

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(институт, факультет)

Энергетические машины и системы управления

(кафедра)

13.04.03 «Энергетическое машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Поршневые и комбинированные двигатели

(направленность профиль)

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Применение альтернативных топлив в энергетических  
установках на базе поршневых двигателях внутреннего сгорания

Студент

В.С. Слепцов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

Д.А. Павлов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Консультанты

(И.О. Фамилия )

(личная подпись)

Руководитель

д.т.н., профессор А.П. Шайкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

программы

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Допустить к защите

Зав. кафедрой «ЭМСУ»

к.т.н., доцент Д.А. Павлов

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

(личная подпись)

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Тольятти 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА .....	6
ГЛАВА 2. ВИДЫ И СПЕЦИФИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТОПЛИВ .....	9
2.1. Альтернативные топлива.....	13
2.1.1. Водород как альтернативное топливо.....	20
2.1.2. Будущая технология получения водорода .....	28
2.1.3. Использование водорода на транспорте .....	25
ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ .....	27
3.1. Методика экспериментальных исследований .....	27
3.1.1 Результаты экспериментальных исследований .....	35
3.1.2 Результаты исследований влияния угла опережения зажигания .....	40
3.2 Анализ влияния добавок водорода на показатели ДВС.....	60
Заключение.....	66
Список используемых источников.....	68

## ВВЕДЕНИЕ

«Основным источником загрязнения воздуха в России являются автомобили с ДВС. По данным Минздрава РФ, на автомобили приходится 83% от общего объема выбросов загрязняющих веществ в атмосферу во многих регионах России. Важнейшей причиной низкого уровня ожидаемой продолжительности жизни в России является плохой воздух, и следствием этого в последние годы считается не транспорт, а производство. Один автомобиль поглощает более 4 тонн кислорода из атмосферы каждый год, принимая в среднем 800 кг окиси углерода, 40 кг окислов азота и почти 200 кг различных углеродов» [47].

«В результате Россия получает 27 тыс. т бензола, 17,5 тыс. т формальдегида, 1,5 тонны бензапирена и 5 тыс. тонн свинца в год. Общее количество вредных веществ, производимых автомобилями в год, превышает 20 млн тонн» [47].

«По данным Министерства транспорта России, каждый год ущерб от негативного воздействия различных выбросов в окружающую среду в результате использования автотранспорта составляет 45 млрд долларов США. Существует Федеральная программа " Модернизация транспортной системы России (2002-2010)". С подпрограммой "дорожно-транспортная экология России", которая предусматривает более жесткие экологические стандарты при производстве и эксплуатации автомобильного транспорта в России. Для решения вопроса транспортной экологии требуются новые технологии и разработки, которые направлены на совершенствование тех.состояния автомобильного транспорта» [47].

«На внутреннем рынке представлены технологии, повышающие экологичность и экономичность транспортных средств. Тем не менее, не функционирует «звено», которое должно качественно довести информацию до транспортных производств, чтобы установить обратную связь. Напрягает то, что экология из года в год ухудшается, и отклоняется по стандартам его

усовершенствования. С середины 90-х годов автомобильные производства равнодушные к улучшению транспортной среды, предпочитая вкладывать средства в строительство жилья или покупку иномарок» [47].

#### Актуальность

Актуальность данной работы заключается в выборе наиболее лучшего альтернативного топлива при работе двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием.

Цель работы: рассмотреть наиболее актуальные виды альтернативного топлива на сегодняшний день и выбрать более подходящий.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить несколько видов альтернативных топлив;
- рассмотреть каждый вид альтернативного топлива для поршневого ДВС;
- предложить лучший вариант альтернативного топлива;

Объект исследования – альтернативные топлива для поршневого ДВС.

Теоретическое значение работы.

Представлены несколько вариантов альтернативных топлив.

Практическое значение работы определяется следующим:

1. Результаты испытаний представлялись в виде регулировочных характеристик, сравнение которых с исходными позволяет провести оценку эффективности добавок водорода
2. Экспериментальные исследования проводились на моторном стенде, содержащем необходимое оборудование по ГОСТ 14846-81.
3. Дополнительным оборудованием являлась смонтированная система подачи водорода, обеспечивающая его подвод в ТВС в необходимом для исследований количестве.

Структура и объем диссертации.

Диссертации состоит из введения, 3 глав, заключения, списка литературы из 51 наименования. Работа изложена на 85 страницах машинописного текста, иллюстрированного 1 таблицей и 40 рисунками.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

«Одним из способов экологизации автотранспортных средств является переход на альтернативные виды топлива. Под общим термином «альтернативные виды топлива» понимаются все вещества, которые способны гореть, которые в течение небольшого промежутка времени могут использоваться вместо современных видов топлива из нефти и угля в ДВС или на электростанциях. Прежде всего, самое важное направление альтернативных видов топлива это традиционное нефтяное сырье» [47].

«Ученые нашли продукты сжиженного угля, легко воспламеняющихся газов и водянистых продуктов, которые получили из их хорошо обработанных остатков, спиртов и растительных масел. Особое место в этом списке имеет водород, как наиболее энергоемкой и экологически чистый продукт для получения энергии» [47].

«Использование нефтяного сырья не только увеличивает топливные ресурсы, но и улучшает их экологические свойства». Сегодня возникает вопрос топливной экологии. Общие требования представлены в ряде международных документов, на которые также ориентирована Россия. В нашей стране этот документ ГОСТ Р.51866, в который включен в автомобильный бензин и п.38,401-58-296-2001 ТУ дизельных топлив, отвечающих европейским нормам EN-228 и EN-590. Являясь членом Женевского соглашения, с 1999 года Россия использует Правила ЕЭК ООН для сертификации транспортных средств продуктов, они также вводят нормы, эффективность которых достигается как за счет улучшения устройства транспортных средств, так и за счет улучшения состава топлива» [47].

Таблица 1 - Нормы токсичности выхлопов автомобилей для цивилизованных стран Европы.

Стандарт	Год введения	Содержание в выхлопе, г/(кВт*ч)			
			NOx	CO	СxНх
«Евро-0»	1988	14,4	11,2	2,5	-
«Евро-1»	1993	8,0	4,5	1,1	0,36
«Евро-2»	1996	7,0	4,0	1,1	0,15
«Евро-3»	1999	5,0	2,0	0,6	0,10
«Евро-4»	2005	3,5	1,5	-	0,02
«Евро-5»	2008	2,0	1,5	-	0,02
«Евро-6»	2015	1,5	1	-	0,02

«Чем больше мир идет вперед, тем больше открывается интерес к альтернативным видам. Во многих странах биотопливо, изготовленное из растительных материалов, становится все более популярным» [47].

«В шести странах ЕС, а также в США, Канаде, Бразилии, Малайзии это биотопливо производится в промышленном масштабе, но его доля в топливном балансе составляет не более 0,3%» [47].

«В настоящее время двигатель внутреннего сгорания остаётся основной движущей силой автомобиля. В связи с этим единственный путь решения энергетической проблемы автомобильного транспорта - это создание альтернативных видов топлива. Новое горючее должно удовлетворять многие требования: иметь необходимые сырьевые ресурсы, низкую стоимость, не ухудшать работу двигателя и как можно меньше выбрасывать вредных веществ, но по возможности сочетаться со сложившейся системой снабжения топливом и др.» [48].

«Сегодня нефть является основным и самым популярным источником энергии. Однако ее запасы катастрофически быстро заканчиваются» [48].

«Совершенно ясно, что XXI век станет концом нефтяного века. Снижение добычи нефти в странах, включая Россию, и снижение ее прибыльности уже наблюдается на сегодняшний день. Стоимость нефтепродуктов и налагает определенные ограничения на развитие экономики отдельных стран и мировой экономики в целом» [48].

«В последнее время большое количество зарубежных исследовательских центров автотранспортных фирм проводят исследования, выпускают наиболее экономичное топливо» [48].

## ГЛАВА 2. ВИДЫ И СПЕЦИФИКА ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТОПЛИВ

«Важнейшие экологические требования к топливам:

— отказ от объединений со свинцом при производстве автомобильных бензинов;

— жесткое ограничение содержания бензола в автомобильных бензинах;

— ограничение содержания ароматических углеводородов, особенно полициклических, в бензинах и дизельных топливах;

— ограничение содержания олефиновых углеводородов в автомобильных бензинах;

— ограничение содержания серы в бензинах и дизельных топливах вплоть до тысячных долей процента;

— постепенное ограничение эмиссии продуктов неполного сгорания: монооксида углерода, углеводородов, твердых частиц и оксидов азота» [47].

«Представление о взаимосвязи токсичности продуктов сгорания и параметров работы двигателя, дают следующие основные закономерности, справедливые при стехиометрическом составе топливной смеси:

— эмиссия CO и углеводородов возрастает с увеличением соотношения СН в топливе и уменьшается с повышением температуры сгорания топливной смеси;

— эмиссия оксидов азота NOX увеличивается с повышением температуры сгорания топливной смеси;

— мощность двигателя и его экономичность повышаются с увеличением тепловой производительности топливной смеси;

—затрата топлива и пробег автомобиля при одной и той же топливной заправке повышается с понижением теплоты сгорания используемого топлива;

—эмиссия CO<sub>2</sub> понижается с уменьшением соотношения СН и с уменьшением расхода топлива, т.е. с увеличением экономичности двигателя» [48].

«Таким образом, при использовании спиртов и газообразного топлива, будет снижение выбросов СО и оксидов азота, водород в качестве топлива устраняет опасность СО NOX. Что касается расхода топлива, то при использовании спиртов он увеличивается примерно в два раза и при использовании газообразного топлива с водородом. Мощные параметры двигателя в случае увеличения подачи спирта, при работе на газообразном топливе и водороде уменьшаются» [47].

«Приведенная выше оценка эффективности альтернативных видов топлива является образцовой и требует корректировки с учетом двух условий» [47].

«Во-первых, эффективность определенного вида топлива правильно запрос для "полного жизненного цикла", которая основана на их производительности, транспорт и т. д. Такой анализ пока встречается только в отдельных случаях. Водород не является лучшим топливом для этого показателя, но наиболее предпочтительными являются виды топлива из возобновляемого растительного сырья» [47].

Физико-химические и эксплуатационные характеристики традиционных и альтернативных топлив

Показатель	Автомобильный бензин	Дизельное топливо (летнее)	Метанол	Этанол	Диметиловый эфир	Сжатый природный газ	Сжиженный газ	Водород	Эфиры растительных масел
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	740–760	820–850	795	789	2,091	150 <sup>а</sup>	550	70 <sup>б</sup>	875–900
Вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	0,5–0,7	3,5–6,0	0,55	1,76	–	–	–	–	3,5–5,0 <sup>в</sup>
Температура, °С									
застывания (кристаллизации)	< –60	< –10	–98	–115	–138	–182	–187	–259	0 + –5
кипения	35–200	180–360	65	78	–25	–162	–42	–253	> 200
вспышки	< 0	< 40	8	13	–41	–	–	–	> 100
самовоспламенения	350–400	230–300	464	423	350	650–700	550–600	500–510	300–350
Октановое число (исследовательский метод)	80–98	–	104–115	106	–	100–110	90–110	30–40	20–25
Цетановое число	–	40–45	3–5	8	> 55	–	18–22	45–90	50–55
Отношение С/Н	5,5	6,5	3	4	4	3	4,5	–	6,5
Содержание серы, %	< 0,1 <sup>г</sup>	< 0,2 <sup>г</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	< 0,003	0,0	< 0,1
Теплота									
сгорания низшая, МДж/кг	41–44	42–43	20	25	25	49–50	45–46	118	37–38
парообразования, кДж/кг	200	210	1100	900	470	–	–	48	–
Теплота сгорания стехиометрической смеси (объемная теплопроизводительность), МДж/м <sup>3</sup>	3,5	3,4	3,6	3,6	3,6	3,2	3,5	3,0	>3,4
Массовая теплопроизводительность, МДж/кг	2,7	2,8	2,6	2,6	2,6	2,7	2,8	3,3	2,7
Теплоемкость при 20 °С, кДж/(кг·град)	2,0–2,1	1,9	2,5	2,4	–	2,2	1,65	14,2	–
Стехиометрическое количество воздуха, требующееся для полного сгорания топлива, кг/кг	14–15	14,0–14,5	6,5	8,5	8,9	17,0–17,5	15	34,8	13,5–14,5
Максимальная температура пламени при α = 1 °С	2060	2100	1910	1960	–	2020	2030	2180	2000
ПДК <sub>гр</sub> , мг/м <sup>3</sup> <sup>д</sup>	100	100	5	1000	–	300	300	–	–

<sup>а</sup> При 20 МПа. <sup>б</sup> При 20 К. <sup>в</sup> При 40 °С. <sup>г</sup> См. табл. 1 и 2. <sup>д</sup> Предельно допустимая концентрация паров в воздухе рабочей зоны.

Таблица 2 – физико-химические и эксплуатационные характеристики» [47].

«Во-вторых, мы должны взять на себя ответственность за недостатки с техническими решениями. В свете этого подхода имеет смысл анализировать более или менее каждый тип топлива» [47].

«Вопрос адаптации новых топлив к имеющимся двигателям осложняется тем, что технический парк создавался в расчете на жидкие нефтяные топлива, с ориентировкой на них и сконструировались двигатели, создавалась различная инфраструктура, разрабатывались должные теоретические положения, накапливался определенный практический опыт» [47].

«Эта точка зрения не касается продуктов ожижения углей (искусственное жидкое топливо), поскольку они могут быть преобразованы в топливо, которое полностью адаптировано к нефтяным аналогам с традиционными технологическими процессами. В случае других видов топлива, в отличие от традиционных углеводородных топлив, могут быть некоторые требования, при которых двигатель должен подвергаться незначительной модификации, в противном случае альтернативные виды топлива вводятся в стандартное топливо в количествах, которые не изменяют их эксплуатационные свойства» [47].

## 2.1 Альтернативные топлива

«Газообразное топливо является единственным альтернативным топливом, для которого технические и экологические проблемы при использовании были решены именно в России. Основная трудность перехода автомобиля заключается в том, что для транспортировки топлива имеется необходимость создания определенной инфраструктуры: заводы, складские помещения, заправочные станции» [47].

Оно поставляется с необычными жидкостями, которые могут быть применены к необычным газообразным топливам.

«Сжатый природный газ, который по составу больше метана, может использоваться в качестве моторного топлива после небольшого изменения и использования конфигураций в высокооктановом количестве, природный газ является хорошим топливом для двигателей, работающих на цикле Отто» [47].

«Эксплуатация природного газа на двигателе дизельном, может предотвратить его высокую температуру самовоспламенения и низкое цетановое число. Чтобы убрать эту преграду, применяют двух топливную систему, введенную в камеру сгорания в качестве заряда, а затем поступает плотный природный газ» [47].

«Из-за низкого содержания углерода в нефтяном топливе (75% метана против 80-90% бензина) сжигание природного газа производит меньше CO<sub>2</sub>, чем бензин» [47].

«Топливо-воздушная смесь, произведенная из природного газа, не компенсирует жидкую фазу и ровно распределяется по цилиндрам. Свечи зажигания повышают свою работу на 30-40%, а срок службы масла увеличивается примерно в 2-3 раза» [47].

«В отличие от жидкого топлива, идеальное выгорание метана, которое обусловлено большим количеством воздуха, что способствует сокращению выбросов оксидов азота» [47].

«Подметим недочеты, которые проявляются при эксплуатации автомобиля на сжатом естественном газе:

-Устанавливаемые на авто мощные газовые баллоны наращивают его массу и понижают грузоподъемность» [47].

-Запас хода при одной заправке сравнимо невелик, составляет примерно 250—300 км» [47].

«-На 7—8% повышается трудоемкость сервиса и ремонта автотранспорта. Понижение до 20% мощности ДВС, в результате которого на 5—6% понижается максимальная скорость, на 24—30% усиливается продолжительность разгона, автомобиль плохо преодолевает крутые подъемы и затрудняется пуск двигателя» [47].

Выбросы токсичных веществ (в г/км) при работе бензинового и дизельного двигателей на разных видах топлива

Вещество	Бензиновый двигатель			Дизельный двигатель	
	Бензин	Бензин с системой снижения токсичности отработавших газов	Сжатый природный газ	Дизельное топливо	Двухтопливная система
Оксид углерода	2,5—10	1—2,5	0,5—1,5	0,2—1,6	0,2—1,0
Оксиды азота	1—1,8	0,25—0,45	0,5—0,9	0,5—1,8	0,5—1,8
Неметановые углеводороды	1,0—2,0	0,1—0,2	0,1—0,2	0,1—0,2	0,1—0,2
Сажа (дымность по Хартриджу, %)	—	—	—	4—40	2—15
ПАУ*	0,003—0,03	0,0015—0,02	0,003—0,009	—	—

Таблица 3 – Выбросы токсических веществ

«Сжиженный нефтяной газ на 90-95% есть как смесь пропана и бутана с небольшой примесью более тяжелых углеводородов» [47].

«По энергетическим и экологическим характеристикам двигателей сжиженный нефтяной газ близок к сжатому природному газу. Из баллонов, установленных на автомобиле со сжиженным нефтяным газом (при давлении около 1,6 МПа), газ через испаритель дозируется в двигатель. Основные недостатки данного вида топлива: процесс испарения несколько ухудшает его пусковые свойства, для работы двигателя при низких температурах воздуха требуется установка специальных подогревателей или запуск и нагрев двигателя производится с использованием стандартного бензина» [47].

«Спирты имеют давнюю традицию использования в двигателях внутреннего сгорания. В настоящее время они в основном используются в качестве топлива для гоночных автомобилей, так как они увеличивают мощность двигателя при снижении температуры в камере сгорания. Благодаря более низкой температуре выхлопных газов, интенсивному отводу тепла от цилиндров и более полному сгоранию, эффективность работы двигателя на спиртах выше, чем при работе на мазуте. При использовании спиртов уменьшается выброс продуктов неполного сгорания топлива, уменьшается образование сажи и тем самым повышается чистота деталей двигателя и топливной аппаратуры. Однако при этом выбросы альдегидов увеличиваются, выбросы оксидов азота могут увеличиваться» [47].

«Из спиртов преобладают в качестве топлива метанол и этанол. Метанол и этанол имеют почти в два раза более низкую теплотворную способность по сравнению с нефтяными топливами, что означает двойное потребление для одной и той же работы двигателя. Кроме того, спирты гигроскопичны, обладают плохими смазывающими свойствами, коррозионны (вследствие окисления до соответствующих кислот), плохо сочетаются со структурными материалами» [47].

«Их непосредственное использование требует некоторых изменений в конструкции двигателя. Как правило, более низкие спирты используются в

качестве добавок к основному топливу для его частичной замены. Однако допустимое количество алкоголя невелико. Так, ГОСТ р. 51866 и Всемирная топливная Хартия вводят следующие количественные ограничения на добавление спиртов в автомобильные бензины: метанол-3% (об.), этанола-5, других спиртов-7-10%. Введение спиртов в бензин может увеличить их октановое число. Цетановое количество спиртов очень низкое, и это связано с серьезными трудностями в использовании спиртов в дизельных двигателях» [47].

«Метанол очень эффективное топливо для ДВС с принудительным зажиганием из-за его высокого октанового числа. Метанол может использоваться как отдельное топливо, так и в качестве добавки к бензину. Во всех случаях его применение позволяет снизить токсичность выхлопных газов двигателя» [47].

«Использование на 100% метанола невозможно из-за его высокой токсичности и агрессивному поведению к конструкционным материалам» [47].

«Существует две группы методов, предусматривающих частичную и полную замену мазута. При частичной замене метанол смешивается с топливом в количестве 10-40%» [47].

«Особенности эксплуатационных свойств метанола проявляются и при его использовании в смеси с бензином. КПД двигателя и его мощность увеличиваются, но топливная экономичность ухудшается» [47].

«Добавки метанола к бензину в целом способствуют улучшению токсических характеристик автомобиля» [47].

«Метанол является перспективным источником энергии для топливных элементов, обеспечивая "нулевые выбросы" при использовании в автомобиле. При массовом производстве топливных элементов стоимость вырабатываемой ими электроэнергии будет приемлема для массового потребителя» [47].

«Этанол как добавка к топливу более эффективен, чем метанол, так как лучше растворяется в углеводородах и менее гигроскопичен. Применение газохолы (смеси бензина с 10-20% этанола) широко известно в США, а также в Бразилии, которая обладает большими ресурсами спирта, производимого из сахарного тростника. В целом этанол представляет особый интерес в качестве топливной добавки в богатых ресурсами странах. Увеличение концентрации этанола в бензине до 10% приводит к истощению топливовоздушной смеси, ухудшает работу машины практически во всех режимах работы» [47].

«Эстеры как топливо имеют преимущество над спиртами В то что они более лучший soluble в топливе, более менее водоемкий и более менее въедливый. В последние годы наблюдается интерес к диметоксиметану, диметил и диэтиловым эфирам как компонентам дизельного топлива. Во многом это объясняется их хорошей Воспламеняемостью в двигателе и, следовательно, высоким цетановым числом» [47].

