

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

УДК 62-622

На правах рукописи

Чэнь Цань

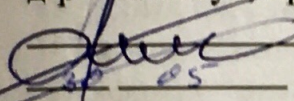
**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

На соискание академической степени магистра

Название диссертации      Использование генераторов водорода в двигателях  
внутреннего сгорания для снижения расхода  
дизельного топлива и уменьшения вредных  
выбросов в окружающую среду

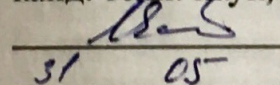
Направление подготовки      6M071300 – «Транспорт, транспортная техника и  
технологии»

Научный руководитель,  
д-р техн. наук, проф.

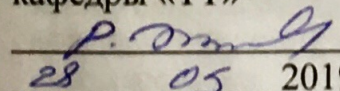
 Шалбаев К.К.  
2019 г.

Рецензент

канд. техн. наук, доцент

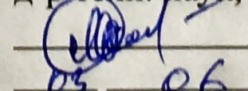
 Есенгалиев М.Н.  
31 05 2019 г.

Нормоконтролер,  
канд. техн. наук, доцент  
кафедры «ТТ»

 Козбагаров Р.А.  
28 05 2019 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой  
«Транспортная техника»  
д-р техн. наук, проф.

 Машеков С.А.  
05 06 2019 г.

Алматы 2019



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

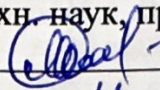
Кафедра «Транспортная техника»

6M071300 – Транспорт, транспортная техника и технологии

**УТВЕРЖДАЮ**

Зав.кафедрой «ТТ»

д-р техн. наук, проф.

 Машеков С.А.

10 14 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**

**На выполнение магистерской диссертации**

Магистранту ЧэньЦань

Тема: Использование генераторов водорода в двигателях внутреннего сгорания для снижения расхода дизельного топлива и уменьшения вредных выбросов окружающую среду.

Утверждена приказом по университету № 1596-м от «30» октября 2017 года.

Срок сдачи законченной диссертации: 18.05.2019 г.

Исходные данные к магистерской диссертации: В последние годы автомобильная промышленность в мире развивается быстрыми темпами. С другой стороны, недостаточно производства нефтепродуктов и все более серьезное загрязнение окружающей среды, вызванное выбросами автомобильных выхлопов работающие на дизельном топливе, которые создают серьезные проблемы для дальнейшего развития автомобильной промышленности. Водород, как альтернативное моторное топливо, имеет свои уникальные преимущества в улучшении экономии топлива и сокращении выбросов вредных веществ двигателя. Производство двигателя на базе дизельного топлива с добавлением водорода в топливную смесь является важным направлением исследований, которые являются альтернативным видом топлива.

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание диссертации:

а) Сборка генератора водорода.

б) подключение источника питания постоянного тока.



в) Расхода топлива водородного генератора в городских и пригородных районах.

г) Измерение компонентов выхлопа автомобиля.

д) Заключение;

е) Список использованной литературы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): Презентация диссертации на слайдах 20

Рекомендуемая литература

1 ЧжанБо, Фу Вейбяо, «Влияние водорода на потребление дизельного топлива», «Наука и техника горения», том 12, выпуск 3, 2006,03

2 ЦуйКерун, ГаоСяохун, Тимошевский Б.Г. и др. Исследование гидрирования дизельного топлива для снижения расхода топлива [J]. Журнал Уханьского института инженеров водного транспорта, 1992, 16 (3): 253-259

3 <https://max.book118.com/html/2015/0703/20310199.shtm>

4 Шалбаев К.К., Торгаев Р.А., Козбагаров Р.А., ЧэньЦань, «Снижения расхода дизельного топлива и выбросов вредных веществ в двигателях внутреннего сгорания с применением генератора водорода», национальная академия наук машиностроения и транспорта Республики Казахстан, выпуск 2018. С. 62-65.

5 Senthil Kumar M , Ramesh A, Nagalingam B . Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fueled compression ignition engine [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2003,28:1143-1154.

6 Naber J D,Sieberg D L .Hydrogen combustion under dieselengine conditions[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 1998 , 23 (5) :363-371.

7 ЦуйКерун, ГаоСяохун, Тимошевский Б.Г. и др. Исследование гидрирования дизельного топлива для снижения расхода топлива [J]. Журнал Уханьского института инженеров водного транспорта, 1992, 16 (3): 253-259

8 HouLingyun , Fu Weibiao . Study on the mechanism of saving fuel consumption for emulsified fuel with wall catalytic reforming reaction [J]. Combustion Science and Technology, 2005, 177(4):671-689

9 [https://www.syl.ru/article/193464/new\\_vodorodnyie-generatoryi-dlya-avtomobilya-svoimi-rukami-cherteji-shemyi-i-rukovodstvo](https://www.syl.ru/article/193464/new_vodorodnyie-generatoryi-dlya-avtomobilya-svoimi-rukami-cherteji-shemyi-i-rukovodstvo)

10 ННО Hydrogen on Demand Dual Fuel Generator Systems, E:info@hhoplusgas.com

11 CITROEN C5 руководство пользователя

12 [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроксид\\_калия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроксид_калия).

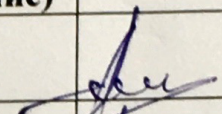
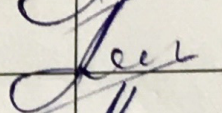
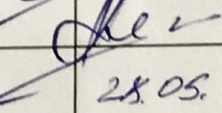
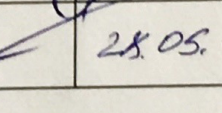
13 Шалбаев К.К., Торгаев Р.А., Кожатаев С.К., ЧэньЦань, «Транспортировка скоропортящихся продуктов питания авторефрижераторами», научно-техническая конференция «Казахстан-холод 2018», выпуск 2018,03.С.206-209.

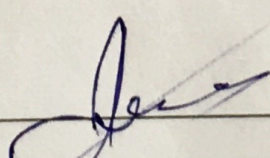
# **ГРАФИК** Подготовки магистерской диссертации

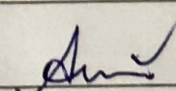
| Наименование разделов,<br>перечень разрабатываемых<br>вопросов                   | Сроки представления<br>научному руководителю<br>и консультантам | Примечание |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|
| Сбор материала по водородным генераторам                                         | 05.03.2019г.                                                    |            |
| Расчеты и результаты исследования                                                | 01.04.2019г.                                                    |            |
| Провести эксперименты на генераторах водорода в двигателях внутреннего сгорания. | 07.04.2019г.                                                    |            |

## **Подписи**

консультантов и нормоконтролера на законченную магистерскую диссертацию с  
указанием относящихся к ним разделов диссертации

| Наименование<br>Разделов                             | Консультанты,<br>И.О.Ф.<br>(уч. степень, звание) | Дата подписания                                                                      | Подпись                                                                              |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Сбор материала по водородным генераторам             | Шалбаев К.К.,<br>д.т.н., профессор               |  | 26.05.19г.                                                                           |
| Расчеты и результаты исследования                    | Шалбаев К.К.,<br>д.т.н., профессор               |  | 26.05.19г.                                                                           |
| Провести эксперименты на генераторах водорода в ВДС. | Шалбаев К.К.,<br>д.т.н., профессор               |  | 26.05.19г.                                                                           |
| Нормоконтроль                                        | Козбагаров Р.А.,<br>к.т.н., доцент               | 28.05.19г.                                                                           |  |

Научный руководитель  Шалбаев К.К.

Задание принял к исполнению, обучающийся  Чэнь Цань

Дата " 7 " 11 2017 г.



## АННОТАЦИЯ

В работе рассматривается испытание генератора водорода на ДВС автомобильном двигателе Ситроен 5. В ДВС водород и топливо совместно сжигаются, чтобы снизить расход топлива и выбросы выхлопных газов. Для получения водорода используется метод электролиза воды.

Экспериментальные результаты показывают, что при добавлении концентрации (35 - 50 г/л) гидроксида калия КОН, расход топлива может быть снижен (8.4 - 43.6 %), а выброс загрязняющих веществ отработавших газов может быть уменьшен: СО: 0.01%, СН: 6 млн<sup>-1</sup>, СО<sub>2</sub>: 15.15%. Таким образом, добавление водорода в двигатель внутреннего сгорания может снизить расход топлива и уменьшить выбросы выхлопных газов автомобилей.

Ключевые слова: Двигатель внутреннего сгорания; Водород; Горение; Электролиз; Водородный генератор; Дизельное топливо; Излучение; Гидролиз.



## АНДАТПА

Бұл мақалада Citroen 5 қозғалтқышының ішкі жану қозғалтқышында сутегі генераторының сынағы талқыланды, ішкі жану қозғалтқышында отын шығыны мен шығарындыларды азайту үшін сутегі мен отын жағылады. Сутегін алу үшін электролиз әдісі қолданылады.

Эксперименттік нәтижелер көрсеткендей, калий гидроксидінің КОН концентрациясын (35 - 50 г/л) қосу арқылы отын шығыны төмендеуі мүмкін (8.4 - 43.6 %) және шығатын газдардың эмиссиясы төмендейді: СО: 0.01%, СН: 6 млн<sup>-1</sup>, СО<sub>2</sub>: 15.15% осылайша, ішкі жану қозғалтқышына сутегін қосу отын шығынын азайтады және көлік құралының шығарындыларын азайтады.

Түйінді сөздер: Ішкі жану қозғалтқышы; Сутегі; Жану; Электролиз; Сутегі генераторы; Дизель отыны; Радиация; Гидролиз.



## ANNOTATION

This paper discusses the testing of a hydrogen generator on an internal combustion engine of a Citroen 5 engine. In an internal combustion engine, hydrogen and fuel are burned together to reduce fuel consumption and exhaust emissions. To obtain hydrogen, water electrolysis is used.

Experimental results show that by adding a concentration (35 - 50 g/l) of potassium hydroxide KOH, fuel consumption can be reduced (8.4 - 43.6 %), and the emission of exhaust gases can be reduced: CO: 0.01%, CH: 6 ppm, CO<sub>2</sub>: 15.15%. Thus, adding hydrogen to an internal combustion engine can reduce fuel consumption and reduce vehicle exhaust emissions.

Keywords: Internal combustion engine; Hydrogen; Combustion; Electrolysis; Hydrogen generator; Diesel fuel; Radiation; Hydrolysis.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Аннотация.....                                                                      | 5  |
| 1 Статус исследования двигателя внутреннего сгорания на дизтопливе с водородом..... | 10 |
| 2 Экспериментальные исследования на двигателях других авторов.....                  | 13 |
| 2.1 Экспериментальные исследования на двигателе модели 2135.....                    | 13 |
| 2.2 Экспериментальные исследования на двигателе модели ZS1100.....                  | 17 |
| 2.2.1. Экспериментальная установка.....                                             | 18 |
| 2.2.2 Экспериментальные результаты и анализ.....                                    | 20 |
| 2.2.3 Выбросы NOx.....                                                              | 36 |
| 2.2.4 Выбросы CO.....                                                               | 38 |
| 2.2.5 Выбросы CH.....                                                               | 40 |
| 3 Применение водорода в ДВС на модель Citroen 5.....                                | 43 |
| 3.1 Физические свойства водорода.....                                               | 43 |
| 3.2 Способы получения водорода.....                                                 | 43 |
| 3.3. Установка механических компонентов.....                                        | 44 |
| 3.3.1 Установка генератора ННО.....                                                 | 44 |
| 3.3.2 Общая конфигурация системы.....                                               | 46 |
| 3.3.3 Установка осушителя, ННО шлангов.....                                         | 46 |
| 3.3.4 Точка впрыска ННО.....                                                        | 47 |
| 3.4 Установка электрических компонентов.....                                        | 48 |
| 3.4.1 Общая конфигурация системы.....                                               | 48 |
| 3.4.2 Установка электрических соединений контактов ННО.....                         | 48 |
| 3.4.3 Электролитические установки.....                                              | 49 |
| 3.4.4 Уровень воды в баке.....                                                      | 49 |
| 3.4.5 Выбор электролита.....                                                        | 50 |
| 3.5 Общие данные для автомобилей с бензиновыми двигателями модели Ситроен 5.....    | 53 |
| 3.5.1 Протокол испытания автомобиля.....                                            | 53 |
| 3.5.2 Сравнение выхлопных газов автомобилей Ситроен 5.....                          | 54 |
| 3.5.3 Очистка генератора водорода. (KOH).....                                       | 55 |
| Заключение.....                                                                     | 57 |
| Список использованной литературы.....                                               | 58 |



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность работы.** В последние годы автомобильная промышленность в мире развивается быстрыми темпами. С другой стороны, недостаточно производство нефтепродуктов и все более серьёзное загрязнение окружающей среды, вызванное выбросами автомобильных выхлопов создаёт серьёзные проблемы для дальнейшего развития автомобильной промышленности. Водород, как альтернативное моторное топливо, имеет свои уникальные преимущества в улучшении экономии топлива и сокращении выбросов вредных веществ двигателя. Производство двигателя на базе дизельного топлива с добавлением водорода в топливную смесь является важным направлением исследований, которые являются альтернативным видом топлива.

**Цель:** Снижения расхода дизельного топлива и уменьшение вредных выбросов в окружающую среду.

**Научная новизна:** В эксперименте используется генератор водорода ННО в ДВС. Изменение концентрации электролита с КОН.

**Задачи исследования:**

1. Сборка генератора водорода;
2. Подключение источника питания постоянного тока (аккумулятор);
3. Расчёт расхода топлива водородного генератора в городских и пригородных районах;
4. Измерение компонентов выхлопа автомобиля.

## **1 Статус исследования двигателя внутреннего сгорания на дизтопливе с водородом**

Так как температура горения (возгорание -  $585^{\circ}\text{C}$ , температура пламени -  $2045^{\circ}\text{C}$ ) водорода выше, чем у дизельного топлива (возгорание -  $250^{\circ}\text{C}$ ) и чтобы уменьшить выбросы углеводородов и CO, добавляют небольшое количество водорода к дизельному топливу в качестве активатора, что может улучшить процесс горения дизельного топлива двигателя и повысить эффективность. Из-за малого потребления водорода стоимость его низкая, что делает транспорт и хранение относительно легким и дешевым. Экспериментальные результаты показали, что добавление небольшого количества водорода к дизельному топливу снижает потребление дизельного топлива на 20% - 30% [1]. Исследования показывают, что дизель-водородные гибридные двигатели имеют высокую термическую эффективность и низкие вредные выбросы при высоких коэффициентах сжатия [2].

Начнем с того, что идеи построить водородный мотор появились еще в 1806 г. Основоположником стал Франсуа Исаак де Риваз, который получал водород из воды методом электролиза. Как видно, двигатель на водороде «родился» задолго до того, как был поднят ряд вопросов касательно окружающей среды и токсичности выхлопа. Другими словами, попытки запустить ДВС на водороде были предприняты не для защиты окружающей среды, а в целях банального использования водорода в качестве топлива. Спустя несколько десятков лет был выдан первый патент на такой двигатель, в 1852 г. в Германии появился агрегат, который успешно работал на смеси воздуха и водорода. Во времена Второй мировой войны, когда возникли сложности с поставками нефтяного топлива, техник из СССР Борис Исаакович Шелищ, который был родом из Украины, заложил основы российской водородной энергетики. Он также предложил использовать смесь водорода и воздуха в качестве горючего для ДВС, после чего его идеи быстро нашли практическое применение. В результате появилось около полутысячи двигателей, работавших на водороде.

Другие автопроизводители также начали работы в этой области, в результате чего к концу XX века появилось не только много прототипов, но и вполне успешно действующих образцов двигателей на водородном топливе (бензиновый и дизельный двигатель на водороде).

Сотрудники Университета Чжэцзян, Университета Тяньцзинь, Университета науки Хуажжун и другие в КНР, испытывая двигатель на водороде / бензин, на природном газе и достигли хороших результатов. Ученые Университета Тяньцзинь изучили, когда номинальная скорость 1400 об/мин, вращающий момент 60 N·м, 100 N·м, 160 N·м. Было обнаружено, что с увеличением доли водорода выбросы HC, CO И NOx постоянно меняются [3] (как рисунки 1.1, 1.2, 1.3).



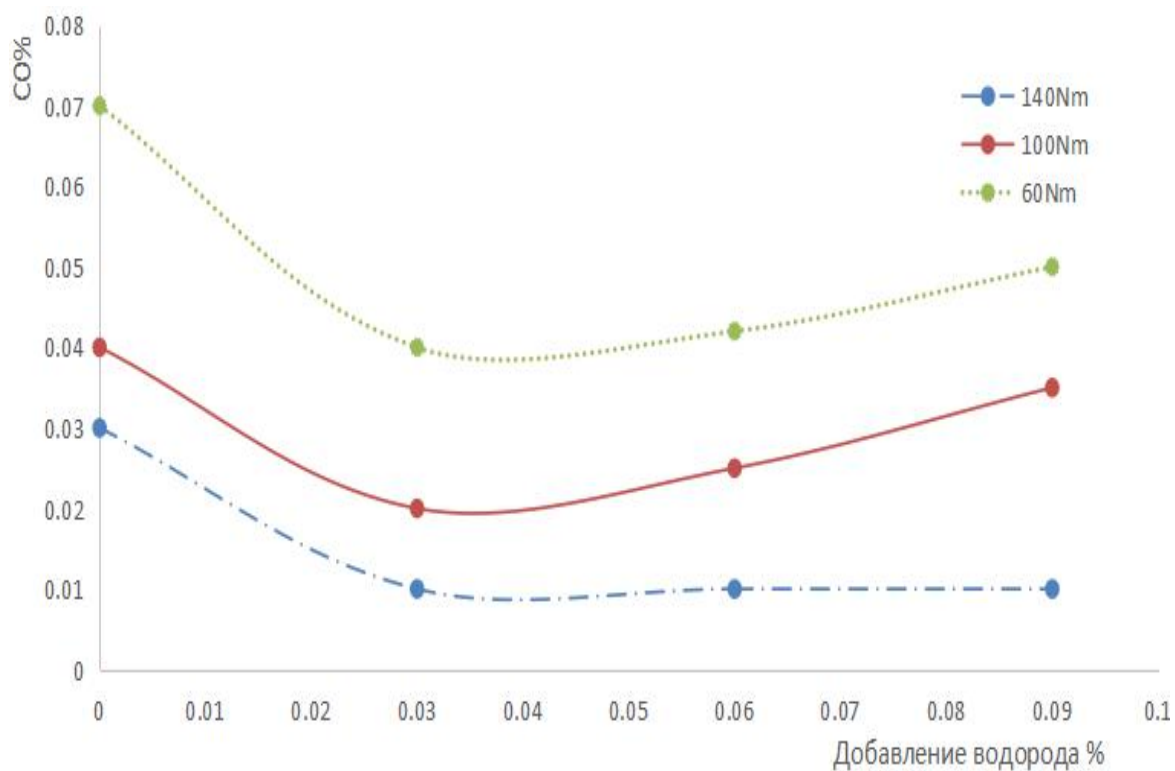


Рисунок 1.1 - Кривая СО

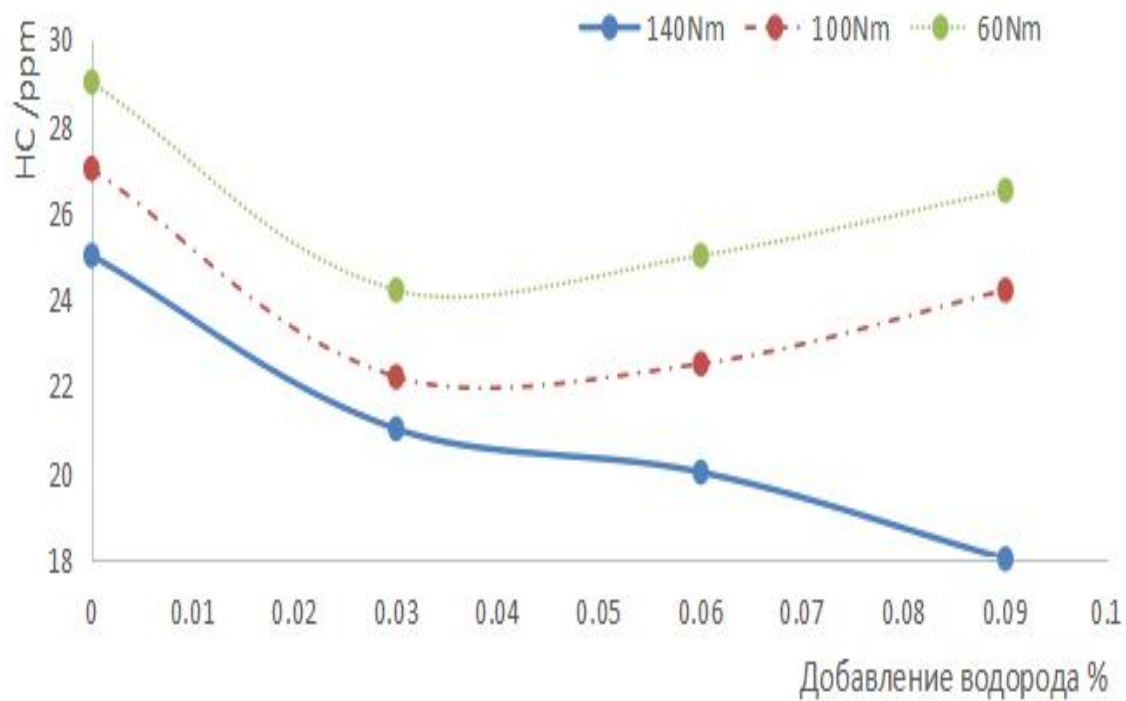


Рисунок 1.2 - Кривая НС

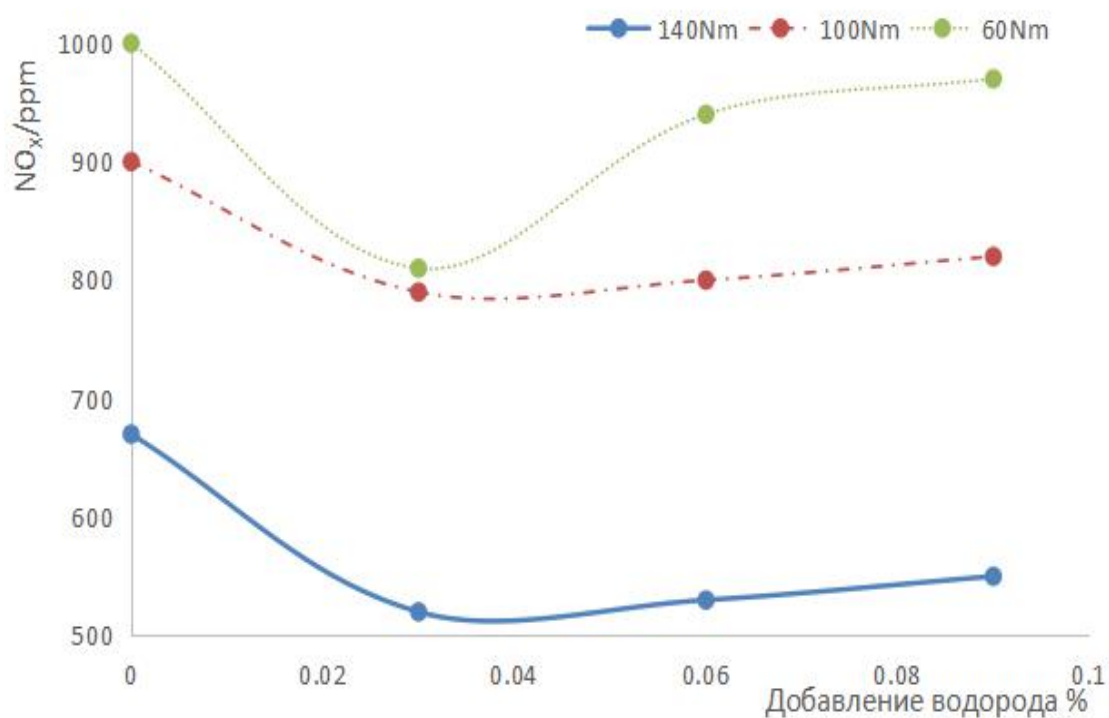


Рисунок 1.3 - Кривая NO<sub>x</sub>

В исследовании было обнаружено, что по сравнению с чистым дизельным двигателем, водород/дизельное топливо значительно снижает выбросы в виде частиц и NO<sub>x</sub> при низкой нагрузке, но при высоких нагрузках выбросы NO<sub>x</sub> в водород/дизельное топливо двигателях возрастают, а выбросы углеводородов и CO снижаются. (ppm-концентрация газа).

