

## РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ НА ВОДОРОДЕ

*Онищенко Д.О., Прядкин В.И., Артёмов А.В., Татаринцев В.Ю., Сотников Д.А.*

*Воронежский государственный лесотехнический университет*

*имени Г.Ф. Морозова, Воронеж*

**Ключевые слова:** водород, дизель, рабочие процессы двигателя, альтернативные источники энергии, экспериментальная оценка, транспорт.

**Аннотация.** В статье рассматриваются теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов ДВС с применением водородного топлива, данные исследования проводились на лабораторной установке на базе ДВС 1ЧН24/30 в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Так для обеспечения самовоспламенения водорода необходимо максимально повышать степень сжатия и отслеживать в реальном времени другие параметры. Сочетание различных конструкций камер сгорания и топливных форсунок, параметров впрыскивания водорода позволяют минимизировать концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания водородного дизеля и тем самым сохранить высокий КПД двигателя.

## COMPUTATIONAL AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE OPERATION OF A DIESEL ENGINE WITH HYDROGEN

*Onishchenko D.O., Pryadkin V.I., Artyomov A.V., Tatarintsev V.Yu., Sotnikov D.A.*

*Voronezh state forestry engineering University named after G.F. Morozov, Voronezh*

**Keywords:** hydrogen, diesel, engine operating processes, alternative energy sources, experimental evaluation, transport.

**Abstract.** The article discusses theoretical and experimental studies of internal combustion engine operating processes using hydrogen fuel, these studies were conducted at a laboratory facility based on the internal combustion engine 1CHN24/30 at the Bauman Moscow State Technical University. Thus, to ensure the spontaneous combustion of hydrogen, it is necessary to maximize the compression ratio and monitor other parameters in real time. The combination of different designs of combustion chambers and fuel injectors, as well as hydrogen injection parameters, make it possible to minimize the concentration of nitrogen oxides in the combustion products of hydrogen diesel and thereby maintain high engine efficiency.

В условиях нарастающего энергетического кризиса, особую актуальность приобретают альтернативные источники энергии. Среди множества перспективных направлений особое место занимает водородная энергетика.

Водородная энергетика представляет одно из перспективных направлений развития транспортной инфраструктуры. Автомобили на водородном топливе имеют огромный потенциал для дальнейшего массового развития. Водородные двигатели представляют собой перспективное направление развития автомобильной промышленности [1, 2].

Водород как энергоноситель обладает целым рядом характеристик, делающих его перспективным источником энергии: экологически безопасен; единственным продуктом сгорания является вода; обладает высокой энергоёмкостью и превосходит традиционные виды топлива; он возобновляем – возможность получения из неисчерпаемых источников; быстрота заправки.

Применение водорода в качестве топлива в поршневых двигателях автомобилей возможно двумя путями. Первый вариант – применение водорода в газообразном состоянии, в этом случае требуются минимальные изменения в конструкции ДВС, что позволяет конвертировать серийные двигатели. Второй вариант – использование водорода в жидком состоянии, что требует установки специального холодильного оборудования, обеспечивающего температуру – 2520...2590°С. В настоящее время наибольшее распространение получил первый вариант использования водорода в качестве топлива для автомобилей [3]. Однако рабочий цикл поршневого двигателя при работе на водородном топливе требует проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

В МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре Э-2 «Поршневые двигатели» под руководством и при непосредственном участии д.т.н. Онищенко Д.О. были проведены расчетно-экспериментального исследования влияния водородного топлива на режимы работы поршневого двигателя внутреннего сгорания.

Для проведения исследований была разработана комплексная математическая модель на основе уравнений переноса в форме Рейнольдса, стандартной модели теплообмена, модели сгорания Магнуссена-Хайтагера а также в модели учитывался расширенный термический механизм образования NOx Я.Б. Зельдовича [4].

Целью исследований являлось: оценка влияния конструктивных изменений в двигателе, а также режимов работы на характер протекания рабочих процессов.

Теоретические и экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке на базе ДВС 1СН24/30. Экспериментальные исследования проводили при работе поршневого двигателя на обоих видах топлив (рис. 1).