«Диметиловый эфир может впрыскиваться в камеру сгорания двигателя или использоваться в качестве добавки к сжиженному газу, метанолу или стандартному дизельному топливу. Для работы впрыска диметилового эфира, являющегося газом в нормальных условиях, необходима специальная система подачи топлива, так как этот эфир обладает плохими смазывающими свойствами, имеет очень низкую вязкость и легко сжимается. При использовании диметилового эфира в качестве добавки к основному топливу упрощается задача впрыска и одновременно решаются другие задачи. Увеличивает цетановое число диметилового эфира из метанола. При работе двигателей на диметиловом эфире практически отсутствует образование сажи» [47].

«Диэтиловый эфир еще более удобен в использовании и эффективен, так как он жидкий и его цетановое число превышает 125 (по некоторым данным достигает 160). Добавление 10% диэтилового эфира в дизельное топливо увеличивает цетановое число в среднем на 4 единицы» [47].

«Биодизель-биомасса обозначается всеми органическими веществами как растительного, так и животного происхождения, источником которых является современная биосфера нашей планеты. Биомасса уже давно используется в качестве сырья для производства различных видов топлива, таких как горючий газ и этанол (этиловый спирт). Таким сырьем являются мусор, пищевые и бытовые отходы, опилки и другие отходы лесной промышленности, отходы сельскохозяйственных животных, солома, излишки зерна и др. Для получения метилового эфира к девяти массовым единицам растительного масла добавляют одну массовую единицу метанола (т. е. отношение 9:1), а также небольшое количество щелочного катализатора. Все это смешивается в специальных колонках при температуре 500-800°С и нормальном давлении. В результате химической реакции в первую очередь образуется необходимый метиловый эфир, а также побочный продукт — глицерин, широко используемый в фармацевтической и лакокрасочной промышленности. Полученный эфир обладает хорошей воспламеняемостью, обеспечиваемой высоким цетановым числом» [47].

«Металл. Ученые из штата Теннесси утверждают, что металл должен стать новым, революционным видом автомобильного топлива. Они считают, что при определенных условиях из порошкового железа или алюминия выделяется огромное количество энергии. Для этого нужно просто сделать частицы размером с нанометр и добавить легковоспламеняющийся элемент. По мнению исследователей, энергия от горящего порошкового железа в два раза превышает энергию от сгорания бензина. Металл "нано-топливо", как его называют ученые, не выделяет углекислого газа и оксидов азота, а при добавлении водорода наночастицы могут использоваться даже несколько раз» [47].

«Принцип действия аналогичен запуску ракеты: порошковый металл используется при запуске космических аппаратов и военных торпед» [47].

«Сжиженный газ. Использование газовых конденсатов в качестве моторного топлива сведено к минимуму за счет следующих недостатков:

вредное воздействие на центральную нервную систему, недопустимые искры при работе топлива, снижение мощности двигателя (на 20%), увеличение удельного расхода топлива» [47].

«Шахтный метан. В последнее время, добываемый из угольных пород, стал одним из альтернативных видов моторного топлива. К 1990 году более 90 тысяч автомобилей работали на шахтном метане в США, Италии, Германии и Великобритании. В Великобритании, он широко используется в качестве моторного топлива для автобусов в угольных регионах страны» [47].

«Синтетический бензин. Сырьем для его производства могут быть уголь, природный газ и другие вещества. Наиболее перспективным является синтез бензина из природного газа. Из 1 м<sup>3</sup> синтез-газа, получают 120-180 г синтетического бензина. За рубежом производство синтетического моторного топлива из природного газа развивалось в промышленных масштабах. В Новой Зеландии на передвижном заводе ежегодно синтезируется 570 тыс. тонн моторного топлива из ранее полученного метанола» [47].

«Электричество. Заслуживает внимания использование электроэнергии в качестве источника энергии для электромобилей. Проблема токсичности выхлопных газов решается в основном, и нефть может использоваться для производства химических веществ и соединений. К недостаткам электроэнергии как вида электромобиля относятся: ограниченный ассортимент электромобилей, повышенные эксплуатационные расходы, высокая первичная стоимость и высокая стоимость энергоемких аккумуляторов» [47].

«Топливный элемент. Топливные элементы - это устройства, генерирующие электричество на борту транспортного средства. В ходе реакции водорода и кислорода образуются вода и электрический ток. В качестве топлива содержащего водород, как правило, используется либо сжатый водород, либо метанол. Многие зарубежные автокомпании работают

в этом направлении, и если им в конечном итоге удастся снизить стоимость топливных элементов автомобилей до бензина, то это станет реальной альтернативой традиционному нефтяному топливу в странах-импортерах нефти» [47].

«Биогаз. Он представляет собой смесь метана и углекислого газа и является продуктом метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения. Биогаз относится к видам топлива, получаемым из местного сырья. Хотя существует много потенциальных источников для его производства, на практике круг их сужается вследствие географических, климатических, экономических и других факторов. Биогаз как альтернативный энергоноситель может служить высококалорийным топливом. Он предназначен для улучшения технических, эксплуатационных и экологических характеристик двигателя внутреннего сгорания. Использование биогаза в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания может снизить выбросы и повысить топливную эффективность» [47].

#### 2.1.1 Водород как альтернативное топливо.

«Водород - эффективная энергия. Использование водорода в качестве топлива может быть применено в различных условиях, по сравнению с бензином и дизельным топливом. Взрывоопасность водорода снижается с использованием специальных добавок. Теперь любая автокомпания владеет собственным концептуальным автомобилем, который работает на водороде. Однако некоторые компании предоставляют комбинированные решения. Итак, «Mazda» дает концептуальный автомобиль, который владеет способностью менять топливо (водород и бензин). Другие автопроизводители объединяют эти виды топлива. В США производятся тракторы, в двигателях которых используется смесь дизельного и водородного топлива. Это позволяет увеличить мощность двигателя, экологическую чистоту и снизить расход топлива. Система выполняет разделение воды, собирает водород и направляет его в камеру сгорания» [48].

«По некоторым подсчетам, каждую секунду в глубинах Солнца около 564 миллионов тонн водорода в результате термоядерного синтеза конвертируется в 560 миллионов рублей» [48].

«В миллионах последних моделей автомобилей, которые производятся, разливают топливо, которое выделяет углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и (CO) в атмосферу» [48].

«На сегодняшний день в «нефтяной» экономике получение водорода это отдельная самостоятельная отрасль. В наше время 48% водорода получают из природного газа, 30% - из нефти, 18% - из угля и 4% - в части переработки углеводородного топлива» [47].

«Альтернативным способом добывания водорода, которое не связано с ископаемым топливом - это электролиз, он требует только влаги и электричества» [47].

«Однако, поскольку электричество намного дороже, чем природный газ, этот процесс не является экономичным для крупномасштабного производства. Химическая активность для производства высокотемпературного электролиза, солнечная энергия может быть использована в процессе фотосинтеза, это связано с предстоящей разработкой нанотехнологий» [48].

«По сравнению с другими газами его можно контролировать или транспортировать обычными методами, чрезвычайно дорогостоящими. Для обработки компрессора требуется дополнительная энергия. Чем больше влияние, тем больше энергии тратится на затягивание. Кандидатом может быть жидкий водород, которому принадлежит самая высокая энергия. Однако жидкий водород представляет собой криогенную жидкость. При самой высокой температуре жидкий водород превращается в пар, затем он становится газообразным. Таким образом, сжижение газообразного водорода в том же духе требует большого расхода энергии для его охлаждения» [48].

«Кроме того, контейнеры для водорода должны быть изолированы от вероятного нагрева. Трубопроводы для перекачки водорода будут стоить

дороже, чем высоковольтные линии электропередачи или нефте- и газопроводы» [48].

«Вместо сохранения и использования чистого водорода в качестве носителей используются гидриды металлов. Различные гидриды на разных этапах способны высасывают водород и возвращают его обратно. Гидридное хранилище может стать одной из наиболее перспективных технологий использования водородного топлива в автомобилях» [48].

«Основным условием перехода к водородной экономике является замена двигателей внутреннего сгорания и турбин электростанций на топливные компоненты, которые представляют собой технологический прогресс в новейших технологиях трансформации. Хотя топливные компоненты по-прежнему чрезвычайно дорогие, функциональные исследования в этой области активны во всех развитых странах. Они обязательно придут на свои места» [48].

«С уменьшением стоимости топливных компонентов эта система работает больше всего, выбрасывает меньше углекислого газа в атмосферу и не требует использования конфигураций в инфраструктуре. Другим преимуществом использования метана является то, что по сравнению с водородом метан легче транспортировать и хранить» [48].

«Начнем с того, что нам нужно больше энергии для производства такого топлива, мы получим столько же, сколько и результат его сгорания, и этот окончательный энергетический импульс в процессе производства и потребления водорода атмосферы и гидросферы будет заметно увеличиваться» [48].

«Вторая сторона - химическое загрязнение. Бензин является «экологически чистым» топливом: в результате его сгорания, влаги и углекислого газа. Но технологически выполнимый и экономически приемлемый метод. Экономически законный метод производства топлива и его применения также будет отличаться от идеальной схемы, поскольку

нынешний процесс сжигания углеводородов в цилиндрах двигателей отличается от схемы» [48].

Трудно представить себе еще один нюанс: если города и в будущем будут использовать столько двигателей и печей, сколько сейчас, их воздух будет действительно «мокрым» [47].

«Такой цикл, теоретически, позволяет достичь большей эффективности, чем сжигание бензина в двигателе. Массовое внедрение новейших энергоблоков, предотвращающих неограниченные потребности и большую инерцию топливных реакторов бензина к водороду» [48].

«Водород является одним из самых распространенных элементов на Земле. Он содержится в вулканических газах. Основная масса водорода. При разложении в анаэробных условиях в миллиарды тонны растительных остатков в воздух выделяется значительное количество водорода. Этот водород в его нынешнем состоянии быстро рассеивается и рассеивается в верхней атмосфере. Обладая небольшой массой, высокой скоростью диффузионного движения, он может летать в космос. Концентрация водорода в верхней атмосфере  $1 \cdot 10^{-4} \%$ » [48].

«Водород, который был получен из воды, является одним из наиболее насыщенных энергоносителей» [48].

«В то же время водород - сырьё для ряда важных хим синтезов( аммиака, метанола, гидразина), для получения синтетических углеводородов» [48].

«При конверсии метана парами, двуокисью углерода, кислородом и паром происходят следующие каталитические реакции» [48].

«Получение водорода осуществляется в три стадии. Первая стадия - конверсия метана в трубчатой печи: » [48].

« $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + 3\text{H}_2 - 206,4 \text{ кДж/моль}$ » [48].

или

« $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 = 2\text{CO} + 2\text{H}_2 - 248,3 \text{ кДж/моль}$ » [48].

«Вторая стадия связана с преконверсированием остаточного метана первой стадии оксигенации. (Если получается чистый водород, второй этап может не быть)» [48].

$\text{CH}_4 + 0,5\text{O}_2 = \text{CO} + 2\text{H}_2 + 35,6 \text{ кДж/моль}$ .

И, наконец, третья стадия - конверсия оксида углерода водяным паром:

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2 + 41,0 \text{ кДж/моль}$ .

«Для всех этих этапов требуется пар, и много тепла, поэтому процесс в энергетической технологии выполняется так, чтобы трубчатые печи внешнего нагрева дыма использовались для получения водяного пара» [48].

### 2.1.3 Использование водорода на транспорте

«Водород имеет более высокую теплоту сгорания - 120 МДж / кг, а бензин - всего 42 МДж / кг» [48].

«С переходом автотранспорта на водородное топливо экологические проблемы крупных городов будут решены раз и навсегда:

- потребность в огромных энергозатратах для получения водорода электролизом воды;
- необходимость использования специальных сверхгерметичных емкостей для хранения и транспортировки водорода, т.к. в силу малого размера молекул оно обладает высокой проникающей способностью» [48];

«Необходимость создания сети АЗС в каждом населенном пункте и вдоль основных магистралей: водородные, бензиновые и дизельные двигатели» [48].

В следующей главе представлены экспериментальные исследования, проведенные с водородным топливом, объектом исследований являлся двигатель ВАЗ-2111.

## ГЛАВА 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

### 3.1 Методика экспериментальных исследований

Объектом исследований являлся двигатель ВАЗ-2111, оснащенный системой распределенного впрыска и микропроцессорной системой управления. В качестве определяющих факторов были выбраны коэффициент избытка воздуха, угол опережения зажигания (УОЗ), нагрузка, число оборотов двигателя, расход водорода и степень рециркуляции отработавших газов (РОГ). Результаты испытаний представлялись в виде регулировочных характеристик, сравнение которых с исходными позволяет провести оценку эффективности добавок водорода.

Экспериментальные исследования проводились на моторном стенде, содержащем необходимое оборудование по ГОСТ 14846-81. Дополнительным оборудованием являлась смонтированная система подачи водорода, обеспечивающая его подвод в ТВС в необходимом для исследований количестве.

Водород в данном случае, как следует из рисунка1, подавался во впускную трубу. Вторым вариантом подачи водорода являлась подача непосредственно в район электродов свечи зажигания посредством специальной системы, разработанной УПД АО АВТОВАЗ.

Данный способ подвода водорода и конструкция системы его подачи была разработана на основании результатов, приведенных в работах [11,13,18,19]. Для подачи водорода в цилиндр двигателя применялись топливные форсунки, установленные с помощью штатной топливной рамы на головке блока цилиндров.

Схема системы подачи водорода

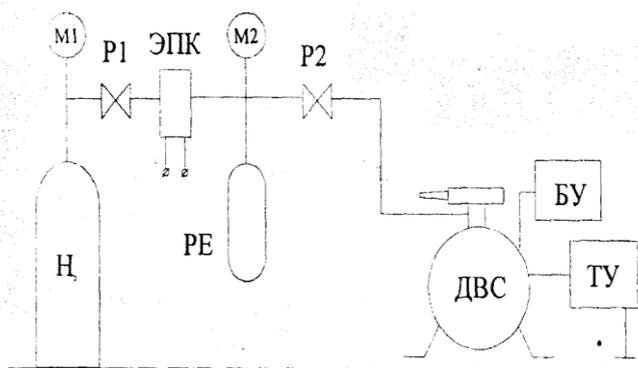


Рисунок 3.1 – Схема системы подачи водорода.

$H_2$  - баллон с водородом, М1-М2 - манометры, Р1-Р2 - редукторы, ЭПК - электропневмоклапан, РЕ - расходная емкость, БУ - блок управления, ТУ - тормозное устройство стенда.

Форсунки открывались посредством разработанного блока управления, который подавал команду на открытие форсунки. При этом была использована возможность получения управляющего сигнала от штатного коммутатора блока зажигания, в котором на клеммах А и Б за 2,3 мс до подачи импульса на образование искры, возникает напряжение, достаточное для получения управляющего сигнала. В соответствии с последовательностью работы микропроцессорной системы зажигания двигателя ВАЗ-2111 осуществляется попарная подача управляющих сигналов на свечи 1-4 и 2-3 цилиндров, а следовательно и открытие форсунок происходит аналогичным образом (попарно). Предполагая равномерность поступления водорода в два цилиндра, его расход может быть определён путём деления пополам.

Программой испытаний предусматривалось также проведение исследований влияния водорода на рабочий процесс при подаче на впуск ОГ - рециркуляции отработавших газов. При этом применялось два способа изменения расхода ОГ. При первом использовалось ручное управление с помощью вентиля, расположенного на кронштейне крепления к ресиверу. Величина рециркуляции устанавливалась по углу поворота резьбового штока

клапана. Во втором случае использовался линейный электромагнитный клапан, управляемый контроллером «Январь-4», который был программно доработан возможностью открытия клапана на определённую заданную величину, устанавливаемую в процентах от максимального открытия. Действительная степень РОГ не определялась.

При проведении испытаний производились измерения следующих величин: расхода бензина  $Ob$ , воздуха  $Cв$ , водорода  $On$ , нагрузки на двигатель, характеризуемой усилием на тормозном устройстве и приводимой к среднему эффективному давлению  $Pe$ , числа оборотов  $n$ , концентрации оксида углерода (СО) и углеводородов (СН), индикаторного давления, параметров, характеризующих состояние двигателя - давления в системе смазки и температуры охлаждающей жидкости, атмосферные условия. Расход топлива измерялся весовым и объёмным способами, расход воздуха - с применением турбинного датчика, соединенного с впускным трубопроводом посредством гасящей колебания емкостью объёмом 230 л. Концентрация компонентов ОГ регистрировалась с помощью оптико-акустического анализатора YNAKO EIR 2105 и МЕХА (Япония).

Случайная составляющая относительной погрешности прямых измерений определялись методом повторных наблюдений (ГОСТ- В.207-76) и составила: для расхода воздуха  $\delta_B=2\%$ , для частоты вращения коленчатого вала  $\delta n =1\%$ , для усилия на тормозном устройстве  $\delta p=1\%$ . Относительные погрешности определения расхода бензина, коэффициента избытка воздуха, мощности двигателя определялись в соответствии с принятой методикой оценки косвенных измерений [13,14 ]. При этом величина абсолютной предельной погрешности с принятой надёжностью (доверительной вероятностью), равной  $\beta=0,95$  по формуле:

$$\Delta = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f(x_1, x_2, \dots, x_m)}{\partial x_m} \right)^2 t_{\alpha} s_i^2} \quad (1)$$

где:  $f(x_1, x_2, \dots, x_m)$  - функция, определяющая искомую величину по результатам прямых измерений,  $x_1, x_2, \dots, x_m$  - её аргументы,  $t_{\alpha}$  - квантиль распределения Стьюдента,  $s_i$  - оценка дисперсии  $i$ -го прямого измерения,  $m$  - количество аргументов функции.

В частности, нагрузка на двигатель, задаваемая тормозным усилием  $P[kz]$  и числом оборотов  $n$ , определяется, как известно, по формуле:

$$N_e = k P n, \quad (2)$$

где  $k$  - константа тормозного устройства, равная в данном случае  $k = 0,001$ .

Тогда абсолютная погрешность случайной составляющей при определении мощности двигателя выражается следующей зависимостью:

$$\Delta_{N_e} = \sqrt{k^2 t_{\alpha} \left( (n S_p)^2 + (P S_n)^2 \right)} \quad (3)$$

где:  $S_p$  и  $S_n$  - соответственно оценки дисперсии тормозного усилия и числа оборотов, определяемые экспериментально методом повторных наблюдений в соответствии с известным выражением:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

где:  $n$  - число повторных опытов,  $\bar{x}$  и  $x_i$  - соответственно, среднее и  $i$ -ое значения обобщённого измеряемого параметра.

Результаты расчётов позволили получить, что предельная относительная погрешность определения (установления) мощности двигателя равна

$$\delta_{N_e} = \frac{\Delta N_e}{N_e} = 2,3\% \quad (5)$$

Применение аналогичной процедуры для оценки случайной составляющей погрешности измерения расхода бензина и водорода позволило получить следующие величины:  $\delta_{G_b} = 1\%$ ,  $\delta_{G_H} = 5\%$ .

«Более подробный анализ погрешности измерений был проведён для случая определения коэффициента избытка воздуха. Это связано с тем, что как указывалось, выше, результаты исследований сводились в основном к получению регулировочных характеристик по составу смеси и их анализу. В связи с этим требуется более полный анализ результирующей погрешности измерений, влияния на нее отдельных составляющих и соотношения. между собой независимых переменных» [49].

«Коэффициент избытка воздуха, как известно, определяется формулой:

$$\alpha = \frac{G_B}{G_T \cdot l_{OT}} \quad (6)$$

где:  $l_{OT}$  - стехиометрический коэффициент топлива, представляющего собой в данном случае смесь бензина и водорода,  $G_T = G_b + G_H$ , где  $G_b$  и  $G_H$  - соответственно, расход бензина и водорода» [49].

«Коэффициент стехиометрического соотношения зависит от состава топлива, т.е. от соотношения в топливе бензина и водорода и может быть определён по известной формуле» [49]:

$$l_{OT} = \frac{1}{0.23} \left( \frac{8}{3} C + 8H - O \right) \quad (7)$$

где: С, Н и О-массовые доли углерода, водорода и кислорода в 1 кг топлива. Однако для определения  $\alpha$  в данном случае удобнее пользоваться другой формулой:

$$\alpha = \frac{G_b}{G_b l_{об} + G_H * l_{ОН}} \quad (8)$$

где:  $l_{об}$  и  $l_{ОН}$  стехиометрическое соотношение бензина и водорода при горении в воздухе.

Расчётный анализ показал, что вычисления по обеим формулам дают одинаковые результаты.

«В соответствии с приведенной выше методикой определения случайной составляющей погрешности измерений после дифференцирования для оценки абсолютной погрешности определения коэффициента избытка воздуха получено следующее выражение» [49] :

$$\Delta\alpha = \sqrt{\left(\frac{1}{G_r l_{об} + G_H l_{ОН}}\right)^2 t_\alpha S_B^2 + \left(\frac{l_{об} G_B}{G_r l_{об} G_H l_{ОН}}\right)^2 t_\alpha S_G^2 + \left(\frac{l_{ОН} G_B}{G_r l_{об} G_H l_{ОН}}\right)^2 t_\alpha S_H^2} \quad (9)$$

«Относительная погрешность определялась в соответствии с формулой» [49].:

$$\delta\alpha = \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \quad (10)$$

«В результате проведенных расчётов получено, что суммарная относительная погрешность определения,  $\alpha$  в диапазоне изменений измеряемых величин находится в пределах  $\delta_a=3,7-4,1 \%$ » [49].