## 2 Экспериментальные исследования на двигателях других авторов

Добавление небольшого количество водорода в дизельное топливо двигателя (соотношение водорода и топлива, как правило, от 0.1% до 2%) в качестве активатора, может улучшить процесс сгорания дизельного топлива в двигателе, и повышает его эффективность. Эта технология также может быть использована для рефрижераторов с быстрой доставкой [4] и современных авторефрижераторов [5]. Гидрирование – это процесс превращения органических соединений под действием молекулярного водорода.

### 2.1 Экспериментальные исследования на двигателе модели 2135

Добавление небольшого количество водорода в дизельное топливо двигателя (соотношение водорода и топлива, как правило, от 0,1% до 2%) в качестве активатора, может улучшить процесс сгорания дизельного топлива в двигателе, и повышает его эффективность.

Гидрирование – это процесс превращения органических соединений под действием молекулярного водорода. Для изучения влияния гидрирования на потребление дизельного топлива были проведены экспериментальные исследования на двигателе модели 2135 в лаборатории. В лабораторных условиях для испытания выбран двигатель четырехтактный, двухцилиндровый, высокоскоростной дизельный двигатель модели 2135 [6]. Основные параметры и результаты испытаний в таблице 2.1, 2.2.

Таблица 2.1 - Основные параметры испытательного дизельного двигателя

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Тип                  | 2135        |
| Количество цилиндров | 2           |
| Диаметр цилиндра     | 135 мм      |
| Поршневой ход        | 140 мм      |
| Дизельное смещение   | 4.01 Л      |
| Номинальная мощность | 29.4 кВт    |
| Номинальная скорость | 1500 об/мин |

Показатели оценки с использованием общего расхода топлива и общей тепловой эффективности в формуле (1):

$$b = b_d + 2.84b_t(g/kw \cdot h) \quad (1)$$



Таблица 2.2 - Результаты испытаний дизельного двигателя модели 2135

| Мощность (kw) | Процент загрузки (%) | Соотношение масс водорода (%) | Расход дизельного топлива |                         |                   | Общий расход топлива |                        |                 | Тепловая эффективность |                          |
|---------------|----------------------|-------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|
|               |                      |                               | bd<br>(g/kw·h)            | $\Delta$ bd<br>(g/kw·h) | $\Delta$ d<br>(%) | b<br>(g/kw·h)        | $\Delta$ b<br>(g/kw·h) | $\Delta$<br>(%) | $\eta_{et}$<br>(%)     | $\Delta\eta_{et}$<br>(%) |
| 28            | 95                   | 0                             | 244.0                     |                         |                   | 244.0                |                        |                 | 34.5                   |                          |
|               |                      | 1                             | 232.0                     | 12.0                    | 4.9               | 238.9                | 5.1                    | 2.1             | 35.3                   | 0.8                      |
|               |                      | 2                             | 227.0                     | 17.0                    | 7.0               | 240.8                | 3.2                    | 1.3             | 35.0                   | 0.5                      |
| 22            | 75                   | 0                             | 252.4                     |                         |                   | 252.4                |                        |                 | 33.4                   |                          |
|               |                      | 1                             | 240.0                     | 12.4                    | 4.9               | 247.1                | 5.3                    | 2.1             | 34.1                   | 0.7                      |
|               |                      | 2                             | 236.0                     | 16.4                    | 6.5               | 250.2                | 2.2                    | 0.8             | 33.7                   | 0.3                      |
| 14.7          | 51                   | 0                             | 283.0                     |                         |                   | 283.0                |                        |                 | 29.8                   |                          |
|               |                      | 1                             | 271.0                     | 12.0                    | 4.2               | 278.1                | 4.9                    | 1.7             | 30.3                   | 0.5                      |
|               |                      | 2                             | 264.5                     | 18.5                    | 6.5               | 281.4                | 1.6                    | 0.6             | 30.0                   | 0.2                      |
| 8.3           | 28                   | 0                             | 380.0                     |                         |                   | 380.0                |                        |                 | 22.2                   |                          |
|               |                      | 1                             | 355.0                     | 25.0                    | 7.0               | 365.8                | 14.2                   | 3.9             | 23.0                   | 0.8                      |
|               |                      | 2                             | 351.1                     | 28.9                    | 7.6               | 372.7                | 7.3                    | 1.9             | 22.6                   | 0.4                      |

$$\eta_{et} = \frac{84.3}{b} \times 100\%$$

где  $b_d$  - Расход дизельного топлива, г/кВт·ч

$b_t$  - Расход водорода, г/кВт·ч

$\Delta$  - Процентное снижение общего расхода топлива после добавления водорода

На рисунке 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 показано сравнение потребления дизельного топлива, общее сравнение расхода топлива, расход дизельного топлива и общий расход топлива, тепловая эффективность, разница тепловой эффективности.

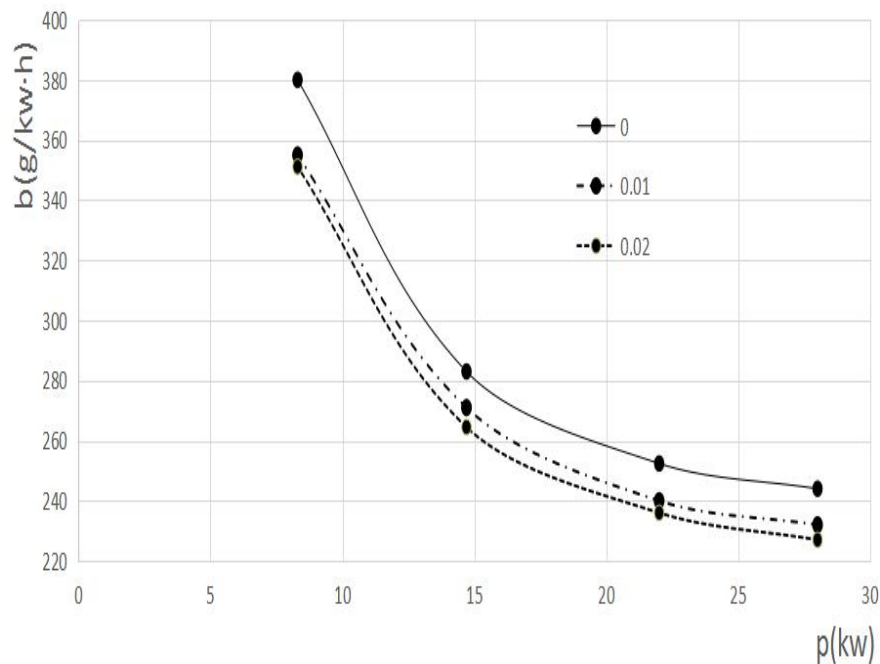


Рисунок 2.1 - Сравнение потребления дизельного топлива

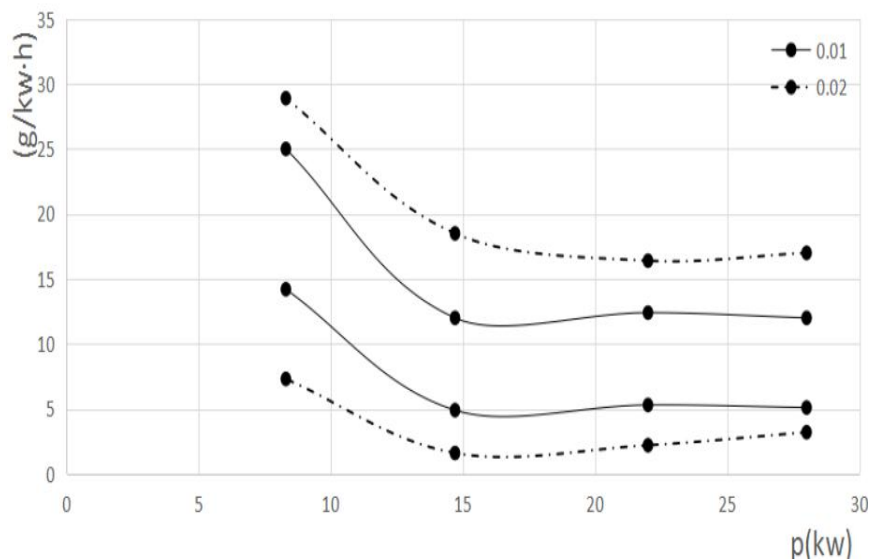


Рисунок 2.2 - Общее сравнение расхода топлива

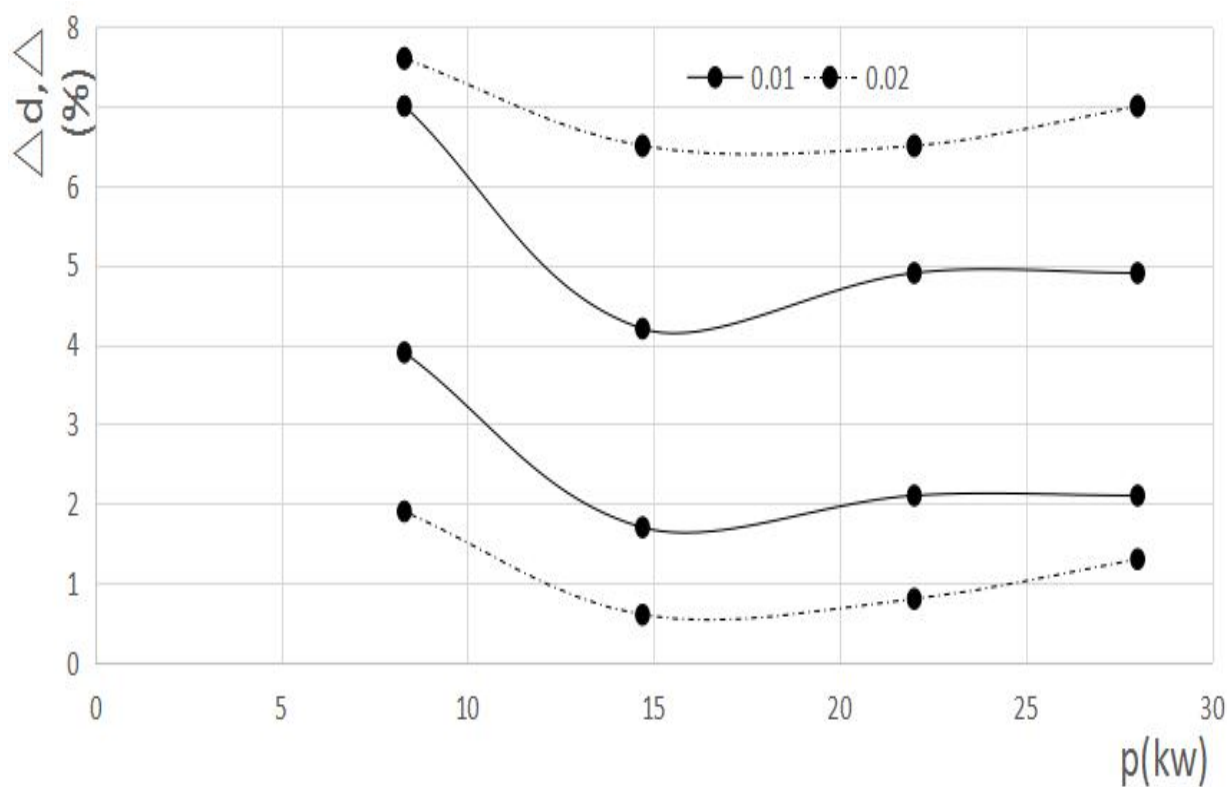


Рисунок 2.3 - Расход дизельного топлива и общий расход топлива

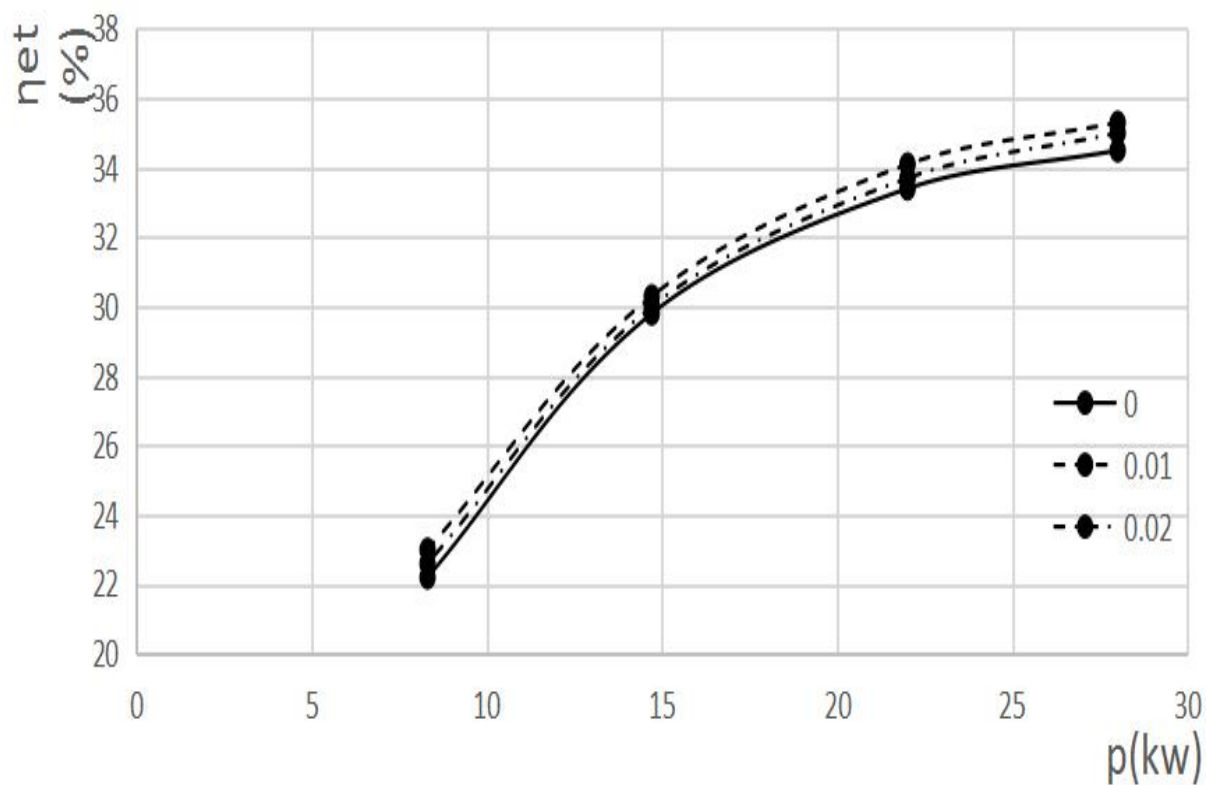


Рисунок 2.4 – Тепловая эффективность



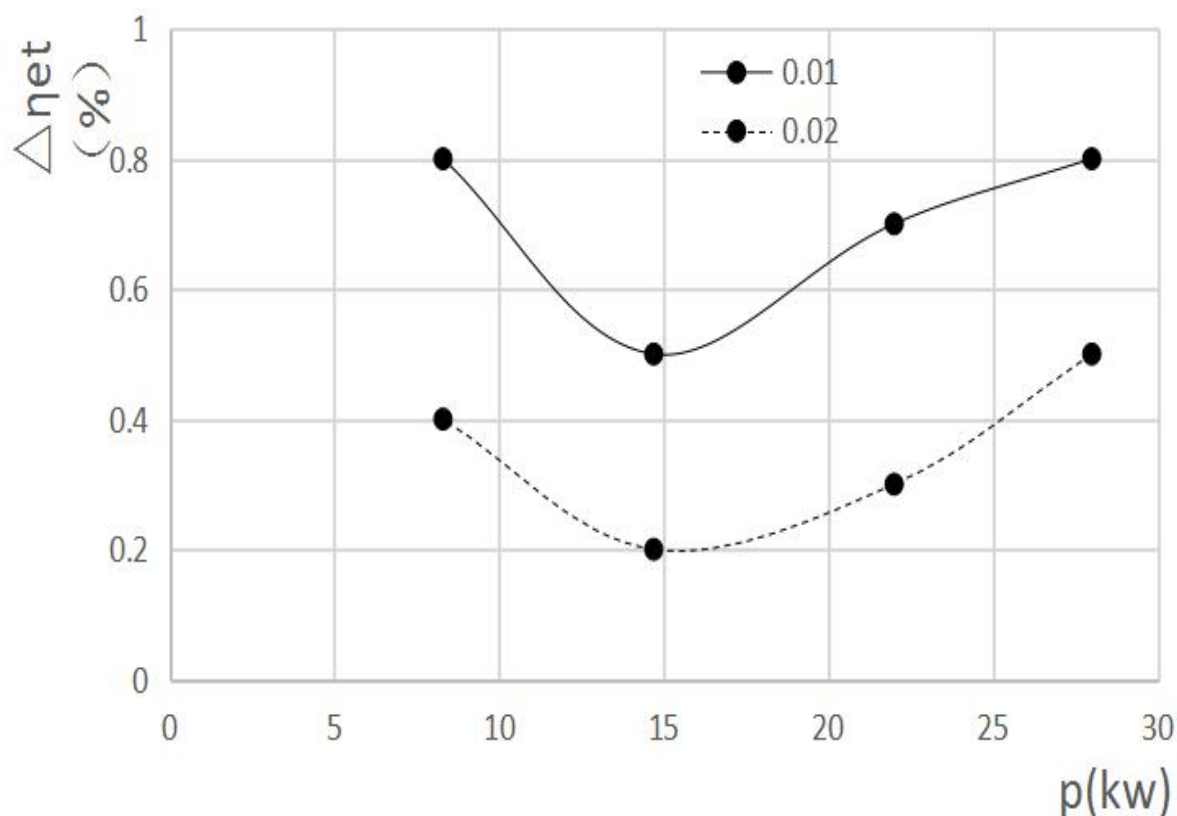


Рисунок 2.5 - Разница тепловая эффективность

Николаевский судостроительный институт Республики Украина, Цуй Керунь, Гао Сяохун провели эксперименты в лаборатории [2] и из таблицы 2.2 получили следующие результаты: Повышается эффективность дизельного двигателя при добавлении водорода. Например, при соотношении масс 1%, скорости 1500 об/мин, 95% загрузки, расход дизельного топлива ниже на 12 г/(кВт·ч), и ( $\Delta_d$ ) меньше на 4.9%, чем без водорода. Общий расход топлива снизился на 5.1 г/(кВт·ч). Тепловая эффективность улучшается от 34.5% до 35.3%. С увеличением количества водорода, увеличивается коэффициент снижения потребления дизельного топлива, однако общий расход топлива был другим. Например, когда мощность 28 кВт, процент загрузки 95%, добавление водорода на 1%, общий расход топлива снизился на 2.1%; когда добавление водорода на 2%, общий расход топлива снизился на 1.3%. Поэтому добавление водорода на 1% лучше, чем на 2%. Добавление небольшого количества водорода (0.1%-2%) в дизельный двигатель, может повышает его эффективность. Расход дизельного топлива снижается на 4.2%-7.6%, общий расход топлива снижается на 0.6%-3.9%. Добавление небольшого количества водорода (0.1%-2%) в дизельный двигатель, тепловая эффективность непрерывно повышается (0.2%-0.8%).

## 2.2 Экспериментальные исследования на двигателе модели ZS1100

Сенмил [7] и др на маломощном дизельном двигателе с частотой

вращения 1500 об/мин и мощностью 3.7 кВт. Водород добавлялся в дизельный двигатель, когда он сжигался с биотопливом. Наблюдение за влиянием на эффективность сгорания дизельного топлива и выбросы. Он показывает, что добавление водорода может значительно улучшить эффективность сгорания топлива Набер [8] и др. моделируют среду сгорания дизельного двигателя в постоянном объеме и изучают влияние добавления водорода.

Исследования показали, что после добавления водорода в процесс горения в постоянном объеме задержка пламени быстро сокращается с повышением температуры, в то время как другие факторы оказывают незначительное влияние на задержку пламени. Цуй Керун [9] и др. подавали водород в дизельный двигатель с металлическим устройством для хранения водорода и провели эксперимент, и общая полученная экономия топлива составила от 1% до 5%.