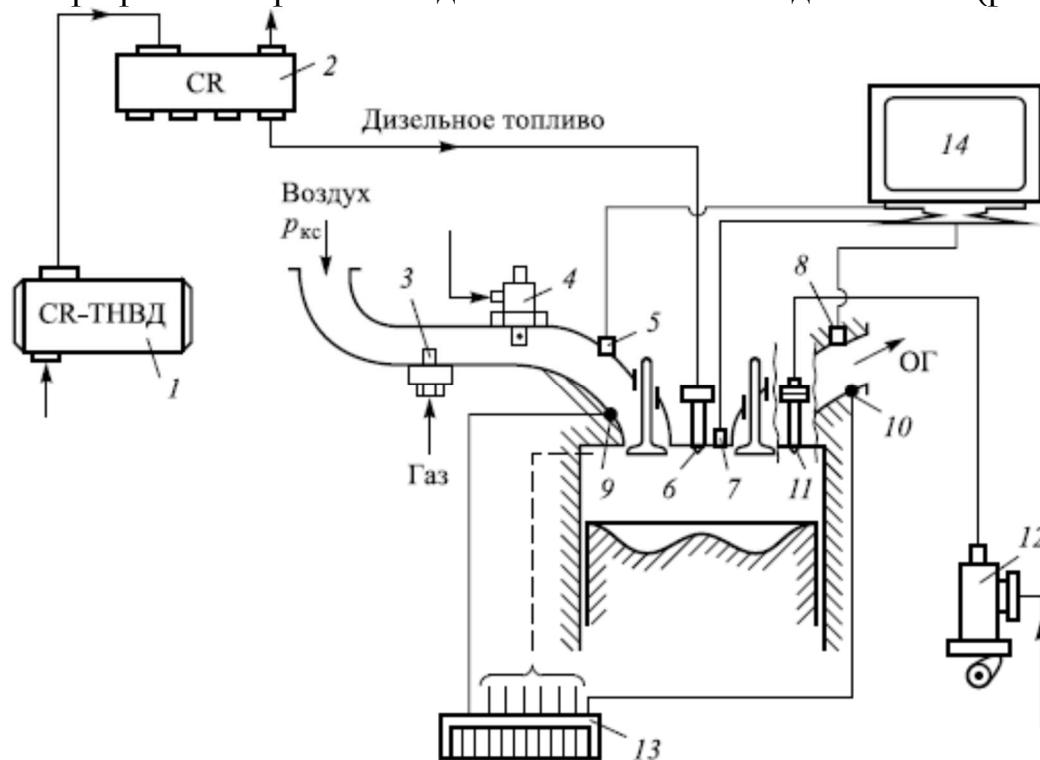


Рис. 1. Схема экспериментального дизеля для испытаний в водородном варианте:  
 1 – ТНВД CR-системы; 2 – гидроаккумулятор CR-системы; 3 – инжектор для подачи горючего газа; 4 – свеча накаливания; 5, 8 – датчики давления;  
 6 – электрогидравлическая форсунка CR-системы; 9, 10 – термопары; 11 – серийная форсунка; 12 – серийный ТНВД; 13 – пульт регистрации температуры; 14 – компьютер

Экспериментально установлено, что, что подачу газа в цилиндр ДВС необходимо совершать при высоком давлении и повышенной температуре подаваемого при впуске воздуха. Поэтому при работе на жидком топливе устанавливали поршни с камерой сгорания при степени сжатия 16,8, а на газообразном топливе – 17,6 (рис. 2).

