплоты полученного водорода к теплоте сгорания затраченного метанола); если теплота для процесса получения водорода подводится извне, то теплота сгорания водорода, полученного методом каталитического разложения, на 22 %, а водорода, полученного методом паровой

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38

конверсии, на 15 % превосходят теплоту сгорания затраченного метанола.

К сказанному следует добавить, что при создании энерготехнологической схемы с использованием отходящего тепла и применением водорода, полученного из метанола, можно получить КПД процесса более высокий, чем при использовании указанных продуктов как синтетических жидких горючих.

Так, при прямом сжигании метанола в газотурбинной установке КПД составляет 35 %, при проведении же за счет тепла отходящих газов испарения и каталитической конверсии метанола и сжигании смеси $\text{CO} + \text{H}_2$ КПД возрастает до 41,30 %, а при проведении паровой конверсии и сжигании полученного водорода – до 41,9 %.

Главным недостатком использования метанола как источника водорода является токсичность метанола.

Получение водорода из воды путем ее разложения гидрореагирующими металлами. При взаимодействии гидрореагирующих металлов с водой выделяется водород. Выход водорода в этих реакциях достаточно велик, и использование некоторых металлов может представлять практический интерес. Тип реакции зависит от количества воды, а оно, в свою очередь, – от рабочих параметров реактора (избытка воды по сравнению со стехиометрическим коэффициентом, давления, температуры).

Термохимическое разложение воды. Разложение воды только за счет теплоты без использования работы предполагает проведение процесса при очень высоких температурах (выше 3000°C). Однако при связывании воды в некотором промежуточном состоянии с выделением кислорода и с дальнейшим термическим разложением удается понизить температуру данного процесса.

На этом и основаны термохимические способы получения водорода, заключающиеся в последовательном проведении нескольких химических реакций, одним из конечных продуктов которых является водород. Многостадийность процесса затрудняет его крупномасштабное промышленное осуществление.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

Достоинство его в том, что не требуется электроэнергии и осуществляется он при относительно невысоких температурах. Кроме того, все промежуточные реагенты в таких циклах, за исключением воды, регенерируются за счет потребляемого тепла, что удешевляет водородное топливо.

Интерес к использованию термохимических циклов объясняется перспективой получения достаточно высоких КПД (50 – 60 %) в результате прямого использования теплоты высокотемпературного ядерного реактора, минуя стадию преобразования теплоты в электричество.

Однако для успешной реализации термохимического разложения воды требуются дополнительные исследования в области материаловедения, поскольку в настоящее время эта проблема окончательно еще не решена.

Пиролиз биомассы. Процесс пиролиза может использоваться для производства водорода из биомассы, но предварительно биомасса должна быть обработана высокой температурой и давлением. Эти процедуры расщепляют и частично окисляют биомассу, которая далее очищается. Полный процесс подобен газификации угля, но, тем не менее, требует предварительной обработки. Для получения водорода также используются биологические организмы, производящие водород. Основными являются морские водоросли и бактерии. Морские водоросли используют обратимый фермент гидрогенес, чтобы произвести водород от протонов в анаэробных условиях.

Плазменная конверсия углеводородов. В российском научном центре «Курчатовский институт» выполнены исследования плазменной конверсии природного углеводородного топлива (метана, керосина в синтез-газ). Эта технология может быть применена на заправочных станциях или на борту водородных автомобилей при использовании обычного жидкого топлива. Разработаны также плазмохимические методы получения водорода с помощью высокочастотных и сверхвысокочастотных технологий с использованием в качестве сырья химических соединений, в которых водород находится в слабосвязанном состоянии, например сероводорода.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

Электролиз воды. Разложение воды с образованием газообразного водорода и кислорода при пропускании через воду электрического тока впервые было осуществлено немецким физиком (химиком) И. В. Риттером в 1800 г. При этом виде генерации, вода разлагается на кислород и водород под действием электрического тока (рисунок 1.14). Электролиз позволяет получать газ чистой до 99,9% и может быть экономически выгоден при невысокой стоимости электроэнергии.

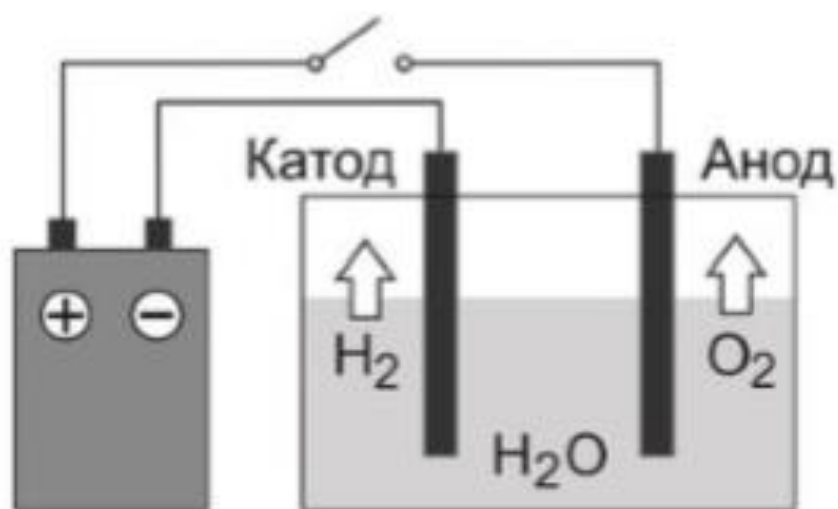
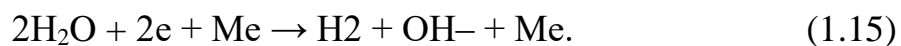


Рисунок 1.14 – Принципиальная схема простейшего электролизёра

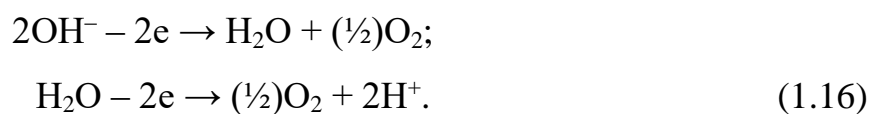
Из-за низкой удельной электропроводности чистой воды ее прямой электролиз неэффективен, поэтому на практике обычно применяется водный раствор КОН. Эта щелочь обладает хорошей удельной электропроводностью, которая при нормальных температурах и концентрации 20 – 40 % достигает $0,3 - 0,5 \text{ Ом}\cdot\text{см}^{-1}$, то есть в 10^7 раз больше, чем в случае с чистой водой.

В щелочном растворе концентрация ионов водорода невелика, в результате чего их недостаток у катода восполняется за счет диссоциации молекул воды или их прямого разряда с образованием атомов водорода и ионов OH^- с последующей рекомбинацией атомарного водорода в молекулы:



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Выделение на аноде кислорода происходит в результате разряда гидроксильных ионов или молекул воды по реакциям:



Основными переносчиками тока в КОН являются положительные ионы K^+ и гидроксильные ионы OH^- .

Из различных методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, который позволяет производить водород с полезным использованием затрачиваемой электрической энергии примерно 70%. При дальнейшем усовершенствовании процесса теоретически возможно увеличение этого показателя до 80%, а при высокотемпературном электролизе и до 80 – 90%. В настоящее время существуют три способа реализации электролизной технологии производства водорода, отличающиеся типом используемого электролита и условиями проведения электролиза (щёлочной электролиз, с твердым полимерным электролитом (ТПЭ), с твердым оксидным электролитом).

В последнее время при электролизе воды стали активно применяться твердые электролиты на основе ионообменных мембран, в которых электропроводность обеспечивается ионами водорода или кислорода. Такой метод разложения воды называется электролизом воды с твердополимерным электролитом и имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с традиционным электролизом воды.

Электролиз воды с использованием твердополимерного электролита (ТПЭ) является одним из наиболее перспективных методов, как для промышленного крупномасштабного получения водорода, так и для решения широкого ряда специальных задач.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		42

К достоинствам этого метода можно отнести:

- а) небольшое расстояние между электродами (толщина ионообменной полимерной мембраны 50 – 300 мкм);
- б) довольно низкое удельное сопротивление электролита ($4 - 20 \text{ Ом}\cdot\text{см}^{-1}$);
- в) исключение дополнительных сепараторов газов;
- д) получение ценных отходов – кислорода и тяжелой воды;
- ж) простота и непрерывность технологического процесса, возможность автоматизации, отсутствие подвижных частей в электролизёре;
- к) высокая чистота продукта до 99.9%.

В России существуют патенты на электролизёры воды. Так, например можно назвать патент РФ № 2044151 «Способ получения кислородно-водородной газовой смеси и устройство для его осуществления» (рисунок 1.17).

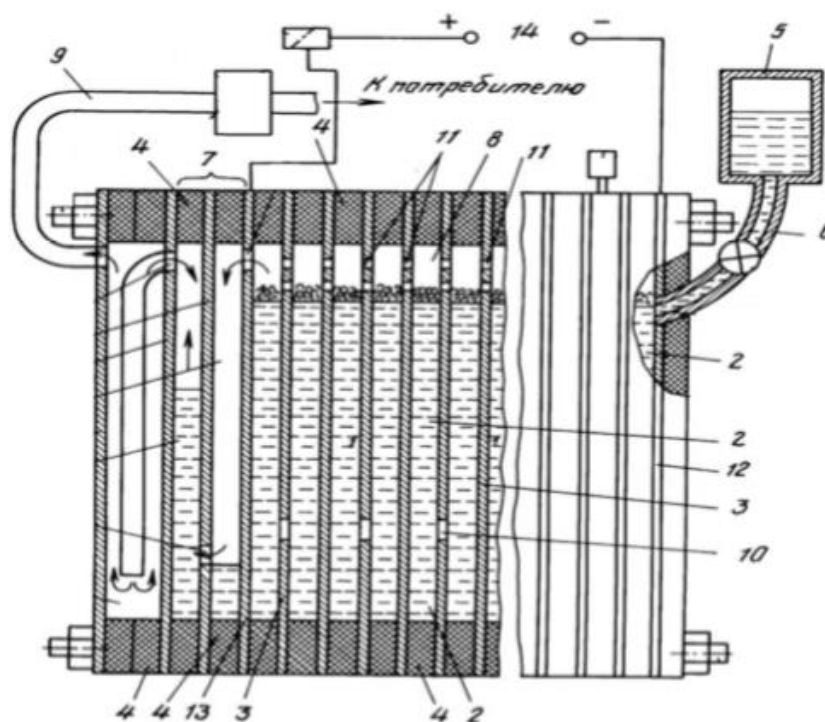


Рисунок 1.17 – Электролизёр воды по патенту РФ № 2044151

1 – электролит; 2 – электролизная ячейка; 3 – электрод; 4 – прокладка; 5 – напорная ёмкость; 6 – патрубок подпитки воды; 7 – гидрозатвор, 8 – газовый канал; 9 – потрубок потребителя; 10,11 – циркуляционные отверстия; 12,13 – основные электроды; 14 – источник тока.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Изобретение относится к объектам для генерации горючего газа с целью использования его, например, в комбинированной системе питания двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автомобиля, для различных работ в быту и производственных условиях с применением пламени горелки: при ремонте автомобиля, пайке микроэлементов, световодов, закалке деталей и пр.

Сущность изобретения: в качестве электролита применяют водный раствор NaOH концентрацией в пределах 17,5 – 25,5% расстояние между соседними электродами задают в интервале 3 – 5 мм, разность потенциалов между соседними электродами обеспечивают от 1,85 до 2,15 В, плотность тока на электродах не превышает 0,03 А/см, причем число электролизных ячеек в пакете учитывается при расчете схемы выпрямительного блока питания.

Устройство содержит группу заполненных электролитом электролизных ячеек, образованных вертикально расположенными электродами и изоляционными герметизирующими прокладками в виде рамок, расположенную выше этих ячеек напорную емкость с патрубком для подвода электролита, гидрозатвор и патрубок для подвода газовой смеси к потребителю, при этом все электроды, кроме крайних, снабжены нижними и верхними отверстиями соответственно для подвода электролита в электролизные ячейки и для образования газового канала, а к крайним электродам подведено напряжение от выпрямительного блока питания.

Цель изобретения повышение производительности, надежности, долговечности, уменьшение стоимости, веса и габаритов электролизера, а также повышение КПД ДВС в случае установки его (электролизера) на автомобиле [26].

Центробежный электролизёр воды по патенту РФ № 2015395. Изобретение относится к центробежным электролизерам, применяемым для электролиза воды, обеспечивающим питание водородным топливом транспортных двигателей, кораблей и лодок, железнодорожных, автомобильных и тракторных двигателей, а также специальной техники в химической промышленности и авиации.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						44
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Сущность изобретения: центробежный электролизер содержит корпус цилиндрической формы, монополярные электроды, коллекторы ввода и вывода продукта, закрепленные металлическими кольцами и снабженные сквозными прорезями для сообщения электродов в корпусе электролизера-маховика, трансформатор и выпрямитель (рисунок 1.18):

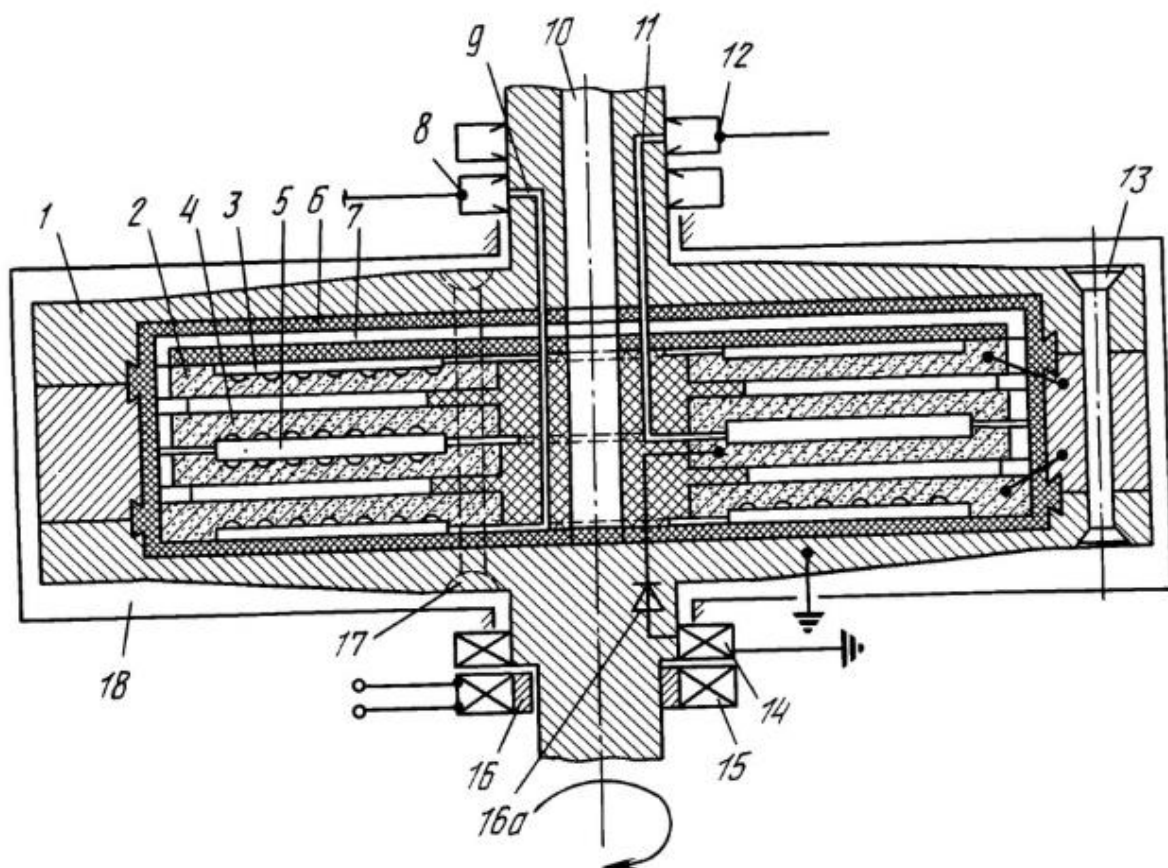


Рисунок 1.18 – Центробежный электролизёр

1 – корпус, 2,3 – пористый с противоположным знаком электрод с камерой накопления кислорода и каналами, 4,5 – положительный пористый электрод с камерой и каналами, 6 – изоляционная пластина, 7 – питающий канал, 8 – кислородный коллектор, 9 – выходной канал, 10 – полый вал электролиза, 11 – выходной канал водорода, 12 – коллектор с уплотнителем, 13 – сборная заклепка, 14 – вторичная обмотка, 15 – первичная обмотка, 16 – круглый стрежень, 16а – выпрямитель, 17 – сборная заклепка в центральной части, 18 – кожух электролизёра.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Недостатками электролизера являются сложность монтажа и демонтажа, что связано с использованием в качестве стыкообразующих прокладок рамы эластичных материалов, которые при малых межэлектродных расстояниях и большом количестве электродов трудно установить в нужном положении, а при использовании прокладок из твердого материала наличие щелей между прокладками и электродами приводит к значительной утечке тока, а также сравнительно малый срок службы, а в ряде случаев вообще невозможность применения, что связано с низкой коррозионной стойкостью в щелочных средах, широко используемых в прикладной электрохимии, в частности в данных конструкциях, анодных материалов: металлов, ОРТА (оксинорутениевотитановых анодов) и ряда других оксидов и карбидов металлов, рост удельных энергозатрат на получение целевых продуктов по мере работы электролизера, значительные потери напряжения в местах контактов при использовании в таких конструкциях в качестве анодного материала графита.