Хоу Линюнь и др. рассчитали, смоделировали и проанализировали влияние водорода на сжигание смеси в дизельных двигателях [10].

### 2.2.1. Экспериментальная установка

Для изучения влияния гидрирования на потребление дизельного топлива были проведены экспериментальные исследования. В лабораторных условиях для испытания выбран двигатель дизельный двигатель модели ZS1100. Основные параметры в таблице 2.3.

Таблица 2.3 - Основные параметры испытательного дизельного двигателя.

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Тип                  | ZS1100      |
| Количество цилиндров | 1           |
| Диаметр цилиндра     | 100 мм      |
| Поршневой ход        | 115 мм      |
| Дизельное смещение   | 0.903 Л     |
| Номинальная мощность | 10.3 кВт    |
| Номинальная скорость | 2000 об/мин |

Чжан Бо не только обсудил изменение потребления топлива в дизельном двигателе с количеством водорода, добавляемого при различной мощности (нагрузке), но также сравнил влияние температуры смеси топлива и водорода на расход топлива.

Схема экспериментальной системы (Рисунок 2.6). В эксперименте

частота вращения дизельного двигателя поддерживается в диапазоне  $(2000 \pm 10)$  об/мин, мощность 10.3 кВт, 8 кВт, 6 кВт, 4 кВт. Соответственно уровней мощности нагрузки 100% , 80% , 60% , 40%. По соображениям безопасности в эксперименте водород максимальный поток газа составляет около 0.2 кг/час.

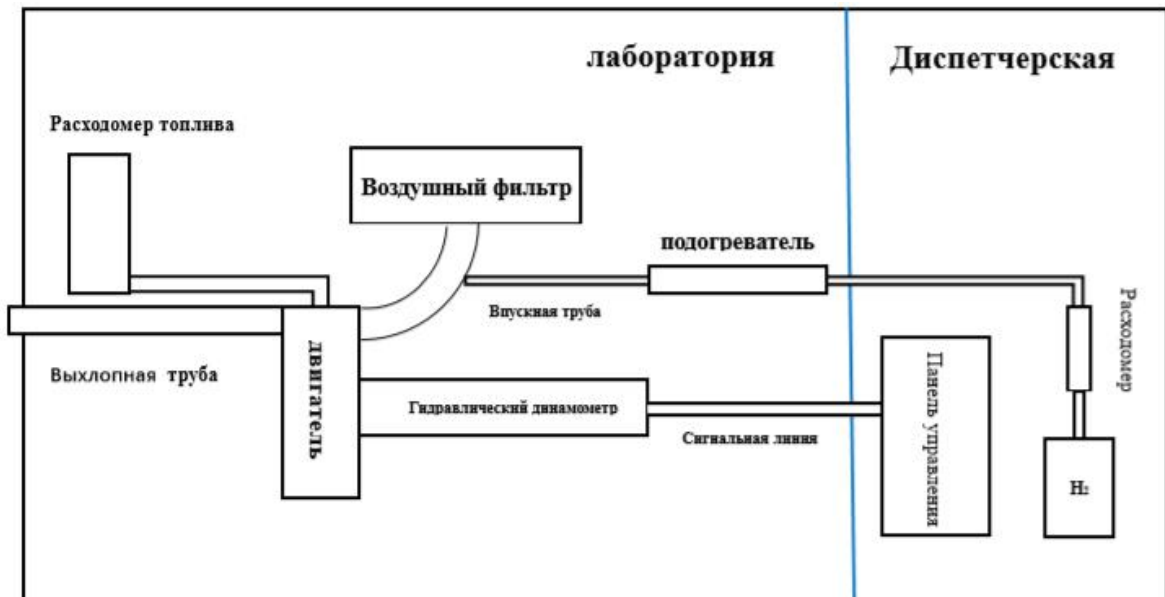


Рисунок 2.6 - Схема экспериментальной системы

После добавления водорода в дизельный двигатель при расчете общего расхода топлива следует учитывать не только потребление дизельного топлива, но и потребление водорода. В расчете, основанном на энергии, потребление водорода преобразуется в стандартное дизельное топливо в соответствии с энергией, выделяемой при сжигании водорода. Формула расхода, формула расчета комплексной нормы расхода топлива и нормы экономии топлива соответственно в формуле (2):

$$\begin{aligned}
 g &= g_d + \frac{Q_{H_2}}{Q_D} \cdot g_{H_2} = g_e(1 - \delta) + 2.845g_{H_2} \\
 \eta &= \left(1 - \frac{g}{g_{d0}}\right) \cdot 100\% \\
 \eta_d &= \left(1 - \frac{g}{g_{d0}}\right) \cdot 100\%
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где:  $g$  - Общий расход топлива, г/(кВт·ч)

$g_d$  - Расход дизельного топлива), г/(кВт·ч)

$g_e$  - Расход смеси топлива, г/(кВт·ч)

$g_{H_2}$  -Расход водорода, г/(кВт·ч)

$\Delta$  - Содержание воды в смеси топлива (массовая доля)

$Q_{H_2}$  - Теплотворная способность водорода 120.9 МДж/кг

$Q_D$  - Теплотворная способность дизельного топлива 42.5 МДж/кг

$\eta$  - Комплексная экономия топлива

$\eta_d$  - Экономия дизельного топлива

$g_{d0}$  - Для первоначального уровня расхода топлива, то есть уровня расхода дизельного топлива, когда дизельный двигатель использует только дизельное топливо, г/(кВт·ч).

## 2.2.2 Экспериментальные результаты и анализ

### 2.2.2.1 Влияние водорода на расход топлива при разных мощностях (нагрузках)

На рисунках 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 показывают влияние водорода на расход топлива при разных мощностях (нагрузках), скорость при 2000 об/мин.

Из рисунка 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 видно, что с увеличением скорости потока водорода, уровень потребления дизельного топлива значительно снизился, и чем меньше мощность, тем более очевидно снижение уровня потребления дизельного топлива. Несмотря на то, что мощность отличается, исходный уровень потребления дизельного топлива совершенно другой, когда нет водорода.

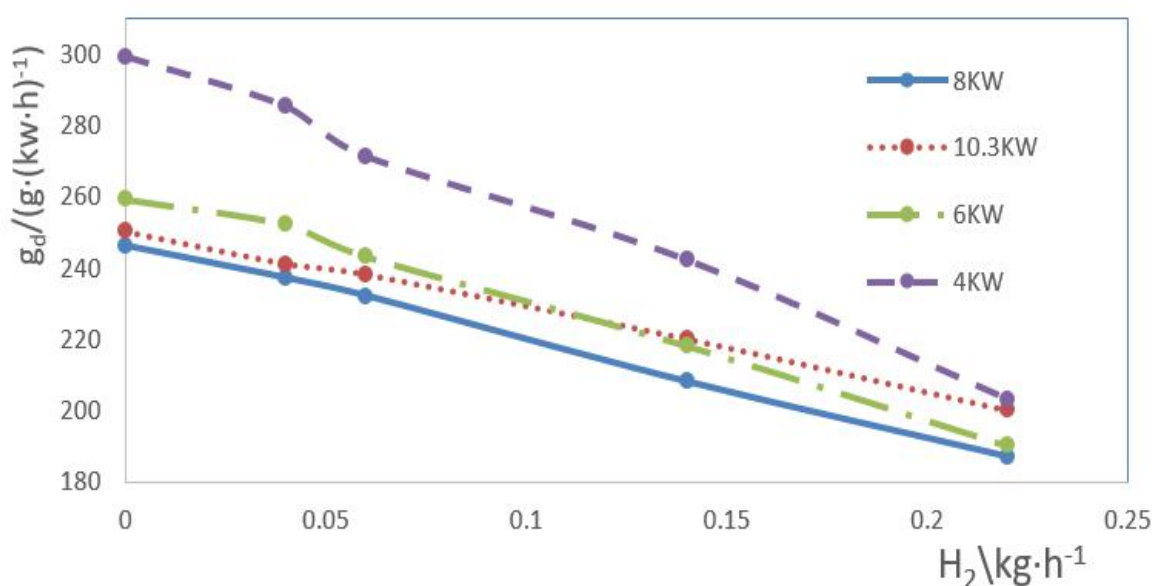


Рисунок 2.7 - Расход дизельного топлива при изменении потока водорода

Рисунок 2.8 показывает, что, хотя поток водорода увеличивается, расход дизельного топлива снизится, однако, принимая во внимание общий уровень потребления топлива и водорода, повышается. При 10.3 кВт с увеличением количества водорода, общий уровень потребления топлива расчёт, не только не имеет эффекта экономии топлива, но и увеличит потребление. При



мощности 8 кВт потребление водорода и дизельного топлива в основном одинаковы, а общий коэффициент потребления топлива практически не меняется с увеличением потока газообразного водорода. При низкой мощности общий расход топлива будет уменьшаться с увеличением содержания водорода. И падение при мощности 4 кВт является наиболее очевидным.

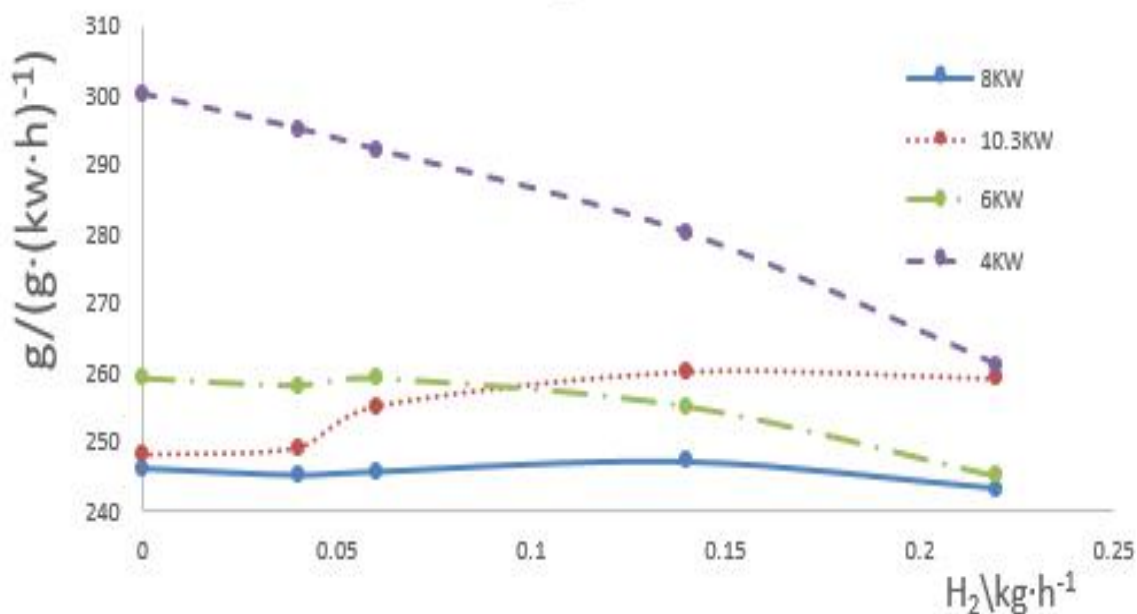


Рисунок 2.8 - Общий расход дизельного топлива при изменении потока водорода

Это связано с тем, что дизельный двигатель имеет наивысшую эффективность сгорания при приблизительно 80% нагрузке, то есть близко к степени сгорания химического эквивалента. Поскольку скорость вращения постоянна, количество впрыскиваемого топлива уменьшается после того, как уменьшается нагрузка, и внутреннее сгорание в целом находится в состоянии сгорания с высоким содержанием кислорода, что приводит к снижению эффективности сгорания и увеличению расхода топлива. В это время добавление водорода в дизельный двигатель может сделать сгорание в цилиндре ближе к состоянию стехиометрического отношения. В то же время, благодаря характеристикам сгорания водорода, эффективность сгорания улучшается после добавления водорода.

Для условий работы с полной нагрузкой количество впрыскиваемого топлива велико, и процесс в цилиндре смещается в сторону состояния сгорания обогащённого топлива в целом. В это время добавление газообразного водорода приведёт к чрезмерному расходу топлива в цилиндре и отклонению от состояния стехиометрического отношения, поэтому, когда нагрузка полная, водород не только не снижает общий расход топлива, но и увеличивает его.

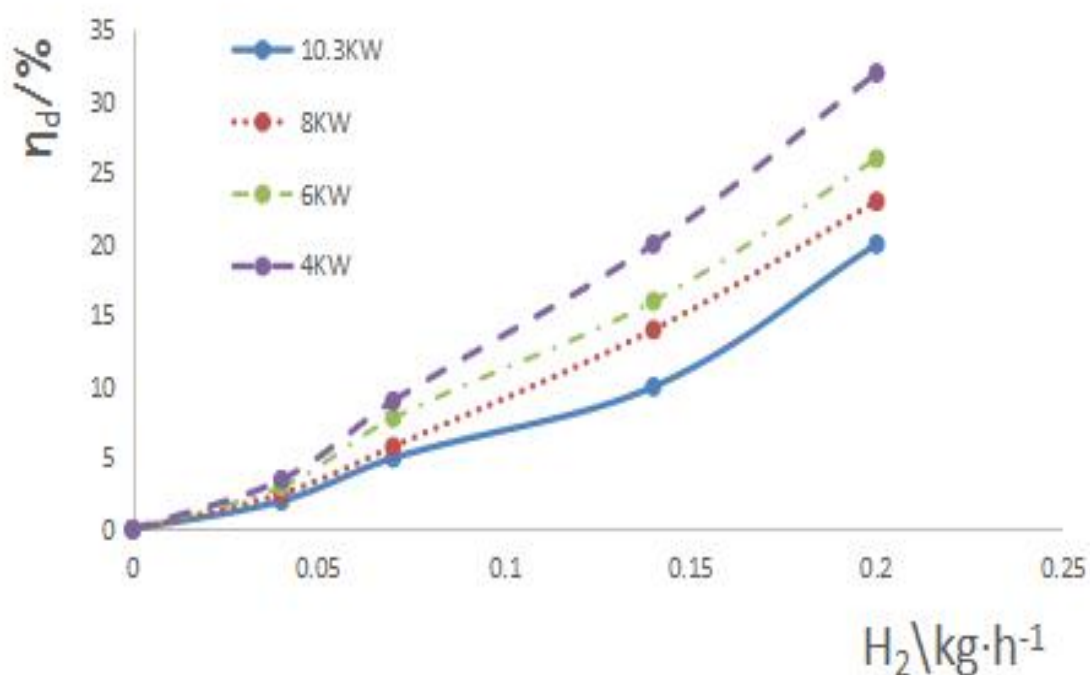


Рисунок 2.9 - Экономия дизельного топлива при изменении потока водорода

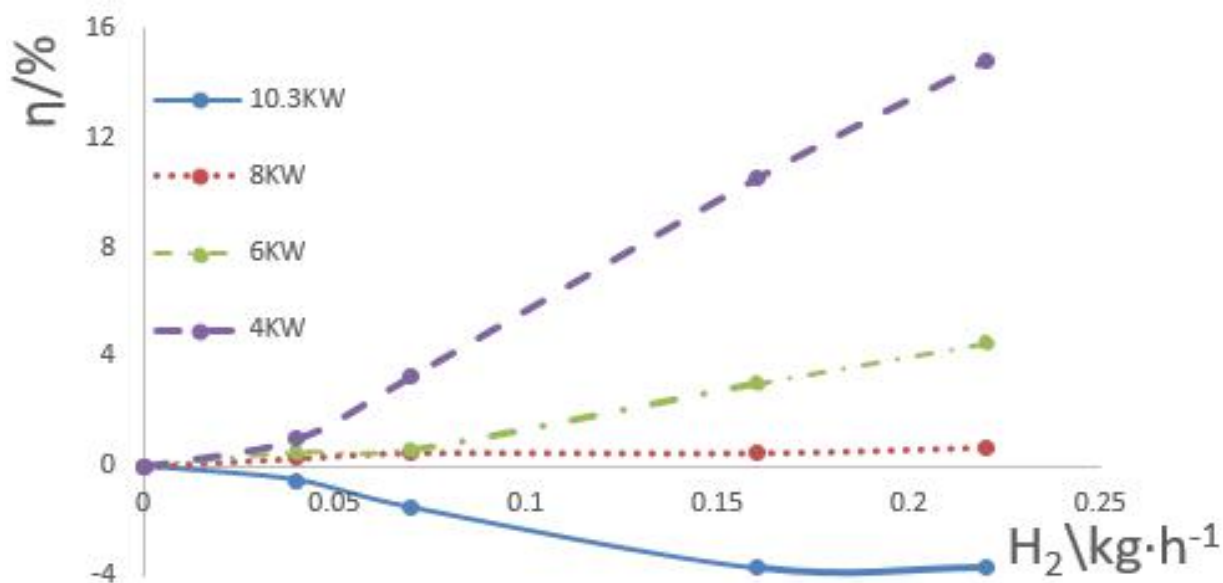


Рисунок 2.10 - Общая экономия топлива при изменении потока водорода

Из рисунка 2.9 ясно видно, что с увеличением скорости потока водорода, чем ниже мощность, тем быстрее увеличивается экономия топлива. Это показывает, что тот же поток водорода может увеличить экономию дизельного топлива в условиях низкой мощности. Кроме того, можно видеть, что степень экономии дизельного топлива после добавления водорода очевидна. Когда скорость потока водорода равна 0.2 кг/час, степень экономии

дизельного топлива при 10.3 кВт составляет 20% и при 4 кВт экономия дизельного топлива достигает 32%. При той же скорости потока водорода, чем ниже мощность, тем выше экономия топлива. Уровень расхода топлива - это масса топлива, потребляемая за единицу времени, делённая на мощность. После добавления водорода в дизельный двигатель он неизбежно заменит расход части дизельного топлива. При той же скорости потока водорода, чем ниже мощность, тем выше экономия топлива, что в основном обусловлено этой причиной.

Из рисунка 2.10 видно, что общая экономия топлива практически не меняется с увеличением содержания водорода при 8 кВт. Выше 8 кВт общая экономия топлива будет уменьшаться с увеличением количества газообразного водорода, а ниже 8 кВт с увеличением количества водорода полная экономия топлива, очевидно, будет увеличиваться. Общий уровень экономии топлива при мощности 4 кВт составляет 14%.

Если скорость потока водорода продолжит увеличиваться, экономия топлива будет выше. При 10.3 кВт при увеличении расхода водорода общий расход топлива снизился примерно до 3%, а затем экономия топлива оставалась стабильной. Продолжающееся увеличение расхода водорода не оказывает существенного влияния на общую экономию топлива.

#### 2.2.2.2 Влияние температуры водорода на расход топлива

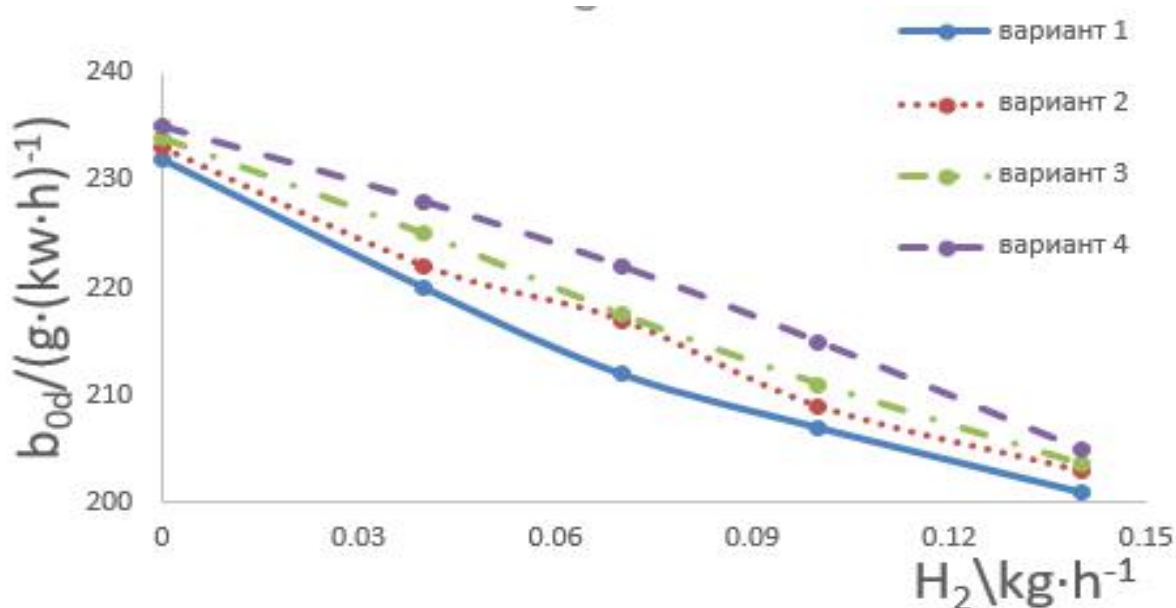


Рисунок 2.11- Влияние водорода на расход дизельного топлива

Экспериментальные данные на рисунке 2.11, 2.12 показывают влияние температуры водорода на расход топлива. Четыре кривые на рисунке представляют следующие четыре условия работы:

Вариант 1: сжигание дизельного топлива, водород не нагревается

Вариант 2: сжигание дизельного топлива, подогрев водорода ( $100^{\circ}C$ )

Вариант 3: сжигание 15% смеси топлива с водой, водород не нагревается

Вариант 4: сжигание смеси топлива, подогрев водорода (100°C).

Результаты показывают, что сжигание чистого дизельного топлива или смеси топлива, нагревание водорода или отсутствие нагрева может снизить расход топлива, расход дизельного топлива и общее снижение расхода топлива оба около 3 г/кВт·ч.