«Полученные зависимости могут быть проанализированы с точки зрения оценки влияния отдельных составляющих погрешности и последующего определения параметра, оказывающего наибольшее влияние. Такой анализ позволяет определить требования к средствам измерений с целью повышения точности результатов в целом» [49].

В частности, проведенный расчётный анализ показал, что при отсутствии подачи водорода относительная погрешность не изменяется. Абсолютная погрешность в большей степени зависит от величины расхода воздуха, тогда как влияние расхода бензина значительно меньше.

Данные результаты иллюстрируются графиком зависимости погрешности от  $G_t$  и  $G_b$ , представленным, в виде поверхности на рисунке 1.3 .

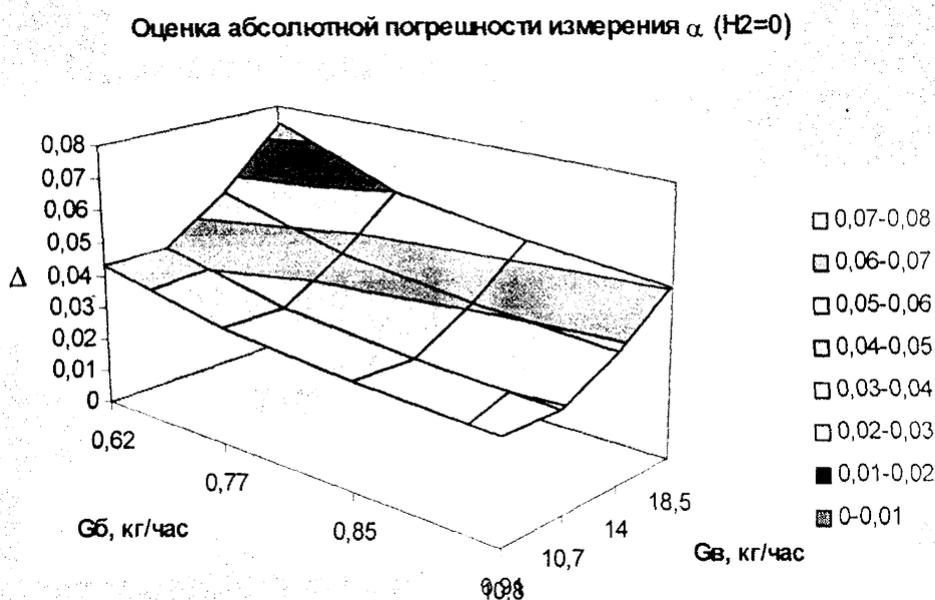


Рисунок 3.2 – Оценка абсолютной погрешности

При подаче в ТВС водорода незначительно изменяется и относительная погрешность (порядка на 0,5-1% в исследованном диапазоне по  $a$ ). Наиболее влияющим фактором остаётся  $G_v$ , тогда как величина расхода водорода сказывается незначительно и на абсолютной, и на относительной погрешности. Данный факт позволил применить при испытаниях систему измерений расхода водорода с относительной погрешностью 5%.

На рисунке 1.4 приведены расчетные графики изменения абсолютной погрешности в зависимости от  $b$ .

Можно видеть, что при подаче водорода уровень погрешности несколько выше, однако это превышение незначительно.

Проведенный анализ влияния на суммарную относительную погрешность показателей точности измерений отдельных величин позволил определить, что наибольшее влияние в данном случае оказывает точность измерения расхода воздуха, которая, как указывалось выше, составляла 2%.

В частности, снижение её величины до 1% уменьшает суммарную погрешность  $\delta_a$  на 1,2 %, т.е. с 4 до 2,8%. Аналогичное по величине изменение точности определения  $G_t$  и  $G_n$  приводит к снижению суммарной погрешности менее чем на 0,5%.

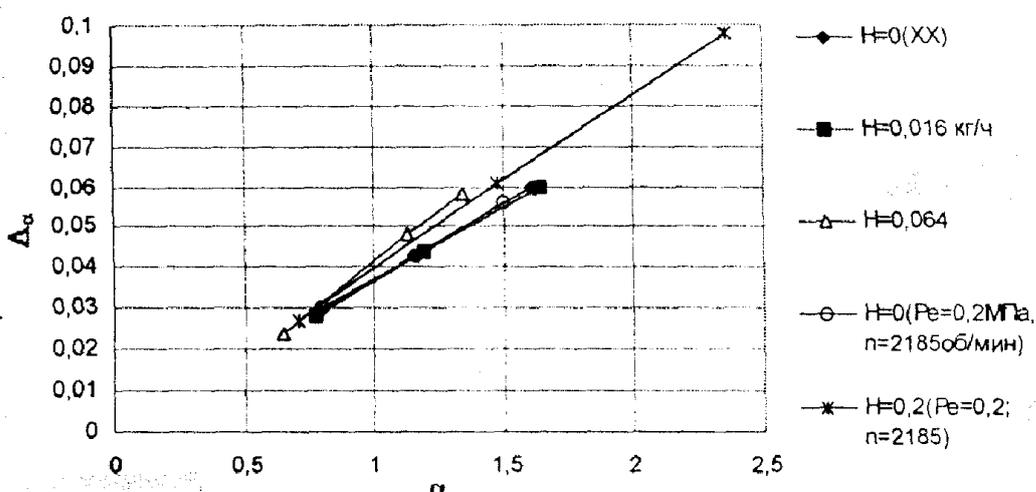


Рисунок 3.3 - Оценка абсолютной погрешности при измерении коэффициента избытка воздуха.

Таким образом, наиболее эффективным путём уменьшения суммарной погрешности является повышение точности измерений расхода воздуха.

Индицирование проводилось по разработанной на кафедре «Тепловые двигатели» методике с использованием магнитострикционного датчика давления, имеющего частоту собственных колебаний равную 13 КГц, и измерительной системы на базе ПЭВМ РС-486. Оценка динамической погрешности канала измерений показала, что в диапазоне частот до 15 КГц она не превышает 5%.

Следует отметить, что датчик устанавливался в свечное отверстие посредством специального переходника, имеющего объем  $1,3 \text{ см}^3$ , что, безусловно, оказывало некоторое влияние на результат измерений. Однако,

учитывая, что измерения проводились в одинаковых условиях и имели сравнительный характер, они могут считаться достоверными в смысле оценки эффекта действия водорода.

Экспериментальные работы проводились в следующей последовательности. Задавался необходимый режим работы ДВС по числу оборотов и нагрузке, подавался фиксированный расход водорода, восстанавливался при необходимости режим работы двигателя и регистрировались выходные параметры.

Коэффициент избытка воздуха, как указывалось выше, определялся с учетом водорода в соответствии с выражением:

$$\alpha = \frac{G_B}{G_{Bl_0} + G_H l_{OH}} \quad (11)$$

где  $G_B$  - расход воздуха,  $G_b$  - расход бензина,  $G_H$  - расход водорода,  $l_0$  и  $l_{OH}$  - соответственно, коэффициенты стехиометрического соотношения бензина и водорода с воздухом, которые принимались равными:  $l_0=14,97$  ,  $l_{OH} =34, 25$  кг/кг [7,16].

Всего за время выполнения работ по программе испытаний было получено порядка 500 регулировочных характеристик, результаты анализа по которым приводятся в настоящем отчёте.

### 3.2 Результаты экспериментальных исследований

Известно, что на параметры работы поршневых ДВС, в частности, на экономичность и выбросы вредных веществ определяющее влияние оказывают такие факторы как УОЗ, коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ , режим работы, характеризуемый нагрузкой  $N_e$  и  $P_e$  и числом оборотов коленчатого вала двигателя  $n$ . В связи с этим экспериментальные исследования выполнялись при варьировании данных факторов в условиях подачи определенного количества водорода путем снятия регулировочных характеристик (по УОЗ и составу смеси).

### 3.2.1 Результаты исследований, влияния угла опережения зажигания.

На рисунке 3.4 приведены типовые результаты испытаний, представленной в виде регулировочной характеристики по УОЗ, измеряемого в градусах угла поворота коленчатого вала, полученной без водорода и с подачей водорода для  $\alpha$  в пределах  $\alpha=1,21-1,22$ . На данном графике и в дальнейшем указание диапазона какой либо величины предполагает определенной осреднение результатов в связи с невозможностью точного установления (повторения) режима испытаний.

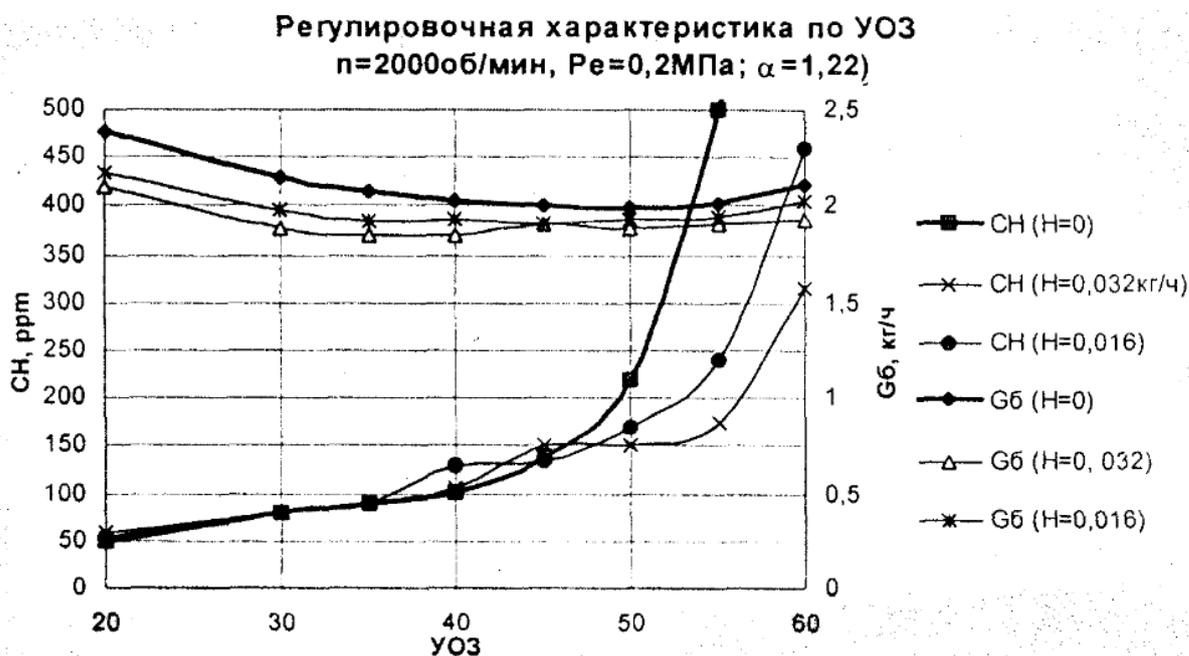


Рисунок 3.4 – регулировочная характеристика

Рассмотрение графиков приведенных на рисунке 2.1 и аналогичных зависимостей для других режимов работы ДВС позволяет отметить что при добавке водорода происходит снижение расхода бензина ( во всей области УОЗ) при смещении минимума расхода в сторону меньших углов.

Концентрация углеводородов при добавке водорода и при данном конкретном значении УОЗ может быть как меньше, так и больше исходной величины в зависимости от  $\alpha$ . Так при  $\alpha < 1,2$  и  $УОЗ = \text{const}$  отмечается повышенное содержание СН, однако при  $УОЗ > 45-50$  градусов при наличии водорода концентрация СН в ОГ всегда меньше исходной. При  $\alpha > 1,2$  при

любых значениях УОЗ, объемная концентрация углеводородов ниже, чем при работе двигателя на бензине.

Из рисунка 3.2.1 и рисунка 1.8 приложения 2 можно также видеть что добавка водорода приводит к изменению оптимального по расходу бензина УОЗ: добавки водорода уменьшают оптимальный УОЗ. Поэтому регулировочная характеристика по составу смеси построенная по данным рисунка 3.4 и рисунка 1.8 приложения 2 показывает снижение концентрации СН при  $\alpha > 1.05$  (рисунок 3.5).

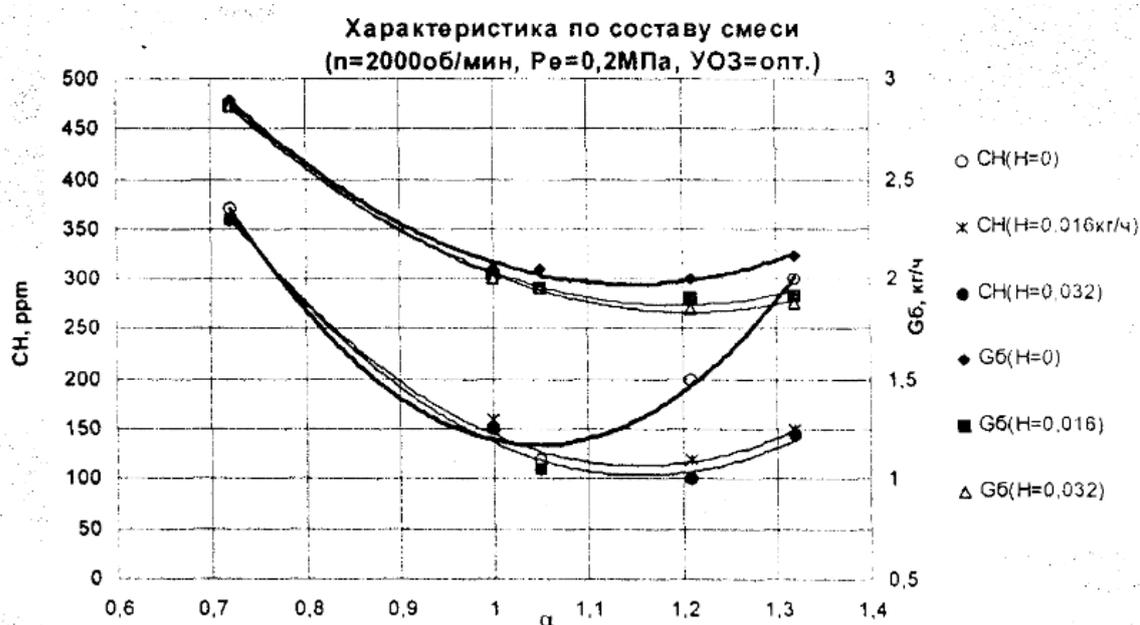


Рисунок 3.5 –Характеристика по составу смеси.

Отмеченные факты могут быть объяснены на основании известной зависимости уровня СН в ОГ ДВС от УОЗ[17]. Так известно, что эмиссия углеводородов при уменьшении УОЗ снижается. Принимая что в случае подачи водорода происходит увеличение скорости сгорания смеси, получим, что его действие аналогично увеличению УОЗ, т.е. должно приводить к возрастанию выбросов СН. Снижение концентрации СН при больших УОЗ в присутствии водорода может быть объяснено тем, что в связи с большей полнотой сгорания температура газов, выходящих из цилиндра двигателя при

подаче водорода выше, что приводит к уменьшению зоны гашения пламени и более интенсивному окислению углеводородов.

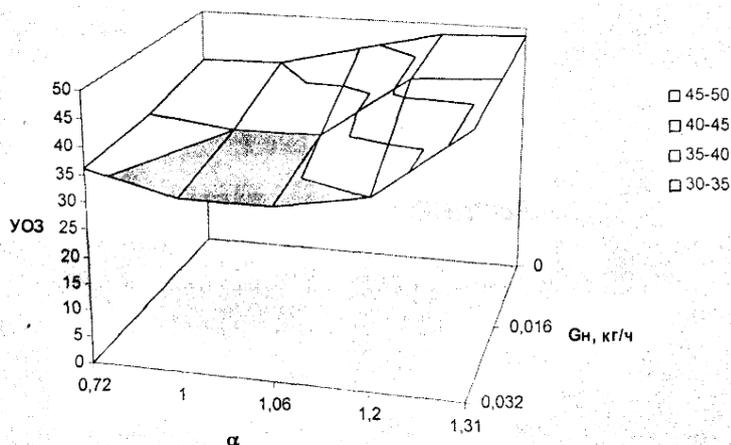


Рисунок 3.6- Изменение оптимальных УОЗ при добавках в ТВС водорода ( $p=2000$ об/м,  $P_e=0,2$ МПа)

Отметим, что данные тенденции изменения выбросов СН отмечаются при  $a > 1$ , т.к. при этом именно температура является определяющим параметром образования углеводородов [17].

На рисунок 3.6 и рисунок 5 приложения 2 приведены графики изменения оптимальных углов опережения зажигания при добавках водорода.

Можно видеть, что подача водорода существенно влияет на рабочий процесс двигателя. В частности, что водород оказывает значительное влияние на процесс сгорания, изменяя временные характеристики его первой и, вероятно, в какой-то мере второй фаз. Именно этот механизм реализуется через изменение УОЗ [7,17].

Рассмотрение графиков рисунок 3.1 и рисунок 1-4 приложения 2 показывает, что при подаче водорода происходит уменьшение влияния изменения УОЗ на процесс сгорания, что реализуется в виде более пологой зависимости изменения расхода бензина по УОЗ или  $a$ . Особенно значительно это проявляется при подаче относительно больших количеств водорода. В частности, на рисунок 3.7 и 3.8 для иллюстрации приведена

регулирующая характеристика при добавке водорода в количестве  $G_H = 0,14$  и  $0,2$  кг/час.

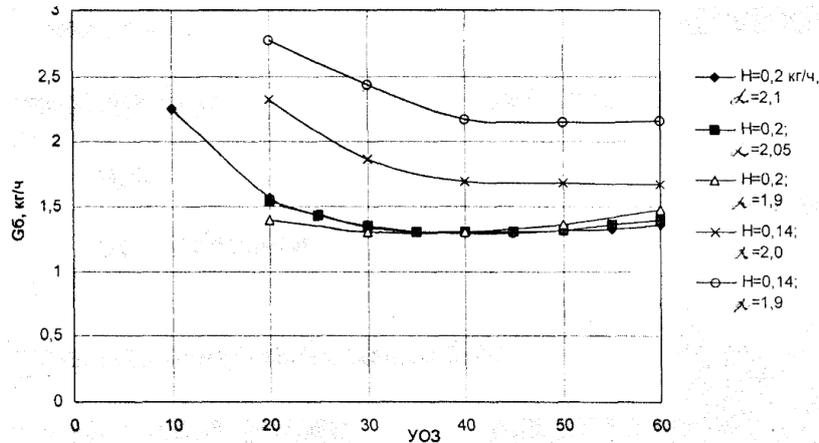


Рисунок 3.7 - Регулирующая характеристика по УОЗ

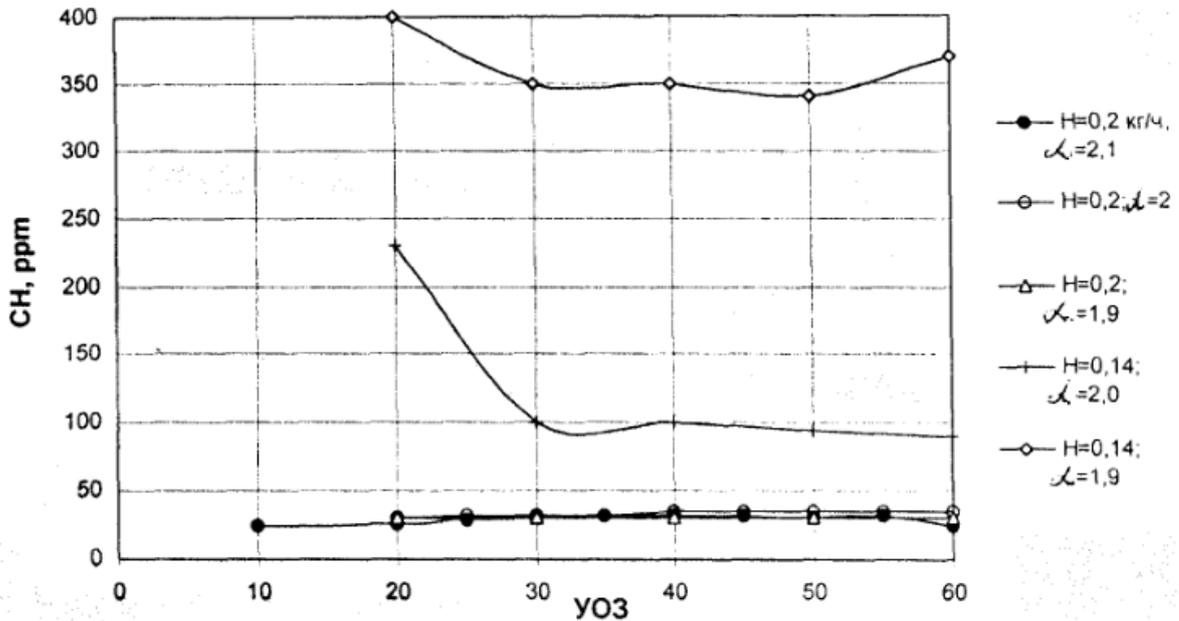


Рисунок 3.8 - Регулирующая характеристика по УОЗ

Из данных рисунков 3.7, 3.8 можно видеть, что в диапазоне УОЗ от 20 до 50 градусов, изменение расхода бензина при  $\alpha=2$  и  $G_H = 0,2$  кг/ч практически отсутствует, что означает важный для парктики факт – малую зависимость параметров двигателя при подаче водорода в ТВС от величины УОЗ. Уровень выбросов СН при этом очень низок и также не зависит от УОЗ. Отметим, что аналогичные результаты получены и в работах [7,8].