Целью изобретения является повышение КПД электролизера, эксплуатация приспособления на транспортных средствах как накопителя механической энергии с одновременным питанием ДВС дешевым водородным топливом и снижение энергозатрат.

Цель достигается тем, что электролизер выполнен в виде тороидального прямоугольного сечения тела вращения вокруг оси, представляющего собой инерционный маховик накопителя энергии, собранный из отдельных кольцеобразных пористых пластин на основе пенометалла, обладающих низким гидравлическим сопротивлением, повышенной пористостью, высокой прочностью на основе никеля, при этом камера пористой пластины сварена тонкой металлической перфорированной стальной фольгой с входными и выходными каналами. Вал электролизера выполнен полым и содержит питающий насос электролита воды. Вторичная обмотка тороидального трансформатора скреплена с маховиком, а первичная обмотка установлена на неподвижной части корпуса.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

С корпуса выведены каналы к коллектору с уплотнениями для отвода водорода и кислорода.

Предлагаемое устройство получения водорода и кислорода в эксплуатации безопасно, обеспечивает питанием ДВС. При пуске ДВС устройство потребляет малую долю углеводородного топлива. С увеличением давления водорода углеводородного топлива питание двигателя им отключается и он продолжает работать на водородном газе.

Применение центробежного электролизера с пористым электродом на основе никеля с открытой порой до 98%, низким гидравлическим сопротивлением, низкой плотностью (0,1 – 0,5 г/см³) в сочетании с высокой прочностью экономически выгодно (экономия топлива 80 – 90%) и не загрязняет окружающую среду вредными выхлопными газами.

Центробежный электролизер для получения кислорода и водорода используется как накопитель энергии, улучшает технические и экономические характеристики транспортных средств [27].

Выводы по разделу один

В настоящее время в мире существует большое количество видов топлива, и одним из перспективных является именно водородное топливо. Использование водорода в качестве энергоносителя позволит, как существенно сократить потребление ископаемых углеводородных топлив, так и значительно продвинется в решении экологической проблемы – снижения загрязнения атмосферы городов вредными для здоровья человека составляющими выхлопных газов.

Широкое внедрение водородного топлива пока сдерживается более высокой ценой водорода по сравнению с привычным жидким и газовым топливом, отсутствием необходимой инфраструктуры. Промежуточным решением могут стать смеси традиционного топлива с водородом.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47

К актуальным разработкам следует отнести разработку двигателей внутреннего сгорания полностью или частично (с добавкой к основному топливу) работающих на водородном топливе, синтезируемом на борту транспортного средства из альтернативных энергоносителей (метанол или метан) или хранящемся на нём в сжатом, либо жидком состоянии.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА АВТОНОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

2.1 Описание схемы системы электролизёра автономной генерации водородного топлива

Удорожание энергоносителей стимулирует поиск более эффективных и дешевых видов топлива, в том числе на бытовом уровне. Электролиз воды отличается от других методов получения водорода простотой технологической схемы, доступностью воды в качестве сырья, простотой обслуживания установок, высокой надежностью в эксплуатации. Это позволяет успешно применять данный метод в комплексе с использованием возобновляемых источников энергии (солнечной, ветровой и др.). Основным недостатком электрохимического метода получения водорода является его большая энергоёмкость. Поэтому для водородной энергетики перспективной и актуальной является разработка электрохимических технологий генерации водорода из воды с минимальными затратами электроэнергии.

Электролиз воды является наиболее перспективной технологией получения водорода в будущем, хотя в настоящее время из-за высокой стоимости доля этого метода в мировом производстве водорода не превышает 5%.

Водород является одним из наиболее энергоёмких топлив (1 кг H_2 = 4,1 кг условного топлива), его низшая теплотворная способность почти в 3 раза больше, чем у нефтяных моторных топлив и составляет 120 МДж/кг (10,8 МДж/м³). Однако из-за малого стехиометрического соотношения и низкой плотности водорода удельная теплота сгорания (количество теплоты выделяющейся при полном сгорании топлива массой 1 кг.) водородно-воздушной смеси стехиометрического состава будет ниже, чем топливовоздушных смесей традиционных топлив, что повлечет за собой снижение мощности поршневого двигателя при переходе на водородное топливо.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		49

Основные показатели двигателя, работающего на водородсодержащем топливе, существенно зависят от способа смесеобразования. Внутреннее смесеобразование обеспечивает лучшие энергетические показатели, полностью устраняет аномальное сгорание (обратные вспышки, калильное зажигание, детонацию) и имеет высокий потенциал для обеспечения низких выбросов NO_x , высокого индикаторного КПД.

Особенности рабочего процесса двигателей, работающих на водороде, определяются главным образом свойствами водородно-воздушной смеси, а именно: температурой и пределами воспламенения, скоростью распространения фронта пламени, расстоянием угасания пламени. Все эти свойства водорода на порядок лучше, чем в углеводородных топливах. С точки зрения моторных свойств топлива наибольший интерес представляет нижний предел воспламенения, так как он позволяет оценить степень эффективного обеднения топливовоздушной смеси и определяет способ регулирования мощности двигателя. Для водорода он в несколько раз выше, чем для углеводородных топлив. Даже при низких температурах возможно качественное регулирование мощности двигателя, что позволяет получить высокую топливную экономичность по сравнению с бензиновым двигателем в широком диапазоне нагрузок и частот вращения.

При организации рабочего процесса с воспламенением от искры большой интерес представляет энергия воспламенения топливовоздушной смеси, значение которой зависит от состава. Максимальное значение энергии соответствует границам воспламенения, а минимальное – стехиометрическому составу. При стехиометрическом составе энергия, необходимая для воспламенения водорода, примерно в 10 раз ниже той, которая необходима для углеводородных топлив, и составляет всего лишь 0,2 МДж, по сравнению с 0,25 МДж, соответственно. При переводе существующих двигателей на водородное топливо следует учесть существенные повышения механических и тепловых нагрузок на детали двигателя. Причина этого – высокая скорость сгорания водорода.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		50

Скорость распространения ламинарного пламени для водорода в несколько раз выше, чем для углеводородных топлив. Расчетные и экспериментальные данные, полученные при испытаниях двигателей, работающих на водороде, показали, что скорость распространения турбулентного пламени в первом приближении пропорциональна скорости ламинарного пламени, соответственно, меньше продолжительность сгорания. При отсутствии специальных мероприятий это приводит к повышению давления и температуры в цилиндре двигателя.

Таким образом, для получения всех преимуществ, которые потенциально дает водородное топливо, необходимо учесть весь комплекс факторов, которые могут вызвать изменение параметров рабочего процесса ДВС, обуславливающих ухудшение мощностных, экономических и экологических показателей, и наметить пути их устранения или компенсации.

Наряду с разработкой и исследованием рабочих процессов ДВС на водороде получило развитие другое направление – использование водорода в смеси с углеводородными топливами и, в первую очередь, с бензином. Это направление интересно тем, что при незначительной модификации серийного двигателя позволяет значительно повысить топливную экономичность, снизить количество вредных выбросов с ОГ и существенно снизить расход бензина.

Электролизёр – это специальное устройство, которое предназначено для разделения компонентов соединения или раствора с помощью электрического тока. Устройство электролизёра представляет собой емкость, наполненную специальным веществом – электролитом. Также в эту емкость помещено не менее двух электродов. Работа электролизера осуществляется следующим образом: источнику постоянного тока подключены электроды, которые опущены в емкость с водным раствором электролита. Проходящий ток должен иметь напряжение, которое превышает точку разложения трехатомных молекул воды. Через некоторое время на одном из электродов образуется кислород, а на другом – водород. Так как количество молекул водорода в воде ровно в 2,5 больше, чем количество молекул кислорода, то водорода выделяется в 2 раза больше.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

Главная характеристика устройства – производительность. К примеру, в промышленных моделях этот параметр указывается в названии (рисунок 2.1)



Рисунок 2.1 – Промышленная стационарная электролизная установка, вырабатывающая 40 м³ водорода в час (СЭУ-40).

Остальные характеристики зависят от конкретного типа устройства и сферы его применения, например, когда осуществляется электролиз воды, на КПД установки влияют следующие параметры:

а) уровень напряжения (минимального электродного потенциала), оно должно быть от 1,8 до 2 вольт, меньшее значение не запустит процесс, а большее приведет к значительному расходу энергии, идущий на нагрев электролита. К примеру, если в качестве источника используется блок питания на 14 вольт, имеет смысл разделить емкость ванны пластинами на семь ячеек, как показано на рисунке 2.2. Электролизеры, где используются подобные схемы подключения, называются сухими.

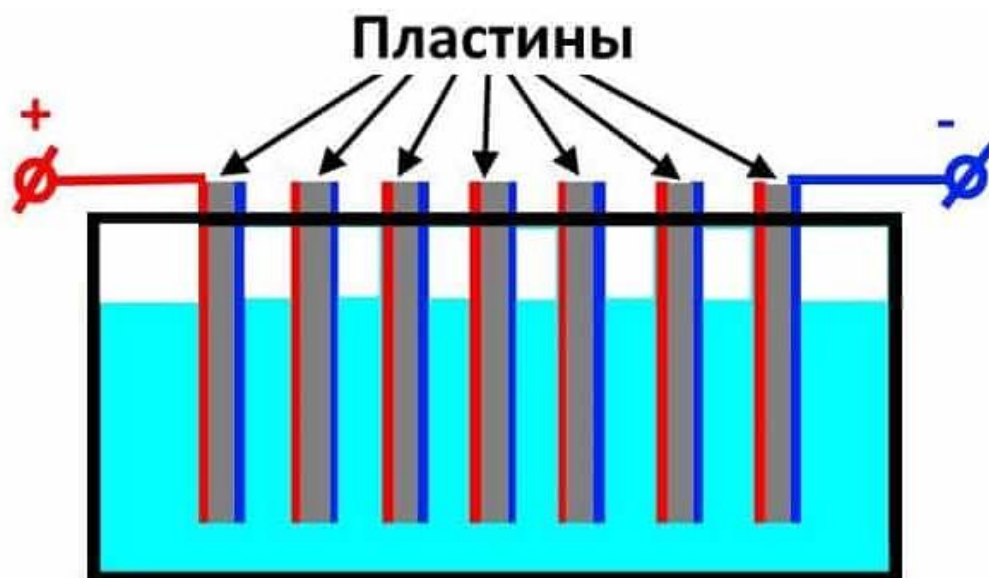


Рисунок 2.2 – Расположение пластин в ванне электролизера

б) расстояние между пластинами (между катодным и анодным пространством), чем оно меньше, тем меньше будет сопротивление, и соответственно, больший ток пройдет через раствор электролита, что приведет к увеличению выработки газа.

в) размеры пластин (площадь электродов), прямо пропорциональны току, идущему через электролит, а значит, также оказывают влияние на производительность.

д) концентрация электролита и его тепловой баланс.

ж) характеристики материала, используемого для изготовления электродов.

к) применение катализаторов процесса и т.д.;

В выпускной квалификационной работе предлагается следующая схема системы генерации водорода (рисунок 2.3):

											Лист
											53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата							

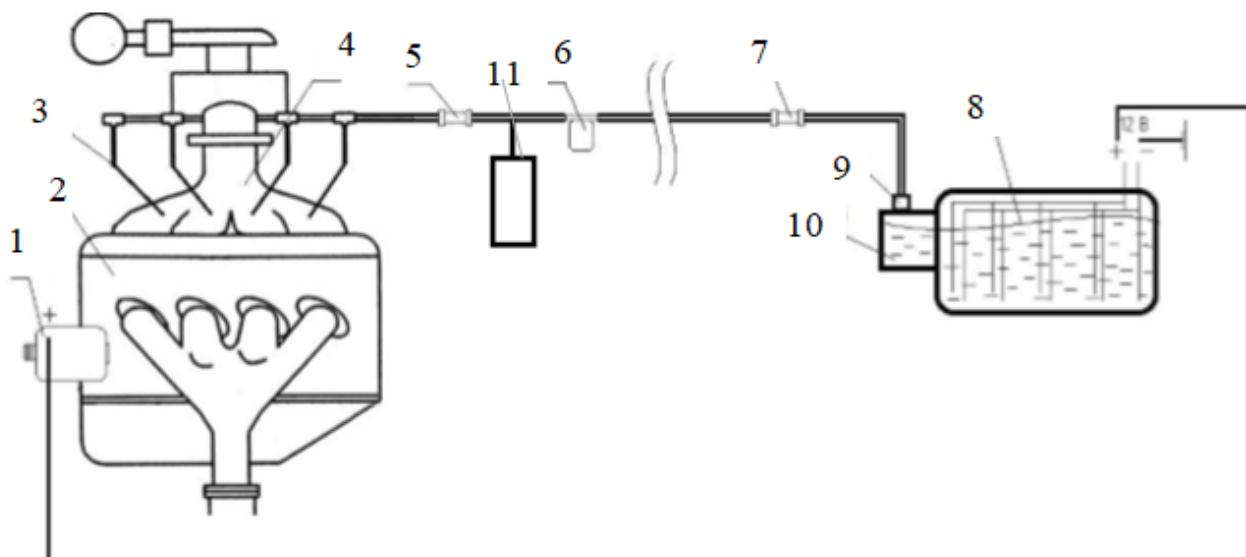


Рисунок 2.3 – Схема предлагаемой системы генерации водорода

Задачей предлагаемой конструкции системы бортовой генерации водорода и кислорода из воды, либо водного раствора щелочи, является снижение потребляемой мощности, повышение производительности, а также повышение надежности и безопасности эксплуатации в отличие от подобных систем, применимость в эксплуатации на автотранспортных средствах.

Согласно схеме поставленная техническая задача достигается за счет того, что в электролизёре (8) для получения водорода и кислорода из воды, включающем ряд последовательно и параллельно включенных ячеек, выполненных в виде пластин катодов и анодов, встроенные в устройство боковой крышки заправочной ёмкости-пеноотделителя (10). Анод и катод в ячейке плотно прилегают к изоляционной прокладке в виде рамки. Боковая крышка, противоположная заправочной ёмкости, содержит канал для улучшения циркуляции электролита и определения уровня заправки установки. Между собой ячейки могут быть электрически соединены последовательно или параллельно. Параллельное соединение предпочтительней.