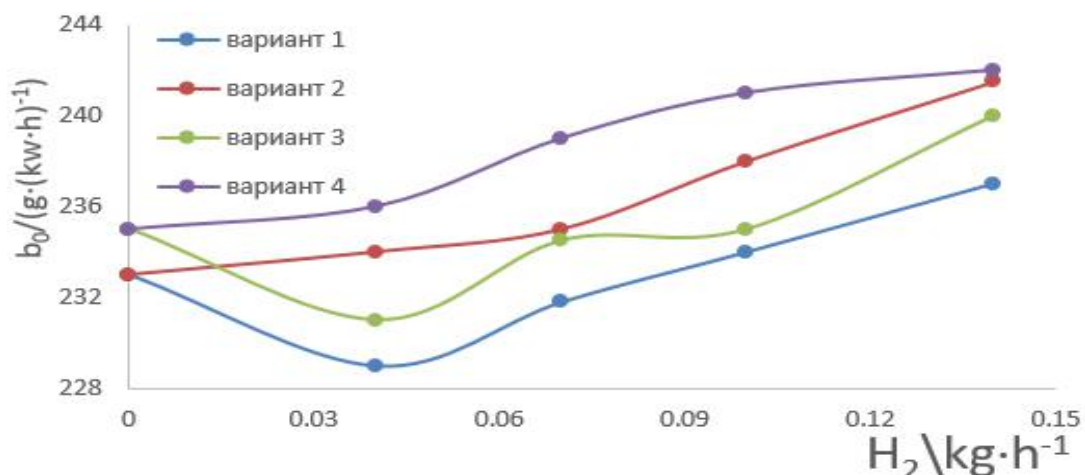


Рисунок 2.12 - Влияние водорода на общий расход топлива

Основная причина этого результата заключается в том, что повышение начальной температуры приведёт к увеличению коэффициента диффузии газа. При температуре  $T$  и давлении  $P$  общая формула оценки коэффициента диффузии газа  $D$  в формуле (3):

$$D = D_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^{1.5} \frac{P_0}{P} \quad (3)$$

Если температура водорода увеличится с 300 К до 400 К, коэффициент диффузии увеличится примерно в 1.54 раза. Когда в дизельном двигателе до пламени присутствует водород, большой коэффициент диффузии водорода заставит его быстрее переносить высокотемпературную энергию в пространстве цилиндра к поверхности капли, что будет способствовать более быстрому испарению капли, тем самым способствуя сгоранию, поэтому после нагревания увеличение коэффициента диффузии будет способствовать сгоранию и уменьшению расхода топлива.

Кроме того, удельная теплоёмкость на единицу массы водорода очень велика (примерно в 14 раз превышает удельную теплоёмкость воздуха). Повышение температуры впуска водорода может снизить поглощение тепла водородом в цилиндре, что выгодно для повышения температуры сгорания и скорости распространения пламени, это ещё одна причина снижения расхода топлива.



### 2.2.2.3 Влияние водорода на расход топлива при использовании смеси дизельного топлива

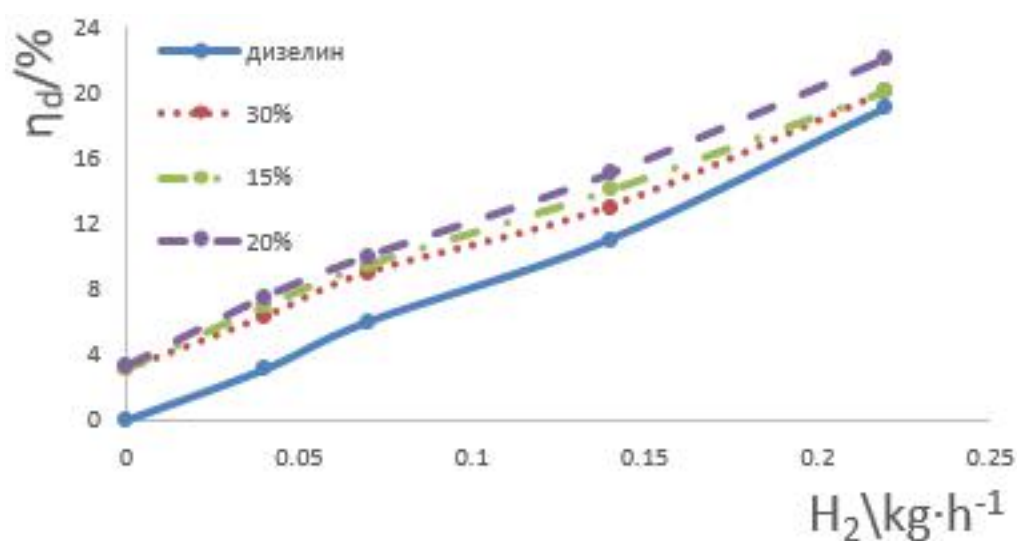


Рисунок 2.13 - Влияние водорода на расход топлива при использовании смеси дизельного топлива

На рисунке 2.13 показаны результаты экспериментов с смесями дизельного топлива с содержанием воды 15%, 20% и 30% (массовая доля). Из результатов экспериментов видно, что такая же скорость потока водорода используется после смеси дизельного топлива, расход дизельного топлива дополнительно увеличивается примерно на 3%, что эквивалентно экономии топлива смеси дизельного топлива, когда водород не добавляется.

В экспериментальных данных этой группы содержание воды в смеси дизельного топлива не оказывает существенного влияния на скорость экономии топлива. Особенно, когда скорость потока водорода составляет менее  $0.1 \text{ kg} \cdot \text{ч}$ , экспериментальные данные о различном содержании воды в смеси дизельного топлива практически совпадают. Только вода, содержащая 30% смеси дизельного топлива, имеет низкую экономию топлива, когда скорость потока водорода велика. Это показывает, что водород осберегающая способность (наклон кривой) водорода существенно не изменяется из-за разницы между смесями дизельного топлива и дизельным топливом или содержанием воды в смеси топлива. Это показывает, что вместе использование смеси топлива и водорода может улучшить экономию топлива.

### 2.2.2.4 Влияние водорода на расход дизельного топлива при одинаковом среднем эффективном давлении

При условии сохранения динамики двигателя, изучите влияние водорода на двигатель. Влияние содержания водорода на расход дизельного топлива и общий расход топлива, когда скорость вращения составляет 1300

об/мин, 1 600 об/мин, 1800 об/мин, 2000 об/мин, при средних эффективных давлениях 0.14 МПа, 0.28 МПа, 0.42 МПа, 0.56 МПа и 0.70 МПа.

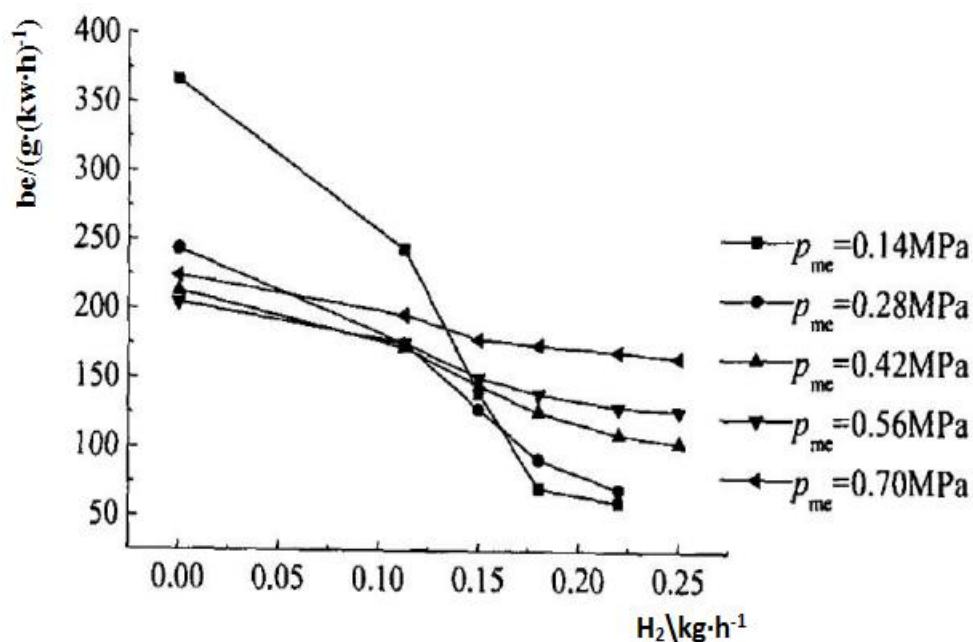


Рисунок 2.14 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $n=1300$  об/мин

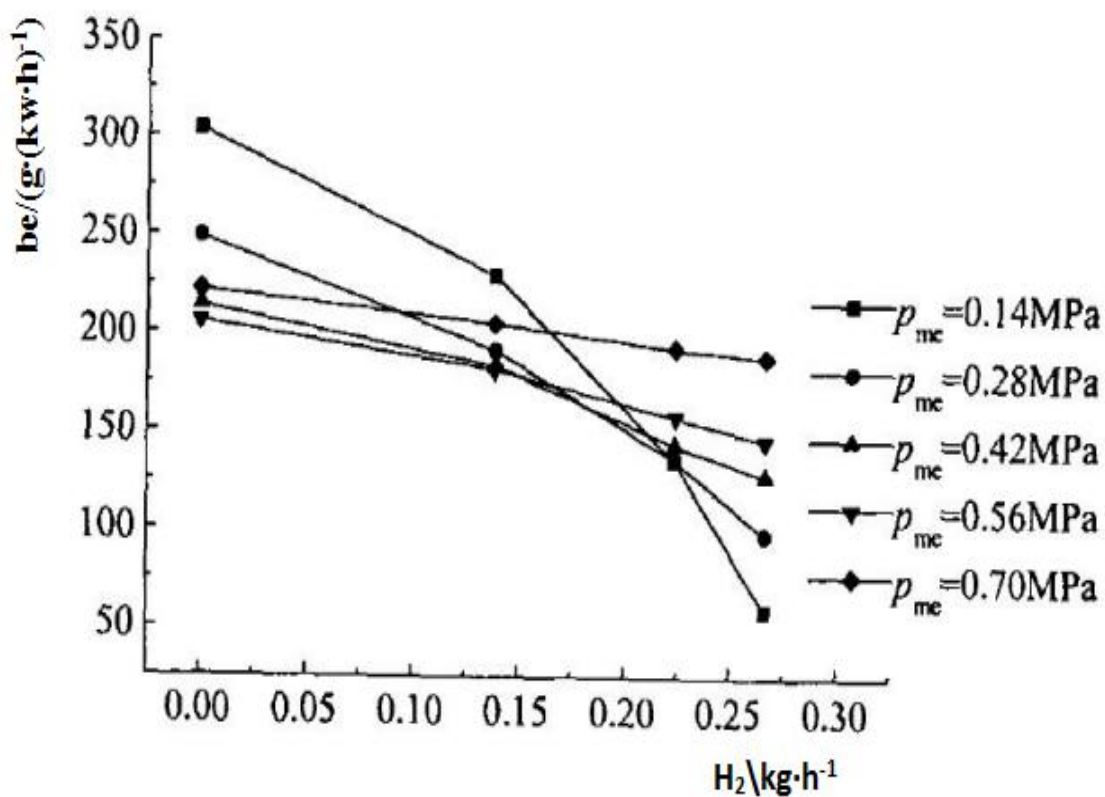


Рисунок 2.15 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $n=1600$  об/мин

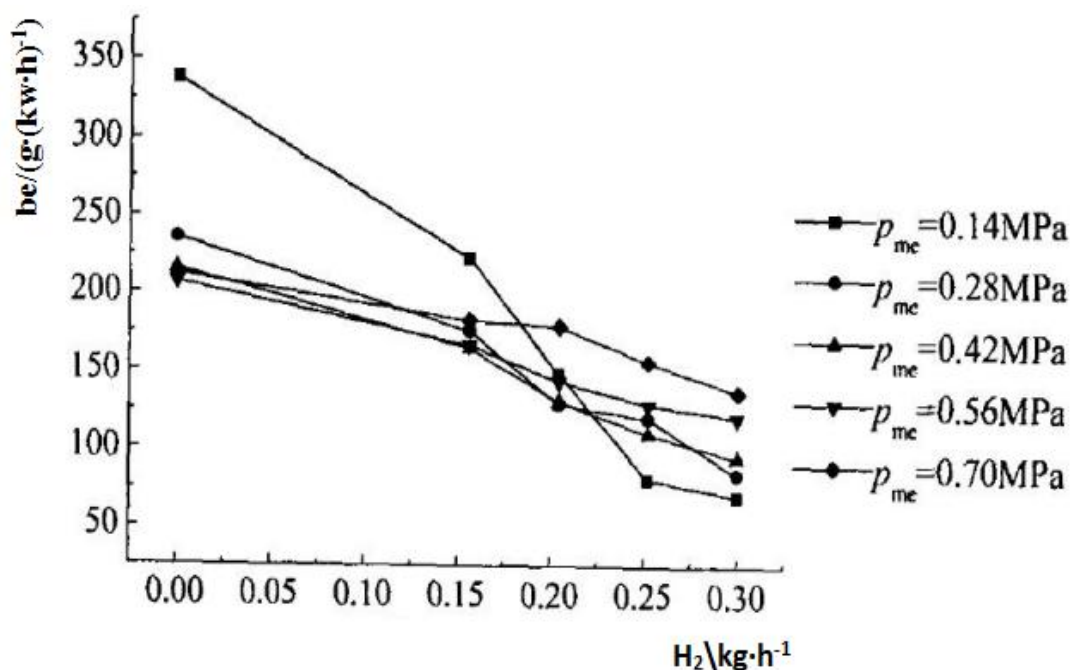


Рисунок 2.16 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $n=1800$  об/мин

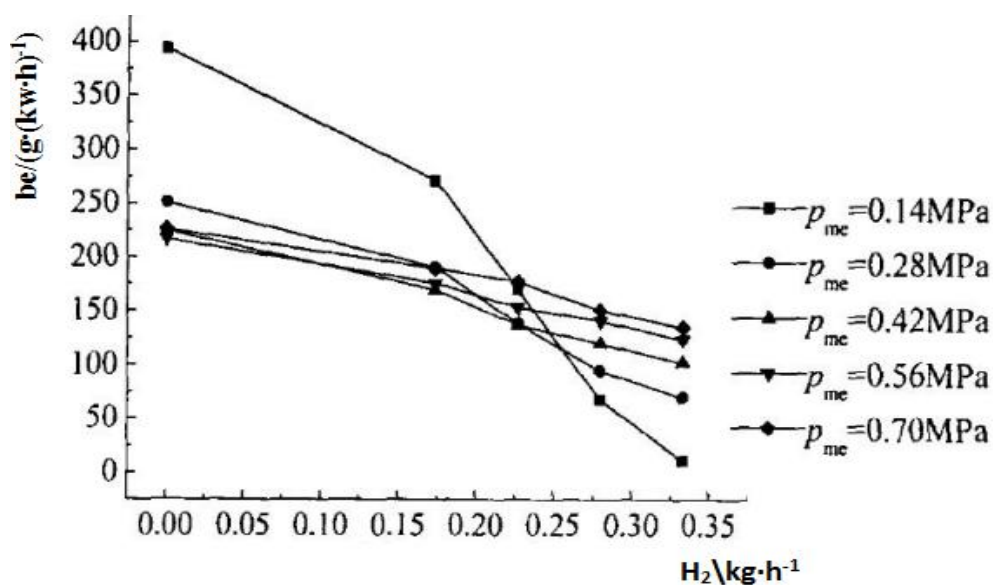


Рисунок 2.17 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $n=2000$  об / мин

Чтобы поддерживать двигатель в одном и том же рабочем состоянии, необходимо выбрать соответствующее количество водорода и дизельного топлива. В этом разделе анализируется влияние количества водорода на расход дизельного топлива при различных нагрузках, когда двигатель имеет одинаковое среднее эффективное давление. На рисунке 2.14, 2.15, 2.16, 2.17 показано изменение расхода дизельного топлива при гидрировании на впуске

в условиях постоянной мощности двигателя при 1300 об/мин, 1600 об/мин, 1800 об/мин и 2000 об/мин.

Из рисунка 2.18, 2.19, 2.20, 2.21 видно, что при скорости  $n = 2000$  об/мин скорость расхода дизельного топлива уменьшается с увеличением количества водорода в условиях среднего эффективного давления. Когда двигатель находится в условиях малой нагрузки, расход дизельного топлива быстро уменьшается с увеличением объема водорода.

В других условиях нагрузки расход дизельного топлива медленно уменьшается с увеличением содержания водорода. Когда среднее эффективное давление двигателя составляет  $P_{me} = 0.14$  МПа (низкая нагрузка), расход дизельного топлива при сжигании чистого дизельного топлива составляет 393.8 г/кВт·ч. Когда водород составляет 0.17 кг/час, расход дизельного топлива падает на 30.8%; Когда водород увеличивается до 0.33 кг/час, расход дизельного топлива уменьшается на 97%; Когда среднее эффективное давление двигателя составляет предварительно 0.70 МПа (высокая нагрузка), расход дизельного топлива составляет 226.42 г/(кВт·ч); Когда газообразный водород составляет 0.17 кг/час, расход дизельного топлива падает только на 16%; Когда водород составляет 0.33 кг/час, расход дизельного топлива снижается только на 40%. Это показывает, что добавление водорода более чувствительно к улучшению расхода дизельного топлива при низкой нагрузке.

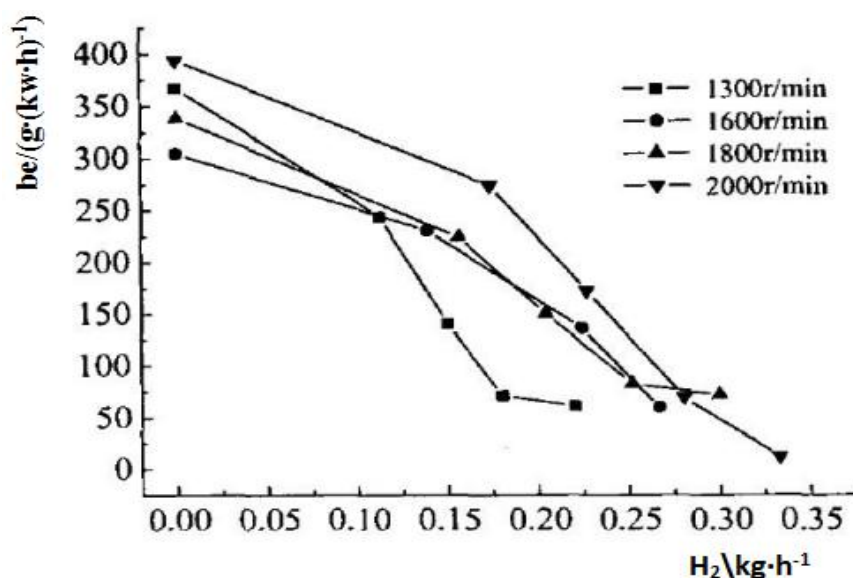


Рисунок 2.18 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива ( $b_e$ ) при  $p=0.14$  МПа

Когда водород не добавляется, расход топлива между высокими и низкими нагрузками сильно отличается при скорости 2000 об/мин, и максимальная разница составляет около 170 г/кВт·ч; Когда водород увеличивается до 0.28 кг/час, разница в расходе топлива между различными нагрузками значительно уменьшается, а максимальная разница уменьшается

до 80 г/кВт·ч.

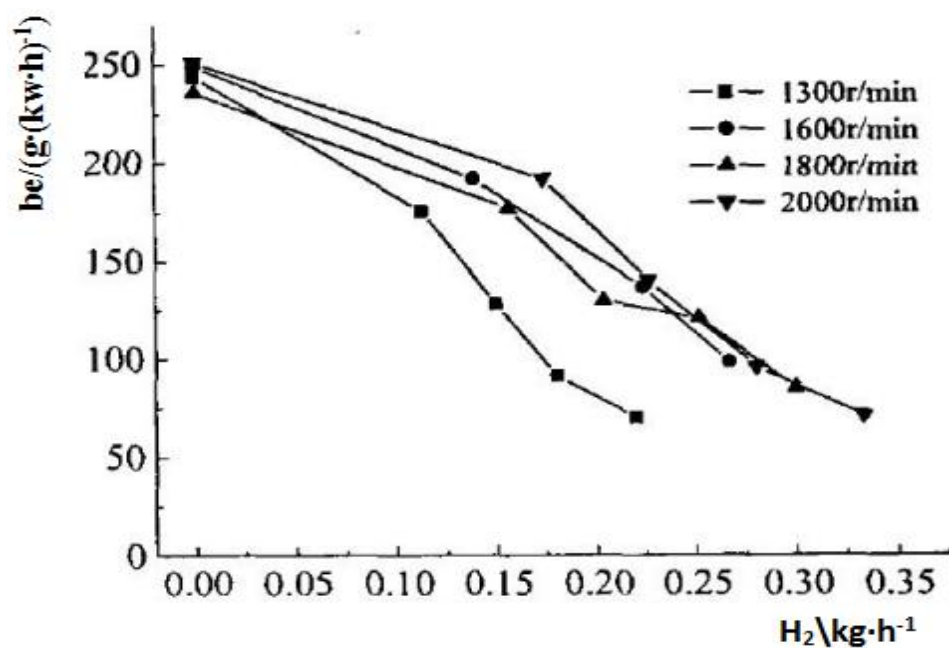


Рисунок 2.19 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $p=0.28$  МПа

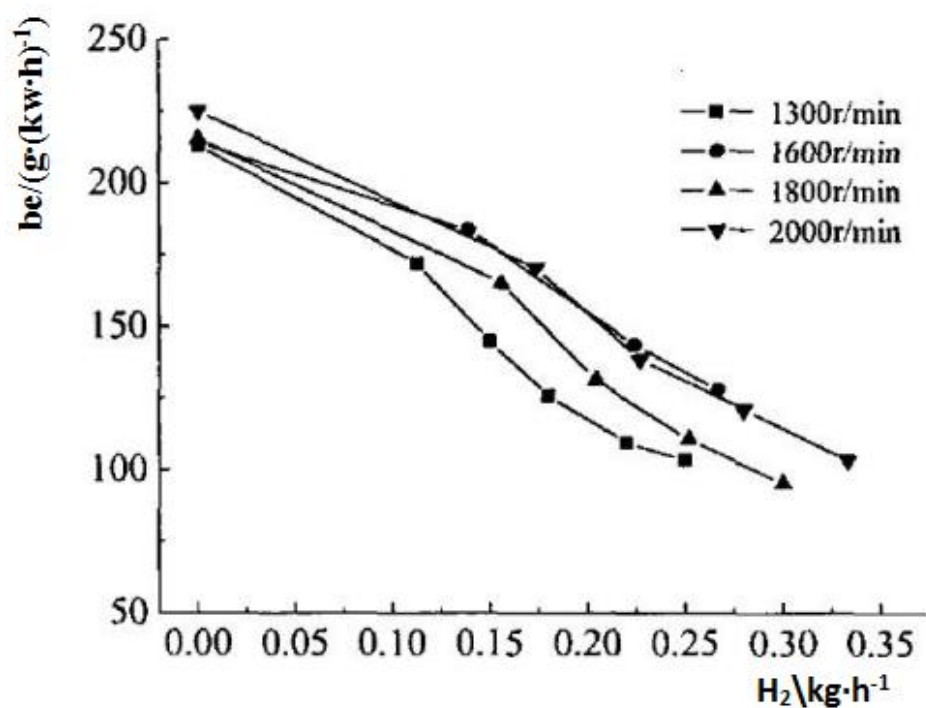


Рисунок 2.20 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $p=0.42$  МПа



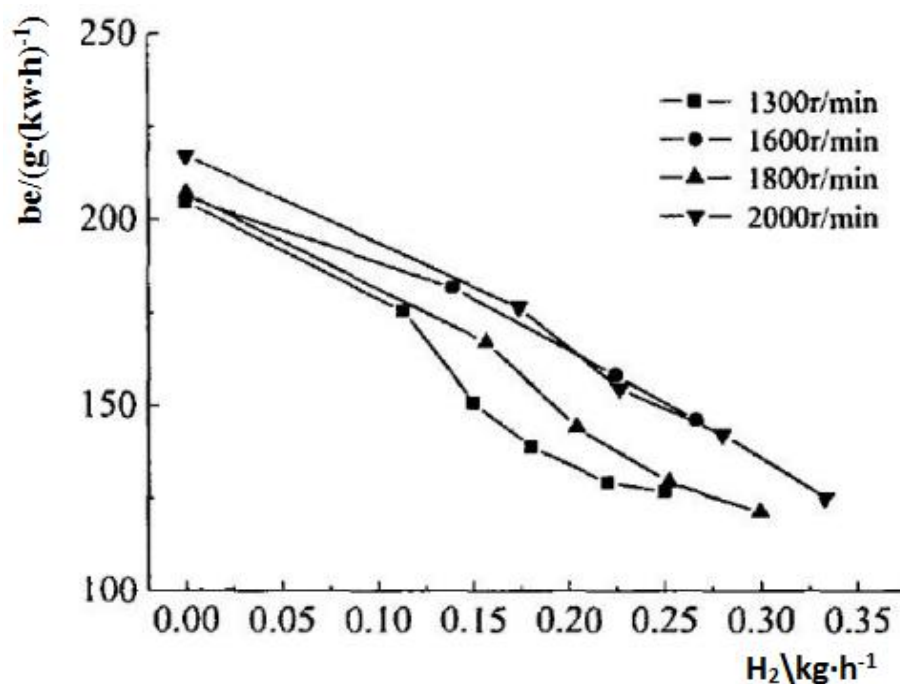


Рисунок 2.21 - Влияние водорода (H<sub>2</sub>) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $p=0.56$  МПа

