

ОПТИМАЛЬНЫЕ ВОДОРОДНЫЕ ДОБАВКИ К ТОПЛИВУ СУДОВЫХ ДВС**1. Анализ состояния проблемы, постановка цели и задач исследования**

Истощение природных запасов органических топлив и непрерывно растущие цены на них обострили проблему замены углеводородных топлив альтернативными. Последние годы в качестве реальной альтернативы для тепловых двигателей рассматривается водород, который обладает рядом преимуществ по сравнению с органическими топливами: на порядок более высокими скоростью горения и коэффициентом диффузии; большей почти в три раза теплотворной способностью; широкими концентрационными пределами воспламеняемости и горения; небольшой излучающей способностью пламени, обеспечивающей снижение радиационного теплообмена со стенками цилиндра.

Однако высокая стоимость получения водорода и трудности его хранения в больших объемах отодвигают решение вопроса полного перевода двигателях внутреннего сгорания (ДВС) на водородное топливо на неопределенное время. Очевидно, что в настоящее время наиболее приемлемым вариантом являлось бы применения водорода в качестве небольших добавок к традиционному дизельному топливу, не создающих особых проблем, связанных с производством и хранением водорода.

Эффективность использования водородных добавок к дизельному топливу обычно оценивают традиционными экономическими и энергетическими показателями – по изменению удельного расхода топлива и КПД двигателя. Очевидно, что эффект от применения добавок зависит от относительного, приходящегося на единицу основного топлива, их количества и режимов работы двигателя.

Целью исследования является определение оптимальной относительной величины добавки водорода к дизельному топливу, обеспечивающей максимальные удельные приращение КПД двигателя и сокращение расхода основного топлива.

2. Экспериментальное исследование работы дизеля на водородных добавках и анализ результатов

С целью исследования влияние водородных добавок к дизельному топливу на экономичность и энергетическую эффективность высокооборотных двигателей и определения оптимального, с точки зрения достижения максимального удельного эффекта, количества этих добавок были проведены экспериментальные исследования судового высокооборотного дизеля без наддува марки 2 Ч 13,5/14 номинальной мощностью $N_{\text{ном}} = 29,4$ кВт и с номинальной частотой вращения коленчатого вала 1500 об/мин [1, 2]. Небольшие добавки водорода подавались в двигатель со свежим зарядом воздуха через всасывающий коллектор. Этот способ выгодно отличается от других тем, что не требует сложных дополнительных устройств и высоких давлений водорода, что позволяет использовать его в двигателях внутреннего сгорания на транспортных средствах.

Испытания двигателя проводились по двум нагрузочным характеристикам, по которым работают дизельгенераторы: при постоянных частотах вращения коленчатого вала: $n = 1500$ об/мин (номинальная) и 920 об/мин (минимально устойчивая). В настоящей работе представлены данные испытаний двигателя при $n = 1500$ об/мин. Результаты, полученные при $n = 920$ об/мин, подтверждают приведенных здесь выводы.

Исследования проводились на четырех режимах с относительными мощностями $\bar{N}_e = N_e / N_{\text{ном}}$, равными 1,0; 0,75; 0,50; 0,25. На каждом режиме работы двигателя (при относительной мощности $\bar{N}_e$) определялся удельный эффективный расход дизельного топлива без применения добавок водорода g_e , г/(кВт·ч) и с добавками водорода g_e^H . Все замеры выполнялись на каждом режиме по несколько раз, а затем усреднялись. Расход водорода g_H , г/(кВт·ч), изменялся от 0,5 до 2 % расхода дизельного топлива

и в процентах определялся как $m_{H_2} = g_H/g_e \cdot 100 \%$.

Анализ результатов испытаний показывает, что экономия дизельного топлива $\overline{\Delta g_e} = (g_e - g_e^H)/g_e \cdot 100 \%$, за счет применения добавок водорода зависит от режима нагрузки на двигатель $\overline{N_e}$ и величины m_{H_2} .

На каждом режиме работы двигателя рассчитывался приведенный удельный эффективный расход топлива по зависимости

$$b_e = g_e + 2.84g_H, \text{ г/(кВт}\cdot\text{ч)},$$

где 2,84 представляет собой отношение значений низшей удельной теплоты сгорания водорода и дизельного топлива.