В состав системы входят два устройства, обеспечивающие защиту от обратного давления (попадания искры в область потока газа) (5, 7).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Первое и второе устройство представляет собой обратный огнепреградительный механический клапан, устанавливаемый последовательно непосредственно после генератора и в подкапотном пространстве. В подкапотном пространстве, для предотвращения конденсации паров и скапливания воды в системе впуска установлен фильтр-отстойник газовой фазы (6). Для подключения к двигателю (2), в систему подачи воздуха в цилиндры, установлены жиклёры (3). Ресивер (11) выполняет роль аккумулятора.

2.2. Энергетическая эффективность процесса электролиза (КПД электролизёра)

Водород можно очень эффективно использовать в качестве вторичного энергоносителя, т.к. его теплота сгорания (в пересчете на массу) в три раза превышает аналогичные показатели углеводородного топлива.

Сила тока или нагрузка на электролизёр характеризуют его производительность. Чем выше сила тока, пропускаемого через электролизёр, тем больше продукта можно получить при эксплуатации данного электролизёра. Наблюдается тенденция к созданию мощных электролизёров, рассчитанных в некоторых случаях на десятки и сотни тысяч ампер (производство хлора, алюминия и т.д.) напряжение на электролизёре складывается из нескольких составляющих:

$$U = e_a - e_k + e_a + e_k + e_{эл.} - e_{диафр.} + e_{конт.}, \quad (2.4)$$

где U – общее напряжение на ячейке;

e_a и e_k – равновесные потенциалы анодной и катодной реакции;

$e_{эл.}$ и $e_{диафр.}$ – падение напряжения в электролите и в диафрагме;

$e_{конт.}$ – падение напряжения в контактах.

Сумма $e_a - e_k$ называется напряжением разложения. Эта величина соответствует расходу на электролиз электроэнергии, которая идёт непосредственно на изменение внутренней энергии веществ.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						55
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

При электролизе стремятся к уменьшению напряжения на ячейке за счет величины поляризации и омического состояния баланса напряжения, то есть слагаемых, обусловленных необратимостью процесса. Напряжения разложения обусловлено природой реагирующего вещества, а поэтому не может быть изменено. Значения e_a и e_k могут быть изменены в зависимости от характера электрохимической реакции, протекающей на электроде, путем перемешивания, повышения температуры электролита, изменения состояния поверхности электрода и за счет ряда других факторов.

Несмотря на то, что интерес к водородной энергетике возрастает, что объясняется неисчерпаемостью водорода и его экологичностью, реализация этих качеств сдерживается большими затратами энергии на получение водорода из воды. Проблему уменьшения затрат энергии пытаются решить многие лаборатории мира, но существенных результатов пока нет.

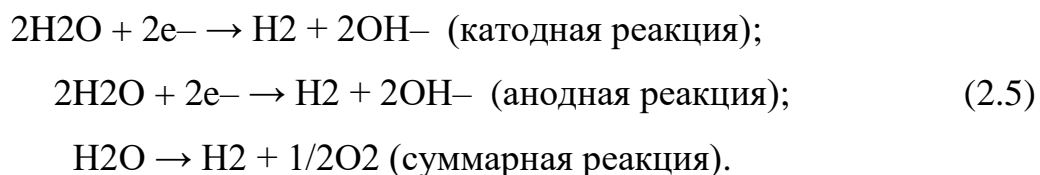
2.2.1 Физико-химические основы получения водорода

Электролиз воды один из наиболее известных и хорошо исследованных методов получения водорода. Он обеспечивает получение чистого продукта (99,6 – 99,9 % H_2) в одну технологическую ступень. Экономика процесса в основном зависит от стоимости электроэнергии. В производственных затратах на получение водорода стоимость электрической энергии составляет примерно 85 % .

Для получения водорода электролизом воды используют дистиллированную или обессоленную природную воду, что позволяет избежать накопления в электролите различных примесей. Однако, несмотря на эти предостережения, в электролите при длительной работе накапливаются примеси содержащиеся (хотя и в небольшом количестве) в питательной воде или появляющиеся в нем в результате коррозии деталей электролизёров.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		56

Если создать в водном растворе электролита, куда погружены два электрода, постоянное электрическое напряжение, которое превышает напряжение разложения воды, то в цепи появится ток и на аноде начнет выделяться кислород, а на катоде – водород, в объемном отношении 1/2. При этом будут происходить следующие реакции (в щелочной среде):



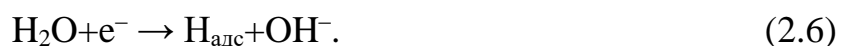
При этом удельная электропроводность очищенной воды весьма незначительна, при 18°C она составляет $(2 - 6) \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}^{-1}$. И поэтому электролизу подвергают водные растворы сильных кислот и щелочей. Другие же электролиты обычно не используются, так как они сами разлагаются при электролизе и дают нежелательные побочные продукты. Поскольку существуют большие коррозионные проблемы, которые возникают при электролизе кислот, в настоящее время почти все электролизёры используют водные растворы гидроксидов калия и натрия концентрацией 350 – 400 г/л.

Преимуществом растворов КОН перед растворами NaOH является большая проводимость K^+ против иона Na^+ . Равновесный состав пара над водным раствором КОН ниже, а это в свою очередь означает, что в конечных продуктах электролиза H_2 и O_2 содержится меньше водяного пара. Концентрация КОН соответствует оптимальным значениям плотности тока. Небольшие примеси КОН не являются препятствием к его использованию.

Указанные выше катодная и анодная реакции являются стадийными, их механизм зависит от материала электрода, состава раствора, а также величины перенапряжения, температуры и других факторов.

Один из вероятных механизмов катодного выделения водорода из щелочных растворов состоит в следующем: на первой стадии происходит разряд молекул

воды, с образованием адсорбированных на электроде атомов водорода:



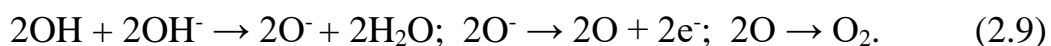
Далее происходит реакция, так называемой электрохимической десорбции (реакция Гейровского):



В своей сумме эти два процесса дают катодную реакцию выделения водорода. На аноде вероятной первой стадией является разряд гидроксид-ионов с образованием радикалов OH:



Потом происходит цепочка процессов:



Предложены и другие схемы суммарного процесса, например с участием металла электрода. В современных промышленных электролизёрах наиболее употребительным электролитом является 25 – 30 % KOH.

Кислые электролиты дают хороший выход по H₂, однако они приводят к серьезным проблемам в выборе материалов, противостоящих коррозии в серной кислоте. В настоящее время электроды чаще всего изготавливают из углеродистой стали, при этом аноды покрывают никелем, а катоды активируют путем нанесения на их поверхность либо серосодержащего никеля, либо металла группы платина.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

Как видно из приведенных уравнений содержащаяся в растворе щелочь не участвует в разряде, а служит только для переноса ионов. Расход щелочи (2 – 3 г на 1 м³ водорода) обусловлен уносом с продуктами электролиза. Уменьшить коррозию стальных деталей электролизёра позволяет дополнительное введение в электролит K₂Cr₂O₇ (2 – 3 г/дм³).

Обратным процессу горения водорода является суммарный процесс разложения воды электролизом. Поэтому теоретическая величина энергии, которая требуется на единицу количества производимого водорода, равна теплоты сгорания водорода. Каждая молекула образуется при присоединении двух электронов к двум ионам водорода, что существует прямая связь между проходящим током и скоростью производства водорода.

2.2.2 Термодинамика процесса разложения воды в процессе электролиза

При протекании электролиза возникает несколько видов энергетических потерь, связанных с химическими явлениями:

а) низкий выход по току – это отношение количества электричества, израсходованного на образование целевого продукта (Q_u), к общему количеству электричества (Q_o), пропущенного через электроды. Выход по току может принимать значения от 0 до 1 или от 0 % до 100 %: выход по току = $\frac{Q_u}{Q_o} 100\%$.

Выход по току менее 100 % объясняется тем, что при электролизе очень часто протекают побочные реакции, которые не ведут к образованию желаемого продукта. Выход по току зависит от множества факторов: состава и температуры электролита, материала и состояния электродов, силы тока и напряжения. Варьируя в определённых пределах эти параметры, можно оптимизировать расходы энергии на целевой электрохимический процесс.

б) износ электродов;

					ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

в) перенапряжение. Чтобы стал возможен электролиз, необходимо подать на катод и анод определённую разность потенциалов. Минимально необходимая разность потенциалов считается с помощью уравнения Нернста:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{Pa_{Ox}}{Pa_{red}}, \quad (2.10)$$

где E – электродный потенциал полуреакции, В0;

E° – стандартный электродный потенциал полуреакции, В;

R – газовая постоянная, 8,314 Дж/(моль×К);

T – температура, К;

n – число электронов, участвующих в полуреакции;

F – постоянная Фарадея, 96 487 Кл/моль;

Pa_{Ox} – произведение активностей (фугитивностей) окисленных форм;

Pa_{red} – произведение активностей (фугитивностей) восстановленных форм.

Количество электричества, переносимое при получении одного моля вещества, равно nF , где n – количество электронов, участвующих в электродной реакции, а F – число Фарадея (96 487 Кл/моль). Если это количество электричества переносится при разности потенциалов $E_{обр}$, то произведенная работа равна $nFE_{обр}$. Для изменения свободной энергии Гиббса:

$$\Delta G = -nFE_{обр}. \quad (2.11)$$

Подставляя известную величину $\Delta G = 237190$ кДж/моль для образования воды, получаем для стандартных условий (давление 0,1 МПа и температура 25°C)

$$E_{обр} = 1,23 \text{ В}. \quad (2.12)$$

Общую термодинамику процесса можно изложить следующим образом. Для изобарно-изотермического процесса:

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		60

$$\Delta G = T\Delta S = \Delta H - \Delta G. \quad (2.13)$$

Иначе ячейка будет охлаждаться. Тепловая эффективность электролиза определяется как отношение напряжения ячейки, соответствующего нейтральному процессу (1,4В при 25°C и 0,1 МПа), к фактически действующему напряжению. Тепловая эффективность электролиза определяется как отношение напряжения ячейки, соответствующего термонеutralному процессу (1,4В при 25°C и 0,1 МПа), к фактически действующему напряжению. Это соответствует отношению высшей теплоты сгорания получаемого водорода к величине подводимой электрической энергии.

2.2.3 Расход электроэнергии и воды при электролизе

В процессе электролиза вода расходуется непосредственно на получение водорода и кислорода, а также уносится в виде паров с вырабатываемыми газами. Расход воды на 1 м³ водорода и 0,5 м³ кислорода практически составляет 820 – 850 г. Воду, подаваемую на питание электролизеров, очищают дистилляцией, электроосмосом или обессоливанием на ионитах.

Для электролиза воды расходуется много электроэнергии на 1 м³ кислорода и 2 м³ водорода требуется 12 – 15 квт/ч (43,2 – 10" 54,0 – 10 дж). Поэтому электролиз воды применяется только при очень низкой стоимости электрической энергии (например, энергии гидроэлектростанций), и главным образом для получения чистого водорода. В этом случае кислород является побочным продуктом и согласно ГОСТ 5583-58 в нем может содержаться до 0,7 объемн. % водорода.

Расход электроэнергии определяется произведением количества затраченного электричества на напряжение, приложенное к шинам электролизера:

$$W_b = E_q, \quad (2.14)$$

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

где W_b – расход электроэнергии, Вт · ч;

E – напряжение, В;

q – количество электричества, Кл;

На получение 1 м³ Н₂ и 0,5 м³ О₂ при нормальных условиях при теоретическом разложении воды 1,23В расход электроэнергии составит:

$$W_b = 1,23 \frac{2 \cdot 26,8}{0,0224} = 2,95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (2.15)$$

где 26,8 – число Фарадея, выраженное в ампер-часах на моль;

5 – число Фарадея, затраченных на выделение 1 моль Н₂;

0,0224 – объем 1 моль водорода при нормальных условиях.

При термонеutralном напряжении 1,48В потребляется 3,54 кВт·ч на 1 м³ водорода. Реальный расход электроэнергии на современных электролизерах составляет 4,0 – 4,5 и до 5,5 кВт·ч на 1 м³ Н₂. Как было описано выше для получения 1 м³ Н₂ и 0,5 м³ О₂ при нормальных условиях необходимо затратить теоретически 805 г воды. Практически расход воды составляет 820 – 850 г.

2.3 Обратный огнепредохранительный клапан

Огнепредохранительный клапан – предохранительное устройство предотвращающее прохождение пламени, возникающего при обратном ударе или разложении горючего газа, а также его смеси с кислородом или воздухом, в защищаемое оборудование, аппаратуру и коммуникации.

Для обратного удара характерен резкий хлопок и гашение пламени. При этом горящая смесь газов устремляется по каналу горелки в шланг, а при отсутствии предохранительного затвора в электролизёр, что может привести к разрушению электролизёра, а также вызвать серьезные разрушения окружающих конструкций и конечно серьезные травмы.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62

На емкостном оборудовании электролизерных установок и ресиверах при необходимости устанавливается, как правило, один предохранительный клапан. При повышенных требованиях (определяемых в техническом задании) к непрерывности процесса получения водорода сосуды и аппараты должны оснащаться двумя предохранительными клапанами с переключающимся устройством, исключающим одновременное перекрытие обоих клапанов. Каждый из клапанов должен быть рассчитан на полную пропускную способность.

Что же представляет собой обратный клапан – это корпус, в который встроен подпружиненный золотник, пропускающий газ только в одну сторону. Кислород или горючий газ, поступающий из рукава под некоторым избыточным давлением, перемещает золотник, преодолевая усилие пружины, и через образовавшийся зазор между золотником и седлом направляется потребителю. При обратном ударе взрывная волна перемещает золотник к седлу, и подача газа и кислорода мгновенно прекращается.

Однако экспериментально установлено, что при обратном ударе фронт пламени распространяется быстрее, чем ударная волна успевает прижать золотник к седлу, поэтому обратный клапан далеко не всегда защищает от проникновения пламени за его пределы. Средством защиты от обратного удара пламени является огнепреградительное устройство, предназначенное для предотвращения прохождения пламени, возникающего при обратном ударе, или разложении горючего газа и, следовательно, защиты кислородных и газовых рукавов от разрывов и возгорания. В клапане огнепреградительном кроме клапана обратного встроен пламегасящий элемент предотвращающий проскок пламени благодаря прекращению процесса горения в его микропорах.

Одним из лидеров по производству огнепреградительных устройств является украинский бренд «ДОНМЕТ». Выпускаемые этим заводом огнепреградительные устройства со встроенным обратным клапаном получили название «огнепреградительный клапан» и изображены на рисунке 2.16:

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		63



Рисунок 2.16 – Огнепреградительные клапаны «ДОНМЕТ»

Принципиальная схема работы клапана обратного огнепреградительного изображена на рисунке 2.17. Огнепреградительный клапан отличается от обратного тем, что кроме запирающего золотника в него встроен пламегасящий элемент.