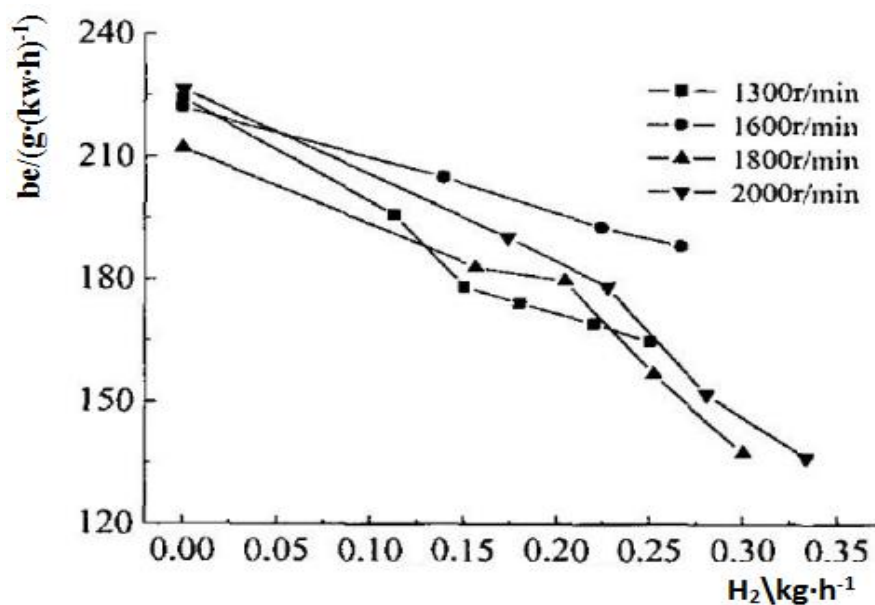


Рисунок 2.22 - Влияние водорода (H<sub>2</sub>) на расход дизельного топлива( $b_e$ ) при  $p=0.70$  МПа

По мере увеличения частоты вращения двигателя расход дизельного топлива уменьшается с увеличением количества водорода. Когда высокая скорость составляет 1800 об/мин и 2000 об/мин, скорость снижения скорости потребления дизельного топлива ниже, чем у низкой скорости 1300 об/мин. В частности, разница в скорости потребления дизельного топлива является более очевидной при разных скоростях 0.14 МПа и 0.28 МПа.

### 2.2.2.5 Влияние водорода на общий расход топлива при одинаковом среднем эффективном давлении

Исходя из теплотворной способности топлива, потребление водорода преобразуется в стандартное потребление дизельного топлива. Вместе с количеством использованного дизельного топлива получается общий расход топлива. Изучив его, сравнить и проанализировать полный удельный расход топлива при сжигании различных видов топлива. Формула расчёта такая, как показано в уравнении (4).

$$g_m = g_d + \frac{H_{h2}}{H_d} \cdot g_{h2} \quad (4)$$

где:  $g_m$ - полная норма расхода топлива, г/мин;  $g_d$ - норма расхода дизельного топлива, г/мин;

$g_{h2}$  - норма расхода водорода, г/мин;

$H_{h2}$  - теплотворная способность водорода, принимая 121 МДж/кг;

$H_d$ - теплотворная способность дизельного топлива, выбираем 42.5 МДж/кг.

После преобразования в формуле (5)

$$b_e = \frac{60g_m}{P_e} \quad (5)$$

где:  $b_e$  - суммарный расход топлива, г / кВт · ч;

$P_e$  - мощность двигателя, кВт.

На рисунке 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 показано изменение общего расхода топлива с расходом водорода при среднем эффективном давлении водородного дизельного двигателя при 1300 об/мин, 1600 об/мин, 1800 об/мин и 2000 об/мин.

Из рисунка 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 видно, когда частота вращения двигателя составляет 1300 об/мин, при том же среднем эффективном давлении, соотношение между общей скоростью потребления топлива и газообразным водородом сначала увеличивается, затем уменьшается, наконец, увеличивается. При условии равного среднего эффективного давления, совокупный расход топлива значительно изменяется при небольшой нагрузке, в то время как совокупный расход топлива изменяется при других нагрузках.

Когда частота вращения двигателя составляет 1600 об/мин, при среднем эффективном давлении общая скорость потребления топлива сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением объёма водорода, и общий расход топлива достигает максимума при скорости потока водорода 0.14 кг/ч. Точно так же, когда среднее эффективное давление одинаково, совокупный расход топлива при низкой нагрузке, очевидно, изменяется с водородом, в то время как совокупный расход топлива при небольшой

нагрузке ( $p_{me}=0.28$  МПа) изменяется с водородом, в то время как совокупный расход топлива по другим нагрузкам мало изменяется с водородом.

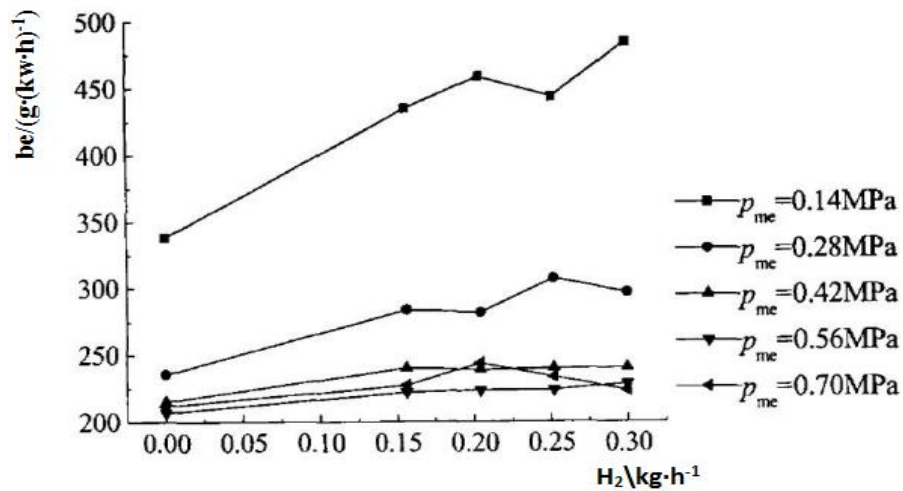


Рисунок 2.23 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход общего топлива( $b_e$ ) при  $n=1300$  об/мин

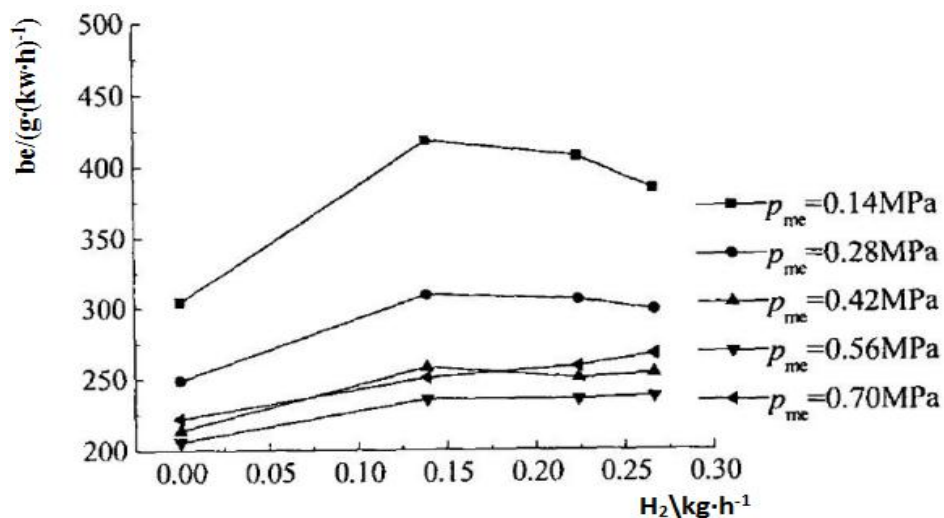


Рисунок 2.24 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход общего топлива( $b_e$ ) при  $n=1600$  об / мин

Когда частота вращения двигателя составляет 1800 об/мин, общий расход топлива увеличивается вместе с водородом, а затем уменьшается. Среди них, при небольшой нагрузке ( $p_{me}=0.14$  МПа), полная скорость потребления топлива, очевидно, изменяется с увеличением количества водорода, а когда количество водорода велико, общий расход топлива не уменьшается, а увеличивается. Это может быть результатом неспособности вовремя сжечь водород. Общий расход топлива меньшей нагрузки ( $p_{me}=0.28$  МПа) сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением объёма водорода, в то время как общий расход топлива средней нагрузки ( $p_{me}=0.42$

МПа) увеличивается, когда количество водорода мало, но дополнительно увеличивается с количеством водорода. Общий расход топлива остаётся в основном без изменений. При более высоких нагрузках ( $p_{me}=0.56$  МПа) отношение общего расхода топлива аналогично средней нагрузке. При большой нагрузке общий расход топлива сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением количества водорода, достигая максимума при давлении водорода  $q_{H_2} = 0.21$  кг/ч.

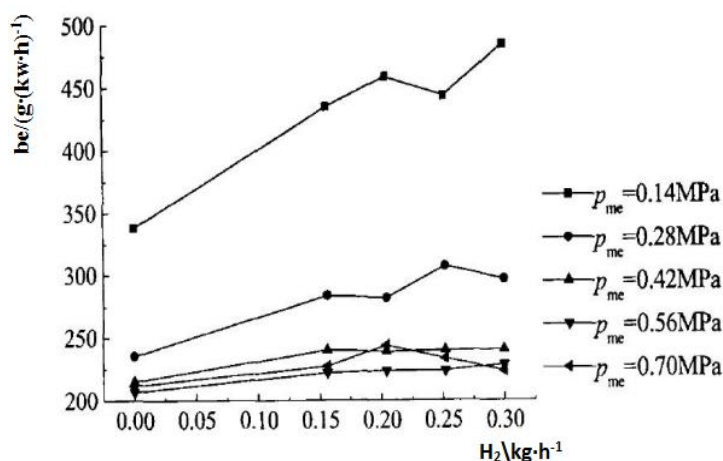


Рисунок 2.25 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход общего топлива( $b_e$ ) при  $n=1800$  об/мин

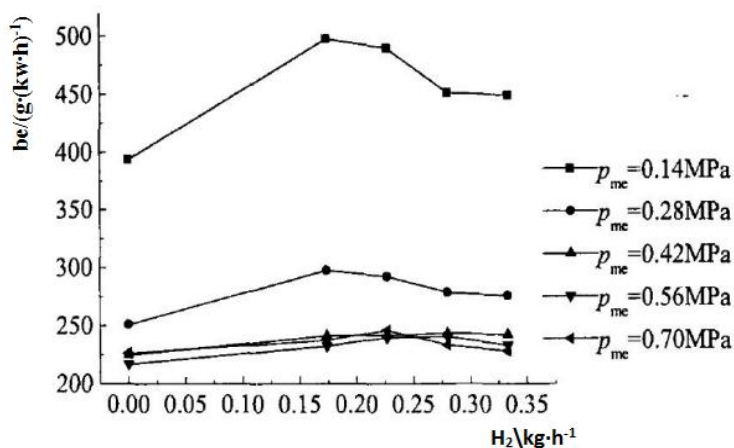


Рисунок 2.26 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на расход общего топлива( $b_e$ ) при  $n=2000$  об/мин

Когда частота вращения двигателя составляет 2000 об/мин, общий расход топлива увеличивается, а затем уменьшается с количеством водорода при среднем эффективном давлении и достигает максимума при определённом количестве водорода.

Взяв за пример совокупный расход топлива 1800 об/мин, описывается совокупный расход топлива каждой нагрузки при разных нагрузках,

потребление водорода составляет от 0 до 0.156 кг/час, а суммарный расход топлива каждой нагрузки увеличивается в различной степени.

При низкой нагрузке совокупный расход топлива быстро увеличивается, совокупный расход топлива увеличивается на 100 г/кВт·ч, совокупный расход топлива средней нагрузки увеличивается на 130 г/кВт·ч, а совокупный расход топлива при других нагрузках не превышает 20 г/кВт·ч, в то время как количество водорода увеличилось с 0.156 кг/ч до 0.30 кг/ч, общий расход топлива увеличился на 50 г/кВт·ч при низкой нагрузке, а общий расход топлива при средней нагрузке составил менее 20 г/кВт·ч, другие нагрузки общее изменение расхода топлива составляет менее 10 г/кВт·ч. Это показывает, что разные количества водорода по-разному влияют на общее потребление топлива каждой загрузкой.

### 2.2.2.6 Влияние количества водорода на мощность двигателя

Наопределенной скорости контролируется количество впрыскиваемого дизельного топлива в двигатель и исследования влияние количества водорода на мощность. При определенной скорости и впрыске дизельного топлива изменение в добавлении водорода означает изменение нагрузки двигателя. Учитывая, что добавление водорода увеличит мощность двигателя, в эксперименте были выбраны две меньшие величины впрыска, а именно 13мг и 18мг, 13 мг указывает количество циркулирующего топлива, впрыскиваемого двигателем при небольшой нагрузке при скорости вращения 1300 об/мин. 18 мг представляет количество циркулирующего топлива, впрыскиваемого в двигатель с той же скоростью.

Следующее исследование показывает влияние различной гидрогенизации на динамические характеристики двигателя при двух объемах впрыска. Условия испытаний (таблица 2.4):

Таблица 2.4 – Данные исследований

| Варианты | Скорость (об/мин) | Количество топлива (мг / цикл) | Количество водорода (мг / цикл) |
|----------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1        | 1300              | 13                             | 2.90                            |
| 2        | 1300              | 13                             | 3.79                            |
| 3        | 1300              | 13                             | 4.67                            |
| 4        | 1300              | 13                             | 5.56                            |
| 5        | 1300              | 18                             | 2.90                            |
| 6        | 1300              | 18                             | 3.79                            |
| 7        | 1300              | 18                             | 4.67                            |
| 8        | 1300              | 18                             | 5.56                            |



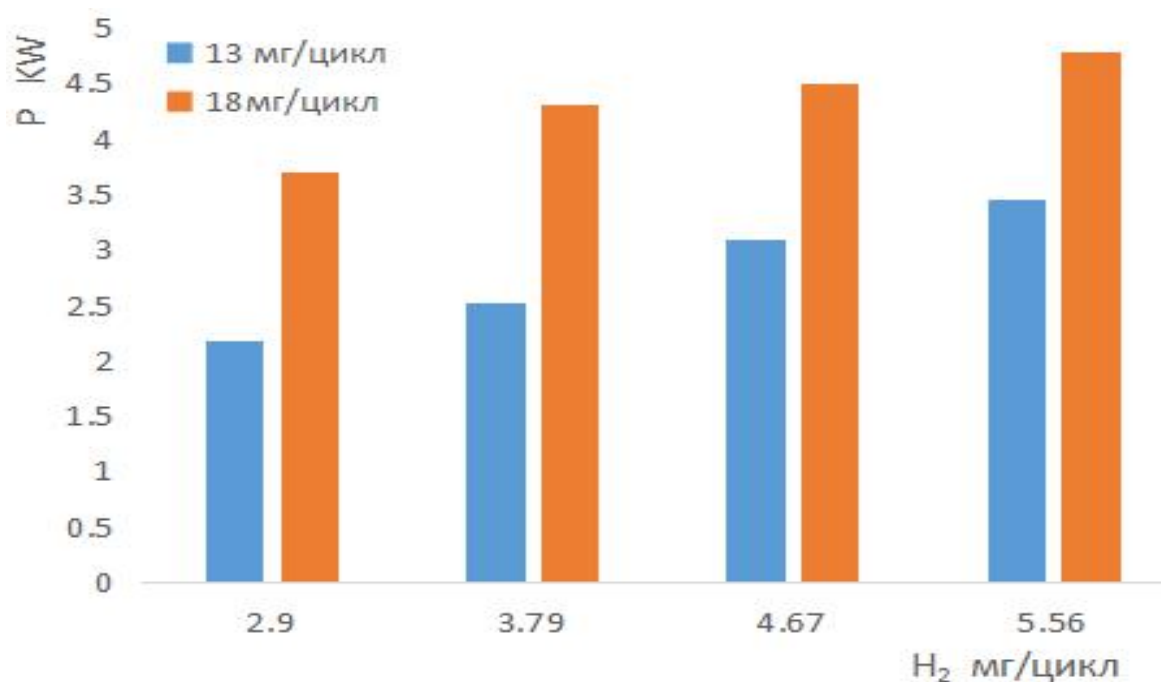


Рисунок 2.27 - Связь между количеством водорода и мощностью

На рисунке 2.27 показано влияние циркуляции дизельного топлива на мощность двигателя после того, как скорость вращения составляет 1300, циркуляция дизельного топлива составляет 13 мг, 18 мг, а количество водорода составляет 2.90, 3,79, 4,67, 5,56 мг. На рисунке 2.28 указывает на изменение мощности, вызванное различными концентрациями водорода, когда количество впрыскиваемого дизельного топлива отличается на 5 мг.

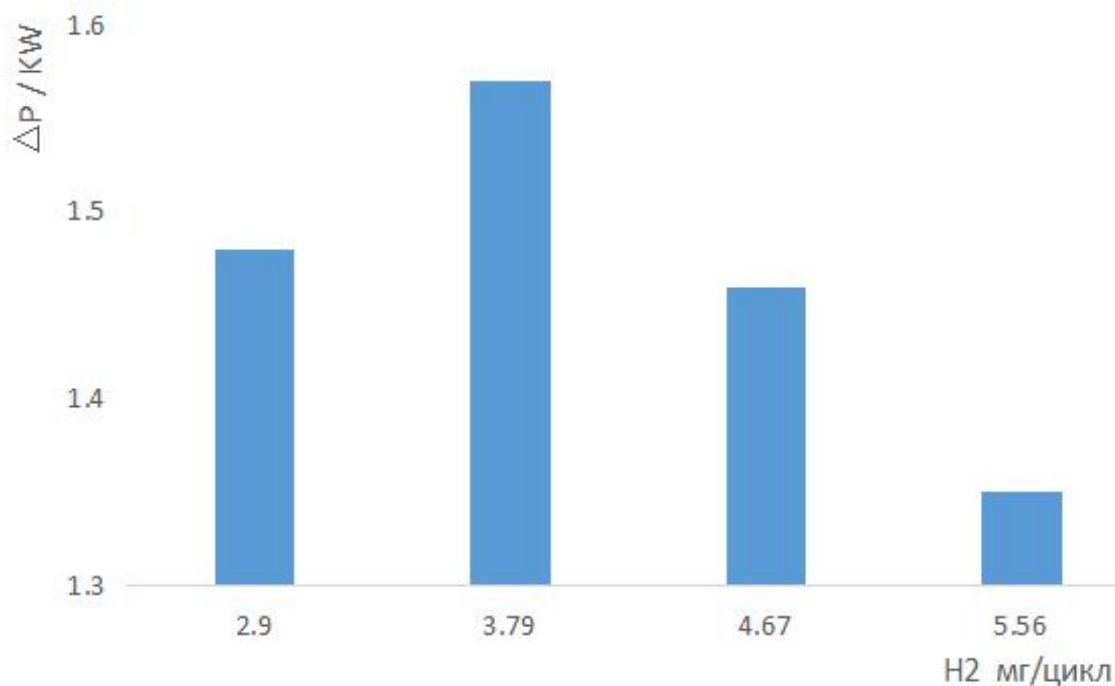


Рисунок 2.28 - Связь между количеством водорода и приращением мощности

Из рисунка 2.17, 2.28 видно, что при количестве впрыска дизельного топлива является фиксированным, мощность двигателя увеличивается с увеличением концентрации смешанного водорода.