Рассмотрение данных графиков также показывает, что процесс горения при больших  $\alpha$  существенно зависит от количества водорода. Так при примерном равенстве  $\alpha$  и уменьшении в ТВС доли водорода происходит существенное увеличение содержания СН (рисунок 3.8), что свидетельствует о неполном сгорании появлении пропусков воспламенения. Этот факт с практической точки зрения требует некоторого превышения расхода водорода над минимально необходимым, чтобы исключить возможность резких изменений расхода топлива и состава ОГ.

### 3.2.2 Результаты исследований при изменении состава ТВС

На рисунок 3.9 3.10 приложения 2 приведены регулировочные характеристики по составу смеси при добавках водорода при режиме холостого хода. Для удобства рассмотрения и анализа здесь и в дальнейшем графики с относительно малыми или большими значениями расхода водорода и коэффициента избытка воздуха приводятся отдельно.

Из рассмотрения данных графиков можно видеть, что при подаче водорода происходит снижение расхода бензина и его минимального значения в сторону больших  $\alpha$ .

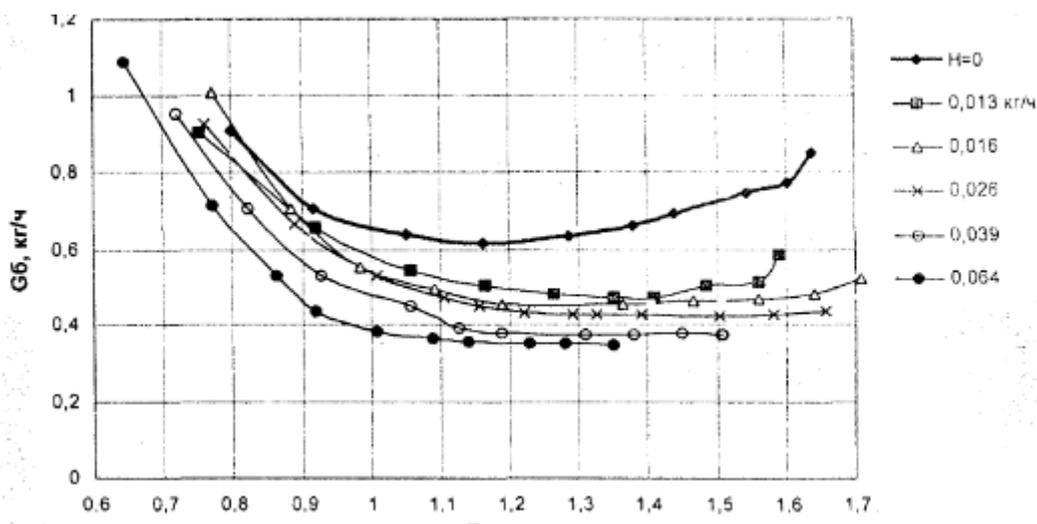


Рисунок 3.9 - Регулировочная характеристика

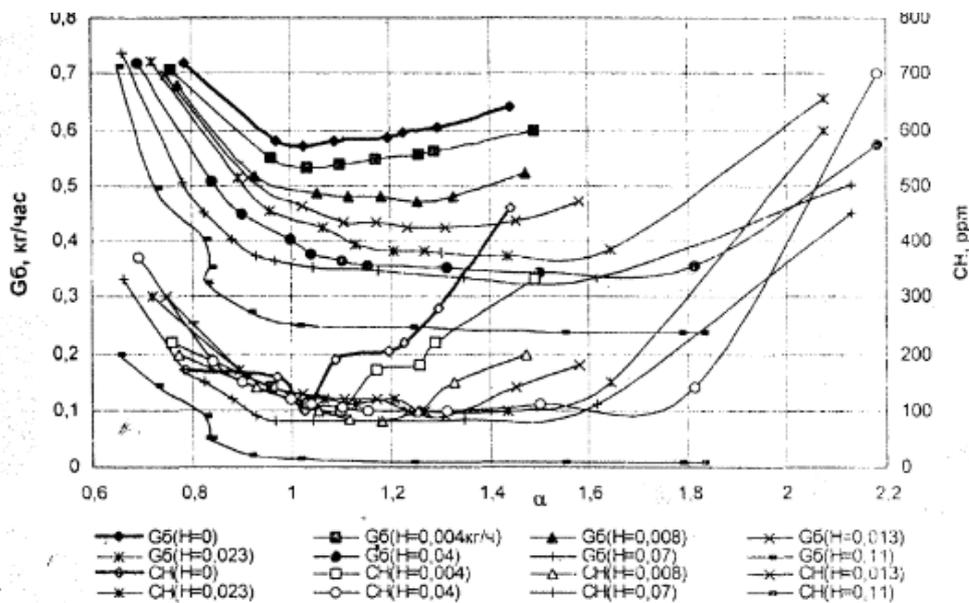


Рисунок 3.10 - Регулировочная характеристика

При этом область минимальных значений расхода бензина существенно расширяется и величина  $G_b$  практически не зависит от  $\alpha$  в достаточно широком диапазоне его изменения. В частности при  $G_H=0,04-0,07$  кг/ч расход бензина остается практически постоянным в диапазоне  $\alpha$  от 1,1 до 1,8 при  $G_H=0,11$  кг/ч и более 1,8.

Из графиков рисунков 3.9 и 3.10 можно видеть, что снижение расхода бензина по отношению к работе без водорода более существенно в области  $\alpha > 1$  и увеличивается с ростом  $\alpha$ . Кроме того, обращает внимание резкое снижение расхода бензина при малых дозах подачи водорода, в частности, абсолютная величина уменьшения в области  $G_b$ , например при  $\alpha = 1,2$  одинакова при подаче водорода в количестве до 0,013 кг/ч и от 0,013 до 0,064 кг/ч (рисунок 3.7), т.е. равное уменьшение  $G_b$  получается при увеличении расхода водорода в 5 раз (0,064/0,013). Более наглядно этот эффект можно видеть из рисунка 2.8, на котором проведена зависимость  $G_b = f(\alpha, G_H)$  в виде поверхности. В частности при малых добавках водорода можно видеть резкое снижение расхода бензина, переходящее в относительно пологое снижение при дальнейшем увеличении  $H$  (отметим, что в области больших расходов водорода:  $H > 0,1$  данная поверхность получена в результате расчетной экстраполяции экспериментальных данных).

Аналогичным образом при добавках водорода изменяется и характер концентрации СН: при некотором уменьшении объемной доли, существенно смещается по  $\alpha$  начало роста выбросов углеводородов (рисунки 3.12).

Отметим, что далее рассматриваются в основном только графики изменения СН, т.к. при работе на бедных смесях содержание в ОГ оксида углерода близко к нулю.

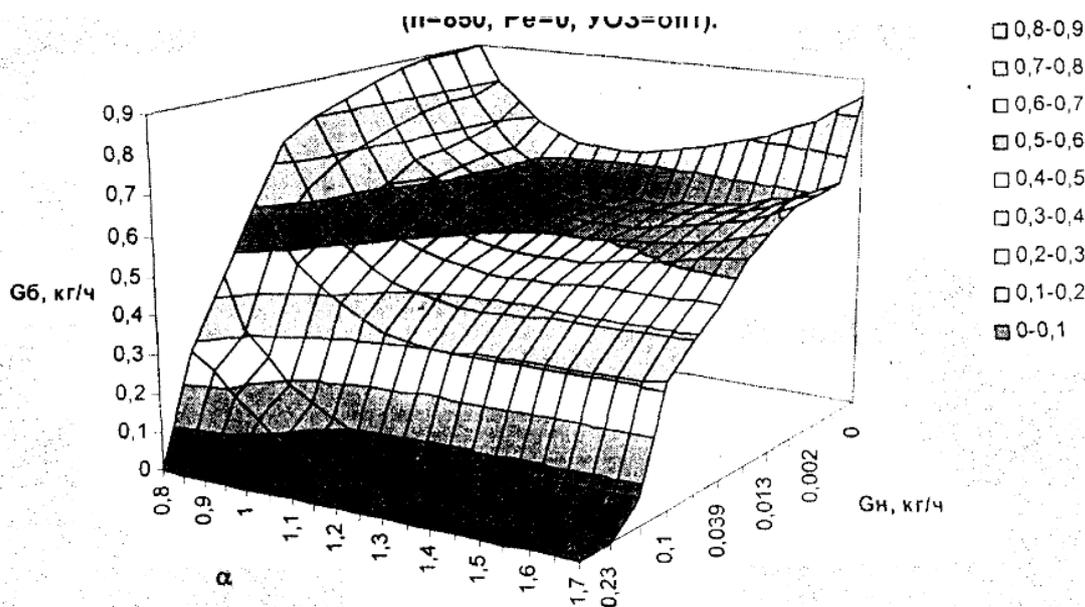


Рисунок 3.11 – Поверхность изменения расхода бензина при добавке водорода

Аналогичные зависимости наблюдаются при работе двигателя на холостом ходу и при других числах оборотов. В частности, на рисунках 11-18 приложения 2 приведены основные результаты, полученные при числе оборотов равном 15000 и 2000 об/мин, при варьировании расхода водорода, УОЗ и коэффициента избытка воздуха.

На рисунках 3.12 и 3.13 представлены результаты испытаний на режимах, характеризуемых нагрузкой  $P_e=0.2$  МПа и числом оборотов 2000 и 2185 об/мин при оптимальных УОЗ.

Из рассмотрения данных представленных на этих рисунках также можно видеть, что добавки водорода приводят к смещению области устойчивой работы в сторону больших  $\alpha$  и появлению области практически

постоянного расхода бензина при некотором постоянном минимальном значении, которое определяется расходом водорода: чем больше расход водорода, тем больше область (по  $\alpha$ ) постоянства минимального расхода бензина.

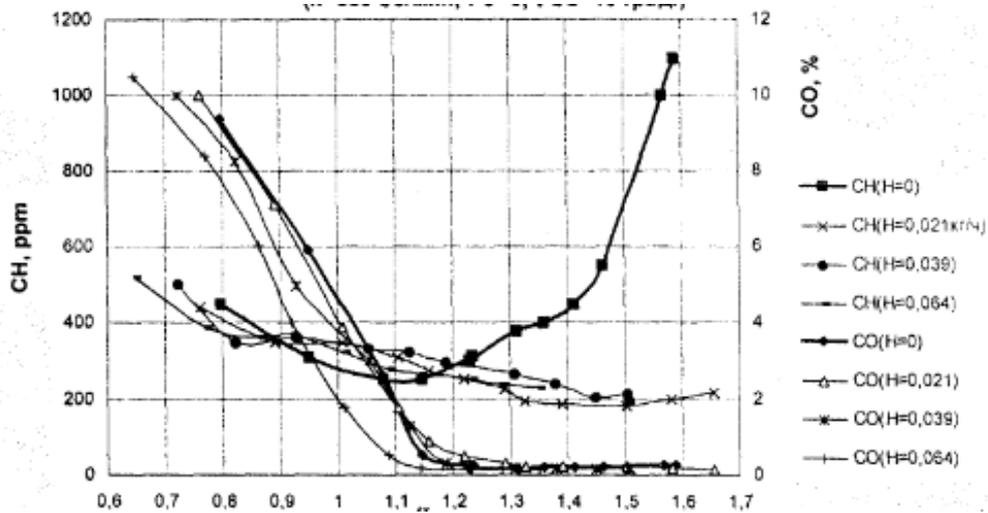


Рисунок 3.12 – Изменение токсичных выбросов при подаче водорода.

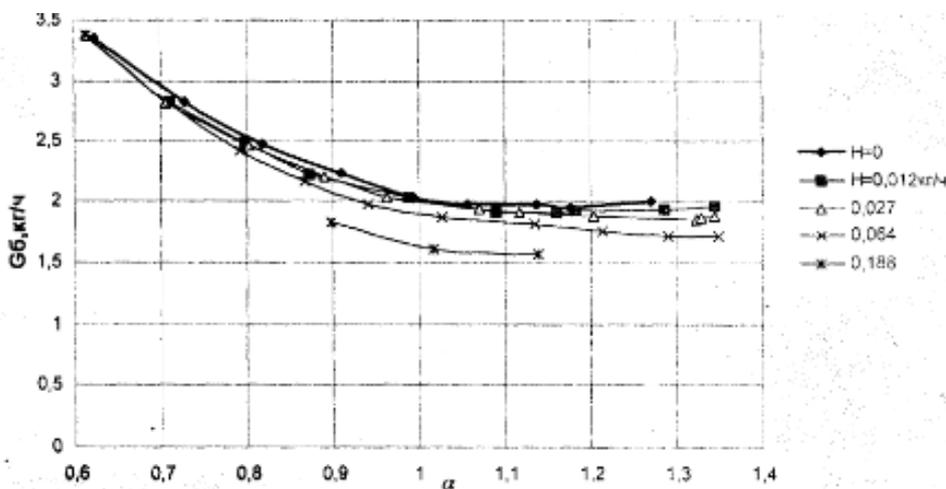


Рисунок 3.13 – Регулировочная характеристика по составу смеси.

При добавках водорода рост концентрации СН также смещается по  $\alpha$  в сторону больших значений и тенденция его увеличения принимает менее резкий (градиентный) вид. При этом количественно снижение объёмной доли СН в ОГ при относительно незначительных добавках водорода изменяется мало.

В целом, рассматривая результаты измерений  $CH$ , можно отметить, что наблюдается существенный разброс экспериментальных данных.

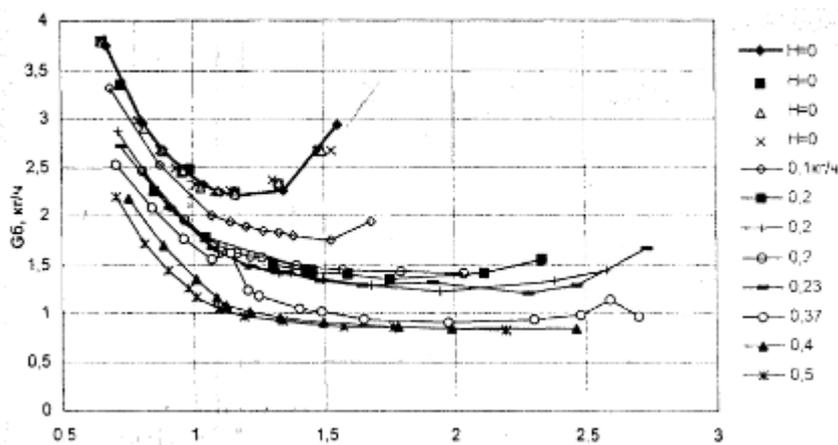


Рисунок 3.14 - Регулировочная характеристика

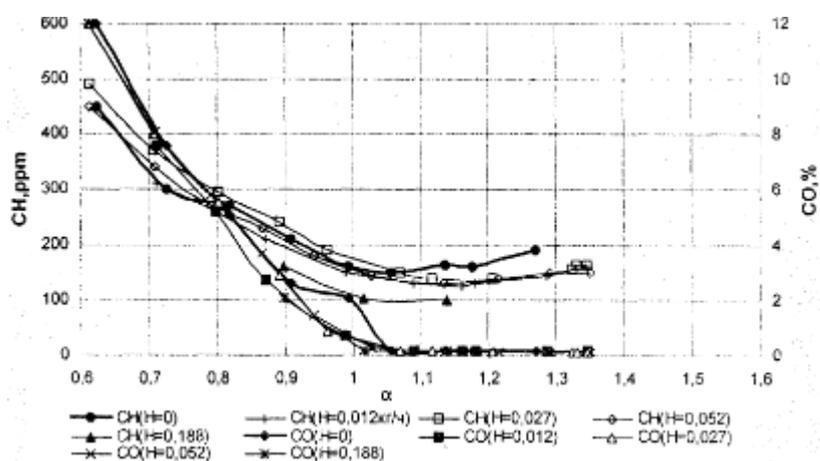


Рисунок 3.15 - Регулировочная характеристика по составу смеси

Это объясняется как методическими особенностями измерений состава газов различными приборами, так и тем, что результаты измерений имеют низкий уровень по отношению к максимальному значению шкалы и в данном случае имеет место существенная по величине погрешность, теоретически стремящаяся к бесконечности. Именно эти значения приводят к существенному отличию данных при измерениях  $CH$  особенно при представлении на одном графике результатов, полученных в разные даты.

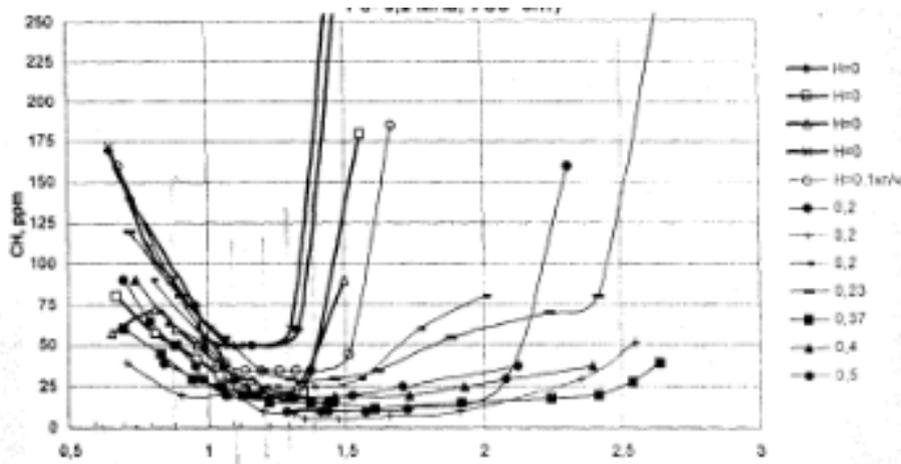


Рисунок 3.16 - Регулировочная характеристика по составу смеси

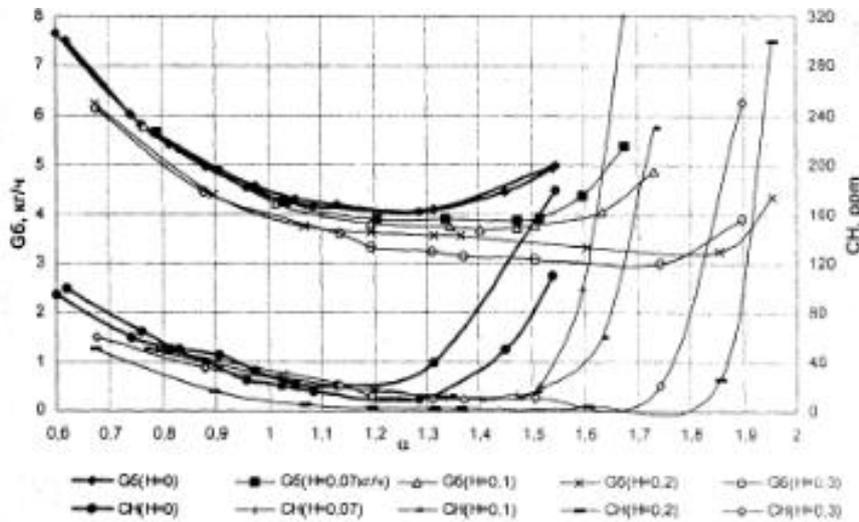


Рисунок 3.17 - Регулировочная характеристика по составу смеси

На рисунке 3.18 и 3.19 представлены результаты испытаний при добавках водорода при работе двигателя на средних нагрузках. Все отмеченные выше закономерности имеют место в данном случае при добавках водорода происходит снижение расхода бензина и смещение области устойчивой работы в сторону бедных смесей. При этом несколько снижается объемное содержание в ОГ углеводородов и существенно уменьшаются объемные выбросы CO.

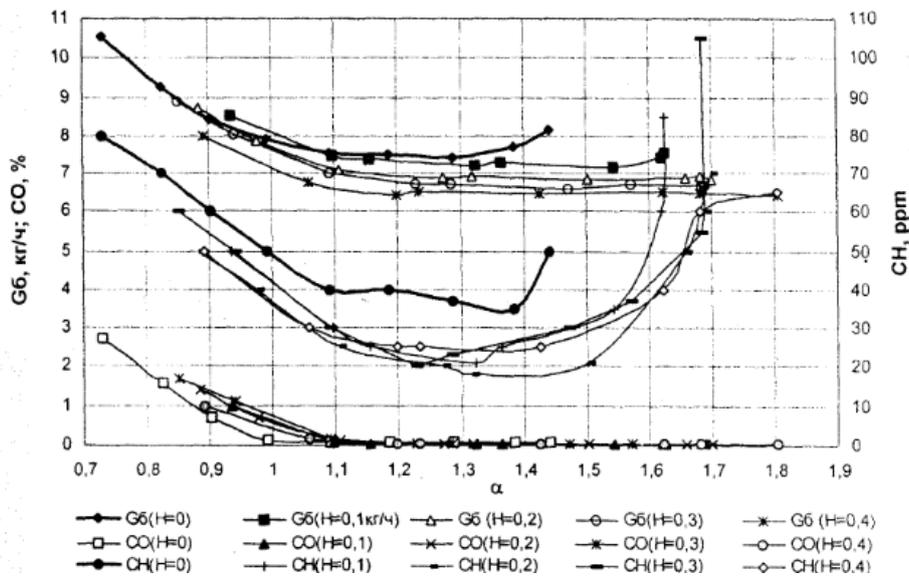


Рисунок 3.18 - Регулировочная характеристика по составу смеси

### 3.2 Анализ влияния добавок водорода на показатели ДВС.

Приведенные в главе 2 экспериментальные данные показывают, что применение добавок водорода к бензину для двигателя ВАЗ 2111 позволяет получить существенно более высокие результаты как по экономичности так и по токсичности ОГ. В связи с этим целесообразен анализ причин такого влияния, определения характеристик закономерностей, которые позволят прогнозировать эффект применения водорода, оптимизировать его по выбранным из условий практики критериям, получить расчетные зависимости, необходимые для количественной оценки данного влияния.