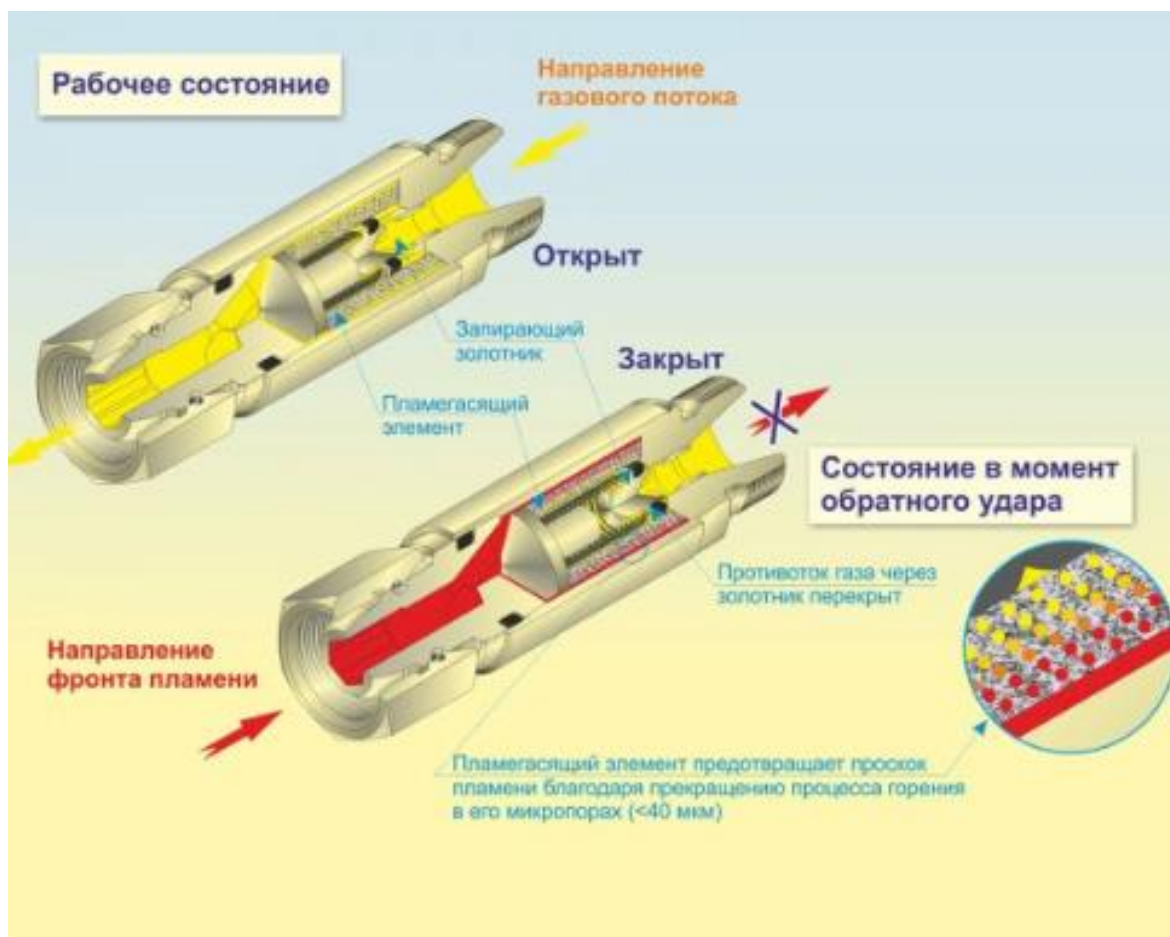


Рисунок 2.17 – Принципиальная схема работы обратного огнепреградительного клапана

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

При возникновении обратного удара фронт пламени проходит через пламегасящий элемент, где и происходит его затухание, а ударная волна запирает золотниковое устройство, мгновенно прекращая подачу газа потребителю и, таким образом, выполняет функцию обратного клапана.

Проверка предохранительных клапанов водородных установок производится продувкой не реже чем один раз в 6 месяцев на расчетное давление.

В работе использован огнепредохранительный клапан КОГ компании «ДОНМЕТ».

2.4 Выбор фильтра-осушителя

Фильтр-осушитель необходим для долгосрочной и корректной работы системы подачи водорода в двигатель транспортного средства. Необходимость наличия фильтра-осушителя обусловлена наличием паров воды в генерируемом газе, возможностью попадания мелких частиц пыли и металлической стружки при монтаже оборудования. Также его наличие необходимо при использовании в качестве электролита раствора щелочи, так как возможно выпаривание небольшого количества NaOH или KOH из объёма электролита в процессе работы генератора. Фильтр улавливает частицы электролита, не давая им достичь двигателя. Он также конденсирует водяной пар. За счёт этого двигатель работает лучше, а техническое обслуживание требуется реже.

В качестве фильтрующего элемента мы предлагаем использовать фильтра тонкой очистки, которые обычно устанавливают для систем питания пропан-бутан. Фильтр тонкой очистки представляет собой очистительный элемент, заключенный в корпус из металла или полимерного материала.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						65
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Вывод по разделу два

Представлена схема предлагаемой системы генерации водорода. Рассмотрен электролиз воды как наиболее перспективная технология получения водорода. Были проанализированы физико-химические основы получения водорода и произведена оценка потребления энергии и материалов при электролизе водорода. Представлены варианты используемых огнепредохранительного клапана и фильтра-осушителя.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						66
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

3 КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОЛИЗЁРА АВТОНОМНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

3.1 Общие положения

В выпускной квалификационной работе приведен процесс изготовления и работы электролизёра автономной генерации водородного топлива. Произведен расчет необходимого количества водорода для повышения эффективности и экономичности на примере автомобиля ВАЗ-21061 с двигателем ВАЗ-21060.

3.2 Общие размеры деталей установки

3.2.1 Расчет необходимого количества и размера пластин ячеек и материала прокладок установки для получения кислородно-водородной газовой смеси

Согласно п. 2.1 раздела 2, для повышения экологичности и экономичности транспортного средства в самых популярных режимах работы (холостой ход, ускорение) необходима бензоводородная топливная смесь с содержанием 5 – 10 % водорода от расхода топлива. Определившись с количеством потребляемого водорода, мы приходим к выводу, что можем вычислить необходимые размеры генератора и получить габаритные размеры системы электролизёра автономной генерации водорода.

Согласно технической документации средний расход топлива автомобиля ВАЗ-21061 с двигателем ВАЗ-21060 в смешанном цикле составляет 9,5л/100 км.

$$g_H = 0,1g_e, \quad (3.1)$$

где g_H – расход водорода;

g_e – расход топлива.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

Исходя из формулы:

$$g_{\text{H}} = 95 \cdot 0,1 = 9,5 \text{ мл/мин.} \quad (3.2)$$

При последовательном соединении проводников суммарное падение напряжения в цепи равно сумме падений элементов. В реальности падение напряжения на одной ячейке составляет чуть более двух вольт. Целесообразно считать систему из 6 или 12 ячеек при бортовом напряжении автомобиля 14В.

Стоит отметить, что при электролизе интересна не абсолютная величина силы тока, а плотность тока. Плотность тока представляет собой отношение силы тока в амперах к поверхности электрода в сантиметрах. Оптимальная плотность тока на катоде или аноде при использовании раствора щелочи равна $j = 0,08 \dots 0,15 \text{ А/см}^2$. Таким образом, исходя из пункта 2.2.3, для получения необходимого объёма водорода рабочая плотность пластин равна:

$$S_{\text{пл}} = W_b \frac{1}{u} \frac{1}{j} \frac{1}{k}, \quad (3.3)$$

где $S_{\text{пл}}$ – это рабочая площадь пластины, см^2 ;

W_b – расход электроэнергии (для получения $1\text{ м}^3 \text{ H}_2$ и $0,5\text{ м}^3 \text{ O}_2$ при нормальных условиях), $\text{Вт} \cdot \text{ч}$;

U – общее напряжение на установке (12 – 14) В;

j – плотность тока (0,08 – 0,15) А/см^2 ;

k – поправочный коэффициент, для получения 0,5 л (10 – 20).

Таким образом, получаем:

$$S_{\text{пл}} = \frac{2950 \cdot 10}{14 \cdot 16} = 130 \text{ см}^2. \quad (3.4)$$

Исходя из конструкции электролизёра, которая включает применение изоляционных прокладок между пластинами принимаем размер прокладки 120 x 170 мм (рисунок 3.5).

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						68
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

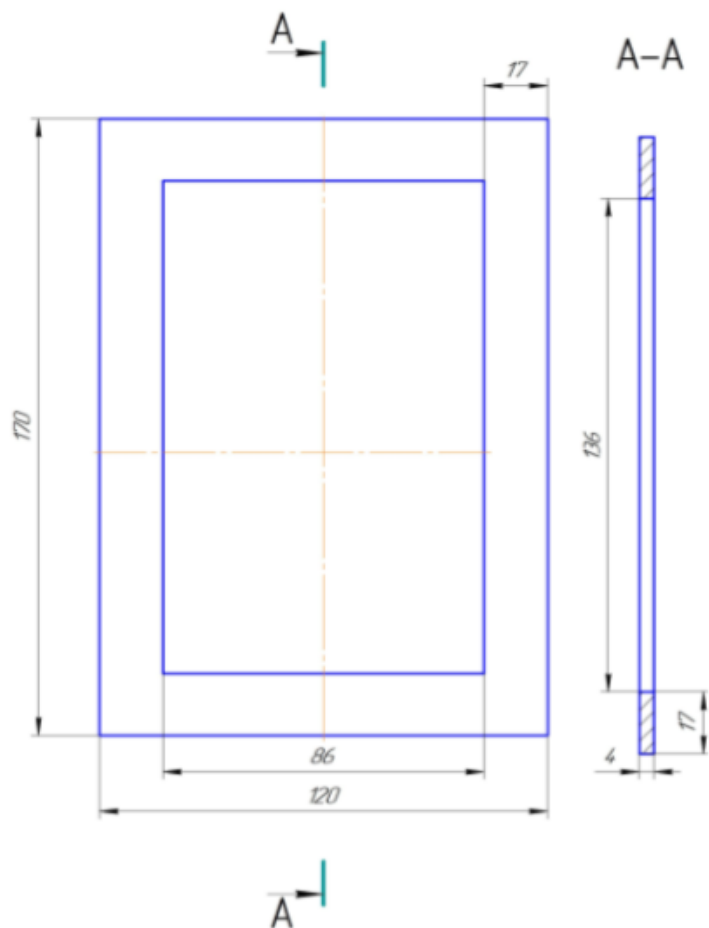


Рисунок 3.5 – Размеры прокладки электролизёра

В качестве исходного материала пластин (рисунок 3.6) принимаем листовой прокат толщиной 1 мм, нержавеющей сталь марки 08Х18Н10 ГОСТ 5582-75 (пункт 3.1) [7]. Сталь данной марки универсальная и широко применяемая, с высокими антикоррозийными свойствами. Данная сталь обладает отличными характеристиками для штамповки и сварки. Сталь 08Х18Н10 относится к полунартованному прокату и применяется в нефтехимии, для изготовления крепежных изделий, термостойкой посуды и другие.

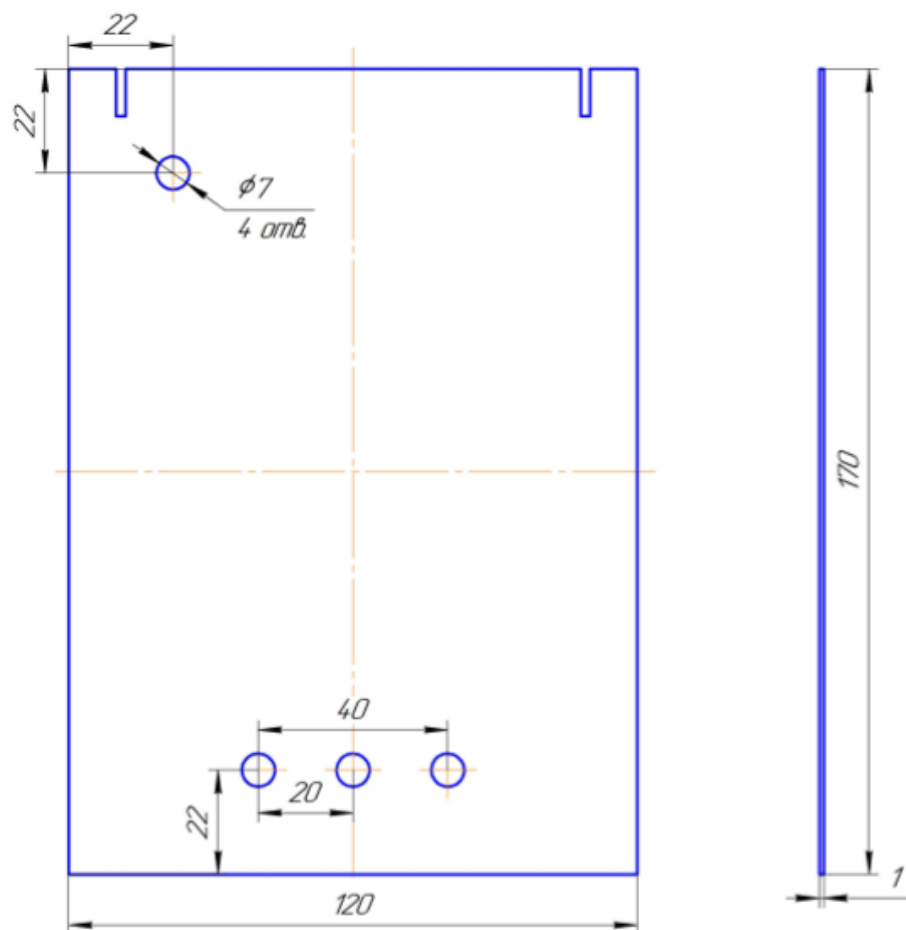


Рисунок 3.6 – Размер пластины электролизёра

Для предотвращения возникновения короткого замыкания для надежной изоляции электродов и образования рабочего объема, между пластинами необходимо использовать диэлектрический материал, который способен противостоять агрессивной (при применении щелочей) среде, и обеспечивать надежную герметичность электролизёра. В качестве материала прокладок была выбрана техническая пластина ТМКЩ (тепломорозокислотощелочестойкая) ГОСТ 7338-90 [9]. Согласно ГОСТу технические пластины предназначенные для изготовления резинотехнических изделий, служащих для уплотнения неподвижных соединений, предотвращения трения между металлическими поверхностями, для восприятия одиночных ударных нагрузок, а также в качестве прокладок, настилов и других неуплотнительных изделий в климатическом исполнении У2, 3.1; УХЛ2, 4; Т2, 3; ОМ2,4.

						Лист
						70
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ	

3.2.2 Общий вид установки для получения кислородно-водородной газовой смеси

В качестве прототипа, примененного в работе, был выбран электролизёр воды и водных растворов щелочи по патенту РФ № 2044151 [26]. Однако данный электролизёр имеет ряд недостатков, которые мешают установке данной системы в автотранспортное средство. Так, существенным недостатком является расположение напорной емкости установки.