Эффективный КПД двигателя определялся следующим образом:

– при работе без добавок водорода

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot 10^5}{g_e Q_H} \cdot 100 \%;$$

– при работе с добавками водорода

$$\eta_e^H = \frac{3600 \cdot 10^5}{b_e Q_H} \cdot 100 \%,$$

где Q_H – низшая удельная теплота сгорания дизельного топлива, которая принималась равной 42700 кДж/кг.

Относительное изменение эффективного КПД двигателя за счет добавок водорода рассчитывалось как

$$\overline{\Delta \eta_e} = \frac{(\eta_e - \eta_e^H)}{\eta_e} \cdot 100 \%.$$

Зависимость относительного приращения эффективного КПД двигателя $\overline{\Delta \eta_e}$, %, от количества добавок водорода m_{H_2} , %, при температуре воздуха на входе в цилиндры двигателя $t_b = 20^\circ \text{C}$ и разных нагрузках на двигатель $\overline{N_e}$, работающий по нагрузочной характеристике с числом оборотов коленчатого вала 1500 об/мин, представлена на рис. 1. Как видно, с уменьшением нагрузки на двигатель $\overline{N_e}$ относительное приращение КПД $\overline{\Delta \eta_e}$ от применения добавок водорода увеличивается. Таким образом, добавки можно рассматривать как эффективное средство ослабления отрицательного влияния на

энергетические показатели ДВС перехода на частичные нагрузки. Из рисунка также видно, что существует некоторая оптимальная величина m_{H_2} , находящаяся в диапазоне значений $m_{H_2} = 1,5 \dots 2,0 \%$, при которой относительное приращение КПД $\overline{\Delta \eta_e}$ будет максимальным, причем с изменением нагрузки $\overline{N_e}$ она остается практически постоянной. Из рисунка видно, оптимальные добавки водорода обеспечивают повышение КПД двигателя $\overline{\Delta \eta_e}$ на 1...5 %.

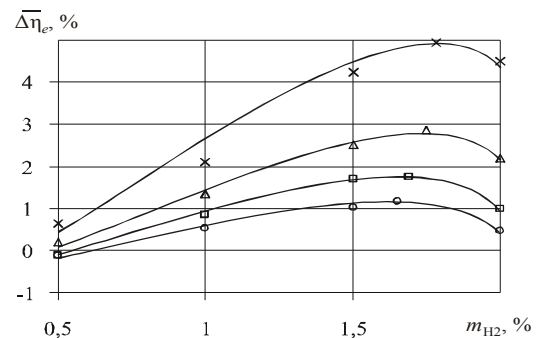


Рис. 1. Зависимость относительного приращения КПД двигателя $\overline{\Delta \eta_e}$ от количества добавок водорода m_{H_2} при температуре воздуха на входе $t_b = 20^\circ \text{C}$ и разных нагрузках на двигатель $\overline{N_e}$: $\times - \overline{N_e} = 0,25$; $\Delta - 0,50$; $\square - 0,75$; $\circ - 1,0$

Очевидно, что об экономической целесообразности применения водородных добавок можно судить по экономии дизельного топлива, приходящейся на единицу массы добавки. С этой целью введем такой параметр, как относительное сокращение удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$, представляющее собой отношение сокращения удельного эффективного расхода дизельного топлива Δg_e , г/(кВт·ч), к удельному расходу водорода g_{H_2} , г/(кВт·ч). Этот параметр показывает, сколько грамм дизельного топлива, приходящегося на 1 кВт эффективной мощности N_e , экономится при подаче в двигатель 1 грамма H_2 на 1 кВт N_e . Он характеризует эффективность использования водорода и может быть назван, например коэффициентом эффективности использования водорода. При его максимальном значении эффективность использования водорода будет наибольшей.