Однако при разных объемах впрыска дизельного топлива количество водорода по-разному влияет на динамику. При количестве впрыскиваемого дизельного топлива составляет 13 мг, количество гидрогенизации всасываемого воздуха увеличивается с 2.9мг до 5.56 мг, а мощность увеличивается 470 кВт/г, при количестве впрыскиваемого дизельного топлива составляет 18 мг, увеличение мощности остается таким же, когда изменяется то же количество гидрогенизации 430 кВт/г, меньше прежнего 40 кВт/г, С точки зрения скорости роста, увеличение количества водорода при небольшом впрыске дизеля более способствует росту производительности двигателя.

Кроме того, фиксированное количество впрыска дизельного топлива составляло 13 мг и 18 мг, которые отличались на 5 мг. Когда концентрация смешанного водорода различна, прирост дизельного топлива 5 мг не согласуется с приращением мощности двигателя, и величина мощности сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением концентрации водорода, причем прирост мощности достигает максимума, когда концентрация водорода составляет 3.79 мг / цикл.

Это связано с тем, что когда концентрация смешанного водорода мала, взаимодействие между водородом и окружающим дизельным топливом мало, температура и давление в цилиндре низкие, а потери тепла малы. Когда концентрация водорода увеличивается, взаимное сгорание водорода и дизеля усиливается, и агрегат освобождается за единицу времени, больше тепла и повышенной мощности.

### **2.2.3 Выбросы NOx**

В двигателях внутреннего сгорания NOx главным образом получают из воздуха, который является продуктом сгорания  $N_2$  в воздухе, окислённом в условиях высокой температуры в камере сгорания.

Количество образующегося NOx связано с температурой камеры сгорания, высокой температурой камеры сгорания и концентрациями  $O_2$  и  $N_2$  в условиях высокой температуры камеры сгорания. Большое количество исследований показало, что чем выше температура в камере сгорания, тем дольше время сгорания, тем выше концентрация  $O_2$  и  $N_2$  и тем больше выбросов NOx.

На рисунке 2.29, 2.30, 2.31, 2.32 показана взаимосвязь между характеристиками выбросов NOx и количеством водорода при различных средних эффективных давлениях, когда частота вращения двигателя составляет 1300 об/мин, 1600 об/мин, 1800 об/ мин, 2000 об/мин.

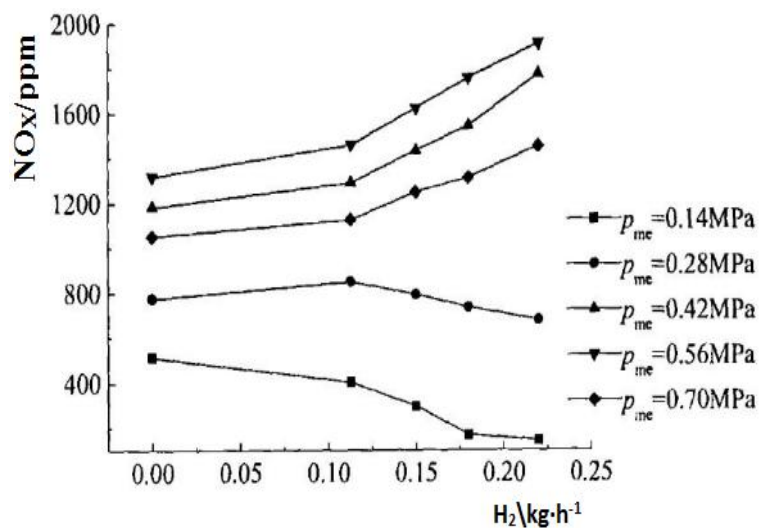


Рисунок 2.29 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на окись азота ( $NO_x$ ) при  $n=1300$  об/мин

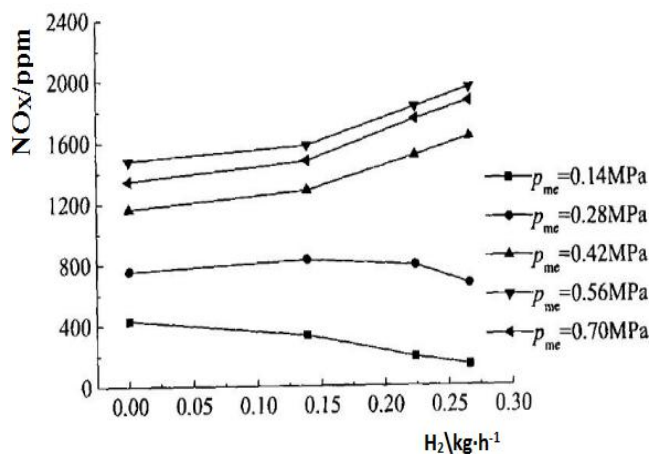


Рисунок 2.30 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на окись азота ( $NO_x$ ) при  $n=1600$  об/мин

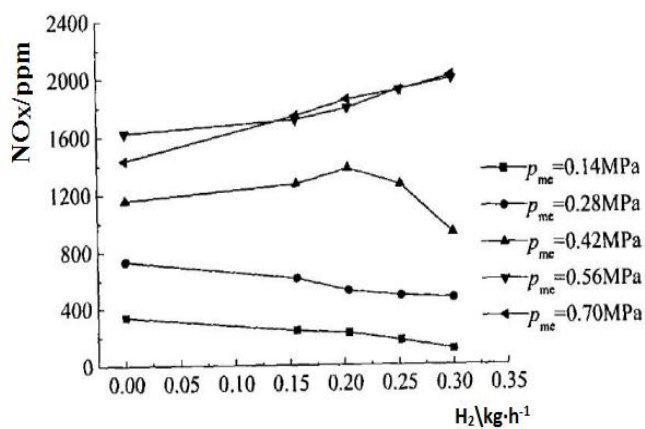


Рисунок 2.31 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на окись азота ( $NO_x$ ) при  $n=1800$  об/мин

Результаты испытаний показывают, что при частоте вращения двигателя 1300 об/мин среднее эффективное давление составляет 0.14 МПа (небольшая нагрузка), а концентрация выбросов NOx медленно уменьшается с увеличением объема водорода. При среднем эффективном давлении 0.28 МПа (небольшая нагрузка) концентрация выбросов NOx сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением объема водорода, а диапазон изменения невелик и достигает максимального значения при  $q_{H_2} = 0.11$  кг/ч. Среднее эффективное давление  $p_{me} = 0.42, 0.56$  и  $0.70$  МПа концентрация эмиссии NOx увеличивается с увеличением содержания водорода, особенно когда водород составляет  $q_{H_2} = 11$  кг/ч.

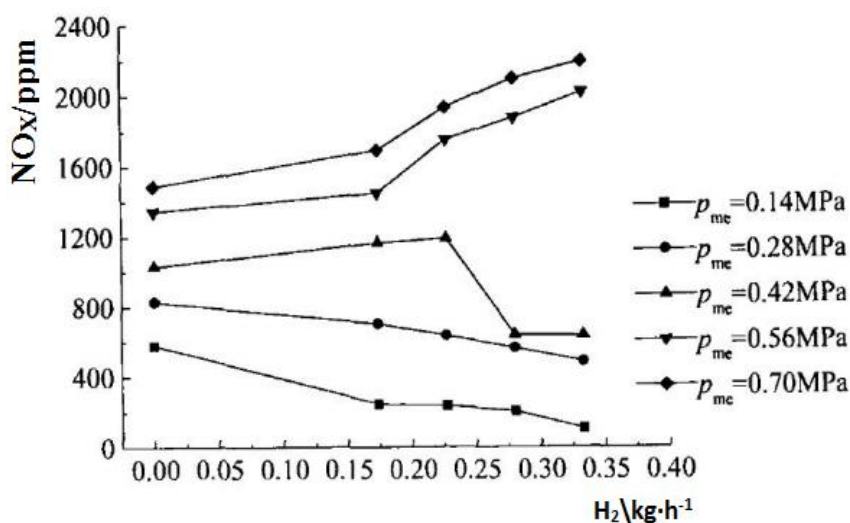


Рисунок 2.32 - Влияние водорода ( $H_2$ ) на окись азота ( $NO_x$ ) при  $n=2000$  об/мин

При 1600 об/мин соотношение между выбросами NOx и объемом водорода такое же, как при 1300 об/мин.

При 1800 об/мин концентрация выбросов NOx уменьшается с увеличением объема водорода при среднем эффективном давлении 0.14 МПа и 0.28 МПа. При среднем эффективном давлении 0.42 МПа концентрация выбросов NOx сначала увеличивается, а затем уменьшается с увеличением объема водорода. При среднем эффективном давлении  $p_{me} = 0.56$  МПа и 0.72 МПа (большая нагрузка) концентрация выбросов NOx увеличивается с увеличением количества водорода.

При скорости 2000 об/мин концентрация выбросов NOx при каждой нагрузке аналогична скорости 1800 об/мин.

## 2.2.4 Выбросы CO

Характеристики выбросов CO при оборотах двигателя 1300 об/мин и 2000 об/мин, где концентрация CO - это объемная доля в выхлопных газах.

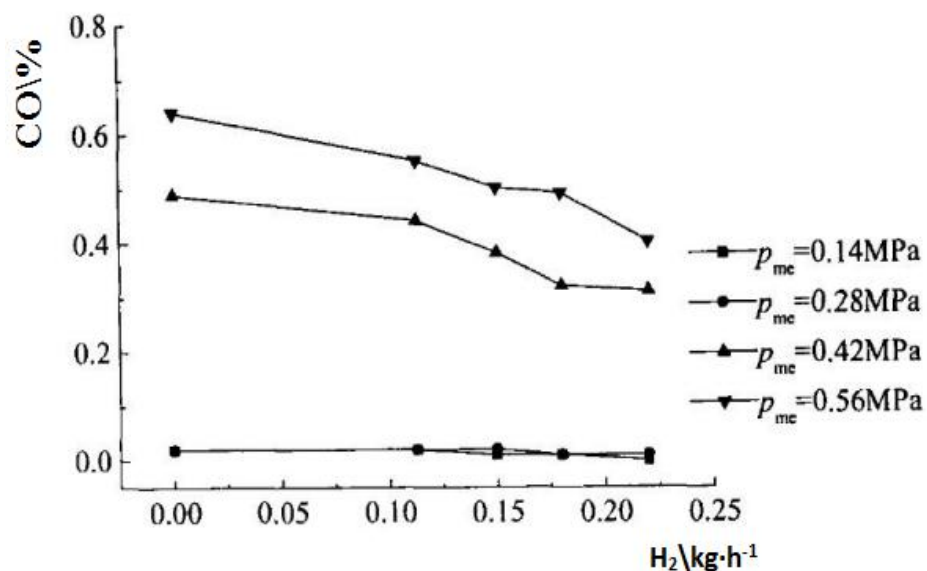


Рисунок 2.33 - Влияние водорода (H<sub>2</sub>) на окись углерода (CO) при n=1300об/мин

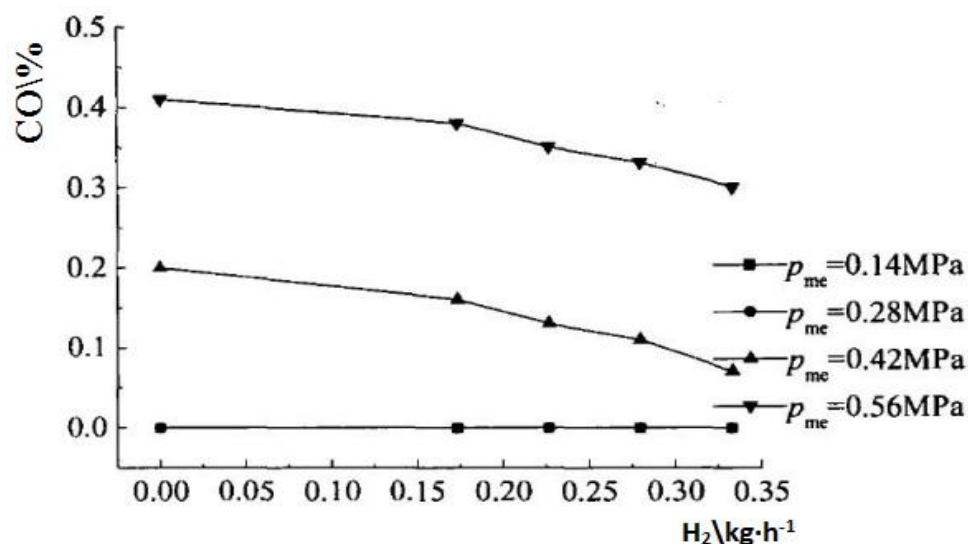


Рисунок 2.34 - Влияние водорода (H<sub>2</sub>) на окись углерода (CO) при n=2000об/мин

Из рисунка 2.33, 2.34 видно, что при равном среднем эффективном давлении концентрация разряда уменьшается с увеличением количества водорода.

Когда двигатель имеет низкую скорость вращения  $n = 1300$  об/мин, выбросы CO средней и низкой нагрузки практически равны нулю, и количество водорода медленно уменьшается по мере добавления количества водорода; При высокой нагрузке выбросы CO уменьшаются при добавлении водорода, но при высоких нагрузках выбросы CO немного меньше, чем низкие обороты.



### 2.2.5 Выбросы СН

Из рисунка 2.35 видно, что при одинаковом среднем эффективном давлении выбросы СН уменьшаются с увеличением количества водорода.

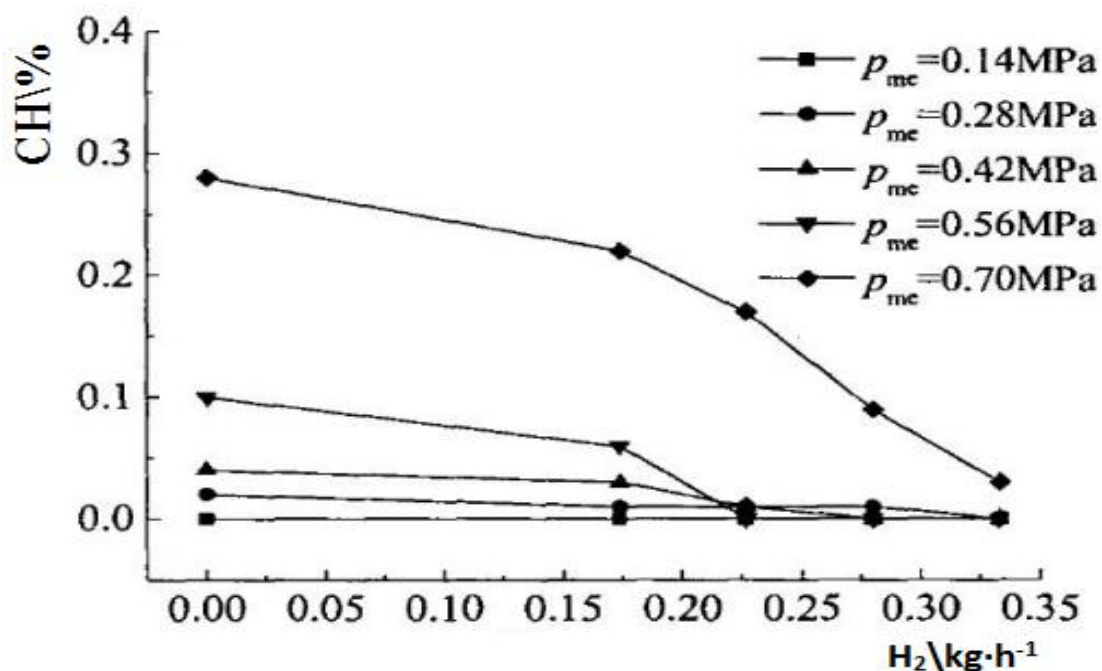


Рисунок 2.35 - Соотношение между выбросами СН и водородом при разных нагрузках

При низких и средних нагрузках выбросы СН медленно уменьшаются с увеличением водорода при том же среднем эффективном давлении; При большой нагрузке выброс СН уменьшается с увеличением водорода при среднем эффективном давлении, особенно когда количество водорода превышает 0.17 кг/ч.

### 2.2.6 Выбросы $\text{CO}_2$

Соотношение между выбросами  $\text{CO}_2$  и водородом при разных нагрузках рисунка 2.36, 2.37 видно, соотношение между характеристиками выбросов  $\text{CO}_2$  и содержанием водорода при различных средних эффективных давлениях при оборотах двигателя 1300 об/мин и 2000 об/мин. Концентрация  $\text{CO}_2$  - это объемная доля в выхлопных газах.

Из рисунка 2.36, 2.37 видно, что в условиях равной нагрузки выброс  $\text{CO}_2$  постепенно уменьшается с увеличением количества водорода, а количество водорода оказывает более существенное влияние на выброс  $\text{CO}_2$  при низкой нагрузке. Частота вращения двигателя  $n=2000$  об/мин, среднее эффективное давление  $P_{\text{ме}} = 0.14 \text{ МПа}$ , содержание водорода 0, 0.17, 0.22, 0.28, 0.33 кг/час по сравнению с горящим чистым дизельным топливом,

концентрация выбросов  $\text{CO}_2$  (объемная доля) снизилась на 20.6%, 47.2%, 64.7% и 82% соответственно; Когда частота вращения двигателя равна  $n = 2000$  об/мин, а среднее эффективное давление равно 0.70 МПа, когда содержание водорода составляет 0, 0.1, 0.2, 0.28, 0.33 кг/ч, концентрация выбросов  $\text{CO}_2$  (объемная доля) сравнивается с чистым дизельным топливом. снизилась на 11.1%, 19.0%, 25.4%, 30.2%.

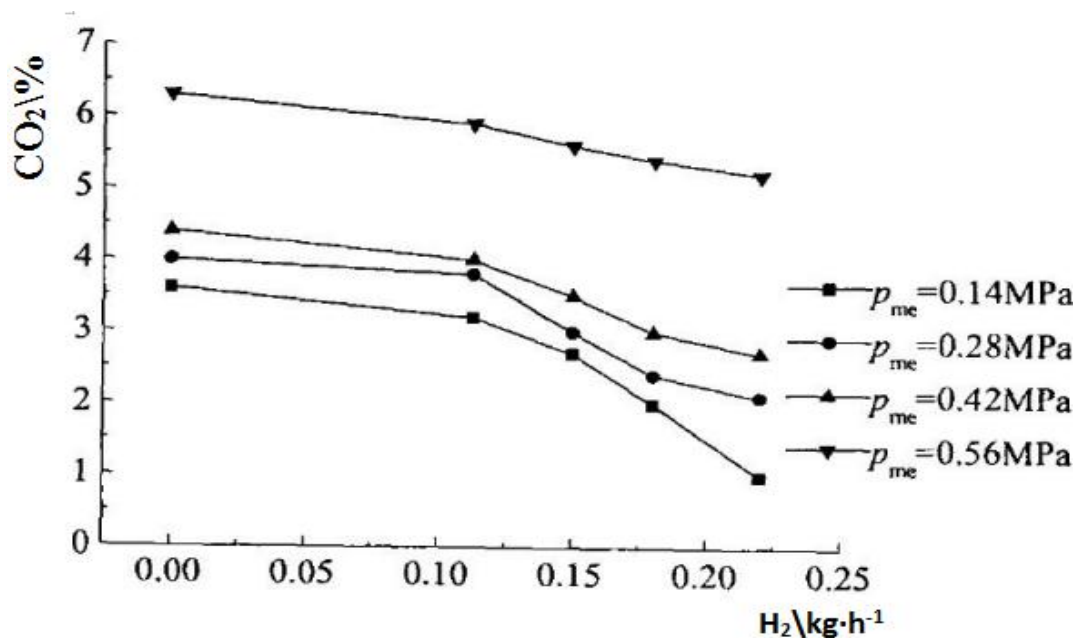


Рисунок 2.36 - Влияние водорода ( $\text{H}_2$ ) на двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) при  $n=1300$  об/мин

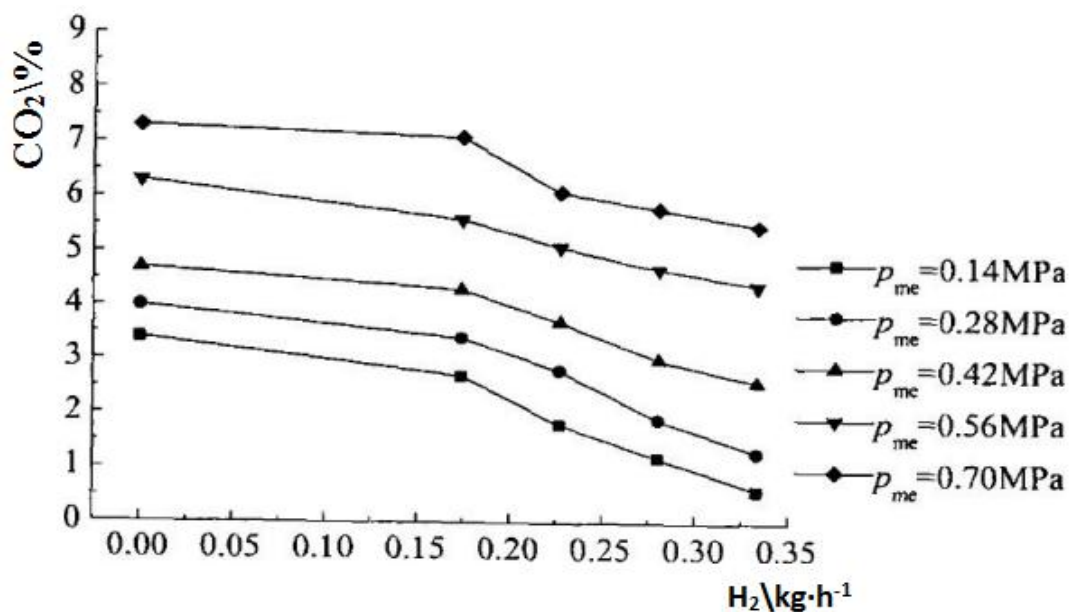


Рисунок 2.37 - Влияние водорода ( $\text{H}_2$ ) на двуокись углерода ( $\text{CO}_2$ ) при  $n=2000$  об/мин

Университет Цинхуа на авиационно-космический институт, Чжан Бо и др и Пекинский транспортный университет, Цао Чжэ провели эксперименты в лаборатории и получили следующие результаты. Добавление водорода в дизельные двигатели может снизить потребление дизельного топлива на 20%-30% или более (когда скорость потока водорода равна 0.2 кг/час, степень экономии дизельного топлива при 10.3 кВт составляет 20% и при 4 кВт. Экономия дизельного топлива достигает 32%). Это подтверждает, что добавление водорода может значительно увеличить экономию топлива для дизельного топлива и замедлить истощение нефтяных ресурсов. Высокая диффузионная способность водорода оказывает определённое влияние на увеличение экономии топлива. Повышение температуры водорода на впуске может снизить расход топлива на небольшую величину. При нагревании до 100°C скорость расхода топлива уменьшается примерно на 3 г/(кВт · ч). На рисунке показало, что комбинация смеси дизельного топлива и водорода может улучшить экономию топлива. После использования смеси топлива норма экономии топлива дополнительно увеличивается примерно на 3%.