Для реализации возможности установки генератора водорода в автотранспортное средство, минимизации ее размеров и повышения надежности устройства был выбран следующий вид корпуса (рисунок 3.7):

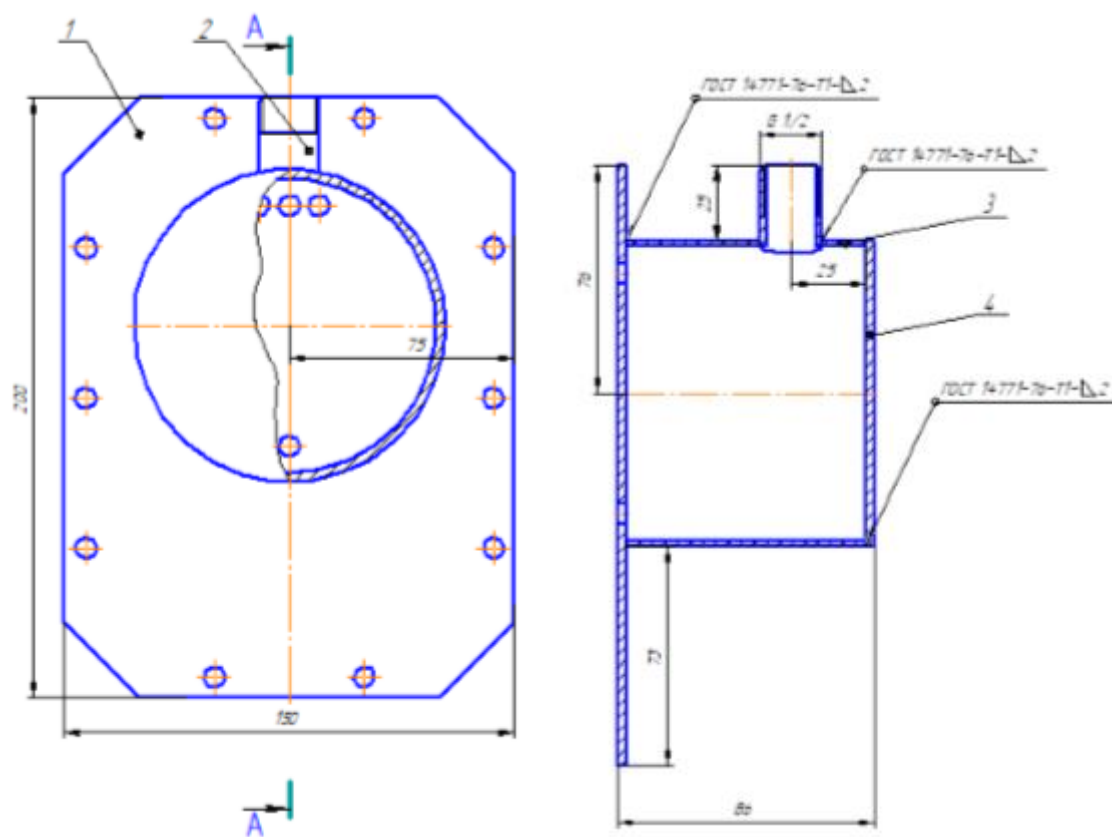


Рисунок 3.7 – Передняя крышка корпуса генератора

Также в состав передней крышки корпуса генератора входит деталь штуцер выходной. Его назначение это соединение детали ёмкость-пеноотделитель с патрубком соединительным.

В качестве патрубка в работе был выбран шланг газовый армированный ГОСТ Р 52209-2004 [13]. В соединительной гайке данного патрубка имеется резиновое уплотнение, что значительно повышает герметичность соединения. Для заготовки детали штуцер выходной в качестве материала выбрана сталь 08X18H10 ГОСТ 5632-2014 [8], прокат – труба 21,3 мм ГОСТ 9941-81 (рисунок 3.8) [10].



Рисунок 3.8 – Труба нержавеющая AISI 304 (08X18H10)

Транспортировка трубы к месту ее дальнейшей обработки включает в себя подготовительную операцию. Следующая операция абразивно-отрезная. На данном этапе производится нарезание трубы на необходимую длину. За операцией осуществляют технологический контроль. Далее производится операция, комплексная с ЧПУ. Производится обработка детали согласно технологическому эскизу (рисунок 3.9, таблица 3.1). Заготовку устанавливают на токарно-винторезный станок с ЧПУ. В ходе данной операции производится подрезание торца трубы, снятие фаски с одного конца, производится нарезание резьбы на необходимую длину.

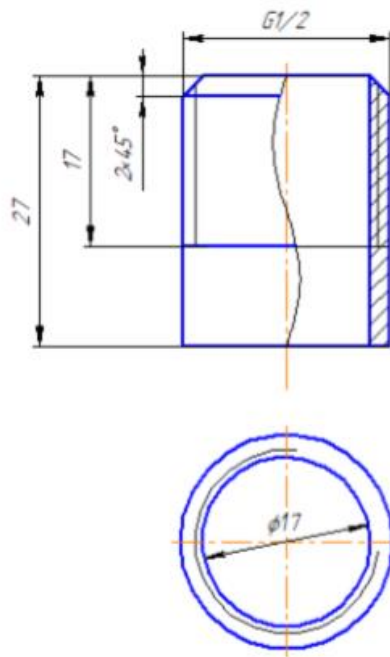


Рисунок 3.9 – Фрагмент чертежа детали штуцер выходной

Таблица 3.1 – Маршрут технологического процесса

№ операции	Операция	Оборудование	Эскиз
005	Заготовительная		
010	Абразивно-отрезная	Абразивно-отрезной станок 8В262 [14]	
015	Комплексная с ЧПУ	Токарно-винторезный станок 16К20Ф3 с ЧПУ [14]	

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Окончание таблицы 3.1

020	Технический контроль	Стол контрольный, штангенциркуль ШЦ-1-125 [15]	
-----	----------------------	--	--

Для обеспечения визуального контроля за уровнем жидкости в генераторе, на задней крышке (рисунок 3.10) была установлена контрольная трубка. Для последующего обслуживания генератора и обеспечения возможности сливания жидкости и сушки генератора был установлен патрубок для слива.

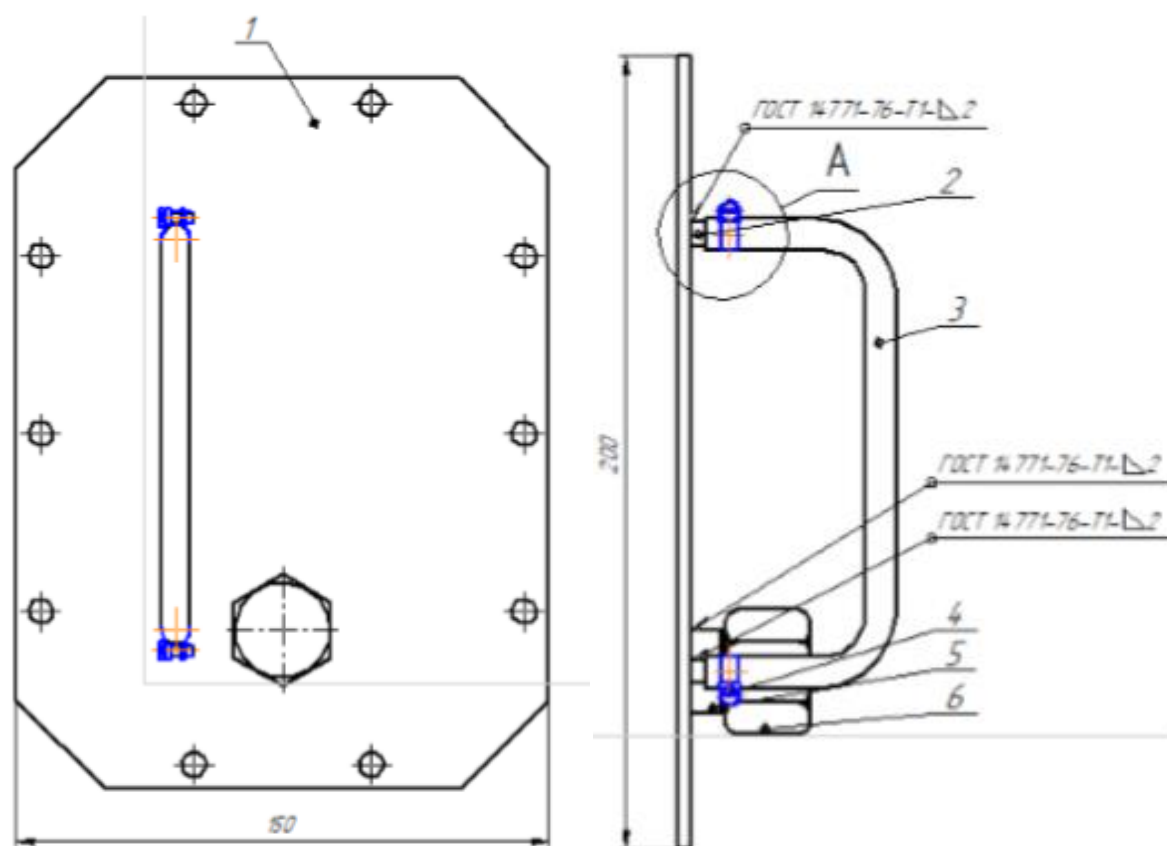


Рисунок 3.10 – Задняя крышка корпуса генератора

Общий вид генератора водородного топлива представлен на рисунке 3.11:

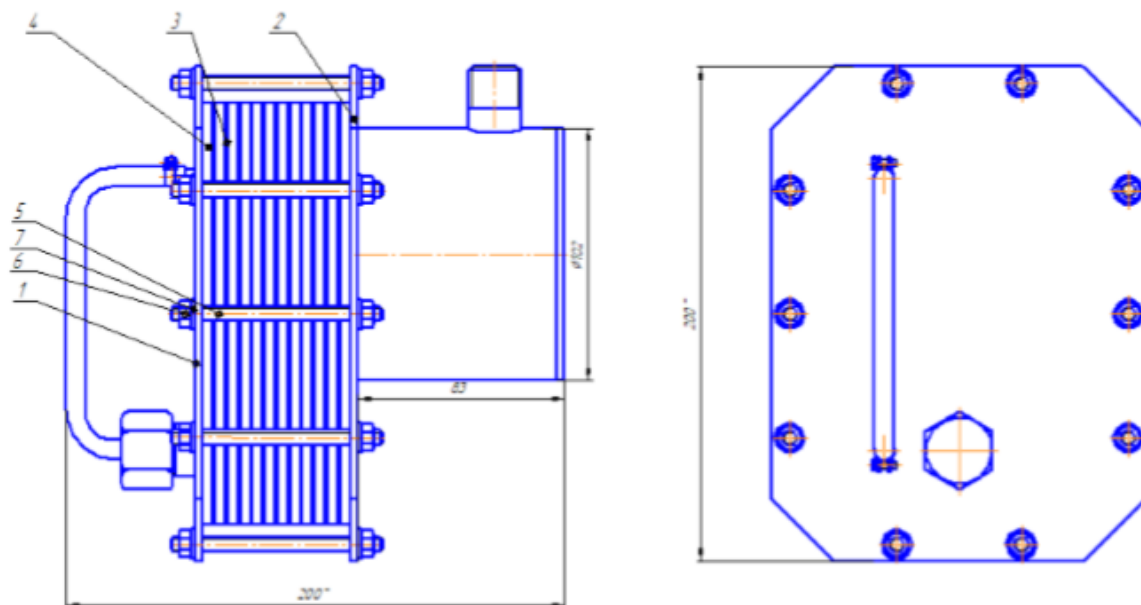


Рисунок 3.11 – Общий вид генератора

3.3 Выбор генератора для работы электролизёра автономной генерации водородного топлива на автомобиле

Для обеспечения оптимальной работы электролизёра автономной генерации водородного топлива был установлен генератор, мощностью 135А (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Генератор СтарВОЛЬТ 135А

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

В качестве наиболее подходящего генератора нами был выбран генератор производителя СтарВОЛЬТ.

Данный, более производительный генератор, был установлен взамен штатного генератора, мощностью 40А, так как мощности данного штатного генератора не хватает для автономной работы установки.

Генератор СтарВОЛЬТ 135А имеет улучшенные выходные характеристики, а также имеет номинальное напряжение 14,6В, выходной ток 140А (± 5 А).

3.4 Исследования электролизёра на эффективность генерации водородной смеси

Результаты, полученные в ходе исследования электролизёра на эффективность генерации водородной смеси, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты исследований

Напряжение, В	Количество пластин	Сила тока, А	Объем газа, м ³ /мин
14	10	20	0,5
	13	80	2
	18	140	3
24	10	40	2
	13	80	4
	18	180	8
70	10	40	1
	13	90	2
	18	160	3

На основании полученных данных построим графики.

На рисунке 3.13 представлена зависимость генерации водородной смеси от бортовой сети автомобиля ВАЗ-2106 за счет увеличения числа задействованных пластин. При десяти задействованных пластинах установка потребляет 20А и выделяет 0,5 литра водородной смеси, с увеличением количества пластин до тринадцати, увеличивается потребление энергии до 80А, а генерация водородной смеси возрастает до 2 литров. При количестве пластин, равном восемнадцати, выделяется 3 литра смеси, с потреблением 140А.

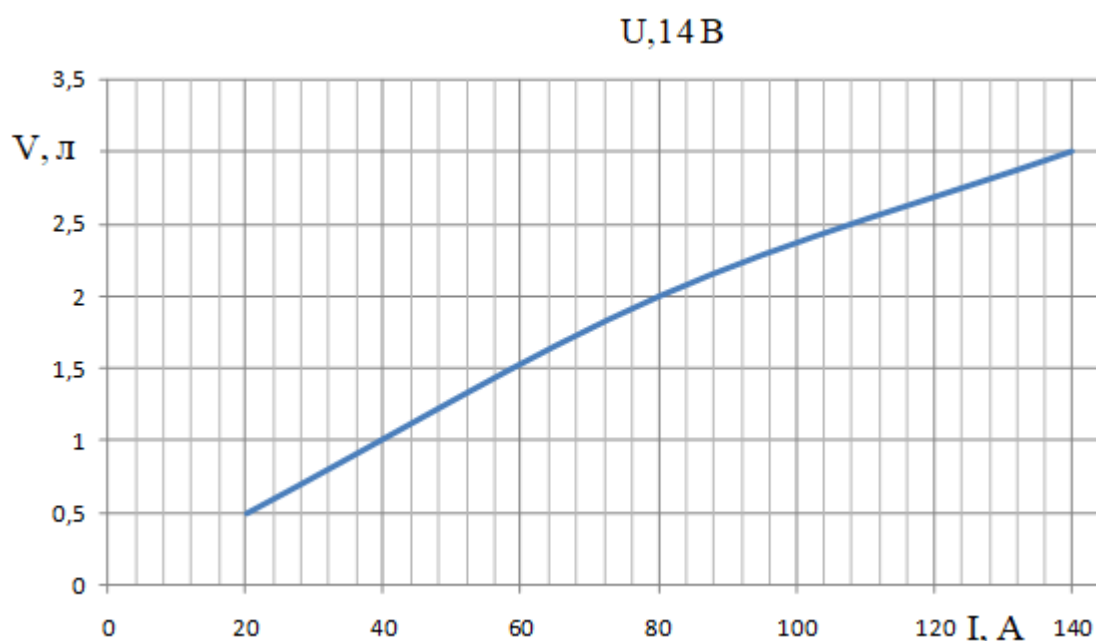


Рисунок 3.13 – График зависимости генерации водородной смеси от бортовой сети автомобиля

На рисунке 3.14 изображена зависимость генерации водородной смеси при бортовой сети напряжением 24В. При десяти задействованных пластинах установка потребляет 40А и вырабатывает два литра водородной смеси. При увеличении количества пластин до тринадцати потребление тока возрастает до 80А, а выделение водородной смеси до 4 литров. При восемнадцати пластинах вырабатывается 8 литров водородной смеси, с потреблением тока в 180А.

