

УДК 661.96.001

А.А. СИРОТА

*Николаевский государственный гуманитарный университет им. Петра Могилы***ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК ВОДОРОДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЬГЕНЕРАТОРОВ**

Рассмотрены результаты экспериментального исследования четырехтактного высокооборотного дизеля без наддува как с добавками водорода к основному дизельному топливу, так и без них. Приведена методика проведения испытаний и обработки экспериментальных данных, позволяющая определить зависимость эффективности работы дизеля по нагрузочной характеристике на разных режимах.

двигатель внутреннего сгорания, дизельгенератор, водородные топливные добавки, удельный расход топлива, коэффициент полезного действия

Введение

Постановка проблемы. Ведущими исследовательскими центрами по дизелестроению и фирмами-производителями дизелей проводятся фундаментальные исследования, направленные на повышение их топливной экономичности, снижение токсичности отработавших газов и улучшение эксплуатационных показателей, основные из которых – это устойчивая работа двигателя на частичных режимах, вибрация двигателя и износ его деталей, нагарообразование и способ очистки проточных частей.

Конечной целью работ по первому направлению является достижение характеристики подвода теплоты, обеспечивающей максимальный КПД цикла и минимальный расход топлива. Степень приближения этой характеристики к оптимальной при данных термодинамических условиях ведения процесса характеризует возможности дальнейшего снижения расхода топлива за счет совершенствования смесеобразования и горения и определяет целесообразность проведения работ в данном направлении [1, 2].

Анализ известных решений проблемы, выделение нерешенных задач, постановка цели и задач исследования. В настоящее время все большую реальность приобретает вопрос о постепенной заме-

не моторных топлив нефтяного происхождения различного рода альтернативными топливами. Одним из таких перспективных, энергоемких и экологически чистых топлив для тепловых двигателей является водород, который выгодно отличается по своим характеристикам от углеводородных топлив:

- скорость горения и коэффициент диффузии выше на порядок;
- теплотворная способность примерно в три раза выше;
- широкие концентрационные пределы воспламеняемости и горения;
- небольшая излучаемая способность пламени, что приводит к снижению радиационного обмена со стенками цилиндра.

Использование водорода в качестве основного топлива на транспортных средствах и в энергетических установках, в том числе и судовых, в настоящее время нецелесообразно из-за высокой пока что стоимости водорода и трудностей его хранения в больших количествах. Поэтому в настоящее время наиболее приемлемым способом применения водорода в двигателях внутреннего сгорания является частичная замена им углеводородного топлива, т.е. подача в цилиндр двигателя наряду с основными углеводородным топливом небольших добавок водорода.

Водород в цилиндр двигателя можно подавать следующими способами:

- вместе со свежим зарядом воздуха через всасывающий коллектор;
- через отдельный специальный клапан на ходе сжатия;
- через топливную форсунку;
- с помощью специального смесительного устройства, устанавливаемого перед топливной форсункой.

Каждый из перечисленных выше способов имеет свои преимущества и недостатки. На наш взгляд наиболее простым способом подачи небольших добавок водорода в цилиндр двигателя является подача его со свежим зарядом воздуха. Этот способ выгодно отличается от других тем, что не требует сложных дополнительных устройств и высоких давлений водорода, что позволяет широко использовать его в настоящее время в двигателях внутреннего сгорания на современных транспортных средствах [3, 4].

Целью исследования является изучение особенностей работы дизеля с добавками водорода к основному топливу на различных режимах.

Экспериментальное исследование работы дизеля на водородных добавках и анализ результатов

При испытании судового высокооборотного дизеля без наддува номинальной мощностью $P_{eном} = 15$ кВт и номинальной частотой вращения коленчатого вала $n_{ном} = 1500$ об/мин небольшие добавки водорода подавались со свежим зарядом воздуха через всасывающий коллектор.