Эффективность рабочего процесса ДВС принято оценивать рядом параметров таких как удельный расход топлива, индикаторный КПД, характеристика использования теплоты( характеристика тепловыделения).

Однако нахождение этих параметров в данном случае затруднено не только из-за сложности, связанных с получением индикаторных диаграмм (ниже приводятся результаты индицирования), но и интерпретации полученных результатов. Применяв в качестве параметра для сравнения

эффективный удельный расход топлива, который в данном случае запишется в виде:

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} = \frac{G_{\text{б}} + G_{\text{H}}}{N_e} = g_{\text{еб}} + g_{\text{ен}} \quad (12)$$

Можем видеть что величина удельного расхода, определенная по данной формуле, будет уменьшаться с повышением расхода водорода (его доли в топливе) и при  $G_{\text{H}} = 0.2$  кг/ч  $g_{\text{emin}} = 0.32$  кг/КВт.час, что на 33% ниже чем при  $G_{\text{H}} = 0$ . При этом минимальная величина  $g_e$  смещается в область больших  $\alpha$ .

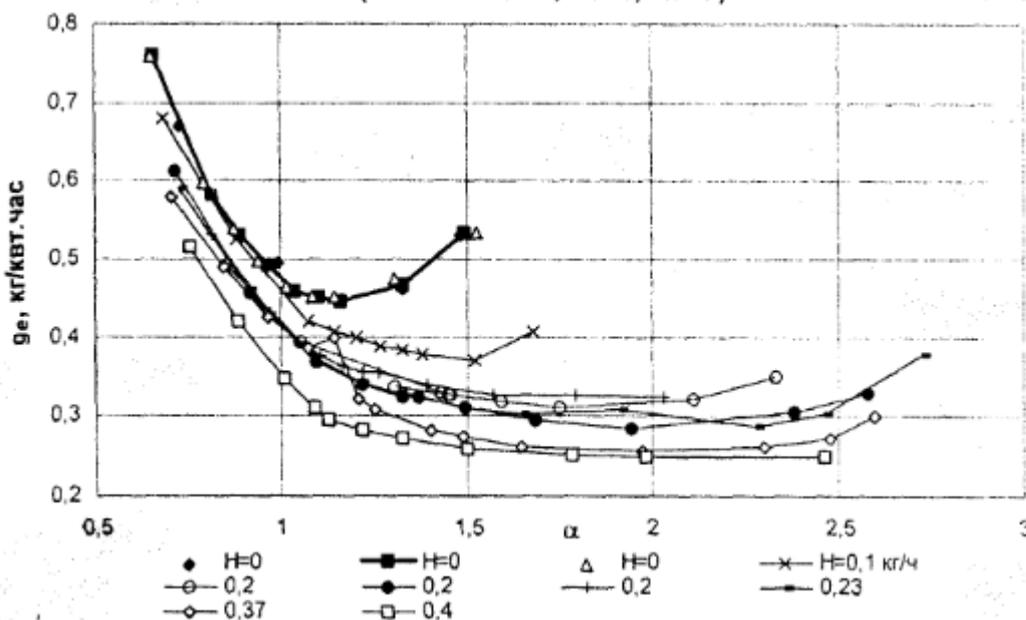


Рисунок 3.1 – Изменение эффективного удельного расхода.

На рисунке 3.2 приведена зависимость изменения минимального значения удельного расхода, определенного по приведенной формуле, в зависимости от расхода водорода. Можно видеть, что с увеличением  $G_{\text{H}}$ , минимальные значения  $g_e$ , полученные, при оптимальных значениях коэффициента избытка воздуха, снижаются и стремятся к значению, характерному для применения чистого водорода.

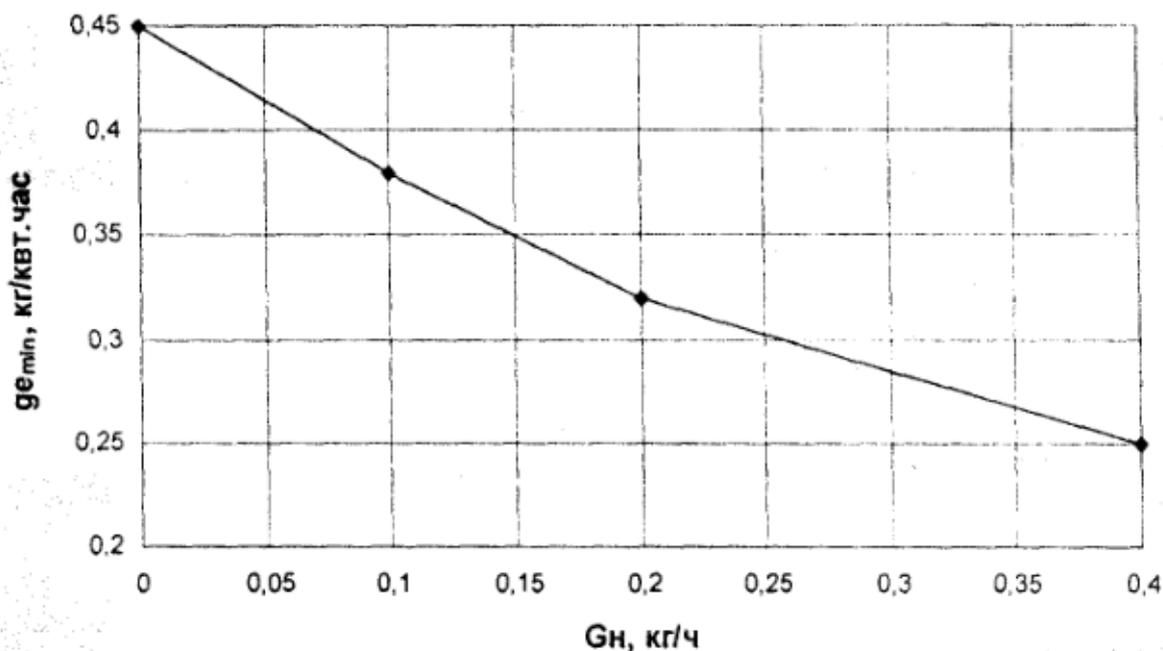


Рисунок 3.2 - Изменение минимального удельного расхода при добавках водорода.

При этом снижение удельного расхода от его значения без добавок водорода имеет весьма существенное выражение, в частности, при расходе водорода  $G_H = 0,1$  кг/ч  $g_e$  снижается на 16% при  $G_H = 0,2$  и  $0,4$ - на 27 и 45 %.

Прежде всего возникает вопрос об особенностях сравнения эффективности с использованием в качестве параметра эффективности удельного расхода. Так его применение подразумевает использования некоторого стандартного топлива, имеющего постоянный состав. В данном случае это условие не выполняется, т.к. добавки водорода увеличивают его долю в стандартном топливе, что приводит к изменению термодинамических показателей, в частности, низшей теплотворной способности  $H_u$ : ее увеличение приводит к снижению расхода топлива в силу закона эквивалентности теплоты и механической работы.

В частности баланс подведенной теплоты без учета потерь может быть представлен в виде:

$$G_T H_{иТ} = G_б H_{иб} + G_H H_{иН} \quad (13)$$

Где  $H_{и}$  – низшая теплотворная способность топлива, как смеси бензина и водорода,  $H_{иб}$  и  $H_{ин}$  – низшие теплотворные способности бензина и водорода. Отсюда можно получить:

$$H_{ит} = \frac{G_б H_{иб} + G_H H_{ин}}{G_б + G_H} \quad (14)$$

Таким образом из данной формулы видно, что увеличение доли водорода приводит к увеличению теплотворной способности топлива, что не учитывается приведенной выше формулой при определении удельного расхода. Поэтому в данном случае, т.е. при добавке водорода, удельный расход не может использоваться в качестве сравнительного критерия оценки совершенства рабочего процесса или ДВС в целом.

$$g_e = \frac{G_б}{N_e} + \frac{G_H}{N_e} \frac{H_{ин}}{H_{иб}} \quad (15)$$

Как видно предложенная зависимость содержит отношение низших теплот сгорания водорода и бензина, что не противоречит размерности определяемой величины и физическому смыслу при  $G_H=0$ . Однако при равенстве нулю расхода бензина возникает вопрос о наличии в формуле его теплотворной способности. Отсюда следует, что полученные по данной формуле количественные оценки не могут быть признаны физически оправданными.

Как известно теплота сгорания входит в формулу эффективного кпд, которая может быть получена в результате следующих преобразований в виде:

$$\eta_e = \frac{3600}{g_e H_{иГ}} = \frac{N_e 3600}{G_T H_{иГ}} = \frac{N_e 3600}{(G_б H_{иб} + G_H H_{ин})}, \quad (16)$$

Где величина  $H_{и}$  определяется из полученного выше выражения

Проведенные расчет с использованием этой зависимости показывают, что для режима работы двигателя  $n=2185$  об/мин,  $P_e=0,2$  МПа и оптимальных УОЗ величина КПД увеличивается с 18,6 % при отсутствии водорода примерно до 21% при  $G_H=0.2$  и  $0.4$  кг/ч.

Используя зависимость между удельным расходом и эффективным КПД

$$g_e = \frac{3600}{n_e H_{иТ}} \quad (17)$$

Можем, выполнив расчеты получить, что для указанного режима и соответствующих величин расхода водорода (0;0.1;0.2 и 0,4 кг/ч),  $g_e$  будет равно соответственно, 440, 370, 320 и 247 г/кВт ч. Данные результаты полностью сходятся с расчетами по формуле:

$$g_e = \frac{G_r}{N_e} = \frac{G_b + G_H}{N_e} \quad (18)$$

Тогда как результаты расчетов по формуле, предложенной в [8,19] дают,

Как и следовало ожидать из анализа формулы, отличающиеся, завышенные, значения (400, 390, И 380 г/кВт ч., соответственно, для  $G_H=0,1$  0,2 и 0,4 кг/ч).

Таким образом, в качестве оценочного параметра при определении эффективности работы двигателя при добавках водорода, необходимо применять индикаторный и эффективный КПД, по причине того что удельный расход зависит от физико-химических свойств применяемого топлива: его применение оправдано только при отработке рабочего процесса при постоянном составе топлива. Проведенные испытания показали, что добавка водорода приводит к увеличению. Эффективного КПД двигателя на режиме работы  $n=2185$  об/мин и  $P_e=0.2$  МПа, примерно на 2,4 %, что свидетельствует о непосредственном влиянии водорода на рабочий процесс (при постоянстве механических потерь).

Отмеченная выше особенность оценки влияния водорода на принятые в практике показатели, в частности, на удельный расход, требует более

подробного рассмотрения процессов выделения и использования тепла. С этой целью на рисунок 3.3

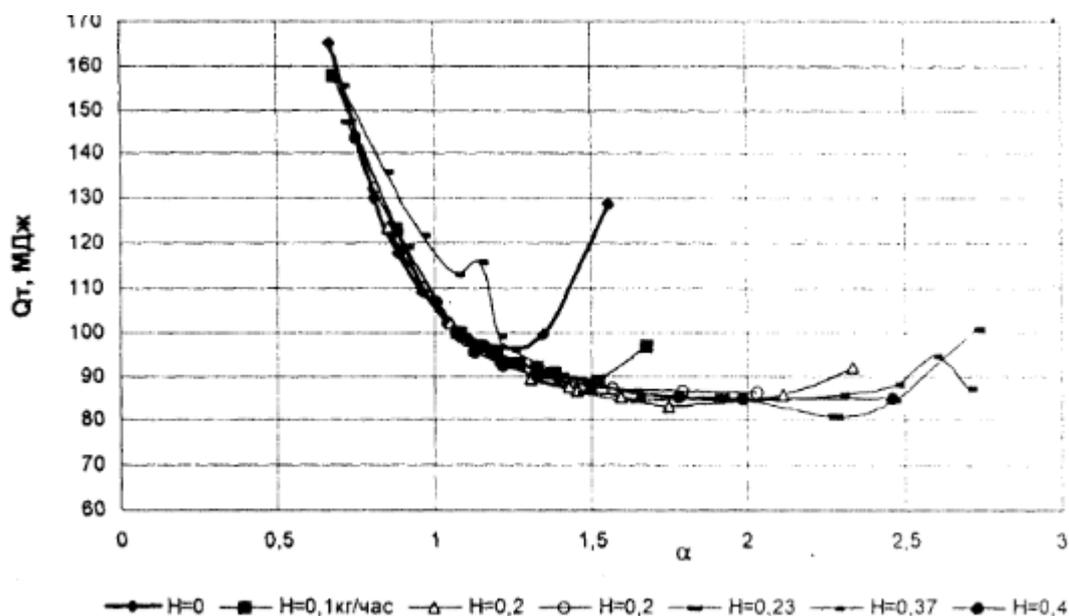


Рисунок 3.3 – Изменение подведенной теплоты.

Приведены расчетные графики изменения подведенной с топливом теплоты, определенной без учета потерь по формуле:

$$Q_{\text{под}} = G_{\text{б}} H_{\text{иб}} + G_{\text{Н}} H_{\text{ин}} \quad (19)$$

Можно видеть, что при добавках водорода и  $\alpha > 1,1$  происходит снижение количества подведенной теплоты до какого то постоянства для данного режима уровня вне зависимости от соотношения бензина и водорода.

Однако это соотношение остается таким, что общее количество тепла остается постоянным. Это объясняется тем, что на совершение постоянной работы ( $N_e = \text{const}$ ) требует определенное количество тепла. Снижение же его относительно исходного уровня ( $H=0$ ) объясняется большей полнотой сгорания, вследствие действия водорода, что и ведет к снижению расхода бензина.

Таким образом, добавки водорода повышают эффективный КПД вследствие повышения полноты сгорания бензина.

Аналогичный вывод может быть сделан и из рассмотрения других экспериментальных данных, в частности, для режима холостого хода

(рисунок 3.4). так из графиков данного рисунка видно, что с повышением расхода водорода количество подведенной теплоты, вызванное снижением расхода бензина, вследствие его более полного сгорания, снижается до некоторого уровня, после чего остается постоянным.

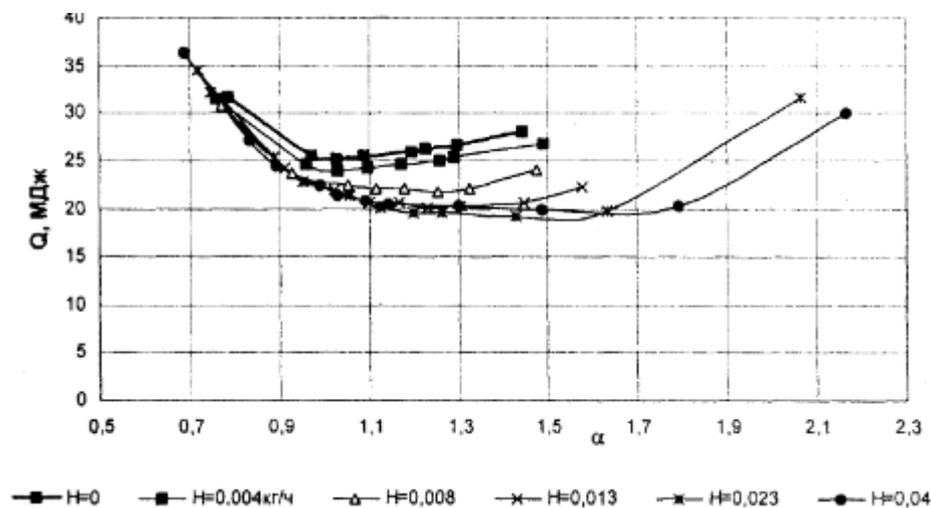


Рисунок 3.4 – Изменение подведенной теплоты.

Процесс снижения происходит при незначительных расходах водорода, достигая некоторого максимального значения, которое можно оценить относительно величиной равной:

$$\xi = \frac{G_H}{G_B} \quad (20)$$

Расчеты показывают, что увеличение  $\xi$  больше величины  $\xi=0,02-0,03$  не приводит к дальнейшему снижению расхода бензина, что означает факт достижения при таком соотношении максимальной эффективности действия водорода. Дальнейшее увеличение его расхода ведет к простому замещению водородом бензина как топлива.

Для иллюстрации на рисунке 3.5 приведены экспериментальные данные по изменению минимального расхода бензина (при  $\alpha=\alpha_{\text{опт}}$ ) и расчетного, на основе экспериментальных данных, количества подведенного тепла в зависимости от соотношения водорода и бензина. Можно видеть, что до величины  $\xi$ , равной, примерно,  $\xi=0,02-0,03$ , происходит резкое снижение  $G_b$  и  $Q_{\text{под}}$ , затем  $Q_{\text{под}}$  сохраняется, примерно, постоянным, а изменение расхода бензина приобретает практически линейный характер.

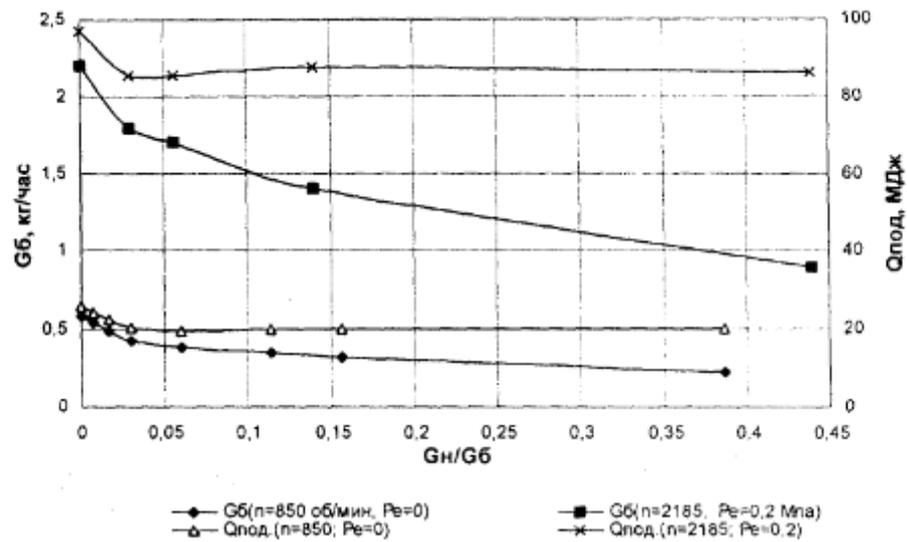


Рисунок 3.4 – Изменение минимального расхода бензина подведенного тепла при оптимальном УОЗ.

С целью более подробного рассмотрения данного факта на рисунке 3,6 представлены графики изменения расхода бензина в зависимости от расхода водорода, отнесенного к расходу бензина при отсутствии подачи водорода  $G_{60}$  при работе двигателя на различных режимах и постоянным  $\alpha$ .

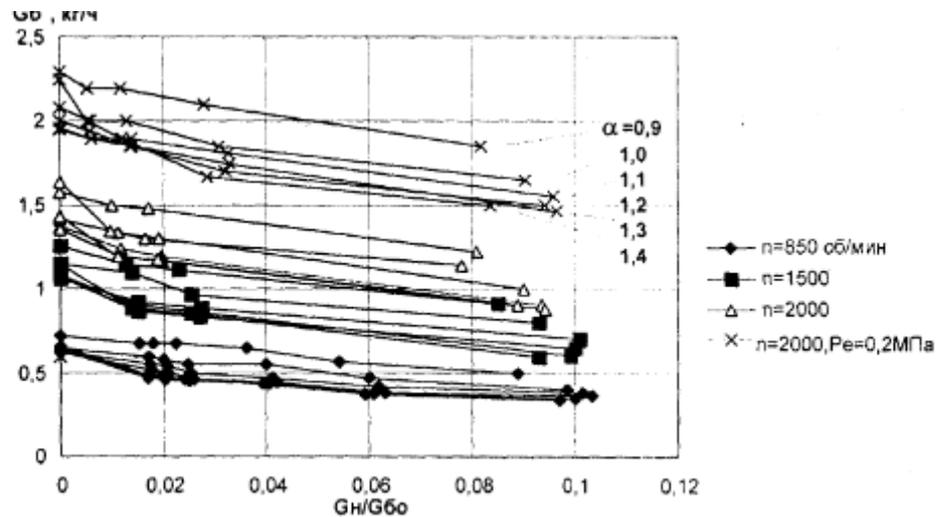


Рисунок 3.4 – Изменение расхода бензина.