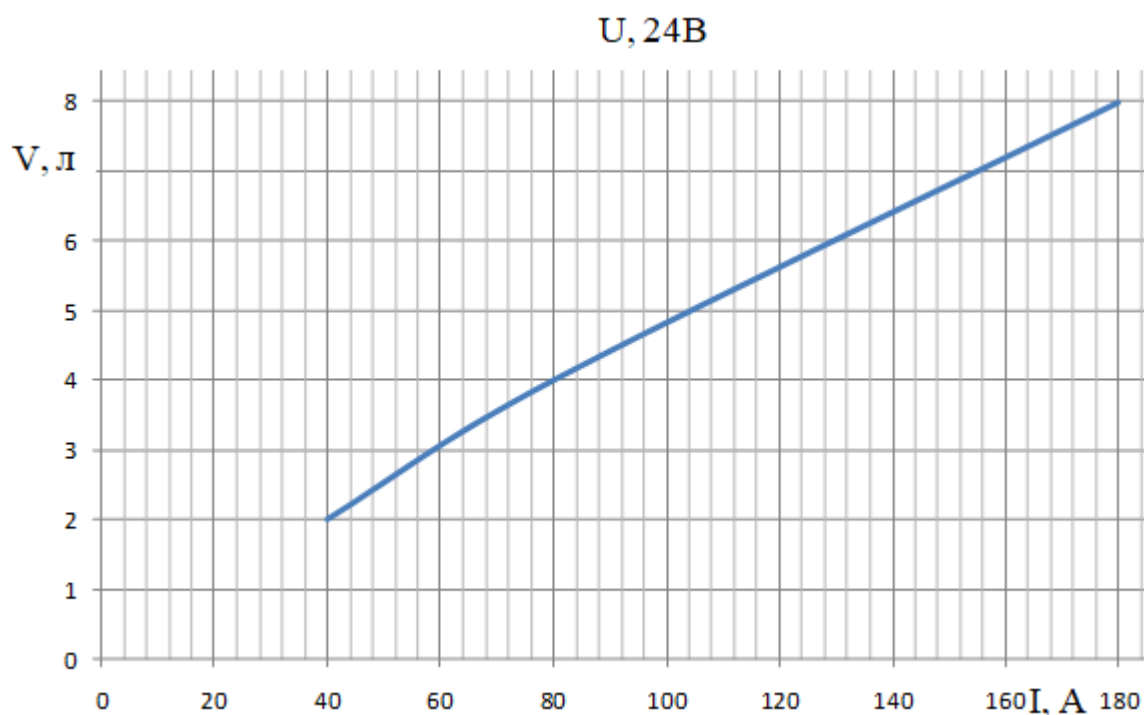


Рисунок 3.14 – График зависимости генерации водородной смеси при бортовой сети напряжением 24 В

На рисунке 3.15 представлена зависимость генерации водородной смеси в зависимости от тока бортовой сети (установки). Задействование десяти пластин и потребление установкой силы тока в 40А, дает нам генерацию одного литра водородной смеси. При увеличении количества пластин до тринадцати и силы тока до 90А, установкой генерируется два литра водородной смеси. При силе тока в 160А, а также количестве пластин, равным восемнадцати, генерируется 3 литра водородной смеси.

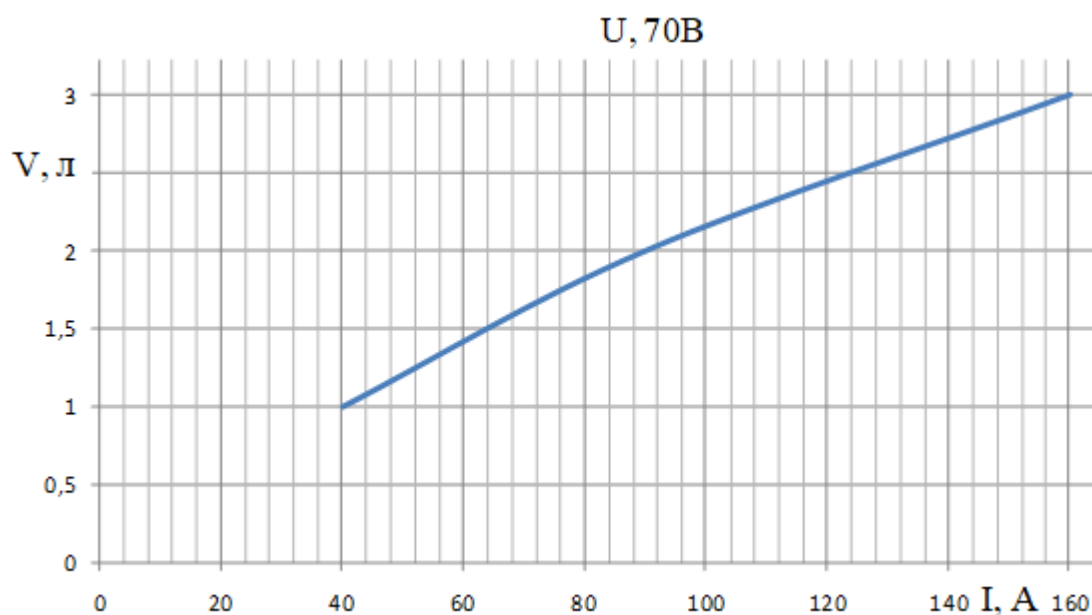


Рисунок 3.15 – График зависимости генерации водородной смеси от сварочного инвертора

Из графика, представленного на рисунке 3.16 следует, что наибольшее количество водородной смеси выделяется при напряжении бортовой сети 24В и количестве пластин, равным восемнадцати штук.

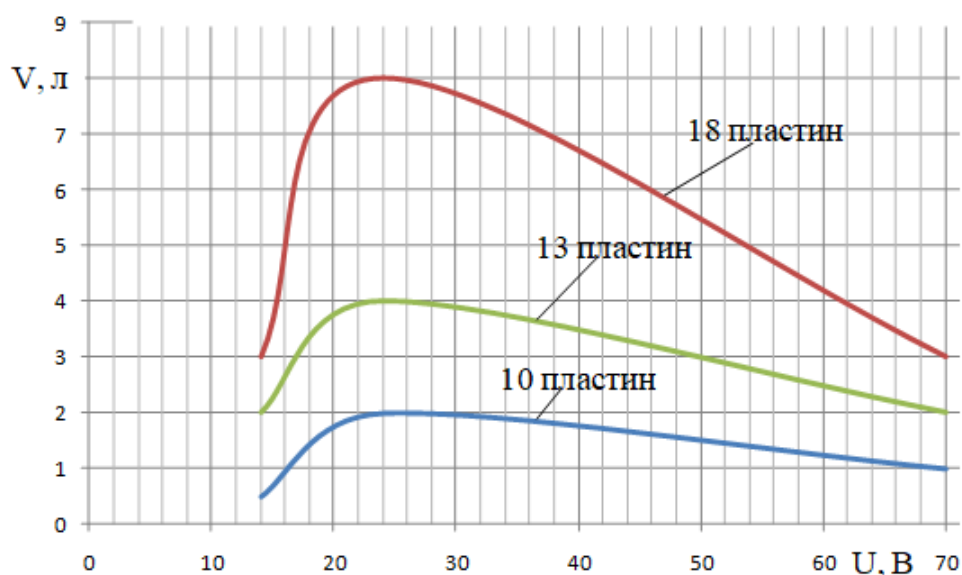


Рисунок 3.16 – График генерации водородной смеси от напряжения и количества пластин

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

Выводы по разделу три

В данном разделе был произведен расчет системы электролизёра автономной генерации водородного топлива, который обеспечивает выработку необходимого количества водорода и автономность работы установки в автомобиле. Произведены исследования установки (электролизёра) на предмет эффективности генерации водородной смеси. Получены (для данного электролизёра) параметры управления объемом генерируемой водородной смеси.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		80

4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Расчеты в данном разделе произведены согласно методическому руководству по выполнению дипломных работ [31].

Организационно-экономический раздел можно разделить на две части. Первая часть, организация, предназначена для рационального распределения времени на отдельные этапы работы. Вторая часть, экономическая, дает возможность оценить перспективность и конкурентоспособность разработки, а также определить экономическую целесообразность, затраты на изготовление изделия и отпускную цену на продукцию. Данная часть дает информацию о сроке окупаемости изделия инвестору. Экономическая часть выпускной квалификационной работы является не менее важной, чем конструкторская или технологическая. В ней проводится анализ целесообразности производства проектируемого изделия, с точки зрения экономической эффективности.

4.1 Определение перспективности и конкурентоспособности объекта дипломного проектирования

Прогрессивность объектов дипломного проектирования определяется коэффициентами (критериями):

k_1 – критерий технического уровня;

k_2 – критерий технической конкурентоспособности.

Критерий технического уровня представляет собой отношение суммы относительных величин ранжированных параметров, исчисленных по отношению к существующим параметрам создаваемых или моделируемых образцов собственного производства, к приведенному числу параметров:

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		81

$$k_1 = \frac{\sum_{i=1}^m Kn_i N_i}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (4.1)$$

где Kn_i – коэффициент технической эквивалентности.

$$Kn_i = \frac{B}{B_0}, \quad (4.2)$$

где B – рациональный частный или редуцированный нерациональный параметр проектируемой конструкции;

B_0 – рациональный частный или редуцированный нерациональный параметр базовой или модернизируемой машины;

N_i – коэффициент весомости частного параметра, расположенного в ранжированной последовательности параметров;

m – количество рассматриваемых параметров ($m = 4 - 8$).

Коэффициент весомости частного параметра определяется по формуле:

$$N_i = \frac{i}{2^{i-1}}, \quad (4.3)$$

где i – номер рассматриваемого параметра. Ранжированную последовательность параметров студент выстраивает самостоятельно.

Отношение суммы относительных величин ранжированных параметров, исчисленных по отношению к соответствующим параметрам образцов конкурентного производства, к приведенному числу параметров представляет собой критерий технической конкурентоспособности и находится по формуле:

$$k_2 = \frac{\sum_{i=1}^m K_{S_i} N_i}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (4.4)$$

где K_{S_i} – коэффициент технической конкурентоспособности.

$$K_{S_i} = \frac{B}{B_0}, \quad (4.5)$$

где B_0 – рациональный частный или редуцированный нерациональный параметр конкурентного образца.

Таблица 4.1 – Оценка перспективности (конкурентоспособности) проекта

Значение критериев	Заключение о перспективности (конкурентоспособности) проектируемой конструкции
$k_1 (k_2) > 1,4$	весьма перспективная (конкурентоспособная) разработка
$1,2 < k_1 (k_2) \leq 1,4$	перспективная (конкурентоспособная) разработка
$1,0 < k_1 (k_2) \leq 1,2$	средняя перспективность (конкурентоспособность) разработки
$k_1 (k_2) < 1,0$	неперспективная (неконкурентоспособная) разработка

Для определения коэффициентов k_1 и k_2 составим таблицу 4.2, куда будут занесены все расчетные параметры. Конкурент «Ваз-2106».

Таблица 4.2 – Сравнение показателей

№ п.п	Параметры техники	Вес значимости параметра R_i	Значение параметра автомобиля		Частный индекс качества K_i	Взвешенный индекс качества
			Базового (конкурент)	нового		
1	Расход топлива в 1%	0,3	1/100 (1/100)	1/90	0,9 (0,9)	1,25 (1,25)
2	Количество выбросов вредных веществ в 1%	1	(1/100) (1/100)	1/80	0,8 (0,8)	1,25 (1,25)
3	Повышение детонационной стойкости топлива в 1%	0,75	(1/100) (1/100)	1/110	1,11 (1,11)	1,11 (1,11)
4	Мощность	0,5	76,4 (65,7)	76,4	1 (1)	1 (1)
5	Σ	3,25	–	–	–	4,6

Подставив величины из таблицы 4.2 в формулы (4.1) и (4.4), получаем $k_1 = 1,41$ – на основе таблицы 4.1 делаем вывод, что данная разработка является перспективной.

Коэффициент $k_2 = 1,41$ – на основе таблицы 4.1 приходим к выводу, что данная разработка весьма конкурентоспособна.

4.2 Расчет затрат на производство детали

Ниже будут представлены расчеты затрат на производство детали.

Таблица 4.3 – Деталь крышка корпуса

Марка материала – сталь	Сталь 08X18H10
Масса заготовки, кг	3
Масса детали, кг	2
Выпуск в год, шт	150

Таблица 4.4 – расчет стоимости материала

Наименование материала, марка	Масса детали, кг	Масса заготовки, кг	Цена за 1 тонну, руб	Стоимость материала	
				На одну деталь, руб	На программу, руб
Сталь 08X18H10	2	3	170000	340	51 000

Таблица 4.5 – Стоимость возвратных доходов

№	Наименование материала	Масса отходов на одну деталь, кг	Цена отходов за 1 т., руб.	Стоимость отходов на одну деталь, руб.	
				На одну деталь, руб	На программу, руб
1	Сталь 08X18H10	1	105000	105	15750

Таблица 4.6 – стоимость материала за вычетом отходов с учетом транспортно-заготовительных расходов

№	Наименование материала, марка	Стоимость материала за вычетом отходов		Стоимость материала за вычетом отходов с учетом транспортно-заготовительных расходов	
		Одну деталь, руб	На программу, руб	Одну деталь, руб	На программу, руб
1	Сталь 08X18H10	235	35250	200	3000

Таблица 4.7 – Калькуляция себестоимости детали

№	Наименование	Затраты		
		Деталь		На программу
		руб.	% к итогу	
1	Основные материалы	340		51000
2	Транспортно-заготовительные расходы	35		5250
3	Возвратные расходы (вычитаются)	105		15750
4	Энергия на технологические цели	10		1500
5	Итого прямых материальных затрат	490		73500
6	Основная зар.плата рабочего	29		4350
7	Дополнительная зар.плата рабочего (75% от основной)	22		3300
8	Отчисление в фонды	10		1500

Окончание таблицы 4.7

9	Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования	15		2250
10	Цеховые расходы	15		2250
11	Итого: цеховая себестоимость	581		87150
12	Общепроизводственные расходы	15		2250
13	Расходы будущих периодов	8		1200
14	Итого: производственная себестоимость	604		90600
15	Внепроизводственные расходы	5		750
16	Итого: полная (коммерческая себестоимость)	609		91350
17	Полная себестоимость за вычетом прямых материальных затрат	488		75600

4.3 Оценка коммерческой состоятельности дипломного проекта

К оценке коммерческой состоятельности дипломного проекта можно отнести: сумму капитальных вложений, норму прибыли, срок окупаемости инвестиций, точку безубыточности проекта, индекс рентабельности проекта (работы) и расчет денежных поток.

Так, сумма капитальных вложений, инвестиции $k_{\text{сум}}$ могут в себя включать:

$$k_{\text{сум}} = k_{\text{пр}} + k_{\text{сопр}} + k_{\text{об}} + k_{\text{нир}}, \quad (4.6)$$

где $k_{\text{пр}}$ – прямые капитальные вложения, млн. руб;

$k_{\text{сопр}}$ – сопряженные капитальные вложения в участок, руб;

$k_{об}$ – минимально необходимые оборотные средства;

$k_{нир}$ – капитальные вложения, обусловленные проведением научно-исследовательских работ (НИР).

$$k_{пр} = 0,6 C_{пол} A_{г}, \quad (4.7)$$

где $C_{пол}$ – плановая полная себестоимость и равна $C_{пол} = 0,25$ млн.руб;

$A_{г}$ – годовая программа выпуска, $A_{г} = 150$ шт/год.

Теперь подставим известные нам величины в формулу (4.7) и получим:

$$k_{пр} = 0,6 \cdot 0,25 \cdot 150 = 22,5 \text{ млн. руб.}$$

Сумма ($k_{сопр} + k_{об} + k_{нир}$) превосходит $k_{пр}$ в 1,5 раза, таким образом получим:

$$k_{сум} = 22,5 \cdot 1,5 = 33,75 \text{ млн. руб.}$$

Простая норма прибыли – это гарантированный уровень доходности, сложившихся на рынке капиталов. При этом средняя за период жизни проекта, например, за год, расчетная чистая прибыль P_p сопоставляется со средними инвестициями в проект $k_{сум}$.

$$пнп = \frac{P_p}{k_{сум}}; \quad (4.8)$$

$$P_p = P_б k_{н.п.}, \quad (4.9)$$

где $P_б$ – балансовая (общая прибыль);

$k_{н.п.}$ – коэффициент, учитывающий налог на прибыль ($k_{н.п.} = 0,8$).

$$P_б = A_{г} (Ц_{отп} - C_{пол}), \quad (4.10)$$

где $Ц_{отп}$ – отпускная цена автомобиля, $Ц_{отп} = 350000$ руб.

$$P_б = 150 (0,350 - 0,25) = 15 \text{ млн. руб.};$$

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						88
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$P_p = 15 \cdot 0,8 = 12 \text{ млн. руб.};$$

$$\text{ПНП} = \frac{6}{33,75} = 0,35 \text{ или } 35\%.$$

Таким образом, простая норма прибыли составит 35%.