Экспериментальные исследования проводились на четырех режимах с относительными мощностями P_e , равными 0,93; 0,7; 0,47; 0,28. При этом частота вращения коленчатого вала двигателя поддерживалась постоянной и равной 1460 об/мин., т.е. двигатель работал по нагрузочной характеристике. На судах по нагрузочным характеристикам работают

вспомогательные дизели, приводящие в действие генераторы электрического тока.

На каждом режиме работы дизеля определялся удельный эффективный расход дизельного топлива как без подачи добавок водорода к нему g_{ef} [г/кВт·ч], так и с добавками водорода g_{eH} [г/кВт·ч]. Расход водорода g_H [г/кВт·ч] регулировался от 1,8 до 7,3 % массового удельного эффективного расхода дизельного топлива на номинальном режиме работы дизеля и на всех режимах оставался постоянным, т.е. составлял (0,018 ... 0,073) $g_{efном}$ и в % определялся как

$$m_{Hном} = \frac{g_H}{g_{efном}} \cdot 100\% .$$

Кроме того, на каждом режиме работы дизеля рассчитывался приведенный удельный эффективный расход топлива на двигатель по следующей зависимости

$$b_e = g_{ef} + 2,84g_H, \text{ г/(кВт·ч)},$$

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

$$\eta_\ell = \frac{3600 \cdot 10^5}{g_{ef} Q_H} \cdot 100\% ;$$

- при работе с добавками водорода

$$\eta_\ell^H = \frac{3600 \cdot 10^5}{b_e Q_H} \cdot 100\% .$$

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

Изменение удельного эффективного расхода топлива на режиме определялось как

$$\delta g_e = g_{ef} - g_{eH}, \text{ г/(кВт·ч)},$$

а относительной величины как

$$\Delta g_e = \frac{\delta g_e}{g_{ef}} \cdot 100\% .$$

Аналогично определялись и изменения эффективного КПД дизеля за счет добавок водорода:

$$\delta\eta_e = \eta_e - \eta_e^H, \% \text{ и } \Delta\eta_e = \frac{\delta\eta_e}{\eta_e} \cdot 100\%$$

Анализ результатов испытаний двигателя показал, что экономия дизельного топлива δg_e от применения добавок водорода зависит от режима $\bar{P}e$, на котором работает двигатель и от величины $m_{H_{2ном}}$. Так, при $m_{H_{2ном}} = 1,8\%$ и $\bar{P}e = 0,93$ $\delta g_e = 25$ г/(кВт·ч), а при $\bar{P}e = 0,28$ $\delta g_e = 56$ г/(кВт·ч).

При увеличении добавок водорода до $m_{H_{2ном}} = 7,3\%$ и $\bar{P}e = 0,93$ $\delta g_e = 54$ г/(кВт·ч), а при $\bar{P}e = 0,28$ $\delta g_e = 121$ г/(кВт·ч).

Эти изменения представлены на рис. 1, а. На рис 1, б представлены графически зависимости изменений относительной величины удельного эффективного расхода топлива от нагрузки двигателя. Наибольшая экономия наблюдается на частичных режимах при $\bar{P}e = 0,5 \dots 0,28$. Так, если при $\bar{P}e = 0,93$ $\Delta g_e = 54$ г/(кВт·ч), то при $\bar{P}e = 0,93$ $\Delta g_e = 54$ г/(кВт·ч), когда $m_{H_{2ном}} = 1,8\%$.

При увеличении $m_{H_{2ном}}$ до 7,3 % экономия топлива может составлять от $\Delta g_e = 22\%$ до 27 %. Из этого следует, что добавки водорода влияют на уменьшение удельного эффективного расхода топлива как раз больше на тех нагрузках, на которых

большую часть времени работают судовые дизель-генераторы.

Как показано на рис. 2, абсолютное и относительное увеличение эффективного КПД двигателя за счет добавок водорода будет наблюдаться небольшим при нагрузках, близких к эксплуатационным ($\bar{P}e = 0,7 \dots 0,93$).

