

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  $P_{e\text{ном}} = 15$  кВт и номинальной частотой вращения коленчатого вала  $n_{\text{ном}} = 1500$  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  $(0,018 \dots 0,073) g_{ef\text{ном}}$  и в % определялся как

$$m_{H\text{ном}} = \frac{g_H}{g_{ef\text{ном}}} \cdot 100\% .$$

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  $\delta g_e$  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 не большим 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 %.

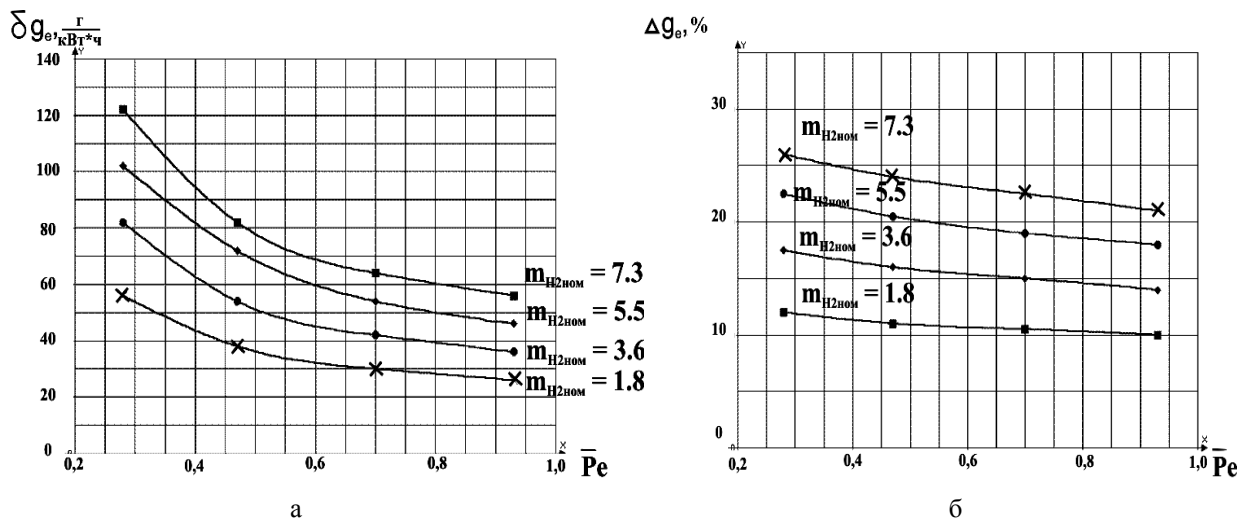


Рис. 1. Изменение  $\delta g_e$  (а) и  $\Delta g_e$  (б) при работе дизеля по нагрузочной характеристике с числом оборотов  $n = 1460$  об/мин:

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

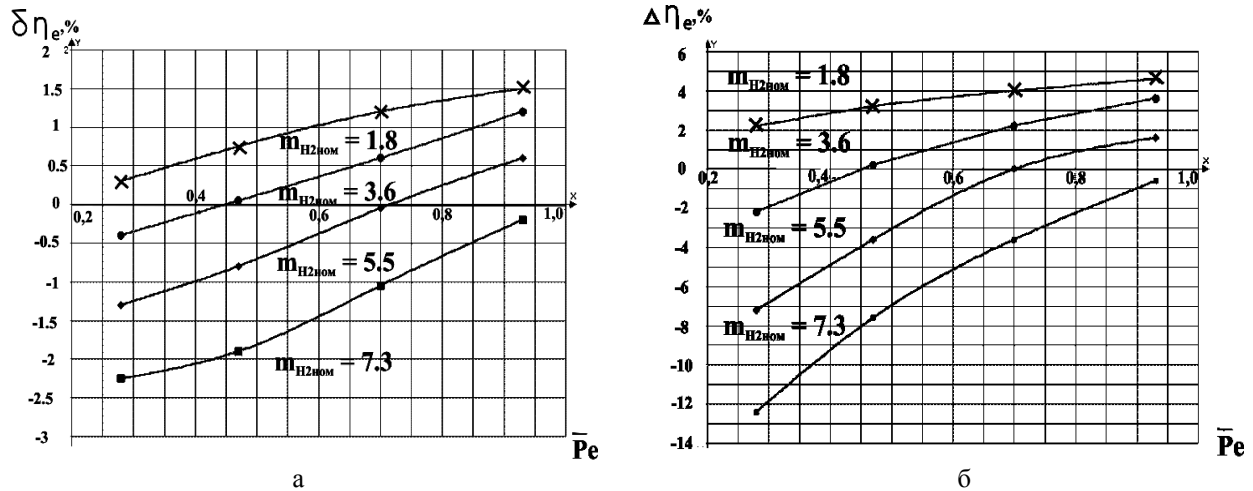


Рис. 2. Изменение  $\delta\eta_e$  (а) и  $\Delta\eta_e$  (б)  $m_{H_{2ном}}$  при работе дизеля по нагрузочной характеристике с числом оборотов  $n = 1460$  об/мин:

○ –  $m_{H_{2ном}} = 1,8 \%$ ; • –  $m_{H_{2ном}} = 3,6 \%$ ; 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.