Из рассмотрения данных графиков можно видеть, что при  $\alpha \leq 1$  снижение расхода на всех режимах происходит по зависимости близкой к линейной. При  $\alpha \geq 1$  до величины безразмерного расхода водорода равной  $G_H/G_{60} = 0,02-0,03$  происходит более интенсивное снижение  $G_6$ , которое

затем переходит в линейную зависимость, угол наклона которой, в данном диапазоне  $\xi$ , примерно одинаков для всех режимов работы двигателя.

Таким образом, анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунке 3,6 также показывает, что степень влияния добавок водорода возрастает с ростом  $\alpha$  и по существу действия отличается для случая малых добавок ( $G_H/G_{\text{б0}} = \xi < 0,02$ ) и относительно больших ( $\xi > 0,02$ ). В соответствии с этим в дальнейшем расходы водорода  $\xi < 0,02$  будем определять как малые.

Полученные результаты могут качественно объяснены тем, что при малых добавках водорода его действие при обедненной смеси имеет больший эффект как химически активного элемента, способствующего активации процесса горения, особенно в его первой фазе. Дальнейшее повышение расхода водорода приводит к простому замещению водородом горючего компонента смеси бензина с соответствующим уменьшением расхода последнего при сохранении на постоянном режиме работы двигателя общего количества использованного тепла.

Данные выводы могут быть подтверждены результатом проведенного индицирования, выполненного при работе двигателя на холостом ходу и УОЗ = 16гр. Расход водорода составлял  $G_H = 0,012$  кг/с,  $\alpha = 1,1$ ,  $n = 850$  об/мин. В частности можно видеть что индикаторные диаграммы при подаче водорода имеют большую цикловую равномерность, большие значения градиента нарастания давления и максимального значения давления. Следует отметить, что величину максимального давления в данном случае можно снизить путем объединения смесей.

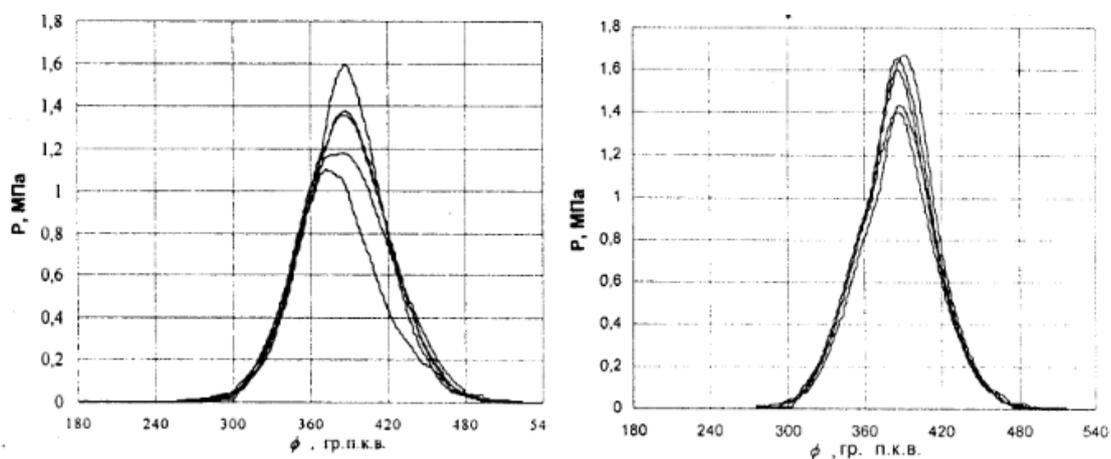


Рисунок 3.7 – Индикаторные диаграммы.

Вторичная обработка индикаторных диаграмм позволила получить, что при наличии водорода в составе горючей смеси увеличивается коэффициент активного тепловыделения  $\chi$  (рисунок 3.8). Это является следствием того, что доля топлива, сгорающего в первой фазе процесса сгорания существенно выше. Поэтому оптимальные значения УОЗ уменьшаются.

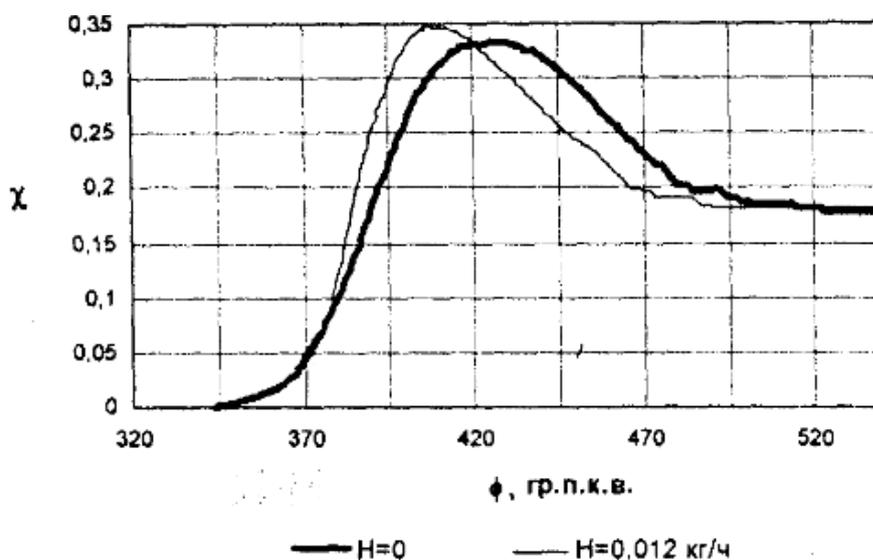


Рисунок 3.8 – Коэффициент активного тепловыделения.

Оценка величины средне индикаторного давления показала, что оно остается в пределах погрешностей измерения постоянным, что также свидетельствует в связи с уменьшением расхода бензина о более полном выделении тепловой энергии при горении бензина в присутствии водорода.

Цикловая неравномерность индикаторных диаграмм, определенная как среднеквадратичное отклонение максимального давления цикла, при наличии водорода снижается в 2 раза.

В целом происходящие процессы, как понятно, приводят к увеличению индикаторного КПД двигателя и соответствующему уменьшению расхода бензина.

Рассмотрение графиков, приведенных на рисунках 2.1, 2.2, 2.4, 2.7, 2.9, 2.12, 2.13, 2.15 и рисунках 1—8, 10, 12, 14-16, 18 приложения 2, показывает, что при подаче водорода происходит существенное изменение состава ОГ, определенного в объемных долях. Так на режиме холостого хода ( $P_e=0$ ) при числе оборотов  $n=850$  об/мин добавка водорода порядка  $G_H=0,013$  кг/ч приводит при  $\alpha > 1,1$  к снижению концентрации СН, наблюдаемому при увеличении  $\alpha$  до величины порядка  $\alpha = 1,35$ , после чего концентрация углеводородов увеличивается. Таким образом, минимум выбросов СН смещается в сторону бедных смесей, что также косвенно свидетельствует о большей полноте сгорания ТВС. Вместе с тем дальнейшее увеличение подачи водорода приводит к росту уровня выбросов СН при постоянном  $\alpha$  до некоторого нового минимального, характерного для данного расхода водорода, значения, например, для  $\alpha = 1,5$  равного, примерно  $G_H=0,021$  кг/ч, выше которого начинается увеличение концентрации.

Анализируя экспериментальные данные можно отметить, что до определённого предела соотношения бензин-водород уровень СН несколько снижается за счет повышения цикловой равномерности, уменьшения зоны гашения пламени, повышения полноты сгорания и затем остаётся примерно одинаковым, характерном для данного двигателя при смещении минимума в сторону больших  $\alpha$ . Однако существенное увеличение расхода водорода, например, при  $n=850$  об/мин до величины порядка  $G_H=0,11$  кг/ч практически при измерении данным газоанализатором приводит к значимому отсутствию в ОГ и оксида углерода, и углеводородов (рисунок 2.7).

Таким образом, происходящий при добавках водорода, комплекс

процессов способствует уменьшению расхода бензина и создает условия для существенного снижения токсичности ОГ путем перевода работы ДВС на обедненные смеси с возможностью дополнительного снижения эмиссии вариацией  $\lambda$  в более широких пределах УОЗ. Необходимо учитывать и тот факт, что при наличии в ОГ свободного кислорода окислительные реакции происходят в тракте выпускной системы, что приводит к дополнительному существенному снижению содержания CO и CH ( в соответствии с данными работы [17]: CO в 4, CH в 10 раз)ю все изложенное имеет важное практическое значение особенно с учетом нормирования выбросов двуокси углерода CO<sub>2</sub>

Из рассмотрения этих графиков можно видеть, что, в целом, при ограниченном количестве экспериментальных данных, наблюдается соответствующее приведенным выше выводам незначительное снижение объёмной доли уровня CO<sub>2</sub> в ОГ и смещение максимума в сторону увеличения  $\alpha$ .

При оценке токсичности ОГ ДВС в соответствии с ОСТ 37.054—86 учитываются не объёмные, а массовые доли отдельных компонентов. При изменении коэффициента избытка воздуха объёмные и массовые доли могут иметь даже противоположные тенденции вследствие значительного изменения расхода. В связи с этим на основании известных термодинамических соотношений для некоторых режимов и выбранных величин расхода водорода были определены расчетные показатели массового выброса нормируемых компонентов ОГ, приведенные на на рисунок 3.11-3.13. При этом принималось, что расход и молекулярная масса газов равны соответствующим значениям для воздуха.

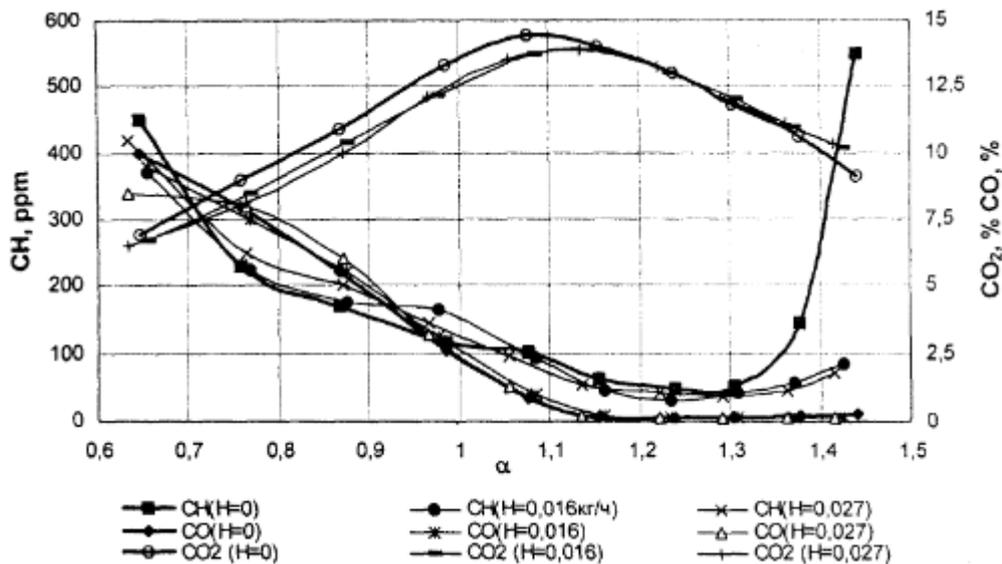


Рисунок 3.9 – Регулировочная характеристика по составу смеси.

Из рассмотрения данных графиков можно видеть, что при работе двигателя на холостом ходу до числа оборотов порядка 2000 об/мин и выбранном  $\alpha=1,2$ , штатных для двигателя ВАЗ-2111 УОЗ, равных: для  $n=850$  об/мин 16 градусов,  $n=1500$  -26,  $n=2000$  – 30 градусов, происходит снижение выбросов СН, от 30 до 50% в зависимости от числа оборотов.

Увеличение  $G_H$  при постоянном  $\alpha$  может вызвать увеличение эмиссии, однако, как указывалось выше, это связано с назначенными УОЗ, оптимальные значения которых при добавках водорода снижаются. Таким образом каждому соотношению  $G_H/G_B$  будут соответствовать некоторое оптимальное значения  $\alpha$  и УОЗ, при которых могут быть получены минимальные концентрации СН в ОГ.

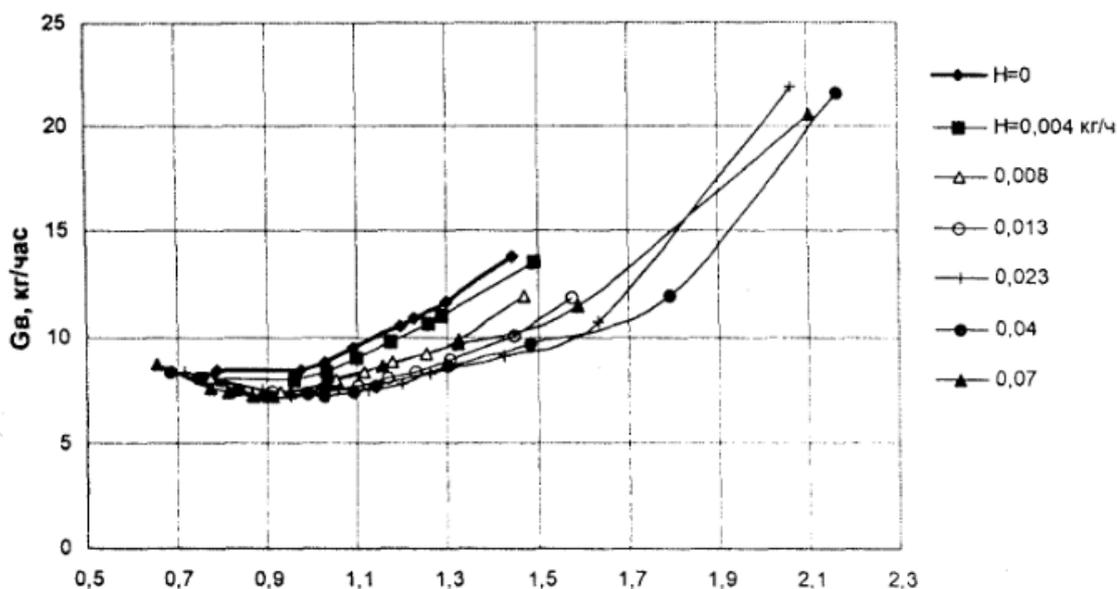


Рисунок 3.10 – Изменение расхода воздуха при подаче водорода

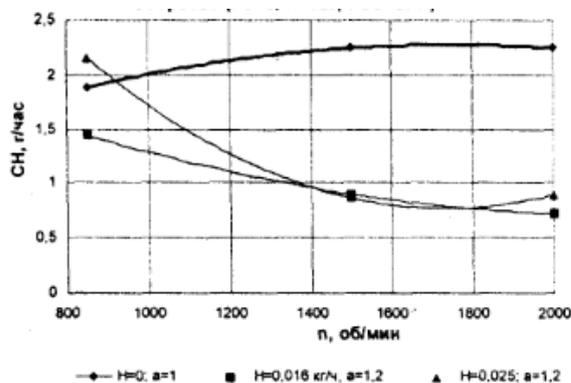


Рисунок 3.11 – зависимость массовой эмиссии СН от числа оборотов

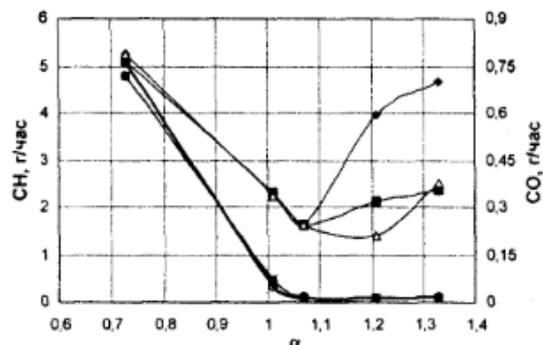


Рисунок 3.12 – Расчетная эмиссия СН и СО в массовых единицах.

Из рассмотрения результатов, представленных на рисунок 3.12 и 3.13 можно видеть, что при подводе водорода в количестве  $G_H = 0,016$  кг/час и  $\alpha = 1,15$  эмиссия СН снижается, примерно, на 15 % по сравнению с режимом  $\alpha = 1$  при  $P_e = 0,2$  МПа без подачи водорода и на 10 % при  $\alpha = 1,1$  также по сравнению с режимом  $\alpha = 1$  при  $P_e = 0,3$  МПа. Увеличение расхода водорода при постоянном  $\alpha$  также как и на режиме холостого хода может привести к увеличению эмиссии СН. Поэтому для уменьшения выбросов СН большим значениям дополнительно подаваемого водорода необходимо устанавливать большие значения коэффициента избытка воздуха.

#### 4. Результаты испытаний при добавках водорода и рециркуляции отработавших газов

Одним из нормированных показателей токсичности ДВС являются окислы азота  $\text{NO}$ , Поэтому общее снижение вредных выбросов предполагает снижение уровня и этого компонента ОГ.

Известно, что для уменьшения эмиссии  $\text{NO}_x$  применяют мероприятия приводящие к снижению температуры сгорания ТВС, в частности, рециркуляцию ОГ (РОГ), а также обеднение смеси.

Ранее приведены результаты испытаний, позволяющие существенно обеднить ТВС при обеспечении устойчивости процесса горения путем добавок водорода. При этом возможно достаточно значительное обеднение, позволяющее получить и низкий уровень температуры, а следовательно и выбросов  $\text{NO}_x$ .

Вместе с тем определённый интерес представляет и комбинация способов снижения окислов азота, а именно — добавки водорода при наличии рециркуляции ОГ. Этот подход интересен и по той причине, что, как отмечалось выше, водород действует на рабочий процесс тем эффективнее, чем хуже условия его протекания. В частности, наличие большого количества остаточных газов в свежем заряде является фактором существенно ухудшающим основные показатели ДВС, но именно в этих условиях действие добавок водорода, например, при работе на холостом ходу, наиболее эффективно.

В связи с этим были проведены испытания по оценке эффекта действия водородных добавок при рециркуляции ОГ.

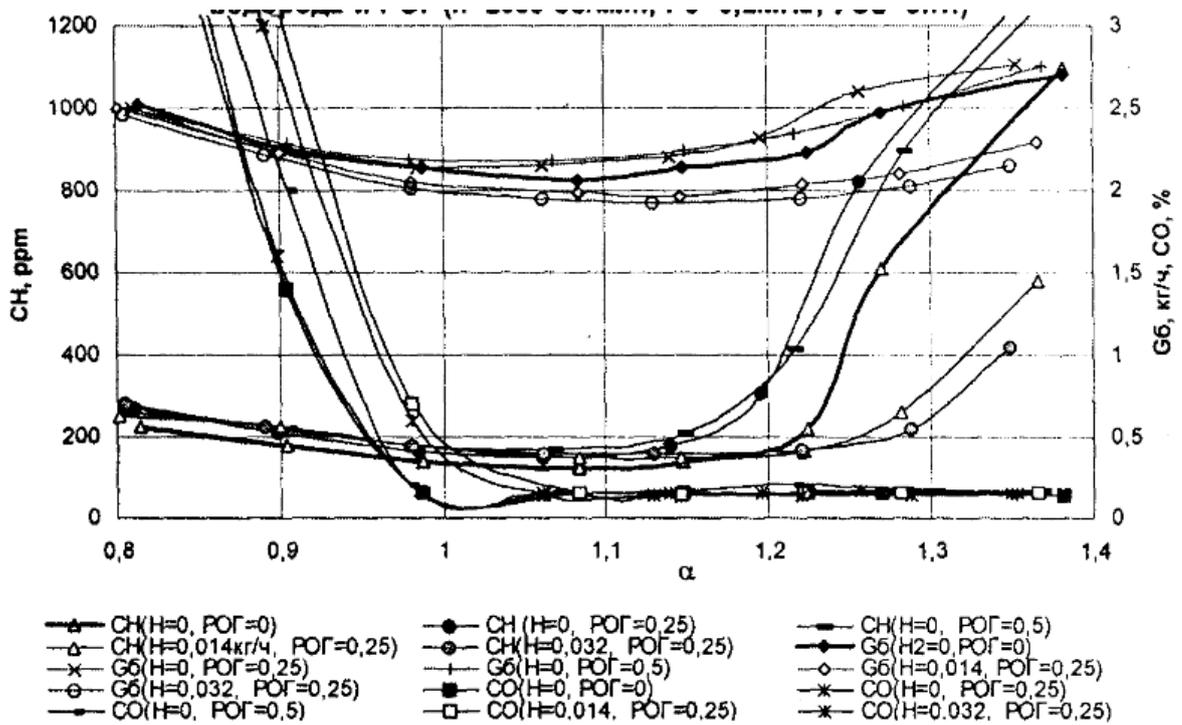


Рисунок 4.1 - Изменение расхода бензина, выбросов  $CO$  и  $CH$  при добавках.

На рисунок 4.1 представлены результаты испытаний в виде регулировочной характеристики при различных величинах рециркуляции, характеризуемой положением винта клапана рециркуляции (углу поворота на  $90^\circ$  соответствует число 0,25 поворота винта). Такой способ изменения количества перепускаемых газов определялся конструкцией применяемого клапана.

Из данных рисунок 4.1 можно видеть, что при  $\alpha < 0,9$  расход бензина при  $POГ$  и  $H=0$  практически не изменяется по сравнению как с исходным вариантом, так и при подаче малых количеств водорода. Уровень  $CO$  и  $CH$  несколько возрастает.