Из этих же зависимостей можно сделать вывод, что увеличение добавок водорода до 5 % не дает повышение эффективности работы двигателя даже на этих режимах. А на режимах, когда $\bar{P}e = 0,28 \dots 0,5$, экономически невыгодно повышать величину добавки водорода больше 2 %.

Выводы и перспективы дальнейшего использования результатов

На основании проведенных теплотехнических испытаний судового четырехтактного быстроходного двигателя, работающего по нагрузочной характеристике при $n = 1460$ об/мин, можно сделать следующие выводы:

1. При небольших добавках водорода со свежим зарядом воздуха ($m_{H_{2ном}} = 1,8 \dots 7,3\%$) и при нагрузках $\bar{P}e = 0,7 \dots 0,28$ экономия дизельного топлива составляет от 10 до 26 %.

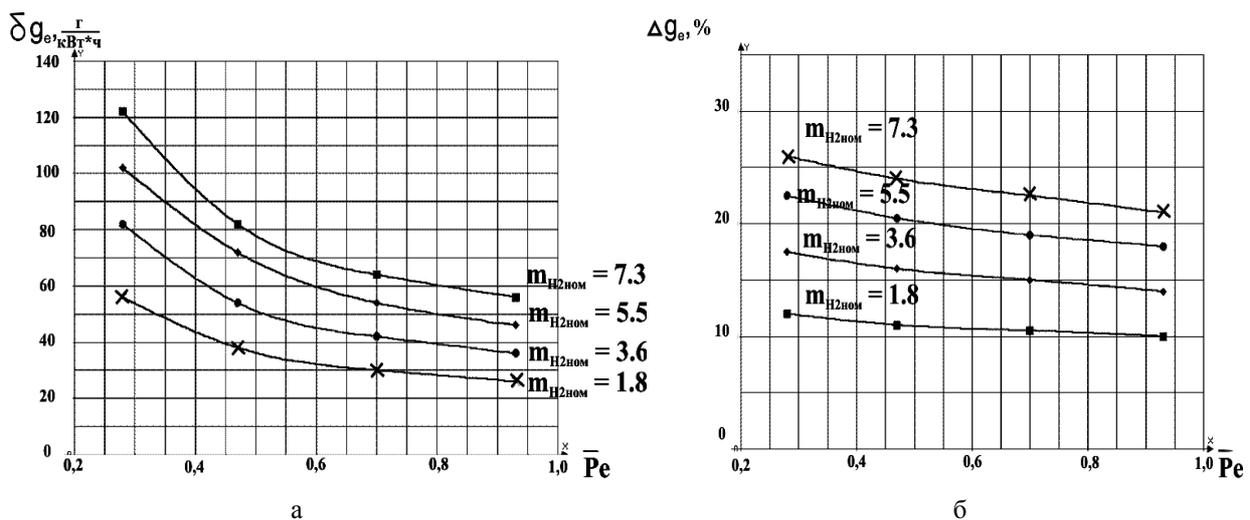


Рис. 1. Изменение δg_e (а) и Δg_e (б) при работе дизеля по нагрузочной характеристике с числом оборотов $n = 1460$ об/мин:

○ — $m_{H_{2ном}} = 1,8\%$; • — $m_{H_{2ном}} = 3,6\%$; x — $m_{H_{2ном}} = 5,5\%$; Δ — $m_{H_{2ном}} = 7,3\%$