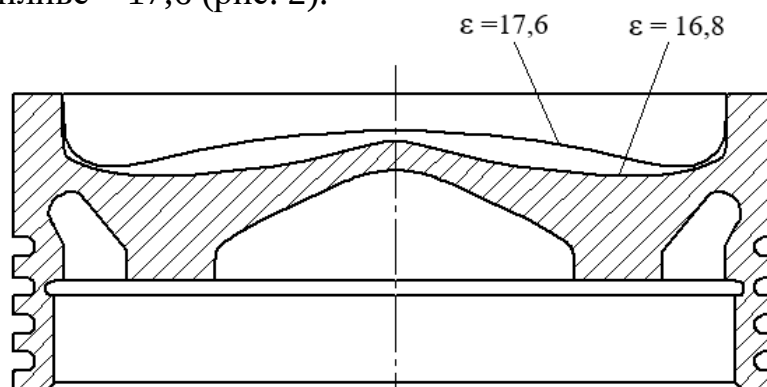


Рис. 2. Фомы поршней с различными камерами сгорания

Для обеих конструкций поршней испытания проводились при следующих параметрах: частота вращения  $n = 800 \text{ мин}^{-1}$ ; вихревое число  $D_n = 1,36$ ; угол опережения впрыска топлива  $\varphi_{овт} = 15^\circ$  до ВМТ; продолжительность подачи водорода  $\varphi_{впр} = 30^\circ$  (с  $345^\circ$  до  $375^\circ$ ); цикловая подача водорода  $m_{\text{ц}} = 0,33 \text{ г/цикл}$ ; коэффициент избытка воздуха  $\alpha_{\text{е}\Sigma} = 2,5$ ; давление наддува  $p_k = 2$ ; температура впускного воздуха  $t_k = 62^\circ\text{C}$ .

Сравнение результатов теоретических исследований при работе двигателя на жидких и газообразных видах топлив приведены на рисунках 3-5.

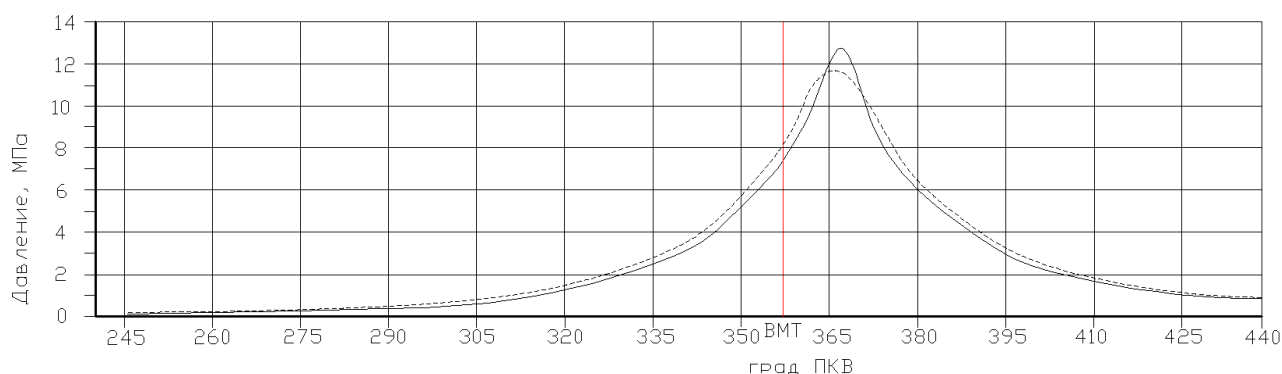


Рис. 3. Индикаторные диаграммы дизеля при работе дизеля на жидких и газообразных видах топлив

Экспериментально установлено, что впрыскивание водорода с углом опережения впрыска на  $60^\circ$  до верхней мертвой точки приводит к тому, что давление газов при сгорании растет не резко, а в момент воспламенения имеется место небольшой скачок давления (рис. 4).

Оптимальное сочетание конструкций камеры сгорания и форсунки, параметров впрыскивания водорода (угол опережения, продолжительность и закон впрыскивания, цикловая доза), позволяет минимизировать концентрацию оксидов азота в продуктах сгорания водородного дизеля и одновременно сохранить высокое значение КПД (рис. 5).