### **3 Применение водорода в двигателе внутреннего сгорания на модель Citroen 5**

#### **3.1 Физические свойства водорода**

Водород по сравнению с дизельным топливом имеет следующие характеристики:

Плотность водорода меньше, коэффициент диффузии более высокий, газовая смесь (водород и воздух) является однородной и скорость горения является высоким. Это благоприятно для быстрого смешивания и сжигания водорода и воздуха, поэтому водородный топливный двигатель обладает высокой тепловой эффективностью.

Поскольку водород характеризуется высокой теплотворной способностью, то топливная нагрузка автомобиля может быть уменьшена в два раза по сравнению с дизтопливом. Но из-за небольшой плотности водорода объем загрузки большой.

Энергия зажигания, требуемая для водорода низкая, что способствует водородному двигателю, работающему при частичной нагрузке. Но с другой стороны, легко может топливо преждевременно воспламениться.

Диффузионная способность водорода выше, чем дизтоплива. Коэффициент диффузии водорода  $0.63 \text{ см}^2/\text{с}$ , а коэффициент диффузии дизтоплива  $0.078 \text{ см}^2/\text{с}$ .

Водород наиболее лёгкий химический элемент, он в 14,38 раз легче воздуха. Будучи самым лёгким газом, водород обладает наибольшей скоростью диффузии [11].

#### **3.2 Способы получения водорода**

В настоящее время разработано множество способов производства водорода.

Для получения водорода его не нужно добывать, необходимо разорвать химические связи в углеводородах или воде и выделить его из реакционной смеси. Одним из устройств для получения водорода является паровой реформер, для которого существуют различные варианты питания.

В настоящее время крупнотоннажное производство водорода и водородосодержащих продуктов осуществляется в мире в основном путем паровой конверсии метана, являющегося основным компонентом природного газа и содержащего 25% водорода. Газификация — процесс высокотемпературного взаимодействия горючих ископаемых, в рассматриваемом случае — угля, с парами воды, кислородом, диоксидом углерода или их смесями, с целью получения горючих газов:  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ . Они могут использоваться как топливо и как сырьё для химической промышленности.

В установках для получения водорода диссоциацией аммиака применяют катализаторы на основе окислов железа, и процесс проводят при температуре 600 - 700°C. В результате диссоциации получается газовая смесь с объемным содержанием 75%  $H_2$  и 25%  $N_2$  при атмосферном давлении. Энергозатраты на реакцию составляют 25 - 27 % от низшей теплоты сгорания получаемого водорода.

В качестве исходного сырья для получения водорода используется обычная вода, налитая в какую-нибудь ёмкость для проведения электролиза. Энергия для выделения водорода из воды берётся от автомобильного аккумулятора. Полученный в небольших количествах газ, направляется во впускной коллектор двигателя через шланг, где смешивается с дизельным топливом и смесь впрыскивается в цилиндр, как рисунок 3.1. Сгорание смеси происходит в сжатом и высокотемпературном воздухе цилиндра [12].

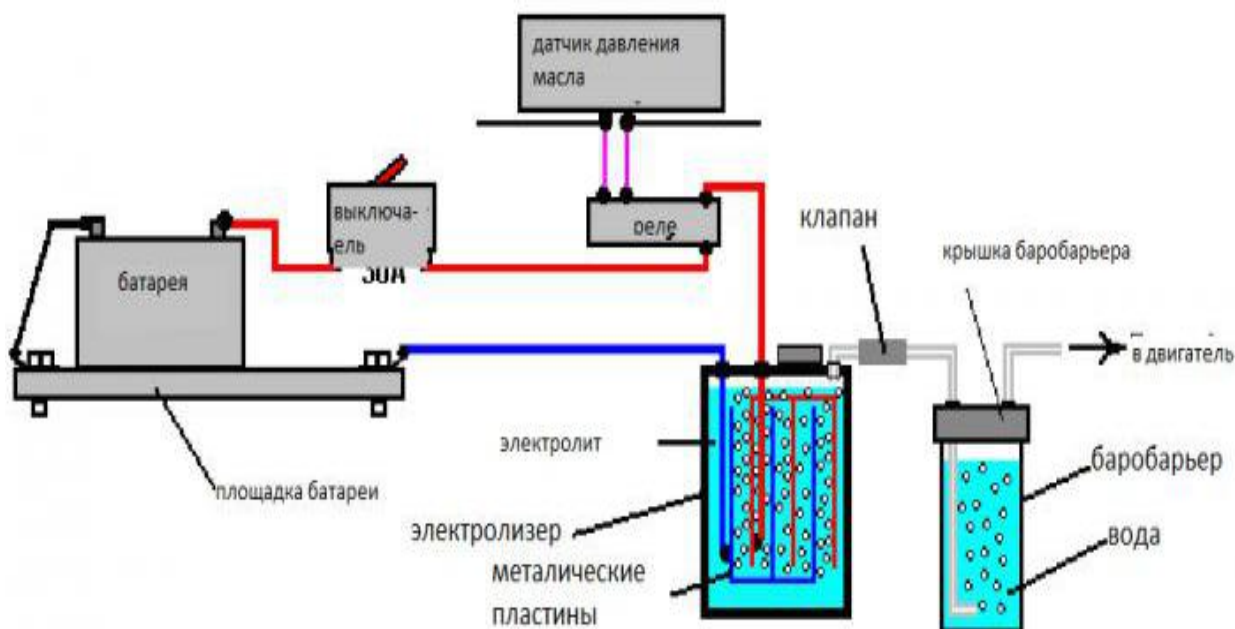


Рисунок 3.1 - Схема устройства для производства водорода

### 3.3 Установка механических компонентов

#### 3.3.1 Установка генератора ННО

Чтобы ускорить поступление водорода в двигатель, генератору водорода нужно установить недалеко от двигателя. Поставить в том, что в передней решётке и радиаторе относительно велико, как рисунок 3.3, 3.4, недалеко от внутренней двигателя, воздух циркулирует, рассеивание тепла хорошее, а температура относительно низкая.

Генератор водорода нужно установить в месте, которое легко разобрать, осмотреть и очистить, закрепить и смонтировать с помощью кронштейна. И



он не двигался и работал нормально на любой дороге.

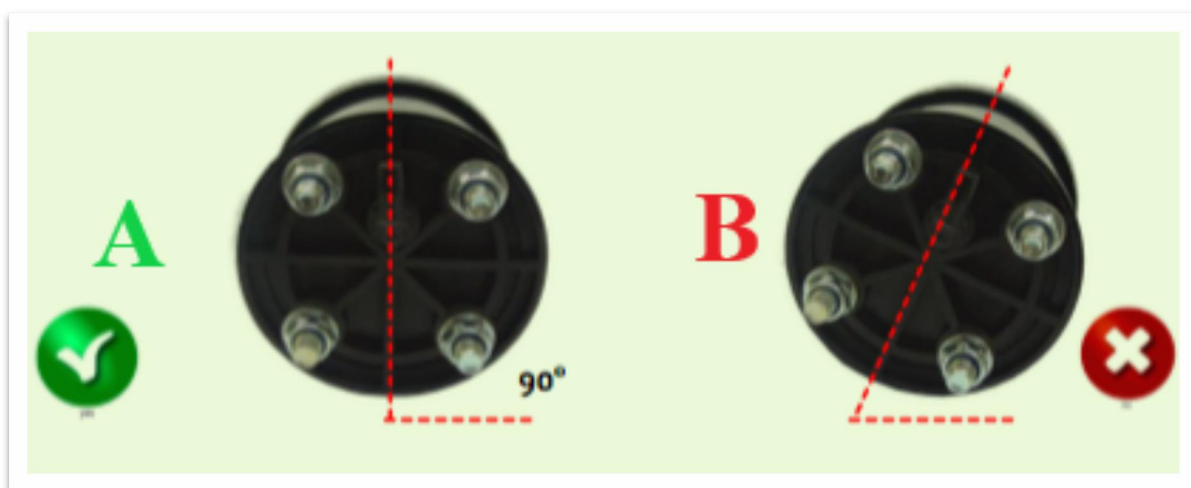


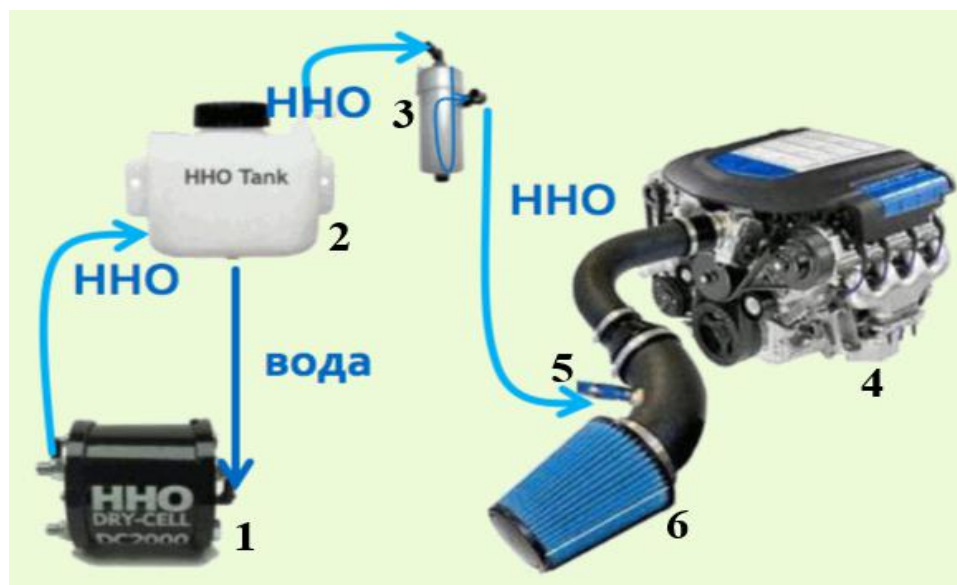
Рисунок 3.2 - Установка ННО



Рисунок 3.3 - Установка ННО на автомобиле Ситроен 5

Чтобы обеспечить достаточное давление воды для входа в генератор водорода, его нужно установить на расстоянии не менее 10 см от двигателя.

### 3.3.2 Общая конфигурация системы



1 - ННО генератор; 2 - бочонок воды; 3 - осушитель; 4 - двигатель; 5 - впускная труба 6 - воздушный фильтр.

Рисунок 3.4 - Система ННО

### 3.3.3 Установка осушителя, ННО шлангов

Осушителю также нужно установить в системе генератора водорода и нужно установить над ковшем более чем на 10 см, потому что он имеет такие функции: во-первых, он может очищать и сухой газообразный водород, а во-вторых, он обладает эффектом герметизации.



Рисунок 3.5 - Размещение воды и ННО шлангов

Чтобы обеспечить достаточное давление, баку нужно положить выше, чем генератор, и установка резервуара для воды такая же, как и установка генератора водорода. Шланг, соединяющий систему генератора водорода, нужно как можно более прямым, ему нельзя перегибать или изгибать. Потому что, если шланг неправильно установлен, циркуляция газа будет плавной, и производительность будет ухудшаться, что повлияет на результаты эксперимента. Стандартная схема установки шланга (на рисунке 3.5).

### 3.3.4 Точка впрыска ННО

Точке впрыска газа нужно установить рядом с впускным коллектором, после воздушного фильтра не устанавливайте отверстие в капоте, потому что во время работы двигателя его внутреннее давление воздуха выше, чем другие внешние давления, что приводит к недоступности водорода. Когда впускной коллектор повернут, чтобы облегчить герметизацию, следует отметить, что размер отверстия не должен быть слишком большим (около 8 мм), как рисунок 3.6, потом отверстие повернуть, все остатки следует очистить, чтобы избежать попадания в двигатель, и нанести клейкий клей. Это запечатано, чтобы избежать утечек воздуха. При первом его использовании необходимо выполнить вакуумное всасывание.



Рисунок 3.6 - Просверлите отверстие 8 мм близко к впускному коллектору

### 3.4 Установка электрических компонентов

#### 3.4.1 Общая конфигурация системы

Чтобы генератор водорода работал должным образом, генератор водорода нужно установить на источник питания автомобиля в 12 вольт. Система установки показана на рисунке 3.7.

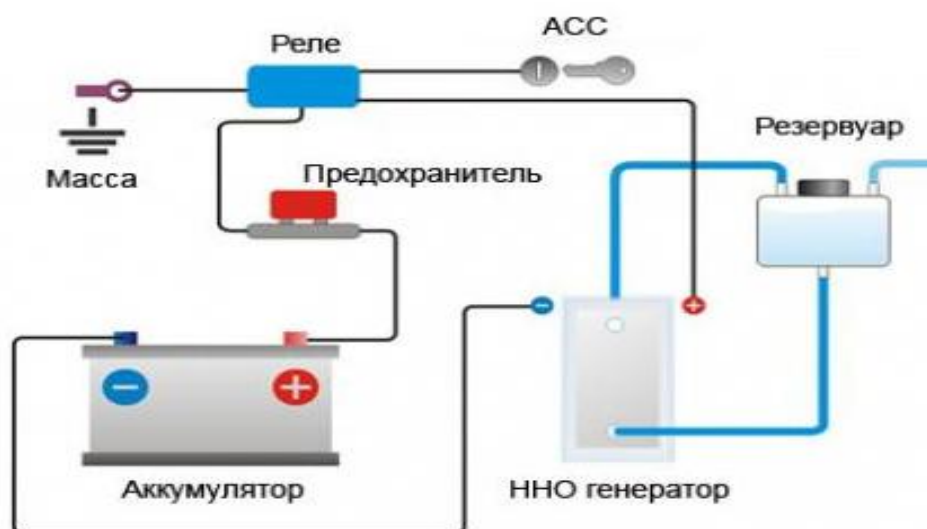


Рисунок 3.7 - Питания системы

#### 3.4.2 Установка электрических соединений контактов ННО

- DC2000: + (NNNNN) - (NNNNN) + (NNNNN) -(NNNNN)



Рисунок 3.8.2 - Электрическое соединение контактов ННО.



### 3.4.3 Электролитические установки

Чистая вода ионизируется под действием напряжения, поэтому электролиз чистой воды очень медленный и почти не происходит. Поскольку сама ионизация чистой воды очень ограничена, в этом эксперименте добавляются электролиты, чтобы повысить эффективность электролиза и получить требуемые водород.

В этом эксперименте КОН (гидроксид калия) использовался в качестве электролита из-за его сильной способности к электролизу и высокой скорости. Во время процесса электролиза температура воды будет непрерывно увеличиваться, и сопротивление в воде будет продолжать уменьшаться.

Этот эксперимент контролирует скорость образования водорода, контролируя концентрацию электролита [13], в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - DC2000 объём двигателя

| DC2000 объём двигателя             | ННО (л/мин) | Рабочий ток (А)<br>начальная | Рабочий ток (А)<br>окончательный |
|------------------------------------|-------------|------------------------------|----------------------------------|
| 1.6 л дизельных - 1.4 л бензиновых | 0.40        | 5.5                          | 6.5                              |
| 1.8 л дизельных - 1.6 л бензиновых | 0.45        | 6.5                          | 7.5                              |
| 2.0 л дизельных - 1.8 л бензиновых | 0.50        | 7.0                          | 8.0                              |
| 2.2 л дизельных - 2.0 л бензиновых | 0.55        | 7.5                          | 9.0                              |
| 2.4 л дизельных - 2.2 л бензиновых | 0.60        | 8.0                          | 10.0                             |

Мы добавляем газ ННО только с одной целью – помочь топливу полноценно сгореть. Если мы добавим слишком много водорода в двигатель, есть вероятность отсутствия экономии топлива, так как мы перегрузим электрический генератор автомобиля, что приведёт к повышению расхода топлива.

### 3.4.4 Уровень воды в баке

Во избежание попадания воды из водяного бака в двигатель через впускной шланг, при заполнении водяного бака его не следует заполнять, примерно 60% объёма впрыскивающего бака, как показано на рисунке 3.9 ниже, впрыскивается в положение водовода водяного бака, это общий объем резервуара для воды составляет 1 литр, который можно использовать примерно до 400 километров.

Поэтому мы непрерывно закачиваем соответствующую воду во время эксперимента, чтобы удовлетворить требования эксперимента.



Рисунок 3.9 - Стандартный уровень

### 3.4.5 Выбор электролита

Зависимость удельной электрической проводимости раствора от концентрации как рисунок 3.10.

Твёрдый промышленный гидроксид калия представляет собой чешуйки, сине-зелёные или лавандовые чешуйки или блоки, а жидкий промышленный гидроксид калия представляет собой бледно-жёлтую или сине-фиолетовую жидкость. Это прочное основание, обладающее сильной коррозионной активностью и удельным весом 2,044. Он легко растворяется в воде и выделяет много тепла при растворении.

Мыло промышленности, используется в химической промышленности для снега крем, шампунь и так далее. Промышленность химического сырья производит различные соли калия, такие как перманганат калия. Также используется в красителях, фармацевтике, гальванике, гравюре, литографии и других отраслях промышленности.

Относительная зависимость между концентрацией раствора КОН и проводимостью при той же температуре как рисунок 3.11.

Внешне гидроксид калия представляет собой кристаллические бесцветные палочки, шарики, хлопья[14].

Концентрация электролита для использования в системе зависит от типа электролита и чистоты продукты. Лучшие электролиты - КОН (гидроксид калия) как рисунок 3.12 и NaOH. Я использовал только электролит ННО КОН ,чтобы обеспечить стабильную и эффективную работу ННО системы [15].



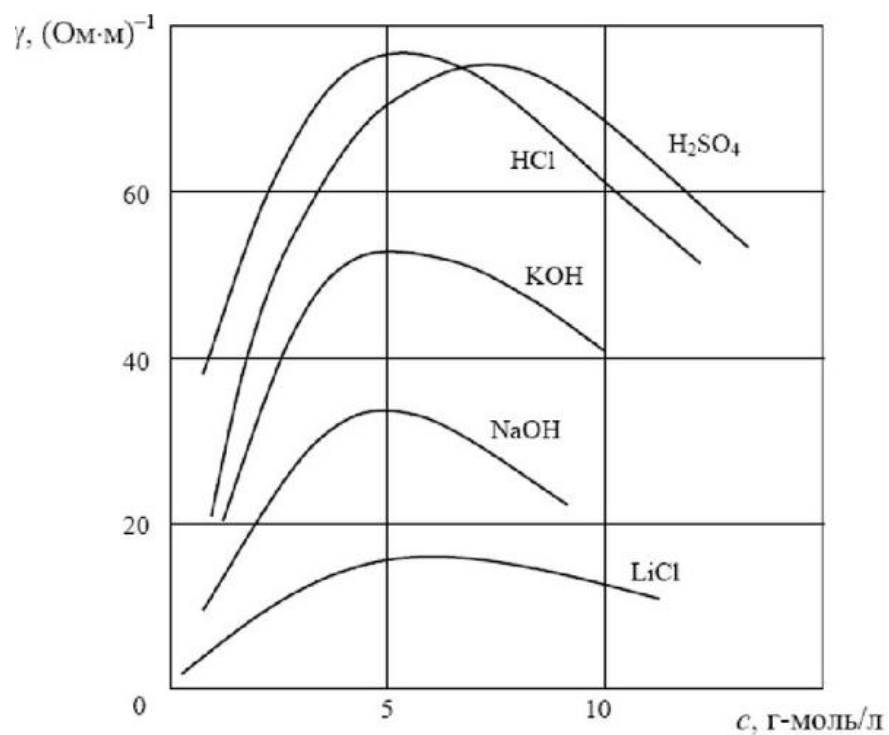


Рисунок 3.10 – Зависимость удельной электрической проводимости раствора от концентрации

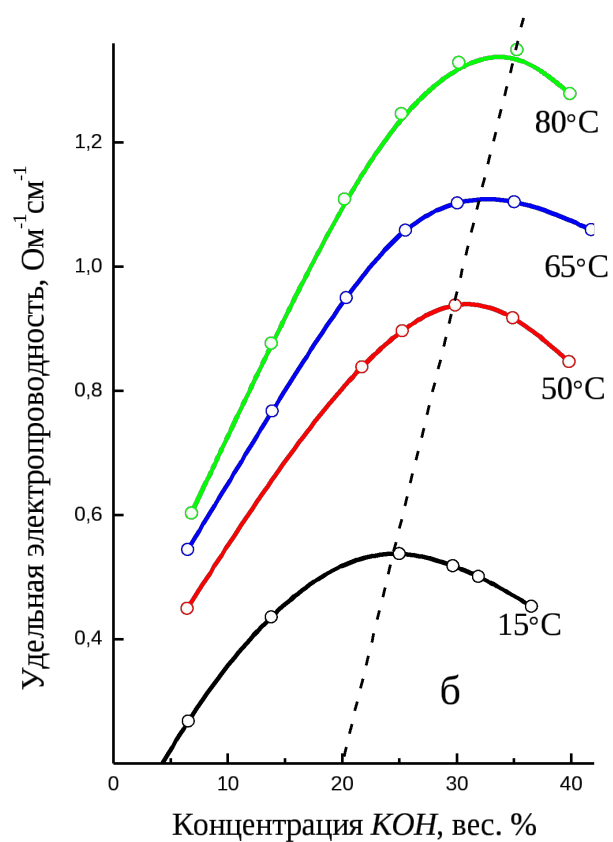


Рисунок 3.11 - Концентрация KOH

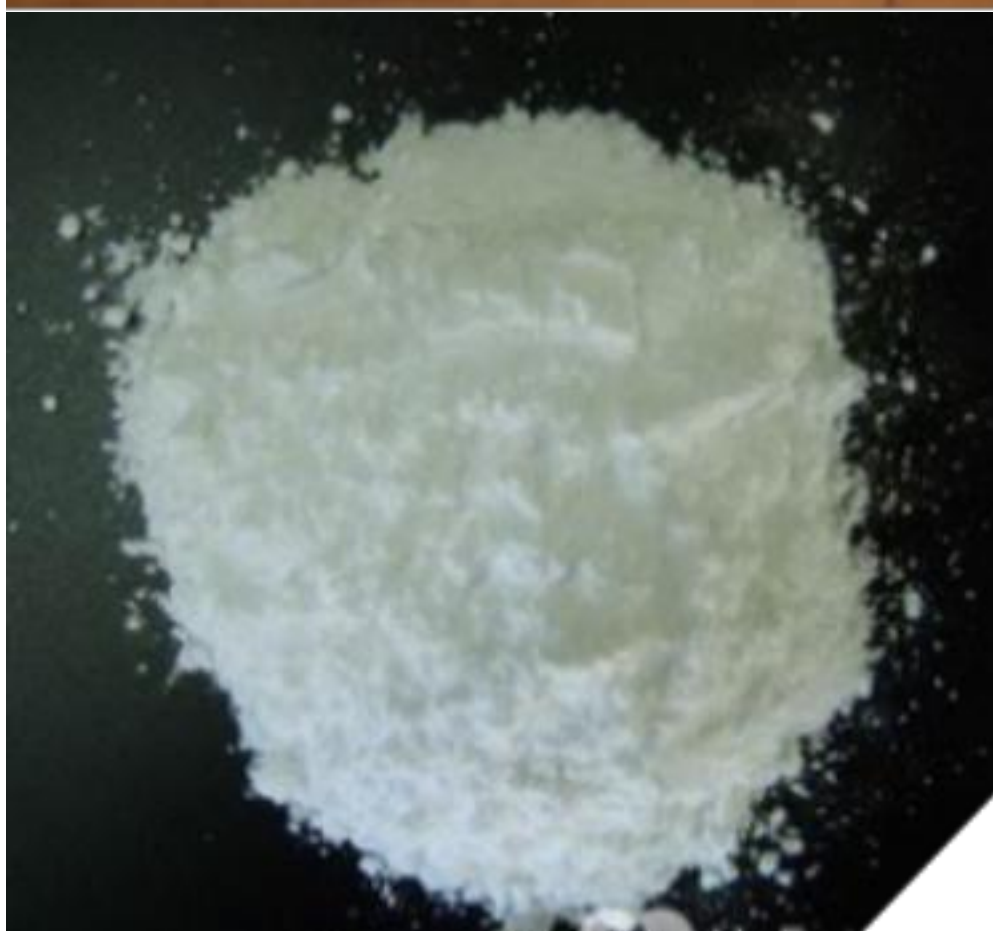


Рисунок 3.12 - Образец гидроксида калия (KOH)

### 3.5 Общие данные для автомобилей с бензиновыми двигателями модели Ситроен 5

Параметры автомобиля для эксперимента, гидрирование – это процесс превращения органических соединений под действием молекулярного водорода. Для изучения влияния гидрирования на потребление бензинового топлива были проведены экспериментальные исследования.