С увеличением  $\alpha$  при  $POГ$ , характеризуемой поворотом регулировочного винта на 0,25 и 0,5 оборота и  $H=0$  расход бензина увеличивается по сравнению с его величиной при  $POГ=0$ . В частности, при  $\alpha=1,1$   $G_6$  возрастает с 2,1 до 2,2 кг/час (т.е. на 4,6%). Выбросы  $CH$  начинают возрастать при №1,08 при наличии рециркуляции, тогда как при отсутствии — при  $\alpha=1,1$ .

При подаче водорода и РОГ расход бензина всегда снижается до уровня характерного работе двигателя при отсутствии рециркуляции, объёмная доля СН при  $\alpha < 1,15$  несколько выше исходной по причине, указанной выше (эффект «увеличения» УОЗ), но рост концентрации сдвигается как всегда при добавках водорода, в сторону больших  $\alpha$ , в частности, до №1 ,2.

На рисунок 4.2 приведены результаты расчётного определения содержания в ОГ  $\text{CO}_2$  при рециркуляции и добавках водорода. Из данных графиков можно видеть, что рециркуляция приводит к увеличению выбросов  $\text{CO}_2$ , а добавка водорода при РОГ — к их снижению. При этом в условиях одного опыта получено, что при отсутствии рециркуляции и наличии водорода отмечается минимальный уровень выбросов  $\text{CO}_2$ .

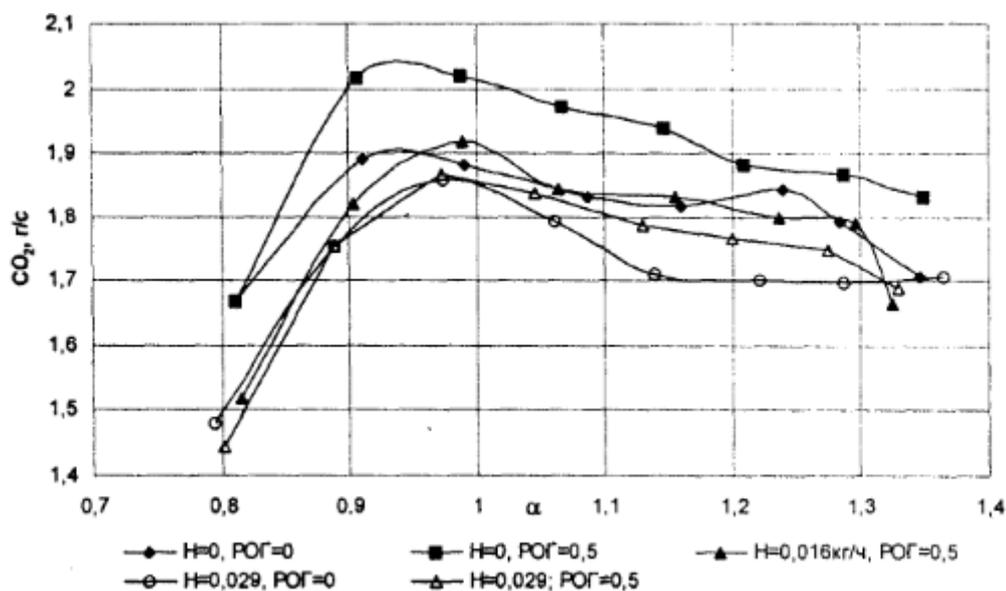


Рисунок 4.2 - Изменение массовой эмиссии  $\text{CO}_2$  от  $\alpha$

Таким образом, получено, что РОГ в пределах относительно малого перепуска ОГ, приводит к повышению расхода бензина, а при малых добавках водорода — практически к тем же результатам, что и просто подача водорода, т.е. водород «исправляет» протекание процесса сгорания, активизируя его. В свою очередь данные результаты позволяют

предположить, что в связи со снижением температуры сгорания данный эффект может способствовать большему снижению содержания окислов азота при данном  $\alpha$ .

На рисунок 4.3 приведены результаты измерений параметров работы двигателя при РОГ и при относительно большом расходе водорода ( $G_H=0,15$  кг/ч), выполненные при использовании клапана рециркуляции, управляемого процессором блока «Январь—4».

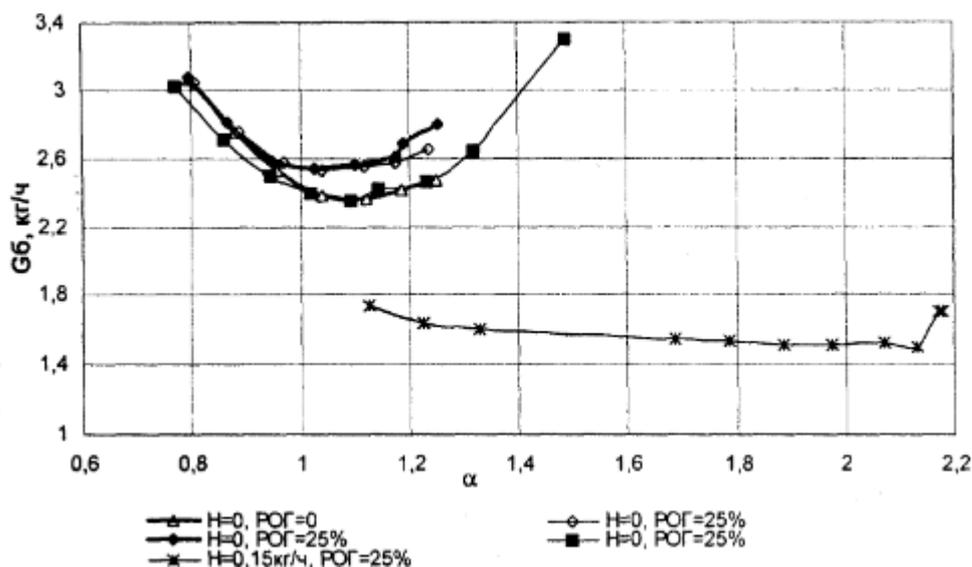


Рисунок 4.3 - Регулировочная характеристика ( $n=2185$  об/мин,  $P_e=0,2$  МПа,  $U_{O3}=\text{опт}$ )

Можно видеть, что рециркуляция ОГ без водорода при открытии клапана на 25%, приводит к повышению расхода бензина во всём диапазоне изменения  $\alpha$ . В частности, минимальное значение  $G_5$  увеличивается с 2,37 до 2,57 кг/ч, т.е., примерно, на 8%. Добавка водорода при рециркуляции приводит к снижению расхода бензина и уровня выбросов СН (рисунок 26-28 приложения 2).

Сравнение полученных данных с результатами испытаний при подаче водорода без рециркуляции показывает, что количественно результаты практически одинаковы и по расходу бензина, и по уровню содержания СН (см. рисунок 3.5-3.8. В связи с этим с целью уменьшения количества опытов, потребных для определения оптимальных соотношений степени рециркуляции и расхода водорода при заданных значениях коэффициента

избытка воздуха и оптимальных УОЗ в условиях определённого режима работы двигателя ( $N_e$  и  $n=const$ ) был реализован следующий план эксперимента.

Для режима, характеризуемого параметрами:  $n=2185$  об/мин,  $P_e = 0,2$  МПа, было экспертно назначено значение  $\alpha = 1,6$ . Для нескольких значений расхода водорода, в частности, равных  $G_H=0,1$  и  $0,2$  кг/ч определялись экспериментально зависимости изменения расхода бензина от степени РОГ.

На рисунок 4.4 представлены полученные экспериментальные зависимости.

Можно видеть, что на данном режиме работы двигателя подача водорода в количестве менее  $0,2$  кг/ч будет приводить к повышению расхода бензина при любой степени рециркуляции. При расходе водорода порядка  $G_H=0,2$  кг/ч наблюдается характерная зависимость изменения  $G_b$  от РОГ с минимумом расхода бензина при величине рециркуляции большей  $50\%$  по открытию клапана.



Рисунок 4.4 - Зависимость параметров при подаче водорода от рециркуляции ( $n=2185$  об/мин,  $P_e=0,2$  МПа, УОЗ=опт).

В связи с этим, как понятно, целесообразно снятие регулировочной характеристики на данном режиме работы двигателя при величине

рециркуляции равной 50—60% и расходе водорода не менее 0,2 кг/час ( $\alpha=1,6$ ).

На рисунок 4.5 приведены регулировочные характеристики, полученные при постоянной подаче водорода с расходом  $G_H=0,2$  кг/ч с РОГ, количественно характеризуемой открытием клапана рециркуляции на 50% и без неё.

Из графиков данных рисунков можно видеть, что расход бензина снижается, примерно, на 7% (см. также рисунок 4.4), Концентрация СН, как отмечалось; при наличии рециркуляции несколько выше и возрастает с увеличением  $\alpha$ .

Таким образом, в результате проведенных испытаний получено, что рециркуляция отработавших газов при добавках водорода при определённых условиях приводит к снижению расхода бензина и несколько увеличивает концентрацию углеводородов. Вместе с тем следует отметить, что в связи с дополнительным снижением температуры горения бензоводородовоздушной смеси в этом случае возможно снижение выбросов окислов азота.

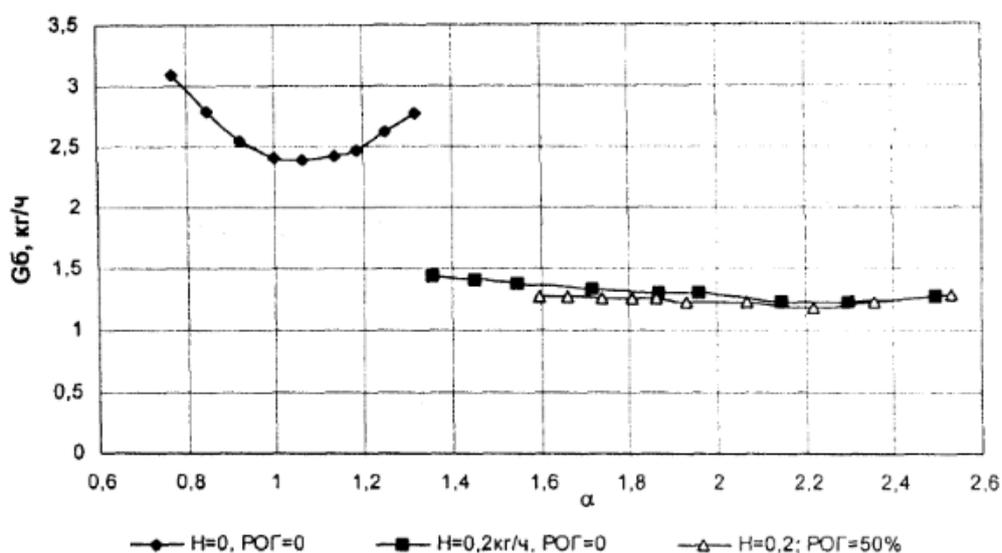


Рисунок 4.5 – Регулировочная характеристика при подаче водорода.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью проведенных исследований удалось решить актуальную научнотехническую задачу, которая имеет существенное значение. При выполнении диссертационной работы получены следующие основные результаты и выводы:

1. Разработана методика и создан моторный бокс, позволяющие проводить исследования работы двигателей типа ВАЗ—2111 при добавках водорода ДО расходов порядка 0,5 кг/час В ТОМ числе с рециркуляцией ОГ и при подаче водорода через свечу зажигания.

2. Проведенные исследования показали что:

— «добавление водорода уменьшает зависимость рабочего процесса от УОЗ, в частности, при работе Ва режиме  $n=2185$  об/мин,  $P_e=0,2$  изменение УОЗ ОТ 20 до 50 градусов УПКВ почти не отражается на мощностных и экономических показателях» [50].

— «благодаря расширению пределов устойчивого горения ТВС с добавками некоторого количества водорода обеспечилась устойчивая работа ДВС на исследованных режимах при коэффициенте избытка воздуха равном  $a = 2,2—2,4$ ; при этом относительное количество водорода составляло для режима холостого хода при  $n=850$  об/мин 30% от расхода бензина, для режима  $n=2185$  об/мин И  $P_e=0,2$  МПа — 50%» [50].

- «расход бензина при подводе водорода и работе В диапазоне бедных смесей существенно снижается, причём механизм действия добавок водорода различен и зависит от совершенства рабочего процесса. В частности, при работе на холостом ходу и малых добавках водорода происходит значительное снижение расхода бензина за счёт активизации процесса горения, тогда как дальнейшее снижение расхода бензина связано с замещением его водородом как горючего. При работе двигателя на ХХ при большем числе оборотов и на нагрузочных режимах процесс активизации горения существенно слабее» [50].

— «добавление водорода приводят к значительному изменению состава ОГ и при коэффициенте избытка воздуха более  $\alpha > 1,1 - 1,2$  содержание СО снижается до уровня следов, СН - с средним на 20—40 %;» [50].

— «при подводе водорода повышается цикловая равномерность рабочего процесса, например, на режиме ХХ при оценке среднеквадратичным отклонением максимального значения индикаторного давления В 2 раза;» [50].

3. «Проведенные испытания показали влияние на рабочий процесс добавок водорода при РОГ, а именно, что В<sub>а</sub> выбранном режиме работы двигателя ( $P_e=0,2$  МПа,  $n=2185$  об/мин) может быть получено соотношение водород - количество рециркулируемых газов, при котором расход бензина снижается, в частности, на 7% по сравнению с исходным уровнем (РОГ=0). Для повышения степени рециркуляции требуется увеличение расхода водорода. В этом случае отмечается повышение концентрации СН» [50].

4. «Добавки водорода «под свечу», по применённому при проведении работы способу не выявили дополнительного эффекта по расходу бензина и составу ОГ, количественное выражение которых практически соответствует способу подвода водорода во впускную трубу» [50].

5. «Полученные результаты могут использоваться при практическом осуществлении способа добавок водорода в ДВС, а также при разработке расчётной методики оценки потребного количества водорода при достижении заданного эффекта» [50].

## Список используемых источников

1. Русаков М.М. и др., Влияние начальных параметров топливной смеси на токсичность отработавших газов ДВС, Химическая физика, том 10, №6, 1991.
2. М.А.Зленко и др., ДВС с непосредственным впрыскиванием топлива Ультрабедный двигатель, Автомобильная промышленность, 1999, №1.
3. Двигатели внутреннего сгорания, Под ред. В.Н. Луканина, М, Высшая школа, 1995.
4. Русаков М.М. и др., Пределы стабильного сгорания обедненных бензовоздушных смесей В ДВС при различных способах интенсификации, сб.Трудов XI симпозиума по горению и взрыву, г. Черноголовка, 1996.
5. М.М. Русаков И др., Снижение токсичности ДВС добавкой водорода, сб. материалов III научно—практического семинара ВГТУ, Владимир 1994.
6. М.М. Русаков и др., Водород и токсичность ДВС, Международный научно-технический семинар «Водородные технологии 21 века», С-Петербург, 1997.
7. А.И.Мищенко, Применение водорода для автомобильных двигателей, Киев: Наукова думка, 1984.
8. Г.Н. Злотин и др., Влияние добавки водорода на продолжительность первой фазы сгорания В карбюраторном двигателе, В сб, Рабочие процессы в поршневых ДВС, Волгоград, 1979.
9. Исследование процессов сгорания в двигателе, работающем на водороде, Экспресс-информация ВИНТИ, Поршневые и газотурбинные двигатели, № 8, Москва, 1988.
10. Н.Карташов и др., О применении водорода В карбюраторных и дизельных двигателях, сб. Научных трудов «Проблемы экономии топлива на автомобильном транспорте», МАДИ, Москва, 1983.

11. В.З. Гибадуллин и др., Влияние микродобавок водорода на токсичность бензиновых ДВС, Вестник МАНЭБК №1, 1998.
12. Von Rainer WJorach, Niedrige Stickoxidemissionen bei hoher Leistungsdichte durch Wasserstoff-Brennverfahren mit fruher innerer Gemischbildung, MTZ Motortechnische Zeitschrift 58(1997)4
13. Г.Н. Злотин и др., Если водород подать в конце такта сжатия, Автомобильная промышленность, № 11, 1995 . .
14. П.В. Новицкий, И.А. Зюграф, Оценка погрешностей результатов измерений, Энергоатомиздат, Ленинград, 1985.
15. Испытания жидкостных ракетных двигателей, под ред. проф. В.Я. Левина, М. Машиностроение, 1981.
16. Водород, свойства, получение, хранение, транспортирование, применение, Справочник, М, Химия, 1989.
17. В.А. Звонов, Токсичность ДВС, М. Машиностроение, 1981.
18. Г.Н. Злотин и др., Форсирование развития начального очага горения В ДВС с искровым зажиганием, Наука производству, № 1(26), ВолгТУ, НТП «Виразж-центр», Волгоград, 2000.
19. Способ работы ДВС, Заявка на изобретение № 4917076/23, МКI/I5F02843/08.
20. Сайт журнала «За рулем» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.zr.ru](http://www.zr.ru).
21. Электронный автомобильный еженедельник [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.autogazeta.com](http://www.autogazeta.com) .
22. Информационный рекламный производителей биоэтанола [www.bioethanol.ru](http://www.bioethanol.ru) .
23. Сайт автомобильной газеты «Авторевю» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.autoreview.ru](http://www.autoreview.ru)
24. Сайт газеты «Крестьянские ведомости» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.agronews.ru](http://www.agronews.ru).

25. Журнал «Транссервис» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.trans.maximedia.ru](http://www.trans.maximedia.ru) .
26. Bowman. L., and E. Geiger. 1984. Optimization of fermentation conditions for alcohol production. *Biotechnology and Bioengineering*.
27. Аксёнов И.Я., Аксёнов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. – М.: Транспорт, 1986.
28. Автогир [Электронный ресурс]. Режим доступа: [autogear.ru/toyota\\_repair/transmission/3882,print/](http://autogear.ru/toyota_repair/transmission/3882,print/)
29. ПетролТрейд [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.petroltrade.ru/n\\_transmmasl.html](http://www.petroltrade.ru/n_transmmasl.html)
30. Автотехник [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.autotechnic.su/technology/aero/aero.html](http://www.autotechnic.su/technology/aero/aero.html)
31. Википедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org>
32. ГОСТ Р 51102-97
33. С. Калверта и Г. Инглунда. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник “Металлургия”, Москва, 1991
34. А.Г. Нецветаев. Экологическое право. МГУ. 2006
35. Дьяконов К.Н., Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза. "Аспект-Пресс", 2005 г.
36. Горелов А. А. Экология. "Академия", 2006 г.
37. В.И.Коробкин, Л.В.Передельский. Экология в вопросах и ответах. Учебное пособие. Феникс, 2005 г.
38. Ю.Л.Хотунцев. Экология и экологическая безопасность. Учебное пособие для студентов высших педагогических учебных заведений. Академия, 2004 г.
39. Автовести [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://auto.vesti.ru/>

40. Переведенная статья: Md. Saiful Islam, Abu Saleh Ahmed, Aminul Islam, Sidek Abdul Aziz, Low Chyi Xian and Moniruzzaman Mridha, Study on Emission and Performance of Diesel Engine Using Castor Biodiesel [Электронный ресурс] / Md. Saiful Islam, Abu Saleh Ahmed, Aminul Islam, Sidek Abdul Aziz, Low Chyi Xian and Moniruzzaman Mridha// Department of Chemistry, Faculty of Science, Universiti Putra Malaysia (UPM), 43400 Serdang, Selangor, Malaysia. - url: <https://www.hindawi.com/journals/jchem/2014/451526/>. - загл. с экрана.
41. Переведенная статья: Ferial A. Zaher, Hanaa M. Soliman, Biodiesel production by direct esterification of fatty acids with propyl and butyl alcohols [Электронный ресурс] / Ferial A. Zaher, Hanaa M. Soliman// Egyptian Journal of Petroleum. - url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110062115000860>. - загл. с экрана.
42. Переведенная статья: Belachew Tesfa, Fengshou Gu, Rakesh Mishra and Andrew Ball, Emission Characteristics of a CI Engine Running with a Range of Biodiesel Feedstocks [Электронный ресурс] / Belachew Tesfa, Fengshou Gu, Rakesh Mishra and Andrew Ball// Center for Efficiency and Performance Engineering, University of Huddersfield, Huddersfield HD1 3DH, UK. - url: <http://www.mdpi.com/1996-1073/7/1/334/htm>. - загл. с экрана.
43. Переведенная статья: Hossam A. Gabbar, Raymond Bedard, Nasser Ayoub, Integrated modeling for optimized regional transportation with compressed natural gas fuel [Электронный ресурс] / Hossam A. Gabbar, Raymond Bedard, Nasser Ayoub// Faculty of Engineering, Alexandria University. -url: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016815001623>. - загл. с экрана.
44. Переведенная статья: Lin Gao and Zach C. Winfield, Life Cycle Assessment of Environmental and Economic Impacts of Advanced

- Vehicles [Электронный ресурс] / Lin Gao and Zach C. Winfield// Department of Chemistry, Environmental Science, and Geology, University of Mary Hardin-Baylor, 900 College Street, Belton, TX 76513, USA. - url: <http://www.mdpi.com/1996-1073/5/3/605/htm> . - загл. с экрана.
45. Переведенная статья: Kimberly Jensen, Christopher Clark, Burton English and Dustin Toliver, Effects of Demographics and Attitudes on Willingness-to-Pay for Fuel Import Reductions through Ethanol Purchases [Электронный ресурс] / Kimberly Jensen, Christopher Clark, Burton English and Dustin Toliver// Department of Agricultural & Resource Economics, The University of Tennessee, 302 Morgan Hall, 2621 Morgan Circle, Knoxville. - url: <http://www.mdpi.com/2077-0472/2/3/165/htm>. - загл. с экрана.
46. Переведенная статья: Albert Tarancón, Strategies for Lowering Solid Oxide Fuel Cells Operating Temperature [Электронный ресурс] / Albert Tarancón// Institute of Microelectronics of Barcelona, Campus UAB, 08193 Bellaterra, Barcelona, Spain. - url: <http://www.mdpi.com/1996-1073/2/4/1130/htm>. - загл. с экрана.
47. Альтернативные виды топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://coolreferat.com>
48. Альтернативные виды топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rae.ru>
49. Алешникова М.А. Совершенствование 2016 г.
50. Раджабеков А.А. 2017 г.
51. Альтернативные виды топлива [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ronl.ru/referaty/ekologiya/453403/>.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время множество альтернативных видов топлива были подробно исследованы на применимость в двигателях с искровым зажиганием, в результате чего, появились возможности повышения безопасности и снижения выбросов газа в атмосферу. Биодизель является одним из альтернативных видов топлива, которое является экологически чистым, и может быть использовано в дизельных двигателях. Целью данного исследования является изучение влияния биодизеля и его излучательных характеристик. Экспериментальная работа проводилась на четырехцилиндровом, четырехтактный, с прямым впрыском (di) и дизельным двигателем с турбонаддувом на биодизельном топливе, произведенного из отходов рапсового и кукурузного масла, сравнивая их с нормальным дизелем. Топлива, используемое для анализа: B10, B20, B50, B100. Двигатель эксплуатировался в диапазоне допустимых ему скоростей. На основе измеренных параметров, был проведен детальный анализ основанный на выбросах, таких как NO<sub>x</sub>, Co, CO<sub>2</sub>, и ТГК. Было видно, что оба вида биодизеля не имеют существенных различий в производимых выбросах. Результаты четко указывают на то, что двигатель работает на биодизеле и смеси имеют более высокие выбросы NO<sub>x</sub>, а именно на 20%. Однако, выбросы двигателя, работающего на биодизеле (B100) были меньше на 15%, 40% и 30% для Co, CO<sub>2</sub> и ТГК соответственно, по сравнению с дизельным топливом в различных условиях эксплуатации.

