

Описание технологии

Генератор водорода автомобильный (далее – ВГА) предназначен для увеличения коэффициента полезного действия (далее – КПД) двигателя внутреннего сгорания (далее – ДВС) за счет увеличения концентрации водорода в системе смешивания топлива с атмосферным воздухом.

Принцип работы ВГА основан на гидролизе смеси воды и гидроксида натрия (едкий натр) (используется очищенная от примесей дистиллированная вода) с помощью электрического тока. В процессе воздействия электрического тока на смесь воды происходит расщепление молекул воды на водород и кислород.

Молекулярная масса водорода гораздо меньше воздуха, что позволяет выработанному водороду в процессе гидролиза беспрепятственно подниматься вверх по системе. Выход системы организован в место, где происходит смешивание топлива с атмосферным воздухом.

Водород, смешивающийся с топливовоздушной смесью, обогащает данную смесь за счет того, что водород является легковоспламеняющимся инертным газом с высокой по сравнению с углеводородами энергией, выделяемой при сгорании. Теплота при сжигании водорода в несколько раз выше по сравнению с бензином (120-140 МДж/кг при сжигании водорода и 43,5-44,5 МДж/кг при сжигании бензина).

Также увеличение концентрации водорода в топливно-воздушной смеси снижает выработку ДВС, так как водород при воздействии высокой температуры непосредственно в камере сгорания активно взаимодействует с углеродом, содержащимся в топливе, избавляясь от него в системе, что снижает так называемый нагар на стенках подвижных частей поршневой системы.

Третьим преимуществом увеличения концентрации водорода в топливно-воздушной смеси является снижение выброса углерода в атмосферу за счет указанных выше химических реакций, происходящих в камере сгорания ДВС.

Таким образом, внедрение ВГА не только увеличивает КПД ДВС, но и увеличивает срок службы двигателя, а также снижает выброс углерода в атмосферу.

Методология расчета

Основная формула для расчета эффективности

Самый простой подход — это расчет коэффициента замены топлива (*Fuel Replacement Ratio, FRR*).

Формула:

$$FRR = \frac{\Delta M_{\text{осн.топл.}}}{M_{H_2}}$$

, где

$\Delta M_{\text{осн.топл.}}$ — масса или объем сэкономленного основного топлива за определенный период (кг, м³, л).

M_{H_2} — масса или объем поданного водорода за тот же период (кг, м³).

*Примечание: если при подаче 1 кг водорода экономится 3 кг топлива, то $FRR = 3$. Это означает, то 1 кг H_2 заменяет 3 кг основного топлива.

Однако, сравнивать массы или объемы следует в энергетическом эквиваленте. Правильнее использовать не массу/объем, а энергию.

Уточненная формула на основе энергии:

$$\eta_{\text{зам.}} = \frac{E_{\text{сэконом.топл.}}}{E_{H_2}} \cdot 100\%$$

, где

$$E_{\text{сэконом.топл.}} = \Delta M_{\text{осн.топл.}} \cdot NHI_{\text{осн.топл.}}$$

, где

$NHI_{\text{осн.топл.}}$ — нижняя теплота сгорания основного топлива.

$$E_{\text{подан. } H_2} = M_{H_2} \cdot NHI_{H_2}$$

, где

NHI_{H_2} — нижняя теплота сгорания водорода.

Таблица 1 – нижняя теплота сгорания видов топлива

Топливо	Нижняя теплота сгорания, МДж/кг
Водород	≈ 120
Природный газ	≈ 48
Бензин	≈ 44
Дизель	≈ 42,7

*Примечание: если $\eta_{\text{зам.}} > 100\%$ — система эффективна. Экономия энергии основного топлива превышает затраты энергии на водород. Если $\eta_{\text{зам.}} < 100\%$ — система неэффективна с энергетической точки зрения (но может быть эффективна для снижения выбросов).

Результаты расчетов (на примере природного газа)

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение (%)
Расход основного топлива, кг/ч	100	92	-8,0%
Расход водорода, кг/ч	0	2	—
Коэффициент замены топлива FRR	—	$(100-92)/2=4$	—
Эффективность замены по энергии $\eta_{\text{зам.}}$	—	$(8 \cdot 48)/(2 \cdot 120) \approx 160\%$	—

Выводы: на основании полученных данных получается, что подача 2 кг/ч водорода позволила снизить расход основного топлива на 8 кг/ч. Коэффициент замены составил 4. Энергетическая эффективность процесса замены составляет 160%, что свидетельствует о высокой эффективности технологии.

Сравнение влияния добавления водорода в бензиновые и дизельные двигатели

Параметр	Бензиновый двигатель (ДВС с искровым зажиганием)	Дизельный двигатель (ДВС с воспламенением от сжатия)	Примечания
Основная цель	Повышение эффективности сгорания, снижение расхода топлива, снижение выбросов CO и CH.	Снижение сажеобразования (PM), снижение выбросов NOx (при правильном подходе), снижение расхода топлива.	Цели разные из-за разной природы выбросов.