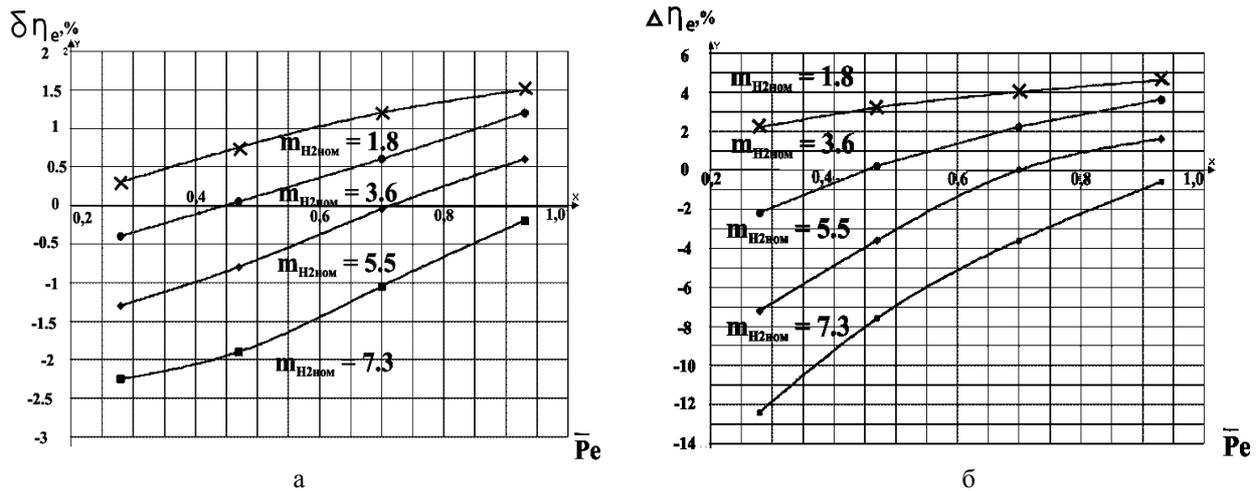


Рис. 2. Изменение $\delta\eta_e$ (а) и $\Delta\eta_e$ (б) $m_{H_{2ном}}$ при работе дизеля по нагрузочной характеристике с числом оборотов $n = 1460$ об/мин:

○ – $m_{H_{2ном}} = 1,8 \%$; • – $m_{H_{2ном}} = 3,6 \%$; x – $m_{H_{2ном}} = 5,5 \%$; Δ – $m_{H_{2ном}} = 7,3 \%$

2. При нагрузках двигателя $\bar{P}_e = 0,7...0,28$ увеличение относительного КПД может достигать 4 %. При этом экономия составляет примерно 10 % дизельного топлива при добавках топлива около 1,8 %.

3. Наибольшее увеличение эффективного КПД достигается на нагрузках, близких к номинальной: $\Delta\eta_e = 4,5 \%$ при экономии топлива $\Delta g_e = 10 \%$ и $m_{H_{2ном}} = 1,8 \%$.

4. При неизменной эффективности работы двигателя ($\Delta\eta_e \approx 0$) экономия дизельного топлива может достигать 22 %, когда $m_{H_{2ном}} = 7,3 \%$ и $\bar{P}_e = 0,93$.

5. Наибольшая эффективность работы двигателя на всех режимах достигается при добавках водорода $m_{H_{2ном}} = 1,8 \%$ и лежит в пределах $\Delta\eta_e = 2...4,5 \%$, а экономия основного топлива составляет $\Delta g_e = 10...12 \%$.

6. Проведенные экспериментальные исследования и их анализ дают основание считать добавки водорода к основному дизельному топливу эффективным средством повышения экономичности работы быстроходных дизелей без наддува. Однако необходимо провести более глубокий анализ с целью выявления способа регулирования

добавок водорода и определения их оптимальной величины на различных режимах работы двигателя.

Литература

1. Лебедев О.Н., Калашников С.А. Судовые энергетические установки и их эксплуатация. – М.: Транспорт, 1987. – 336 с.
2. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.: Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 373 с.
3. Timoshersky B., Cui K., Timofeev V., Sirotka A., Beljakov S., Gao X. Energy saving hydride's systems for internal combustion engines // Journal of WUWTE. – 1992. – Vol.3, № 7. – P. 34 – 39.
4. Timoshevsky B., Cui K., Beljakov S., Sirotka A., Cao X. Hydride's equipment for internal combustion engines // Journal of WUWTE. – 1992. – Vol. 3, № 8. – P. 42 – 47.

Поступила в редакцию 30.05.2005

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.В. Капустин, Севастопольский национальный технический университет; д-р техн. наук, проф. В.Г. Ивановский, Одесский национальный морской университет.