## 1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Текущие и будущие нормы выбросов станут более жесткими, и в соответствии с этими правилами, транспортную отрасль ждет значительное преобразование. Кроме того, спрос на ископаемое топливо постоянно растет во всем мире, в результате чего произойдет сильное истощение запасов ископаемого топлива. Такие проблемы вынуждают многие страны сосредоточиться на разработке или поиске альтернативных видов топлива. Основные виды альтернативного топлива используются в автомобильном транспорте, более частным являются этанол, водород и биодизель.

Технология производства этанола успешно установлена в развивающихся и развитых странах. Однако использование этанола ограничивается в двигателях с искровым зажиганием. Кроме того, использование этанола также ограничивается максимальной прочностью смеси - до 15% это происходит потому что более сильные смеси имеют проблемы с системой впрыска топлива. Водород на основе топливных элементов может стать альтернативой ископаемому топливу, однако, чтобы сделать его коммерчески применимым, многие технические проблемы должны быть решены, например, требования специальной инфраструктуры для его хранения и высокие топливные издержки производства. Несмотря на достижения в исследованиях на водородных топливных элементах, дизельные двигатели, будут использовать для достижения высокой мощности, для транспортных средств таких как железнодорожный локомотив, корабль и грузовые автомобили. Большое количество исследований показало, что биодизель является одним из наиболее перспективных возобновляемых, альтернативных и экологически чистым биотопливом, которое может использоваться в дизельных двигателях, с минимальными модификациями. Кроме того, было доказано, что биодизель значительно меньше выбросов CO<sub>2</sub>, CO, осу и выбросов ТЧ [10,11]. Lapuerta и его команда провели тщательный анализ публикаций на тему выбросов двигателей с использованием биодизельного топлива и его смесей.

Большинство литературы показало, что использование биодизельного топлива привело к увеличению выбросов NOx. Как показано в таблице 1, Lapuerta и его команда провели тщательный обзор публикаций на тему о выбросах NOx на двигателях с использованием биодизельного топлива и его смесей. Lapuerta и его команда сообщили, что свыше 85% и 65% исследователей согласились с тем, что выбросы NOx из двигателя, работающего на биодизеле были выше, чем у двигателей, работающих только с дизелем. Первой причиной этого наблюдения является раннее начало сгорания двигателя при работе на биодизеле, как следствие, дополнительные инъекции, полученные от физических свойств биодизельного топлива, такие как вязкость, плотность, сжимаемость и скорость звука. Когда биодизельное топливо впрыскивается, повышается давления, создаваемое насосом, процесс происходит быстрее, и как следствие, снижается сжимаемость и волна давления распространяется еще быстрее в сторону форсунок с более высокой скоростью звука. Это вызывает раннее зажигание, что приводит к повышению температуры пиков и цены на образование NOx. Небольшое количество исследователей сообщали о том, что выбросы NOx снижаются, когда биодизель используется в качестве топлива. Недавно Пала-Ан и соавт. поставили главной причиной снижения Nox из-за высоких степенях насыщения и удлинения цепи и выше цетановое число. Исследования Lapuerta показали, что 90% и 84% рассмотренных работ свидетельствуют об уменьшении выбросов Co, когда двигатели работали на биодизеле. Исследователи объяснили, что основная причина сокращения выбросов Co является дополнительное содержание кислорода, который улучшает полное сгорание и приводит к снижению выбросов Co.

CO<sub>2</sub>-один из газов, выбрасываемых при сжигании углеродного топлива. Не существует универсального консенсуса относительно влияния биодизеля на выбросы CO<sub>2</sub> от CI двигателей. Некоторые авторы сообщают, что, если система CI работает на биодизельном топливе, то увеличатся выбросы CO<sub>2</sub> по сравнению с бензиновыми. Как видно в таблице 1, Сюэ и соавт. сообщили,

что 46% ученых считают, что выброс CO<sub>2</sub> увеличивается, когда двигатель работает на биодизеле, а 38.5% из исследователей сообщали об обратной тенденции, и 15,4% исследователи сообщили, что двигатели, работающие с дизельного и биодизельного топлива имеют подобные выбросы. Несоответствие тренда CO<sub>2</sub> может происходить из-за изменения биодизеля, источников сырья, типов двигателя и процедуры тестирования.

При неполном сгорании ископаемых видов топлива и испарения топлива в открытых районах являются основными источниками углеводородов (СН) в атмосфере. Большинство обзоров литературы показало: в выбросах ТГК при замене традиционного дизельного топлива с биодизельным топливом в двигателях из-за кислорода, который обеспечивает более полное сгорание.

Чтобы выяснить воздействие различных видов сырья на выбросы NO<sub>x</sub> и CO<sub>2</sub>, было проведено сравнение нескольких исследователей, используя тот же самый двигатель и протокол тестирования. Для сравнения смеси биодизельного топлива, было произведено из четырех видов сырья (соевое масло, рапсовое масло, отходы растительного масла и животного жира) с выбросами с низким содержанием серы дизельного топлива (ULSD) для начала реального вождения, а также динамометрических испытаний. Они сообщили, что результаты испытаний динамометра показали статистически значимое снижение выбросов HC, CO и TЧ из всех B20 смеси по сравнению с ULSD. Для CO<sub>2</sub>, как на дороге испытаний и стендовых испытаний показал отсутствие статистически значимых различий в выбросах между B20 смеси и ULSD. Их стендовых испытаний No<sub>x</sub> показал только B20 из соевого масла, имеют статистически значимо более высокий уровень выбросов.

Больше исследования необходимы для того чтобы понять характеристики эмиссии двигателей, работающих с смеси биодизельного топлива. На основе проведенного анализа в данной статье представлены две научные проблемы, выявленные для исследования, которые являются

последствиями биодизеля для двигателя ,характеристики выбросов и воздействия смеси биодизельного топлива на двигателя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, целью данного исследования является изучение характеристик излучения системы, работающей на смеси биодизеля с различными смесями для сверхмощного двигателя. Для изучения этого явления, экспериментальные исследования проводились на двигателях (четырёх-цилиндровый, четырехтактный, с турбонаддувом, с водяным охлаждением и прямым впрыском).

## ВВЕДЕНИЕ

Ожидаемое истощение природных нефтяных ресурсов в ближайшем будущем и загрязнение окружающей среды из-за чрезмерных выбросов углекислого газа, за счет сжигания ископаемого топлива и его негативных последствий глобального потепления, являются двумя основными проблемами, с которыми сталкивается весь мир. Учитывая эти проблемы, большая исследовательская работа направлена сейчас по всему миру, чтобы найти альтернативные топлива, полученные из нефти и газа, которые должны быть возобновляемые и более экологически чистых видов топлива.

Биодизельное топливо, которое представляет собой смесь сложных эфиров жирных кислот со спиртами, является наиболее подходящим альтернативным топливом для дизельных двигателей. В этой области предыдущие исследования были сделаны, чтобы изучить возможность использование жирных кислот, которые могут быть получены из отходов производства пищевых масел в Египте, для производства биодизельного топлива путем прямой этерификации, с метанолом, а также с этанолом в присутствии серной кислоты в качестве катализатора. Эта статья является

продолжением той работы, где двое других спиртов с длиной цепи больше, чем у этилового спирта применяют пропанол и бутанол. Производительность дизеля, работающего с использованием 50% смеси обычного дизельного топлива и каждого из двух биодизтоплива подготовлен был по сравнению с использованием обычного дизельного топлива. Результаты показали, что удельная Тормозная расхода топлива (BSFC) и тепловой эффективности тормозов при полной загрузке двигателя были почти одинаковы во всех случаях. Это означает, что произведенное топливо может быть использовано в качестве эффективного альтернативного топлива для дизельных двигателей. Сравнивая результаты настоящей работы с теми, о которых сообщалось в нашей предыдущей работе, выяснилось, что метанол, который имеет наименьшую длину углеродной цепи, является наиболее рекомендуемым, учитывая тепловую эффективность тормозов дизельного двигателя при полной загрузке.

## 1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время весь мир озабочен истощением запасов нефти и газа в ближайшем будущем, а также ростом цен на сырую нефть и загрязнением окружающей среды и глобальным потеплением. Поэтому так много исследований направлены на поиск альтернатив для всех продуктов, которые получаются из нефти, включая дизельное топливо.

Биодизельное топливо, экологически чистый продукт, является наиболее перспективным заменителем топлива для дизеля, полученного из нефти. Он имеет так много преимуществ по сравнению с обычным дизельным топливом. Он не имеет серы, а также циклических углеводородов, которые будут положительно отражаться на составе сгорания и, следовательно, влиять на окружающую среду, а также на компоненты двигателя, снижающие скорость их коррозии. Кроме того, биодизель не токсичен, биоразлагаем, обладает высокими смазывающими свойствами и получен из

возобновляемых источников. Другим наиболее важным преимуществом является то, что он уменьшает выброс углекислого газа в атмосферу.

Биодизельное топливо может быть приготовлено одним из двух способов. Либо путем переэтерификации растительных масел со спиртами или путем прямой этерификации жирных кислот со спиртами. Египет ежегодно импортирует огромные количества растительного масла, чтобы покрыть более 90% от потребления растительных масел. Поэтому, если биодизель должен быть произведен в Египте в промышленных масштабах путем переэтерификации масла, растительные масла непищевых классов, а не те съедобные должны быть использованы. Примерами таких масел являются очень кислый *gisebran* масло, ятрофа масло, с высоким содержанием эруковой кислоты рапсового масла и растительного масла. Однако количество имеющихся в настоящее время в Египте таких номеров пищевыми маслами сыт не будешь промышленной установки приемлемой мощности по производству биодизельного топлива. Учитывая этот дефицит растительных масел для производства биодизельного топлива, это было продумано использование жирных кислот, которое может быть получено из отходов масла и мыла в промышленном секторе для производства биодизельного топлива путем прямой этерификации со спиртами. Крупным шагом в Индустриальном секторе переработки сырого растительного масла выход пищевого масла является щелочной рафинации шаг, где неочищенных масел обрабатывают каустической соды для нейтрализации свободных жирных кислот. Этот шаг заканчивается нейтрализовать масло, которое претерпевает дальнейшие этапы обработки (отбелики и дезодорации) в дополнение к тяжелой темной мыльной ликер (слизь). Последний затем может быть подкисленной, чтобы освободить жирные кислоты обратно. Расчетное количество жирных кислот, которое может быть произведено из масла и мыла промышленного сектора в Египте было обнаружено около 16 тысяч тонн в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование этих отходов, используя метанол, как и этанол в качестве этерификацией спиртов для производства биодизельного топлива было изучено. Как биодизельное топливо; метиловый и этиловый эфиры были оценены в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей по своим свойствам топлива по сравнению со стандартными дизельными, а также показатели дизеля, работающего с использованием 50% смесь биодизеля с обычным дизельным топливом. Результаты доказали, что топлива, полученные путем этерификации метиловым спиртом, имеющих более короткие цепи, чем этиловый спирт был более эффективным в качестве топлива. В данной работе, два других спиртов больше длина цепи, чем этанола применяют пропиловый и бутиловый спирты. Произведенного биодизельного топлива будет оцениваться в качестве топлива и по сравнению с обычными дизельными, а также данными, полученными с использованием метилового и этилового спиртов.

## ВВЕДЕНИЕ

В работе представлен результат исследований, проведенных при изучении выбросов и производительности дизельного двигателя работающего с помощью смеси касторового масла с дизельным топливом от 0% до 40% по объему. Кислотно-катализируемая переэтерификация системы была использована для производства биодизеля, самая высокая производительность на 82,5% был получен при оптимизированных условиях. В спектре ИК-Фурье, касторового биодизельного топлива указывается на присутствие функциональных групп  $C=O$  и  $C-O$ , что обусловлено присутствием сложного эфира. Испытание токсичности и дымности выявило, что В40 (40% биодизеля и 60% дизельного топлива) выходило бы черным дымом по сравнению с обычным дизелем. Тест производительности дизельного двигателя показал, что при удельном расходе топлива, смесь биодизеля увеличивается, когда соотношение смешивания стало оптимизировано. Таким образом, снижение выбросов выхлопных газов - удельный расход топлива, доказали, что это подходящее альтернативное топливо для дизельных и может помочь в борьбе с загрязнением воздуха.

### 1. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

#### 1. Выбросы и производительность дизельного двигателя

Достижения, полученные при помощи обновленных технологий производства, может усилить биодизель в качестве альтернативного топлива в борьбе с глобальным потеплением. Интерес к возобновляемым топливам резко возрос в последние годы в связи с высоким спросом энергии и ограниченности ископаемого топлива. Он может предложить возможности для развития внутренних ресурсов эффективным образом. Дополнить потребления нефти с использованием возобновляемых ресурсов биомассы может быть одним из компонентов стратегического подхода, чтобы снизить зависимость от нефтяного топлива. В настоящее время, поиск альтернативы

биотоплива является одной из основных экологических и политических проблем во всем мире. Разные виды биотоплива могут быть получены из возобновляемых источников углерода, по сокращению выбросов парниковых газов, и конечные продукты могут быть использованы в качестве замены эквивалентов нефтяных топлив. Кроме того, использование биодизельного топлива имеет практически нулевые выбросы сульфатов. Небольшой объем диоксида углерода (CO<sub>2</sub>) биодизеля составляет около 10% кислорода по массе. Биодизель является одним из источников энергии, который может быть получен из процесса переэтерификации растительного или животного масел и жиров с короткой цепью спирта, такие как метанол и этанол, как показано на рисунке 1:

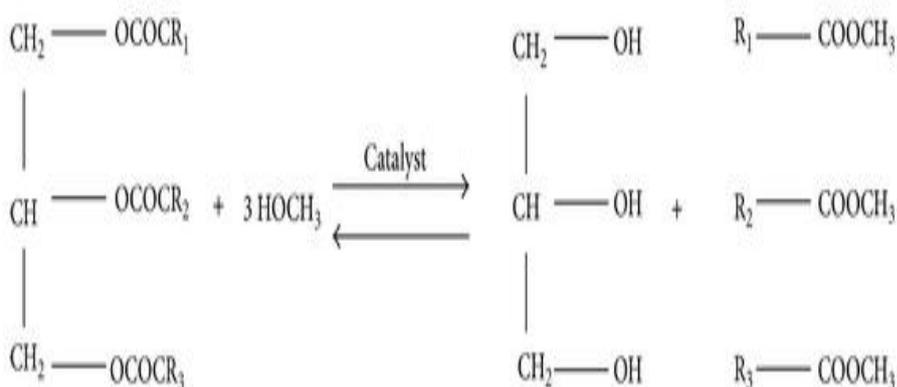


Рисунок 1 - процесс переэтерификации растительных или животных масел и жиров.

Биодизель может стать интересной альтернативой для использования в дизельном двигателе, который из-за аналогичных свойств обычного ископаемого дизельного топлива с точки зрения мощности и крутящего момента и требуются незначительные модификации двигателя. Кроме того, биодизель имеет несколько специальных функций, которые биологическому разложению и является гораздо более экологически чистым по сравнению с традиционными ископаемыми дизельного топлива и в результате меньшего

воздействия на окружающую среду при случайном попадании в окружающую среду. Хотя биодизель имеет много экологических преимуществ, он имеет некоторые эксплуатационные недостатки также. Поведение биодизельного топлива ухудшается во время холодных условиях по сравнению с ископаемым дизельным топливом. Это обусловлено тем, что при низкой температуре, биодизельного и дизельного топлива форма кристаллов воска, которые могут ограничить приток в автомобильной топливной системе и обеспечить засорение топливопроводов и фильтров. Увеличивая давление на использование энергии в сельскохозяйственном, промышленном, бытовом, и в государственном секторах вызывает беспокойство. Одновременно, потребности для удовлетворения спроса на энергоносители создали огромный капитал, необходимый для создания электростанций, трубопроводов, портов, терминалов и железнодорожных путей для перемещения топлива.

В основном, биодизель производится с такими культурами, как подсолнечник, соя, горчичное масло, и еще во многих частях мира. Поскольку страна сталкивается с нехваткой пищевых масел, невозможно производить растительное масло для биодизеля. Тем не менее, первые поколения имеют недостатки в том, что они полагаются на сырье, это недостаточно для удовлетворения потребности нефти в настоящее время, и они рассчитывают на легкодоступное пищевое сырье, фракции, влияющему на поставку продуктов питания для людей и животных. Таким образом, использование nonedible, сырья для преобразования биотоплива может быть более устойчивой для удовлетворения будущего спроса на энергию. Кроме того, страна обладает огромным потенциалом для производства дерева масличных культур, для производства биодизеля, чтобы справиться со спросом, около 40% общего объема сырой нефти.

В основном производстве биодизеля присутствует проблема коммерциализации - высокая себестоимость производства, по сравнению с ископаемым дизельным топливом. Это обусловлено тем, что затраты в

производстве биодизельного топлива в значительной степени зависит от стоимости сырья. Более высокие затраты на производство сырья, в свою очередь, из-за высокой цены материалов, в том числе минеральных удобрений и энергии, низкого извлечения биотоплива из сырья, и наличие узкого ассортимента сырья для производства биотоплива. Биодизель имеет очень высокую точку воспламенения ( $300^{\circ}\text{F}$ ), что делает его одним из самых безопасных из всех альтернативных видов топлива, с точки зрения горючести. Она имеет замкнутый цикл углерода 3.2 : 1 стоимость продукции, которая является весьма эффективным. Считается, что биодизель имеет цетановое число больше 51, которое позволит сделать автомобиль лучше, заводить с низких оборотов. Наиболее распространенный коэффициент составляет 80% обычного дизельного топлива и 20% растительных жиров, которые также называют как B20, как указано на уровне 20% биодизеля. Кроме того, потребление смеси биодизельного топлива составляет всего 2-5%, что незначительно выше, чем у обычного дизельного топлива. Чжу и соавт. изучение показателей и выбросов на Махуа биодизельное топливо смешивается с этанолом. В своем исследовании они обнаружили, уменьшения  $\text{CO}$  и  $\text{NO}_x$ , используя 20% смешанного топлива, но увеличение выбросов УВ. Hulwan и Джоши сообщил, производительности, выбросов и сгорания характеристики дизельного двигателя многоцилиндровый, работающей на дизельном топливе-этанол-биодизель смесей с высоким содержанием этанола. Однако, отсутствие подробных данных о параметрах горения и выбросов дизельного топлива смешанного с биодизеля, производимого из кастер масло семян.

### Заключение

Таким образом, целью данного исследования является изучение внутреннего сгорания, производительности и выбросов из дизельных двигателей, работающих на дизельном-биодизельные смеси, использование биодизеля, производимого из масла семян кастер.

Биодизель успешно добывается из сырого касторового масла. Выход биодизеля 93,3% был достигнут с использованием двухстадийного процесса переэтерификации. Выходная мощность двигателя такая же, как у обычного дизеля для смеси В20. Таким образом, В20 может быть выбран из-за лучшего сгорания с более низким средним процентом изменения выбросов ТЧ, СО и УВ по сравнению с обычным дизелем.