Зависимость относительного сокращения удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$ от количества добавок водорода m_{H_2} при

температуре воздуха на входе $t_b = 20^\circ\text{C}$ и разных нагрузках на двигатель $\overline{N}_e$ приведена на рис. 2. Как видно, кривые этой зависимости имеют экстремумы, которым соответствуют добавки водорода m_{H_2} , составляющие примерно 1,5 %. С уменьшением нагрузки на двигатель $\overline{N}_e$ эффективность использования водорода увеличивается, что подтверждает целесообразность применения добавок для компенсации отрицательного влияния частичных режимов на экономичность ДВС. Из рисунка также видно, что каждый грамм добавки водорода обеспечивает сокращение расхода дизельного топлива на 3...5 грамм. Результаты экспериментальных исследований показали, что максимальная эффективность применения водородных добавок имеет место при весьма малых их количествах 1,5...2 %, что не создает каких-либо существенных проблем, связанных с производством и хранением водорода.

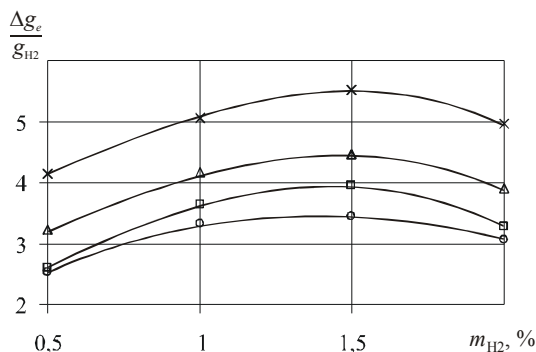


Рис. 2. Зависимость относительного сокращения удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$ от количества добавок водорода m_{H_2} при температуре воздуха на входе $t_b = 20^\circ\text{C}$ и разных нагрузках на двигатель $\overline{N}_e$: $x - \overline{N}_e = 0,25$; $\Delta - 0,50$; $\square - 0,75$; $o - 1,0$

Благодаря весьма малым количествам добавок, энергетические затраты на их получение не являются определяющими, а производство водорода можно осуществлять непосредственно на борту судна, например в электролизерах, во время снижения нагрузки на судовую электростанцию. Хранение водорода в небольших количествах вполне можно осуществлять в гидридных аккумуляторах [3, 4], используя их уникальное свойство освобождения водорода при более высоком давлении, чем его поглощение, для дополнительного повышения давления водорода,

подаваемого в камеру сгорания ДВС, или же производства механической (электрической) энергии или холода.

Выводы

1. Экспериментально установлено существование некоторой оптимальной величины водородных добавок m_{H_2} , при которой достигается максимальное приращение КПД двигателя $\Delta\eta_e$, причем с изменением нагрузки $\overline{N}_e$ она остается практически постоянной и находится в диапазоне значений $m_{H_2} = 1,5...2,0\%$.
2. Оптимальные добавки водорода позволяют повысить КПД двигателя на 1...5 %.
3. Оптимальные водородные добавки обеспечивают максимальное сокращение удельного расхода дизельного топлива, приходящееся на единицу массы водорода.
4. При оптимальных добавках сокращение расхода дизельного топлива составляет 3...5 грамм на 1 грамм водородной добавки.
5. С уменьшением нагрузки на двигатель $\overline{N}_e$ эффективность использования водорода увеличивается, что подтверждает целесообразность применения водородных добавок для компенсации отрицательного влияния частичных режимов на КПД и экономичность ДВС.

Список литературы:

1. Сирота А.А., Чураков А.И. Испытания судового высокооборотного ДВС с добавками водорода // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – № 2. – С. 81–84.
2. Тимошевский Б.Г., Тимофеев В.И., Сирота А.А., Гаврилков А.В. Глубокая утилизация вторичных энергоресурсов с помощью гидридных систем // Судостроительная промышленность. – Вып. 13. – 1990. – С. 15–21.
3. Timoshevsky B., Cui K., Timofeev V., Sirota A., Beljakov S., Gao X. Energy saving hydride's systems for internal combustion engines // Journal of WUWTE, Vol.3 № 7, 1992, pp. 34–39.
4. Timoshevsky B., Cui K., Beljakov S., Sirota A., Cao X. Hydride's equipment for internal combustion engines // Journal of WUWTE, Vol. 3, № 8, pp. 42–47.