Срок окупаемости инвестиций $T_{ок}$ – это минимальный временной интервал (от начала осуществления инвестиционного проекта), за пределами которого суммарный эффект становится равным нулю и остается в дальнейшем положительным. При этом весь объем получаемых проектом денежных средств (от реализации продукции), к которым относятся суммы прибыли и амортизации, засчитывается как возврат на первоначально инвестированный капитал. Расчет проводится путем постепенного, шаг за шагом, вычитания из общего объема капитальных затрат суммы амортизационных отчислений и чистой прибыли за очередной интервал времени планирования (год). Интервал, в котором остаток становится отрицательным, означает искомый «срок окупаемости».

$$T_{ок} = \frac{K_{сум}}{P_p + \Phi_{амор}}, \quad (4.11)$$

где $\Phi_{амор}$ – амортизационные отчисления, $\Phi_{амор} = 5$ млн.руб.

$$T_{ок} = \frac{33,75}{12+5} = 2 \text{ года.}$$

Точка безубыточности проекта показывает критический объем производства $A_{кр}$, при которой прибыль становится нулевой, так как выручка от реализации совпадает с издержками производства. Аналитически точку безубыточности проекта определяют по формуле:

$$A_{кр} = \frac{B}{C_{отп} - a}, \quad (4.12)$$

где B – условно-постоянные издержки на весь выпуск;

$C_{отп}$ – отпускная цена предприятия, руб./шт.;

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		89

a – условно-переменные издержки на единицу продукции, млн. руб./шт.

При этом известно, что $B = 5$ млн. руб./год, $a = 0,2$ млн.руб./шт.

$$A_{кр} = \frac{15}{0,350-0,2} = 100 \text{ шт.}$$

Графически «точка безубыточности» рассчитывается по данным таблицы 4.8 и по формулам, учитывающим зависимость объемов реализации V_p и общих издержек от объемов выпуска и реализации C .

$$V_p = C_{отп} A_r. \quad (4.13)$$

Таким образом, $V_p = 0,350 \cdot 150 = 52,5$

$$C = a A_r + B. \quad (4.14)$$

Таким образом, $C = 0,2 \cdot 150 + 15 = 45$.

Таблица 4.8 – Расчет маржи и порога рентабельности (точки безубыточности)

Наименование показателя	Сумма	
	На автомобиль, млн.руб.	На программу, млн.руб.
Выручка от реализации	0,350	52,5
Постоянные затраты	0,1	15
Переменные издержки	0,2	30
Маржинальный доход (прибыль)	0,150	22,5
Прибыль	0,050	7,5
Доля маржинального дохода в выручке	0,30	
Точка безубыточности в стоимостном выражении	–	31,25
Точка безубыточности в количественном выражении	–	100

Для оценки рассчитываемого значения $A_{кр}$ и фактической программой выпуска деталей A_r следует определить «относительный запас прочности» по формуле:

$$\delta = \frac{100 (A_r - A_{кр})}{A_r}. \quad (4.15)$$

Получаем: $\delta = \frac{100 (52,5 - 31,25)}{52,5} = 40,50\%$.

Таким образом, точка безубыточности равно 100 шт. или 31,25 млн. руб., а запас финансовой прочности составил 40,50%.

Индекс рентабельности проекта (работы) показывает, сколько единиц современной величины денежного потока приходится на единицу предполагаемых первоначальных затрат, то есть представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений. В отличие от чистого приведенного эффекта индекс рентабельности является относительным показателем.

Для расчета показателя индекса рентабельности используется следующая формула:

$$ИР = \frac{1}{K_{сум}} \sum_{i=0}^4 П \frac{I}{(1+E)^i}; \quad (4.16)$$

$$П = П_p + \Phi_{амор}. \quad (4.17)$$

Таким образом: $П = 12 + 5 = 17$ млн. руб.

$$ИР = \frac{\frac{17}{(1+0,1)^1} + \frac{17}{(1+0,1)^2} + \frac{17}{(1+0,1)^3}}{33,75} = 1,25.$$

Индекс доходности равен 1,25 – это значит, дисконтированные доходы в 1,25 раза превышают инвестиции проекта.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		91

Таким образом, индекс рентабельности (доходности проекта) $IP > 1,2$ и означает, что современная стоимость денежного потока проекта превышает первоначальные инвестиции, обеспечивая тем самым наличие положительной величины чистой приведенной стоимости.

Расчет потока реальных денег – это разность между притоком и оттоком денежных средств от всех видов деятельности на каждом на каждом шаге расчета. Поток средств от инвестиционной деятельности рассчитывается на основании данных о капиталовложениях в основные и оборотные средства с распределением по периодам расчета.

В таблице 4.9 отобразим результаты расчета потока реальных денег от производственной деятельности:

Таблица 4.9 – Результаты расчета потока реальных денег от производственной деятельности

Наименование показателя	Значение показателя			
	Первоначальное состояние, 2019 г.	2020 г. (t=1)	2021 г. (t=1)	2022 г. (t=1)
Цена продукции, млн.руб./шт.	0,350	0,350	0,350	0,350
Объем продаж, шт/год	150	150	150	150
Выручка от реализации, млн.руб./год	52,5	52,5	52,5	52,5
Переменные издержки, млн.руб./год	25	25	25	25
Постоянные издержки, млн.руб./год	15	15	15	15
Прибыль до вычета налогов	12,5	12,5	12,5	12,5
Налоги и сборы	2,6	2,6	2,6	2,6
Чистая прибыль	9,9	9,9	9,9	9,9
Амортизация	5	5	5	5
Чистый приток от операционной деятельности	14,9	14,9	14,9	14,9

В таблице 4.10 представим расчеты потока реальных денег от финансовой деятельности:

Таблица 4.10 – Поток реальных денег от финансовой деятельности

Наименование показателя	Значение показателя по годам расчет, млн.руб.			
	Первоначальное состояние, 2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Текущее сальдо финансовой деятельности	- 33,75	0	0	0
Текущее сальдо от всех видов деятельности	- 33,75	14,9	14,9	14,9
Сальдо накопленных реальных денег, нарастающим итогом	- 33,75	- 18,85	- 3,95	10,95

Поток реальных денег представляет собой разность между притоком (+) и оттоком денежных средств (-) от операционной и инвестиционной деятельности за каждый период осуществления данного проекта.

Сальдо реальных денег – это разность между притоками и оттоками денежных средств от всех трех видов деятельности. Сальдо накопленных реальных денег – это сальдо реальных денег, нарастающим итогом.

На рисунке 4.1 отобразим график денежного потока проекта, основываясь на данных таблицы 4.10.



Рисунок 4.1 – График денежных потоков

По результатам всех проведенных расчетов в итоге можно составить таблицу технико-экономических показателей проекта (работы) (таблица 4.11):

Таблица 4.11 – Техничко-экономические показатели проекта

№	Наименование	Единица измерения	Проект
1	Величина капитальных вложений (инвестиций)	млн.руб.	33,75
2	Простая норма прибыли	%	35
3	Срок окупаемости инвестиций	лет	3
4	Точка безубыточности проекта	шт	100
5	Индекс рентабельности	%	1,25

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ

Лист

94

Вывод по разделу четыре

На основании технико-экономического расчета дипломного проекта можно спрогнозировать целесообразность вложения инвестиций в данную разработку. На основании расчетов перспективности и конкурентоспособности автомобиля с модернизированной топливной системы мы пришли к выводу, что данная разработка является перспективной и конкурентоспособной, срок окупаемости вложенных инвестиций составит в среднем три года, норма прибыли составляет 35%, и имеется весьма неплохой индекс рентабельности, равный 1,25%.

Таким образом, на основании всего вышеизложенного, разработку дипломного проекта можно предоставить на рассмотрение инвесторов для дальнейшего инвестирования и запуска в производство.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		95

5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В условиях научно-технического прогресса, быстро растущего производства, внедрения новой техники и технологий, роста роли человека на производстве и социальной значимости безопасных и здоровых условий труда, проблема безопасности жизнедеятельности приобретает особую актуальность [5].

Автомобиль является источником повышенной опасности, как при его эксплуатации, так и при его обслуживании и ремонте. Для обеспечения безопасности необходимо на этапе проектирования предусмотреть все потенциально возможные риски возникновения опасностей, угрожающие как жизни и здоровью людей, так и окружающей природе.

Безопасность жизнедеятельности (БЖД) – наука о комфортном и безопасном взаимодействии человека с техносферой, представляет собой область научных знаний, изучающая опасности угрожающие человеку и разрабатывающие способы защиты от них в любых условиях обитания человека. Деятельность человека считается безопасной, если при её осуществлении достигается минимальная возможность причинения ущерба, не только здоровью или жизни человека, но и минимальные убытки в производственной и непроизводственной сферах жизни людей. Возникшая экологическая опасность носит для человечества глобальный характер и требует колоссальных усилий для налаживания разумного взаимодействия с природой для сохранения жизни.

Особую остроту проблема безопасности имеет в Российской Федерации. В условиях, несоответствующих требованиям норм законодательства по запыленности, загазованности, шуму, вибрации, другим производственным факторам, работают миллионы людей. Развитие производства поставило ряд регионов на грань экологической катастрофы. Выполнение требований безопасности технических регламентов, национальных стандартов, правил стандартизации и т. д., повышает конкурентоспособность продукции и создает условия для обеспечения свободного перемещения товаров по территории

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96

Российской Федерации, а также для осуществления международного экономического, научно-технического сотрудничества и международной торговли.

Нормативно-правовые акты, принятые в нашей стране, направлены на обеспечение условий труда, отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности. Они содержат ряд важных положений, обеспечивающих для работающих гарантии прав на охрану труда.

Конституция Российской Федерации статьей 410 определила в качестве одного из основных прав человека и гражданина право на охрану здоровья, естественным следствием этого является и право на здоровье и безопасные условия труда, закрепленное статьей 37 Конституции [1].

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации статьи 211 требования охраны труда обязательны для исполнения юридическими и физическими лицами при проектировании, строительстве (реконструкции) и эксплуатации объектов, конструировании машин, механизмов и другого оборудования, разработке технологических процессов, организации производства и труда. Устанавливаются правила, процедуры и критерии, направленные на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности [2].

Несоблюдение работодателями требований охраны труда способствует ухудшению условий труда, повышению уровня производственного травматизма и профессиональных заболеваний, что ухудшает демографическую ситуацию в Российской Федерации и приводит к серьезным экономическим потерям.

5.1 Область применения автомобиля

Выбранный в качестве прототипа автомобиль ВАЗ-21061 – легковой автомобиль, с колесной формулой 4х2, количество мест, включая водителя – 5.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						97
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

В дипломном проекте рассмотрена установка дополнительного оборудования на автомобиль ВАЗ-21061, которая включает в себя систему автономной генерации и подачи водородного топлива в двигатель автомобиля. Такая модернизация автомобиля предоставляет ряд преимуществ перед таким же автомобилем штатной комплектации, к ним относятся:

- а) уменьшение расхода топлива на всех режимах движения;
- б) большая экологичность, т.к. в отработанных газах содержится уменьшенная концентрация вредных веществ;
- в) возможность использования низкооктанового топлива.

5.2 Анализ опасных и вредных факторов

Система автономной генерации и подачи водородного топлива состоит из генератора водорода, подключенного к генератору постоянного тока автомобиля, системы подачи водорода в двигатель, состоящей из патрубков топливопровода, двух огнепредохранительных клапанов, один из которых защищает от проникновения искры и обратного хода пламени сам генератор, второй защищает патрубки, фильтр-отстойник и ресивер. Для распределения по цилиндрам двигателя установлен смеситель газа и врезаны штуцеры для подачи в впускной коллектор двигателя.

Таким образом, при работе с данной системой автономной генерации водородного топлива необходимо соблюдать правила безопасности.

5.2.1 Анализ механических опасностей

При проведении технических работ, осмотра, обслуживания и установки системы генерации водородного топлива автомобиля, необходимо учитывать, что некоторые элементы имеют большие габариты и вес. В составе системы есть детали, которые могут явиться причиной порезов травм и ушибов. Во избежание

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		98

травма опасных ситуаций, необходимо учитывать особенности конструкции для устранения непредвиденных факторов, угрожающих здоровью.

5.2.2 Анализ термических опасностей

Принцип работы генератора водорода, электролизёра, построен на разложении воды под воздействием постоянного напряжения. В результате работы электролизёра возможен нагрев некоторых областей до 60°C. Так же некоторые элементы системы подачи водорода могут быть расположены вблизи систем автомобиля, таких как выпускной коллектор и выпускные патрубки двигателя которые могут нагреваться до 1300°C, что в свою очередь увеличивает вероятность возникновения ожогов при соприкосновении с ними.

В целях повышения пожарной безопасности электросети автомобиля решаются задачи оптимизации электрической сети, определения предельно допустимых токов, определение температурных режимов, выбора материалов изоляции

5.2.3 Анализ опасностей от материалов и веществ

В качестве электролита генератора водорода применяются водные растворы щелочей NaOH и KOH, которые согласно ГОСТ 12.1.005-88 [12] по степени воздействия на организм относятся к вредным веществам второго класса опасности. Согласно ГОСТ 12.1.005-88 предельно допустимая концентрация (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны щелочи едкие + (растворы в пересчете на NaOH) составляет 0,5 мг/м³. Содержание в организме вредных веществ, поступающих в него различными путями (при вдыхании, через кожу, через рот), не должно превышать биологических предельно допустимых концентраций (ПДК).

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		99

5.2.4 Анализ опасности возгорания газа

Согласно ГОСТу 3022-80 водород – бесцветный горючий газ без запаха. Плотность водорода при нормальных условиях равна 0,09 кг/м³; плотность по воздуху – 0,07 кг/м³; теплота сгорания – 28670 ккал/кг; минимальная энергия зажигания – 0,017 мДж [16]. С воздухом и кислородом образует взрывоопасную смесь. Смесь с хлором (1:1) на свету взрывается; с фтором водород соединяется со взрывом в темноте; смесь с кислородом (2:1) – гремучий газ. Пределы взрываемости: с воздухом 4 – 75 об. %, с кислородом 4,1 – 96 об. %. Взрывоопасные смеси водорода с воздухом относятся к категории II С, группе T1 по ГОСТ 12.1.011-78 [17].

Данный ГОСТ на технический водород, получаемый из азотоводородной смеси и электролизом воды, и применяемый в химической, нефтехимической, металлургической, фармацевтической, электронной и других отраслях промышленности. Температура самовоспламенения водорода 510 °С. Водород физиологически инертен; при высоких концентрациях вызывает удушье. Наркотическое действие проявляется при высоких давлениях. При работе в среде водорода необходимо пользоваться изолирующим противогазом (кислородным или шланговым).

5.2.5 Анализ опасностей, связанных с выбросом в окружающую среду электролита

Электролит, находящийся во внутренних полостях генератора имеет достаточно малое избыточное давление, относительно давления окружающей среды, но при эксплуатации, установке и обслуживании системы есть опасность нанесения вреда здоровью. В результате старения или повреждения патрубков, прокладок или других изолирующих элементов системы возможно попадание электролита на элементы и системы автомобиля и в окружающую среду.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		100

5.3 Меры по устранению существующих опасностей и защитные меры по снижению риска

5.3.1 Комплекс применяемых мер по устранению механических опасностей

При проведении технических работ, осмотра, обслуживания и установки системы генерации водородного топлива автомобиля, необходимо исключение не запланированного запуска двигателя. Посредством отключения отрицательной клеммы аккумулятора. Учтены физиологические возможности человека, физически возможный доступ к креплениям конструкции, частоту повторяющихся движений, чтобы исключить заторможенность, нагрузку при обслуживании. Для исключения травм, порезов и ушибов необходимо наличие у обслуживающего персонала средств индивидуальной защиты. Обслуживание системы генерации водорода должно производиться на станциях технического обслуживания квалифицированным персоналом, с применением специализированного инструмента, оборудования и приспособлениями.