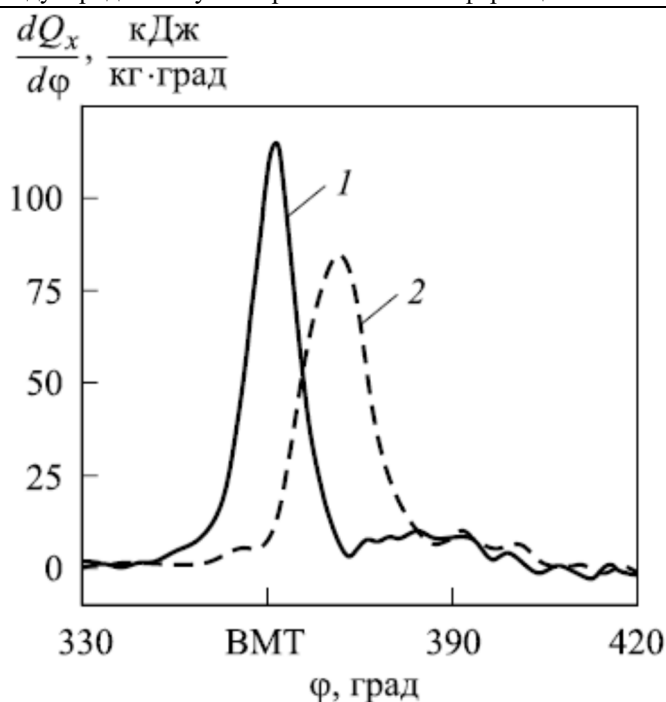


Рис. 4. Влияние угла опережения впрыскивания водорода на скорость тепловыделения

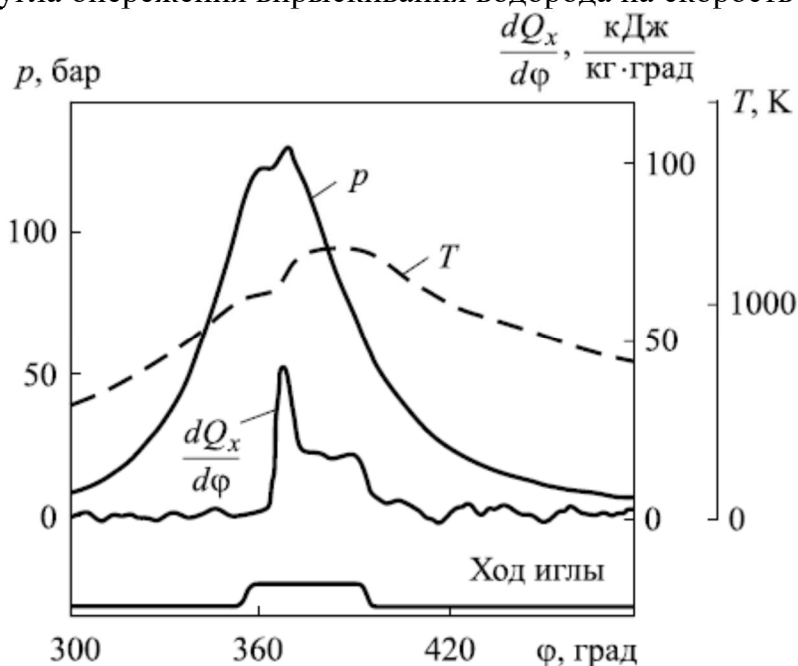


Рис. 5. Оптимальные параметры ДВС по экологическим показателям при работе на разных видах топлив

### Выводы

1. Теоретические и экспериментальные исследования рабочих процессов ДВС с применением водородного топлива являются актуальными и крайне важными направлениями.

2. Для обеспечения гарантированного самовоспламенения водорода необходимо максимально повышать степень сжатия, одновременно регулируя и другие параметры.

3. При увеличении угла опережения впрыскивания топлива скорости тепловыделения и среднемассовые температуры повышаются. Более низкие скорости тепловыделения снижают тепловую и механическую нагрузку на детали двигателя.

### Список литературы

1. Петров В.М. Альтернативная энергетика XXI века. – М.: URSS, ЛЕНАНД, 2019. – 220 с.
2. Решетникова М.С., Гомонов К.Г. Анализ политики ведущих стран в сфере развития водородной энергетики // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2024. – Т. 20, №5. – С. 989-1002. – doi.org/10.24891/ni.20.5.989.
3. Ходжаев П.Д. Некоторые особенности применения зеленых технологий в сфере автомобильного транспорта // 15 мая 2025 года. – 2025. – С. 168-171.
4. Краснова Е.В. Улучшение экологических характеристик водородного дизеля усовершенствованием рабочего процесса: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2015. – 137 с.

### Сведения об авторах:

*Онищенко Дмитрий Олегович* – д.т.н., профессор кафедры поршневых двигателей;

*Прядкин Владимир Ильич* – д.т.н., профессор кафедры автомобилей и сервиса;

*Артёмов Артём Владимирович* – к.т.н., доцент кафедры автомобилей и сервиса;

*Татаринцев Василий Юрьевич* – ассистент кафедры автомобилей и сервиса;

*Сотников Дмитрий Андреевич* – студент.