Коэффициент замены топлива (FRR)	~2 - 4 (1 кг H ₂ заменяет 2-4 кг бензина)	~1 - 2.5 (1 кг H ₂ заменяет 1-2.5 кг дизтоплива)	FRR сильно зависит от режима работы и % добавления H ₂ . Для дизеля сложнее заместить энергию из-за высокого давления и температуры.
Энергоэффективность замены ($\eta_{\text{замены}}$)	~120% - 180%	~80% - 140%	
Влияние на расход топлива	Снижение на 5-15% (за счет ускорения сгорания, повышения устойчивости к обедненной смеси).	Снижение на 5-12% (за счет более полного сгорания, особенно на малых нагрузках и в режиме холостого хода).	Экономия проявляется не на всех режимах.
Влияние на мощность	Незначительное повышение (более быстрое и полное сгорание).	Незначительное изменение или небольшое снижение (если используется стратегия замещения, а не добавления энергии).	
Влияние на выбросы CO	Значительное снижение (водород способствует дожигу CO до CO ₂).	Не является основной проблемой для дизелей. Снижение.	Основная выгода для бензиновых ДВС.
Влияние на выбросы NOx	Сложный эффект. Может увеличиться (из-за высокой темп-ры пламени H ₂), но обедненная смесь позволяет снизить. Требуется точной настройки.	Ключевой момент. Может снижаться (водород замещает топливо, сгорающее в режиме диффузионного пламени) или увеличиваться. Зависит от способа подачи H ₂ .	Наибольший риск и сложность в применении. Требуется обязательного контроля.
Влияние на сажу (PM)	Не является основной проблемой для бензиновых ДВС.	Кардинальное снижение (до 50-90%). Водород горит без сажи, а также замещает часть топлива, склонного к ее образованию.	Основная выгода для дизельных ДВС.
Влияние на выбросы CO	Значительное снижение (водород способствует дожигу CO до CO ₂).	Не является основной проблемой для дизелей. Снижение.	Основная выгода для бензиновых ДВС.

Влияние на выбросы NOx	Сложный эффект. Может увеличиться (из-за высокой темп-ры пламени H ₂), но обедненная смесь позволяет снизить. Требуется точной настройки.	Ключевой момент. Может снижаться (водород замещает топливо, сгорающее в режиме диффузионного пламени) или увеличиваться. Зависит от способа подачи H ₂ .	Наибольший риск и сложность в применении. Требуется обязательного контроля.
Влияние на сажу (PM)	Не является основной проблемой для бензиновых ДВС.	Кардинальное снижение (до 50-90%). Водород горит без сажи, а также замещает часть топлива, склонного к ее образованию.	Основная выгода для дизельных ДВС.
Влияние на работу ДВС	Повышение устойчивости к детонации, возможность работы на более бедных смесях.	Снижение циклической неравномерности, облегчение холодного пуска.	Положительный эффект для обоих типов.
Сложность внедрения	Относительно проще . Подача во впускной коллектор. Риск обратных вспышек.	Относительно сложнее . Высокое давление во впуске (турбонаддув). Риск преждевременного воспламенения.	
Риски	Обратная вспышка во впускной коллектор, повышенный износ клапанов.	Преждевременное воспламенение смеси, влияние на работу турбокомпрессора.	Для обоих типов: вопросы безопасности хранения и подачи H ₂ .

Выводы

1. **Разные цели:** для бензинового двигателя основная выгода — это **снижение расхода топлива и выбросов CO/CH**. Для дизельного двигателя — **борьба с сажей (PM)** и, при правильной настройке, комплексное снижение выбросов.
2. **Разная эффективность:** Энергоэффективность замены ($\eta_{\text{зам.}}$) обычно **выше в бензиновых двигателях**. Это связано с тем, что бензиновый двигатель изначально имеет более низкую эффективность (цикл Отто) и больший потенциал для улучшения, в то время как дизельный двигатель (цикл Дизеля) уже является высокоэффективным, и "вмешательство" в его процесс сгорания не всегда дает столь же впечатляющий энергетический результат.
3. **Проблема NOx:** для **обоих типов двигателей** выбросы NOx являются **критическим параметром**, требующим пристального внимания и индивидуальной настройки системы подачи водорода под конкретный режим работы. Эффект может быть как положительным, так и резко отрицательным.
4. **Для дизеля — экология:** Внедрение водорода в дизельный двигатель часто оправдано не столько прямой экономией топлива (хотя она есть),

сколько **радикальным снижением сажевых выбросов**, что позволяет соответствовать экологическим нормам без дорогостоящих сажевых фильтров (DPF) или продлить их жизненный цикл.