5.3.2 Комплекс применяемых мер по устранению термических опасностей

При изготовлении корпуса генератора применяются металлические детали, способные отводить тепло от электролита в окружающую среду. При обслуживании системы, нужно дать остыть элементам и системам автомобиля в подкапотном пространстве и генератору водорода. При обслуживании персонал должен быть обеспечен наличием средств индивидуальной защиты. Обслуживание системы генерации водородного топлива автомобиля должно производиться квалифицированным персоналом.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		101

5.3.3 Комплекс мер применяемых по устранению опасностей от материалов и веществ

Уплотнениями и прокладками обеспечивается герметичность генератора, исключается контакт электролита с окружающей средой.

При работе с этими веществами необходимо иметь специальную одежду и средства индивидуальной защиты (защитные очки, респиратор, перчатки из резины, стойкой к щелочам и др.), а помещения должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией.

5.3.4 Комплекс применяемых мер по устранению опасности возгорания

Конструкция водородных генераторов должна исключать вероятность появления случайных выбросов водорода во время нормальной эксплуатации. В соответствии с таблицей С.2 технических требований ИСО/ТР 15916:2015, пределы воспламеняемости водорода в воздухе при различных условиях окружающей среды изменяются в диапазоне объемных долей от 4% до 75% водорода в воздухе [23]. Герметичность системы генерации водородного топлива обеспечивается уплотнениями, на корпусе генератора и топливопроводе. Так как водород горючий газ, он горит в кислороде, выделяя много тепла и образуя воду. Температура его самовоспламенения достигает 510 °С. Поэтому исключается проведение работ по обслуживанию системы вблизи источников открытого огня.

При возгорании водорода наряду с общими мерами по ликвидации такого возгорания (сбивание пламени струей инертного газа, наложение асбестовых или других негорючих материалов) необходимо немедленно отключить генератор от питания.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						102
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

5.3.5 Комплекс применяемых мер по устранению опасности, обусловленной выбросом в окружающую среду электролита

Герметичность корпуса генератора системы обеспечивается сварными швами и применением прокладок из тепломорозокислотощелочестойкой резины ГОСТ 7338-90 [9].

При возникновении утечек электролита, и при исключении повреждения или других неисправностей системы, необходима перезатяжка корпуса генератора средствами регулировки усилия затяжки стяжными болтами, входящими в его состав.

Для устранения разливов и поглощения кислот, щелочей и других агрессивных жидких веществ можно применять сорбент кислот и щелочей.

5.4 Требования, предъявляемые к безопасности и охране окружающей среды

Согласно Национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 22734-1-2013 «Генераторы водородные на основе процесса электролиза воды» устанавливаются требования к безопасности и рабочим характеристикам установок для получения газообразного водорода, использующих электрохимические реакции при электролизе воды [18]. Все элементы водородного генератора и все материалы должны: соответствовать условиям работы генератора по температуре и давлению; быть устойчивыми к физико-химическим процессам и другим воздействиям, которые могут иметь место в процессе предполагаемого использования; быть пригодными для своего назначения; и соответствовать требованиям по надежности в пределах номинальных характеристик и в соответствии с инструкциями изготовителя.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		103

Водородный генератор должен быть рассчитан на предполагаемые ударные и вибрационные нагрузки, а также на воздействие окружающих температур во время транспортировки к месту установки и эксплуатации. Должны быть предусмотрены средства, обеспечивающие безопасное обращение с водородным генератором во время операций подъема, перемещения и установки.

Водородный генератор должен проектироваться таким образом, чтобы он оставался устойчивым в процессе воздействия на него нормальных рабочих условий, связанных с работой операторов или окружающей средой во время установки или эксплуатации.

Все элементы конструкции должны быть защищены от климатических и других внешних воздействий в процессе работы (сейсмическая активность, снег, ветровая нагрузка и др.). Детали, которые требуют регулярного или повседневного технического обслуживания или ухода, связанного с проверкой работоспособности, смазкой, очисткой, заменой или с осуществлением аналогичных функций, должны быть доступны.

Все детали под напряжением должны быть защищены от доступа к ним посторонних лиц. Подходы к незащищенным деталям под напряжением внутри генератора водорода должны иметь предупреждающие знаки, запрещающие доступ для неквалифицированного персонала. Для защиты обслуживающего персонала от удара током при контакте с деталями под напряжением, а также от контакта с движущимися частями механизма необходимо обеспечивать ограждения.

Материалы, используемые в водородном генераторе, должны быть специально подобраны для использования в рабочей среде генератора.

Электробезопасность представляет собой систему мер, обеспечивающих защиту от поражения электрическим током, пожара и возгорания во время эксплуатации и операций, связанных с техническим обслуживанием оборудования.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		104

Водородный генератор оборудуется системой управления, которая должна быть спроектирована и изготовлена таким образом, чтобы обеспечивать безопасность и надежность всего оборудования, а также предотвращать возникновение опасных ситуаций при его эксплуатации.

Система обеспечения безопасности должна учитывать все факторы, связанные с обеспечением безопасности, определенные из анализа безопасности, произведенного изготовителем с тем, чтобы аварийный порог лежал за пределами работы водородного генератора во всем диапазоне рабочих характеристик установки и возможных отказов измерительной системы.

Система обеспечения безопасности и ее компоненты должны: проектироваться и изготавливаться таким образом, чтобы они были надежны и соответствовали условиям эксплуатации; не зависеть от других функций, если эти функции обеспечения безопасности могут быть повреждены; соответствовать требованиям безопасности для обеспечения надежной защиты. Эти требования включают, в частности, отказоустойчивость аппаратных средств, дублирование, диверсификацию функций и самодиагностику.

5.5 Информация для конечного потребителя

Система генерации водорода, включая воздушные фильтры, устройства включения, вентиляционные или выводящие системы и всё собираемое на месте эксплуатации оборудование должны устанавливаться в соответствии с инструкциями изготовителя, чтобы воспроизвести его именно в том виде, в каком он должен устанавливаться и эксплуатироваться.

Если не оговаривается иное, электролизёр автономной генерации водородного топлива в целом должен эксплуатироваться:

- а) при максимальном нормальном рабочем давлении;
- б) при номинальном значении потребляемого тока и напряжения.

При следующих условиях должна проводиться эксплуатация установки:

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		105

- а) температура от 15°C до 65°C;
- б) относительная влажность воздуха не более 75%;
- в) атмосферное давление от 75 кПа до 106 кПа;
- д) при отсутствии инея, конденсата, просачивающейся воды, дождя, солнечного облучения и т.д [3].

Вывод по разделу пять

Проанализированы возможные риски в процессе эксплуатации установки. Рассмотрены варианты их устранения в соответствии с законодательством Российской Федерации. Выполнение требований безопасности технических регламентов, национальных стандартов, правил стандартизации направлены на обеспечение условий труда, отвечающих требованиям сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		106

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенной работы была предложена система электролизной установки автономной генерации водородного топлива, которая позволяет решить некоторые проблемы при эксплуатации и обслуживании транспортного средства. К данным предложенным решениям можно отнести: уменьшение расхода топлива от 10 до 20%, повышение детонационной стойкости топлива, уменьшение отложения нагара на стенках камера сгорания, клапанах, днища поршня, впускных и выпускных каналах головки блока цилиндров, снижения концентрации вредных веществ в отработавших газах транспортного средства.

Произведя работы по исследованию установки, мы установили, что процессом генерации объема водородной смеси можно управлять.

Таким образом, применяя на практике данные конструкторские решения можно существенно снизить количество выбросов в окружающую среду, за счет уменьшения количества использованных нефтяных топлив. А также предотвратить выход из строя уже существующих на транспортном средстве систем снижения токсичности.

Выполненная работа имеет практическую ценность, так как исходя из общемировой практики замещения нефтяных топлив и сохранения окружающей среды, водородное топливо будет становиться все более востребованным в мире.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		107

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами РФ о поправках к Конституции РФ от 30.12.2008 N 6-ФКЗ, от 30.12.2008 N 7-ФКЗ, от 05.02.2014 N 2-ФКЗ, от 21.07.2014 N 11-ФКЗ). – Собрание законодательства РФ, 0408.2014. – № 31. – ст. 4398.

2 Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ. – Собрание законодательства РФ, 07.01.2002. – № 1 (ч.1). – ст. 3.

3 Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2009 г. № 753 «Об утверждении технического регламента о безопасности машин и оборудования». – Российская газета. Федеральный выпуск. – № 5005 (181). – 25.09.2009 г. – 15 с.

4 Алимов, В.А. Краткий обзор опытно-конструкторских работ по использованию в двигателях внутреннего сгорания добавок водорода к топливовоздушным смесям и практическое использование их результатов / В. А. Алимов, Е.В. Федянов, Е. А. Захаров, Д. С. Гаврилов, Э. Г. Сафаров // Молодой ученый. – 2017. – № 27. – С. 27 – 31.

5 Безопасность жизнедеятельности в дипломных проектах: учебное пособие / В.Н. Бекасов, С.И. Боровик, Н.В. Глотова и др.: под ред. И.С. Окраинской. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 166 с.

6 Борсук, В.В. Повышение эффективности рабочего процесса бензиновых двигателей применением топливо-водородных смесей / В.В. Борсук, В.В. Салмин // Вестник ЧГПУ им И.Я. Яковлева. – 2012. – № 2 (74). – С. 20 – 26.

7 ГОСТ 5582-75. Межгосударственный стандарт. Прокат тонколистовой коррозионно-стойкий, жаростойкий и жаропрочный (с Изменениями № 1 – 4, с Поправкой). Введен 01.01.1977. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 15 с.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		108

8 ГОСТ 5632-2014. Межгосударственный стандарт. Легированные нержавеющие стали и сплавы коррозионно-стойкие, жаростойкие и жаропрочные. Марки. Введен 01.01.2015. – М.: Стандартиформ, 2015. – 47 с.

9 ГОСТ 7338-90. Межгосударственный стандарт. Пластины резиновые и резинотканевые. Технические условия (с Изменением № 1). Введен 01.07.1991. – М.: Стандартиформ, 2005. – 17 с.

10 ГОСТ 9941-81. Межгосударственный стандарт. Трубы бесшовные холодно- и теплодеформированные из коррозионно-стойкой стали. Технические условия (с изменениями № 1 – 5). Введен 01.01.1983. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 8 с.

11 ГОСТ 12.1.007-76. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с изменениями № 1,2). Введен 01.01.1977. – М.: Стандартиформ, 2007. – 15 с.

12 ГОСТ 12.1.005-88. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с изменениями № 1). Введен 01.01.1989. – М.: Стандартиформ, 2008. – 36 с.

13 ГОСТ Р 52209-2004. Национальный стандарт Российской Федерации. Соединения для газовых горелок и аппаратов. Общие технические требования и методы испытаний (с поправкой). Введен 01.07.2004. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 16 с.

14 ГОСТ 8-82. Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность. Государственный стандарт Союза ССР. Введен 01.07.1983. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1995. – 13 с.

15 ГОСТ 166-89 (СТ СЭВ 704-77; СТ СЭВ 707-77; СТ СЭВ 1309-78, ИСО 3599-76). Штангенциркули. Технические условия. Межгосударственный стандарт. Введен 01.01.1991. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 17 с.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						109
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

16 ГОСТ 3022-80. Государственный стандарт Союза ССР. Водород технический. Технические условия (с изменениями № 1,2). Введен 01.01.1981. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 16 с.

17 ГОСТ 12.1.011-78 (СТ СЭВ 2775-80). Государственный стандарт Союза ССР. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Смеси взрывоопасные. Классификация и методы испытаний (с изменениями 1,2). Введен 01.07.1979. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 21 с.

18 ГОСТ Р ИСО 22734-1-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Генераторы водородные на основе процесса электролиза воды. Часть 1. Генераторы промышленного и коммерческого назначения. Введен 01.01.2014. – С.: Стандартиформ, 2014. – 31 с.

19 ГОСТ 32513-2013. Межгосударственный стандарт. Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия. Введен 01.01.2015. – С.: Стандартиформ, 2014. – 18 с.

20 ГОСТ 2084-77. Межгосударственный стандарт. Бензины автомобильные. Технические условия. Введен 01.01.1979. – С.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 6 с.

21 ГОСТ 51105-97. Государственный стандарт Российской Федерации. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия (с изменениями № 1 – 6, с поправкой). Введен 01.01.1999. – С.: Стандартиформ, 2009. – 41 с.

22 ГОСТ 54283-2010. Национальный стандарт Российской Федерации. Топлива моторные. Единое обозначение автомобильных бензинов и дизельных топлив, находящихся в обращении на территории Российской Федерации. Введен 30.06.2011. – С.: Стандартиформ, 2011. – 9 с.

23 ИСО/ТР 15916:2015. Основные требования безопасности водородных систем. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 62 с.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		110

24 Иосифов, В.В. Анализ барьеров и перспектив развития инновационных технологий автомобильного транспорта / В.В. Иосифов, С. В. Ратнер // Инновации. ОАО «Трансфер-Инновации». – 2016. – № 4 (210). – С. 55 – 63.

25 Канило, П.М. Анализ эффективности использования альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / П.М. Канило, И.В. Парсаданов // Всеукраинский научно-технический журнал. НТУ «ХПИ». – 2009. – № 1. – С. 8 – 14.

26 Пат. 2044151 Российская Федерация, МПК F02M27/00. Способы получения кислородно-водородной газовой смеси и устройство для его осуществления / Р.Е. Мардалейшвили, А.В. Спивак. – № 2003089347 А1; заявл. 29.11.1991; опубл. 20.09.1995, Бюл. № 23. (II ч.). – 3 с.

27 Пат. 2015395 Российская Федерация, МПК F02M21/00. Центробежный электролизёр / Г.В. Ильин. – заявл. 27.09.1990; опубл. 30.06.1994, Бюл. № 18. (II ч.). – 4 с.

28 ПБ 03-598-03. Правила безопасности при производстве водорода методом электролиза воды. Введён 02.07.2003. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2014. – 110 с.

29 Петров, В.Ю. Конкурентоспособность водорода как моторного топлива на автомобильном транспорте / В.Ю. Петров // Научные труды: народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2008. – № 1. – С. 462 – 483.

30 Полякова, Т.В. Состояние и перспективы развития водородной энергетики / Т.В. Полякова // Вестник МГИМО-Университета. – 2012. – № 2. – С. 156 – 164.

31 Практикум по организационно-экономическим вопросам дипломного проекта конструкторского профиля: учебное пособие / В.Г. Заслонов. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – 130 с.

32 Радченко, Р.В. Водород в энергетике: учебное пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2014. – 229 с.

					<i>ЮУрГУ-23.05.01.2019.398.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		111

33 Синяк, Ю.В. Оценка влияния ущербов от загрязнения окружающей среды на конкурентоспособность водорода как моторного топлива / Ю.В. Синяк, В. Ю. Петров // Проблемы прогнозирования. ФГБУ науки Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН. – 2009. – № 2. – С. 63 – 77.

34 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовой и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

35 СТО ЮУрГУ 21-2008. Стандарт организации. Система управления качеством образовательных процессов. Курсовая и выпускная квалификационная работа. Требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, А.Е. Шевелев, Е.В. Шевелева. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 55 с.

36 Хрипач, Н.А. Разработка водородной энергоустановки новой генерации / Н.А. Хрипач, Л.Ю. Лежнев, Б.А. Папкин, Ф.А. Шустров, Д.А. Иванов, А.П. Татарников, В.И. Сонкин // Известия МГТУ «МАМИ». – 2012. – № 1 (13). – С. 96 – 101.

37 Описание модели ВАЗ-2106. – <http://www.autoopt.ru/auto/encyclopedia/car/vaz/mark/vaz-2106/>

38 Прогноз развития энергетики России и мира до 2040 года. – https://www.eriras.ru/files/forecast_presentation.pdf