Таблица 3.2 - Данные модели [16] Ситроен 5

|                                                           |            |                             |                 |
|-----------------------------------------------------------|------------|-----------------------------|-----------------|
| Марка                                                     | Ситроен С5 | Расход топлива (л / 100 км) | 10.6            |
| Тип питания                                               | бензин     | Колесная база (мм)          | 2750            |
| Количество клапанов на цилиндр                            | 4          | Коэффициент сжатия          | 10.8            |
| Максимальный крутящий момент (нм / об·мин <sup>-1</sup> ) | 160 / 4000 | Метод подачи нефти          | Прямая инъекция |
| Максимальная скорость (км / ч)                            | 196        | Режим привода               | предвестник     |
| Смещение (л)                                              | 2.0        | Длина (мм)                  | 4620            |
| Объем бака (л)                                            | 66         | Ширина автомобиля (мм)      | 1770            |
| Выбросы CO <sub>2</sub> (г / км)                          | 182        | Высота автомобиля (мм)      | 1480            |

#### 3.5.1 Протокол испытания автомобиля

Протокол испытания автомобиля Ситроен-5, 2003 года выпуска, объем 2,0 л (см. Таблица 3.3) [17]. Испытатели: Чэнь Цань, Сунь Юй, Шалбаев К.К., Мажитов С.Б., Асперов Е.К.

Таблица 3.3 - Ситроен -5, 2003 года выпуска, объем 2,0 л

| 1                                           | 2     |       |       |
|---------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Топливо, марка бензина                      | АИ-92 |       |       |
| Расход топлива с водородом, (л) $G_{сВГ}$   | 6.5   | 4.2   | 57    |
| Пробег автомобиля, (км), с ВГ,              | 109   | 103   | 495.3 |
| Расход топлива без водорода, (л) $G_{бВГ}$  | 6.1   | 7.45  | 65    |
| Пробег автомобиля, (км), без ВГ             | 94    | 103   | 445   |
| Окружающего воздуха, (t°C)                  | 14    | 16    | 17    |
| Груз в автомобиле, (кг)                     | 225   |       |       |
| Средняя скорость, (км/час), с ВГ, $V_{сВГ}$ | 61.23 | 84.43 | /     |
| Средняя скорость, (км/час), ВГ, $V_{бВГ}$   | 79.66 | 82.4  | /     |

Продолжение таблицы 3.3

| 1                                                                  | 2   |      |      |
|--------------------------------------------------------------------|-----|------|------|
| Относительная экономия топлива, (%), $(G_{свг} - G_{бвг})/G_{бвг}$ | 8.4 | 43.6 | 21.2 |
| Концентрация КОН в дистилляте, (г/л)                               | 35  | 50   | 50   |

### 3.5.2 Сравнение выхлопных газов автомобилей Ситроен 5

Газоанализаторы Инфракар М предназначены для измерения объемной доли оксида углерода, углеводородов (в пересчете на гексан), диоксида углерода, кислорода в отработавших газах автомобилей с дизельными и бензиновыми двигателями. Результаты теста показаны на рисунке 3.13, 3.14 и таблице 3.4.



Рисунок 3.13 - Обнаружения выхлопа без ВГ



Рисунок 3.14 - Обнаружения выхлопа с ВГ

Таблица 3.4 - Данные по измерению выхлопного газа автомобиля Ситроен 5

|                                | ДВС с ВГ | ДВС без ВГ |
|--------------------------------|----------|------------|
| Концентрация CO %              | 0.01     | 0.05       |
| CH млн <sup>-1</sup>           | 006      | 044        |
| Концентрация CO <sub>2</sub> % | 15.15    | 15.2       |

Добавление небольшого количества водорода в двигатель, уменьшение выхлопных газов, топлива с водородом CO: 0.01%, CH: 6 млн<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub>: 15.15%; топлива без водорода CO: 0.05%, CH: 44 млн<sup>-1</sup>, CO<sub>2</sub>: 15.2%.

### 3.5.3 Очистка генератора водорода. (КОН)

После того, как генератор водорода будет работать в течение некоторого времени, вода в баке станет коричневой, как рисунок 3.15, 3.16, потому что концентрация электролита в баке (50 г/л) слишком высока, что слишком быстро «проглотит» пластину генератора. Необходимо слить воду в резервуар и использовать новую воду, чтобы начать эксперимент снова.

Стандартный бак имеет объем 1 литр, что даст возможность проехать примерно 400 километров. Слейте раствор и промойте систему водой, чтобы вымыть всю грязь.

Использование генератора водорода в бензиновом двигателе может увеличить эффективность двигателя и снизить расход топлива [18].

Благодаря испытаниям, измерению и использованию генераторов водорода он может улучшить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу выхлопных газов автомобилей [19] и защитить окружающую среду.



Рисунок 3.15 - Очистка генератора водорода



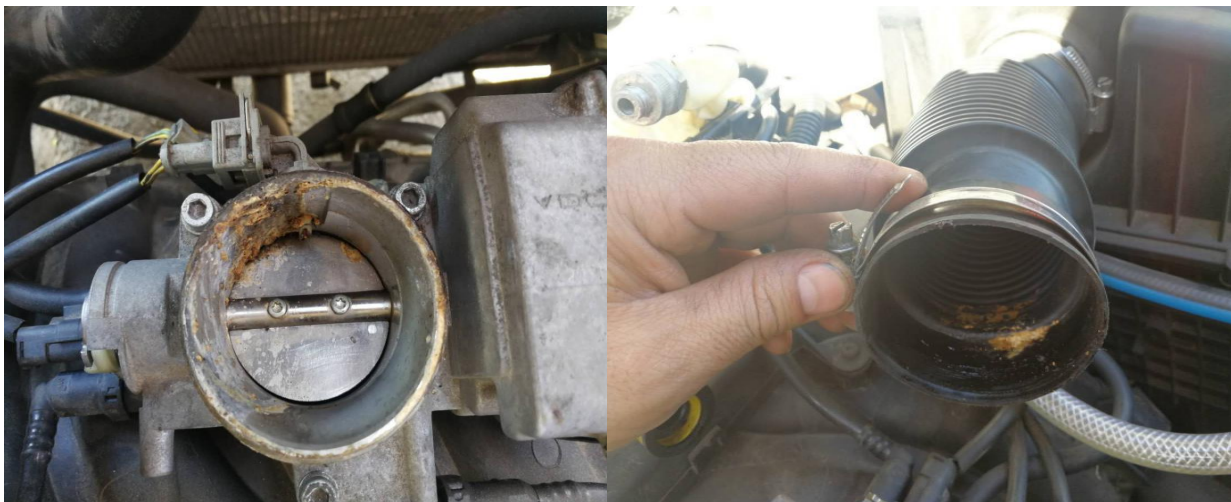


Рисунок 3.16 - Грязь

На скоростной трассе при использовании водородного генератора, когда концентрация гидроксида калия составляет 50 г/л, расход топлива с водородом 4.2 л на 103 км, когда генератор водорода выключен, расход топлива без водорода 7.45 л на 103 км, относительная экономия топлива,  $(G_{свГ} - G_{бвГ}) / G_{бвГ} = 43.6\%$ .

На скоростной трассе при использовании водородного генератора, когда концентрация гидроксида калия составляет 35 г/л, расход топлива с водородом 6.5 л на 109 км, когда генератор водорода выключен, расход топлива без водорода 6.1 л на 94 км, относительная экономия топлива,  $(G_{свГ} - G_{бвГ}) / G_{бвГ} = 8.4\%$ .

По городу Алматы при использовании водородного генератора, когда концентрация гидроксида калия составляет 50 г/л, расход топлива с водородом 57 л на 495.3 км, когда генератор водорода выключен, расход топлива без водорода 65 л на 445 км, относительная экономия топлива,  $(G_{свГ} - G_{бвГ}) / G_{бвГ} = 21.2\%$ .

Поэтому добавление водорода может снизить расход топлива, а при увеличении концентрации кокса (30-50%) расход топлива снижается (8,4% - 43,6%).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальные и исследовательские результаты показывают, что:

1. Добавление водорода в двигатель внутреннего сгорания может снизить расход топлива.

2. Сколько сэкономленного топлива зависит от модели двигателя автомобиля, количества цилиндров, мощности двигателя и т. д.

3. Температура водорода, влажность, концентрация электролита влияют на расход топлива двигателя, высокая диффузионная способность водорода оказывает определённое влияние на увеличение экономии топлива, повышение температуры водорода на впуске может снизить расход топлива на небольшую величину.

4. Скорость двигателя автомобиля, который добавляет водород, влияет на расход топлива.

5. При равном среднем эффективном давлении концентрация выхлопных газов уменьшается с увеличением количества водорода.

6. В условиях малой нагрузки, расход дизельного топлива быстро уменьшается с увеличением объёма водорода. В других условиях нагрузки расход дизельного топлива медленно уменьшается с увеличением содержания водорода. Добавление водорода более чувствительно к улучшению расхода дизельного топлива при низкой нагрузке.

7. Добавление водорода в дизельные двигатели может снизить потребление дизельного топлива, это подтверждает, что добавление водорода может значительно увеличить экономию топлива для дизельного топлива и замедлить истощение нефтяных ресурсов.

8. Добавление водорода в двигатель внутреннего сгорания может снизить выбросы выхлопных газов автомобиля и уменьшить загрязнение окружающей среды, концентрация выбросов  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{CO}_2$  связана с количеством водорода, добавляемого в двигатель, в условиях равной нагрузки выброс  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{CO}$  постепенно уменьшается с увеличением количества водорода, а количество водорода оказывает более существенное влияние на выброс  $\text{CO}_2$  при низкой нагрузке.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ЧжанБо, Фу Вейбяо, «Влияние водорода на потребление дизельного топлива», «Наука и техника горения», том 12, выпуск 3, 2006,03.
- 2 Цуй Керун, Гао Сяохун, Тимошевский Б.Г. и др. Исследование гидрирования дизельного топлива для снижения расхода топлива [J]. Журнал Уханьского института инженеров водного транспорта, 1992, 16 (3): 253-259.
- 3 <https://max.book118.com/html/2015/0703/20310199.shtm>.
- 4 Шалбаев К.К., Торгаев Р.А., Кожатаев С.К., ЧэньЦань, «Транспортировка скоропортящихся продуктов питания авторефрижераторами»,научно-техническая конференция// Казахстан-Холод 2018: Сборник докладов VIII международная научно-техническая конференция (15-16 марта 2018 г.) – Алматы: АТУ, 2018. – С. 206-209. – ISBN 978-601-263-425-9.
- 5 Шалбаев К.К., Торгаев Р.А., Цой А.П., ЧэньЦань, «Современные авторефрижераторы для перевозки скоропортящихся продуктов питания и их особенности», // Труды международной научно-практической конференции «Современные инновационные системы машиностроения и транспорта, интеграция науки, образования и бизнеса» – Алматы: Национальная академия наук машиностроения и транспорта республики Казахстан, 2018. – С. 60-62. – ISBN 978-601-212-067-7.
- 6 <http://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFD9093&filename=JTKJ199203002&v=MDAwNDFyQ1VSTETmWmVkcEZ5L2hWcjNJTnpuQVpMS3hGOVBNckk5RlpuUjhlWDFMdXhZUZdEaDFUM3FUcl dNMUY=>.
- 7 Senthil Kumar M , Ramesh A, Nagalingam B. Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fueled compression ignition engine [J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2003,28:1143-1154.
- 8 Naber J D, Sieberg D L.Hydrogen combustion under diesel engine conditions[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 1998 , 23 (5) :363-371.
- 9 ЦуйКерун, ГаоСяохун, ТимошевскийБ.Г. и др. Исследование гидрирования дизельного топлива для снижения расхода топлива [J]. Журнал Уханьского института инженеров водного транспорта, 1992, 16 (3): 253-259.
- 10 Hou Lingyun , Fu Weibiao . Study on the mechanism of saving fuel consumption for emulsified fuel with wall catalytic reforming reaction [J]. Combustion Science and Technology, 2005, 177(4):671-689.
- 11 INFOMINE RESEARCH GROUP. Обзор рынка водорода в России. [www.infomine.ru](http://www.infomine.ru). Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов, металлургии и химической промышленности. Издание 2-ое, дополненное и переработанное. Демонстрационная версия, Москва, июнь, 2011.
- 12 <https://www.syl.ru/article/193464/newvodorodnyie-generatoryi-dlya-avtomobilya-svoimi-rukami-cherteji-shemyi-i-rukovodstvo>.
- 13 [https://www.hho-plus.com/manuals/Russian\\_manual.pdf](https://www.hho-plus.com/manuals/Russian_manual.pdf).

- 14 [https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроксид\\_калия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроксид_калия).
- 15 <http://www.neboleem.net/gidroksid-kalija.php>.
- 16 CITROENC5 руководство пользователя.
- 17 <http://www.cqvip.com/QK/71899X/201811/epub1000001493043.html>.
- 18 Чэнь Цань, Сунь Юй, Шалбаев К.К. Использование водородных генераторов в автомобильных двигателях для снижения расхода топлива // «Промышленность А» – г. Пекин, 2018. – С. 60-61, ISSN 1671-5799(2018)11-0060-02.
- 19 Шалбаев К.К., Торгаев Р.А., Козбагаров Р.А., ЧэньЦань, «Снижения расхода дизельного топлива и выбросов вредных веществ в двигателях внутреннего сгорания с применением генератора водорода». // Труды международной научно-практической конференции «Современные инновационные системыма шиностроения и транспорта, интеграциянауки, образования и бизнеса» – Алматы: Национальная академия наук машиностроения и транспорта республики Казахстан, 2018. – С. 62-65. – ISBN 978-601-212-067-7.



## Отзыв

научного руководителя Шалбаев К. К. на диссертационную работу Чэнь Цань: «Использование генераторов водорода в двигателях внутреннего сгорания для снижения расхода дизельного топлива и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду», представленную на соискание ученой степени магистра технических наук по специальности 6М071300– «Транспорт, транспортная техника и технологии».

Диссертационная работа Чэнь Цань посвящена использованию водородных технологий в автомобилях для снижения расхода топлива и снижения вредных выбросов. Работа содержит ряд новых оригинальных результатов, имеющих научно-практическое значение. Автор объединил экспериментальные результаты разных марок двигателей и Citroen C5.

Автор провел: сборка генератора водорода, подключение источника питания постоянного тока (аккумулятор), расчет расхода топлива водородного генератора в городских и пригородных районах, измерение компонентов выхлопа автомобиля.

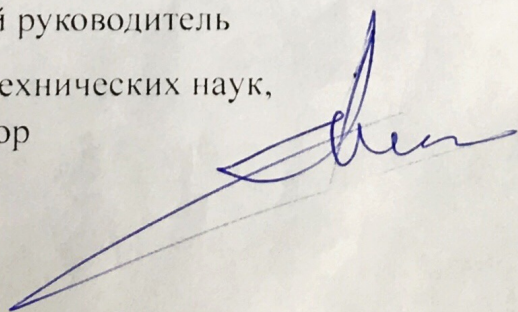
Результатом этого стало то, что использование водородных генераторов на двигателях внутреннего сгорания может снизить расход топлива, сэкономить нефтяные ресурсы и уменьшить загрязнение окружающей среды, вызванное выбросами остаточных газов.

В работе автор проявил себя, вдумчивым и зрелым исследователем, способным самостоятельно формулировать цели и задачи исследования. Сделанные в работе выводы верны. В процессе работы над диссертацией проанализировано достаточное количество литературных источников.

Диссертация Чэнь Цань является завершенным научным исследованием, соответствует требованиям, предъявляемым к работам на соискание ученой степени магистра технических наук по специальности 6М071300– «Транспорт, транспортная техника и технологии», а ее автор заслуживает присуждения ученой степени магистра технических наук.

Научный руководитель  
доктор технических наук,  
профессор

Шалбаев К.К.





РЕЦЕНЗИЯ

на Математическую Диссертацию  
(наименование вида работы)

Чай Узнь

(Ф.И.О. обучающегося)

6М071300 - Транспорт, прикладная техника и технологии

(шифр и наименование специальности)

На тему: Использование водородного двигателя внутреннего сгорания для  
снижения расхода дизельного топлива и уменьшения вредных выхлопов в окружающую  
среду.

Выполнено:

а) графическая часть на \_\_\_\_\_ листах

б) пояснительная записка на \_\_\_\_\_ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

По рецензируемой работе имеются следующие замечания:  
неаккуратное оформление таблицы

Оценка работы  
Уровень научной подготовки, с которой автором представлена к  
защите диссертационная работа, позволяет считать, что Чай Узнь,  
заслуживает оценки «отлично» - 90% и присуждений ему академической  
степени магистра по специальности 6М071300 - «Транспорт, прикладная техника и технологии».

Рецензент

К.Т.Н.В., Есманалиев М.Н.

(должность, уч. степень, звание)

Ф. И.О.

31 05

(подпись)

2019 г.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Начальник ОУП





## Отчет подобия



|                                           |                                                                                                                                                               |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Университет:                              | Satbayev University                                                                                                                                           |
| Название:                                 | Использование генераторов водорода в двигателях внутреннего сгорания для снижения расхода дизельного топлива и уменьшения вредных выбросов в окружающую среду |
| Автор:                                    | Чэнь Цань                                                                                                                                                     |
| Координатор:                              | Калманбет Шалбаев                                                                                                                                             |
| Дата отчета:                              | 2019-05-30 07:44:09                                                                                                                                           |
| Коэффициент подобия № 1:                  | 1,3%                                                                                                                                                          |
| Коэффициент подобия № 2:                  | 0,0%                                                                                                                                                          |
| Длина фразы для коэффициента подобия № 2: | 35                                                                                                                                                            |
| Количество слов:                          | 6 126                                                                                                                                                         |
| Число знаков:                             | 45 177                                                                                                                                                        |
| Адреса пропущенные при проверке:          |                                                                                                                                                               |
| Количество завершенных проверок:          | 93                                                                                                                                                            |



К вашему сведению, некоторые слова в этом документе содержат буквы из других алфавитов. Возможно - это попытка скрыть позаимствованный текст. Документ был проверен путем замещения этих букв латинским эквивалентом. Пожалуйста, уделите особое внимание этим частям отчета. Они выделены соответственно. Количество выделенных слов 16

- ☐ Самые длинные фрагменты, определенные, как подобные
- ☐ Документы, содержащие подобные фрагменты: Из домашней базы данных
- ☐ Документы, содержащие подобные фрагменты: Из внешних баз данных
- ☐ Документы, содержащие подобные фрагменты: Из интернета

## Детали отчета подобия

Фрагменты, найденные в документах базы данных отмечены красным цветом.  
Фрагменты, найденные в интернете отмечены в зеленым .  
Фрагменты, найденные в базе данных Юридических актов отмечены синим фоном .

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В последние годы автомобильная промышленность в мире развивается ослепительными темпами. С другой стороны, недостаточно производство нефтепродуктов и все более серьезное загрязнение окружающей среды, вызванное выбросами автомобильных выхлопов создает серьезные проблемы для дальнейшего развития автомобильной промышленности. Водород, как альтернативное моторное топливо, имеет свои уникальные преимущества в улучшении экономии топлива и сокращении выбросов вредных веществ двигателя. Производство двигателя на базе дизельного топлива с добавлением водорода в топливную смесь является важным