

УДК 661.96.001

А.А. Сирота, канд. техн. наук

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ СУДОВЫХ ДВС ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДОРОДА В КАЧЕСТВЕ ДОБАВОК К ТОПЛИВУ

1. Анализ проблемы, постановка цели и задач исследования

Одним из перспективных направлений повышения энергетических, экономических и экологических показателей судовых ДВС является применение водорода в качестве топлива. Благодаря замкнутому циклу его производства и использования (из воды и с образованием воды как продукта его сгорания) водород является неисчерпаемым источником энергии. Однако полный переход ДВС на водородное топливо в обозримом будущем не представляется возможным, поскольку КПД даже самых совершенных и перспективных технологий производства водорода из воды не превышает 50 %, а хранение и транспортировка больших объемов водорода связаны со значительными энергетическими затратами, техническими сложностями обеспечения мер повышенной безопасности. Поэтому в качестве реальной альтернативы можно рассматривать использование малых добавок водорода, не создающих проблем при их хранении. По данным НАМИ и Института проблем машиностроения НАН Украины применение водородных добавок к бензиновому топливу увеличивает КПД двигателя на 10...15 %, а на частичных режимах – на 17...22 % [1].

Целью исследования является экспериментальное исследование влияния водородных добавок к топливу на экономичность высокооборотных ДВС и разработка на основе полученных данных рекомендаций по ее улучшению на режимах частичных нагрузок и при повышенных температурах окружающего воздуха.

Для ее достижения были решены следующие задачи: получены опытные данные по удельному

расходу топлива при разных температурах окружающего воздуха и нагрузках на высокооборотный ДВС, работающий с добавками водорода к углеродному топливу; разработаны рекомендации по применению водородных добавок с целью улучшения экономических показателей двигателей при частичных нагрузках и повышенных температурах воздуха.

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

С целью исследования влияние водородных добавок к дизельному топливу на экономичность высокооборотных двигателей при разных температурах окружающего воздуха и нагрузках были проведены испытания 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 [2–4]. Небольшие добавки водорода подавались в двигатель со свежим зарядом воздуха через всасывающий коллектор. Преимуществом этого способа является то, что он 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 результаты испытаний двигателя при $n = 1500$ об/мин. Данные, полученные при $n = 920$ об/мин, подтверждают приведенных здесь основные результаты.

Исследования проводились на четырех режимах с относительными мощностями $\overline{N}_e = N_e / N_{e\text{ном}}$, равными 1,0; 0,75; 0,50; 0,25. На каждом режиме работы двигателя (при относительной мощности \overline{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 три раза, 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 , температуры окружающего воздуха и величины m_{H_2} .

Зависимость изменения удельного расхода топлива g_e от нагрузки на двигатель \overline{N}_e при разных температурах окружающего воздуха t_b и добавках водорода m_{H_2} представлена на рис. 1. Как видно, на номинальном режиме ($\overline{N}_e = 1,0$) применение добавок обеспечивает уменьшение g_e на 14...18 г/(кВт·ч), т.е. на 6 %, а при $\overline{N}_e = 0,5$ – на 20...25 г/(кВт·ч) или 7...9%. На номинальном режиме при работе ДВС без добавок водорода повышение температуры воздуха от 20 до 48 °С приводит к возрастанию g_e на 2 %, а с добавкой $m_{H_2} = 2$ % увеличение g_e меньше 0,5 %. Подобное соотношение сохраняется и на частичных режимах: кривые при $m_{H_2} = 2$ % располагаются очень близко друг к другу. Близость кривых, характеризующих работу двигателя на частичных режимах без добавок при $t_b = 20$ °С и с добавкой $m_{H_2} = 0,5$ % при $t_b = 48$ °С свидетельствует о том, что даже небольшая добавка водорода к топливу компенсируют ухудше-

ние экономичности ДВС из-за повышения температуры воздуха на входе.

Из рис. 1 также видно, что удельные расходы топлива одинаковы при работе двигателя без добавок на номинальном режиме ($\overline{N}_e = 1,0$) и при его работе с добавкой $m_{H_2} = 2$ % на частичной нагрузке $\overline{N}_e = 0,6$, т.е. водородные добавки компенсируют ухудшение экономичности ДВС при переходе на частичные режимы.

g_e , г/кВт·ч

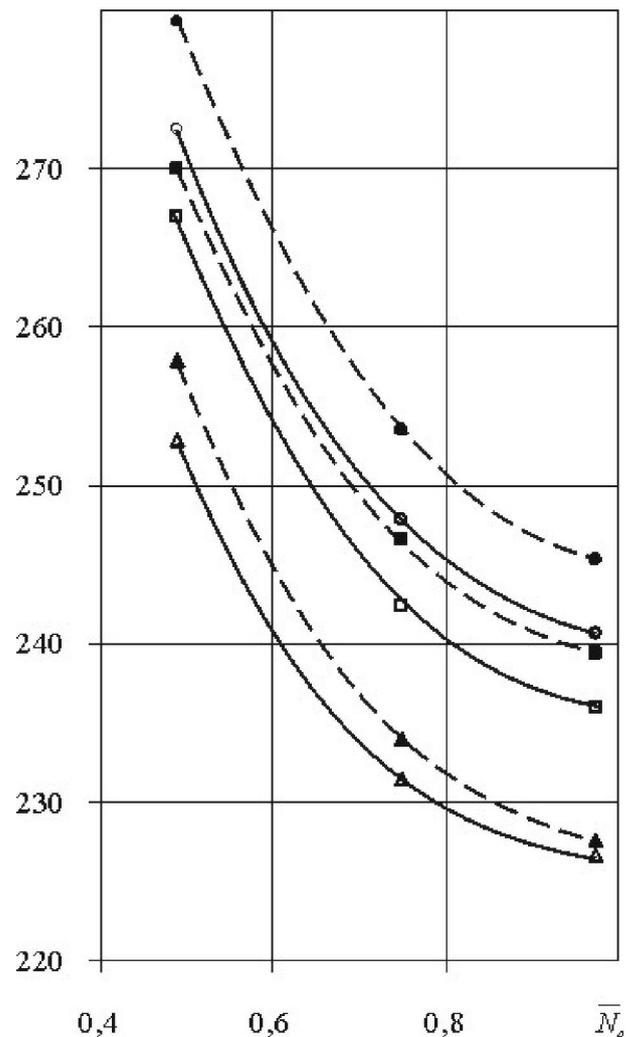


Рис. 1. Зависимость изменения удельного расхода топлива g_e от нагрузки на двигатель \overline{N}_e при разных температурах окружающего воздуха t_b и добавках водорода m_{H_2} , %: о, ● — $m_{H_2} = 0$ %; □, ■ — 2,0 %; Δ, ▲ — 1,5 %; — — — — $t_b = 20$ °С; - - - - 48 °С

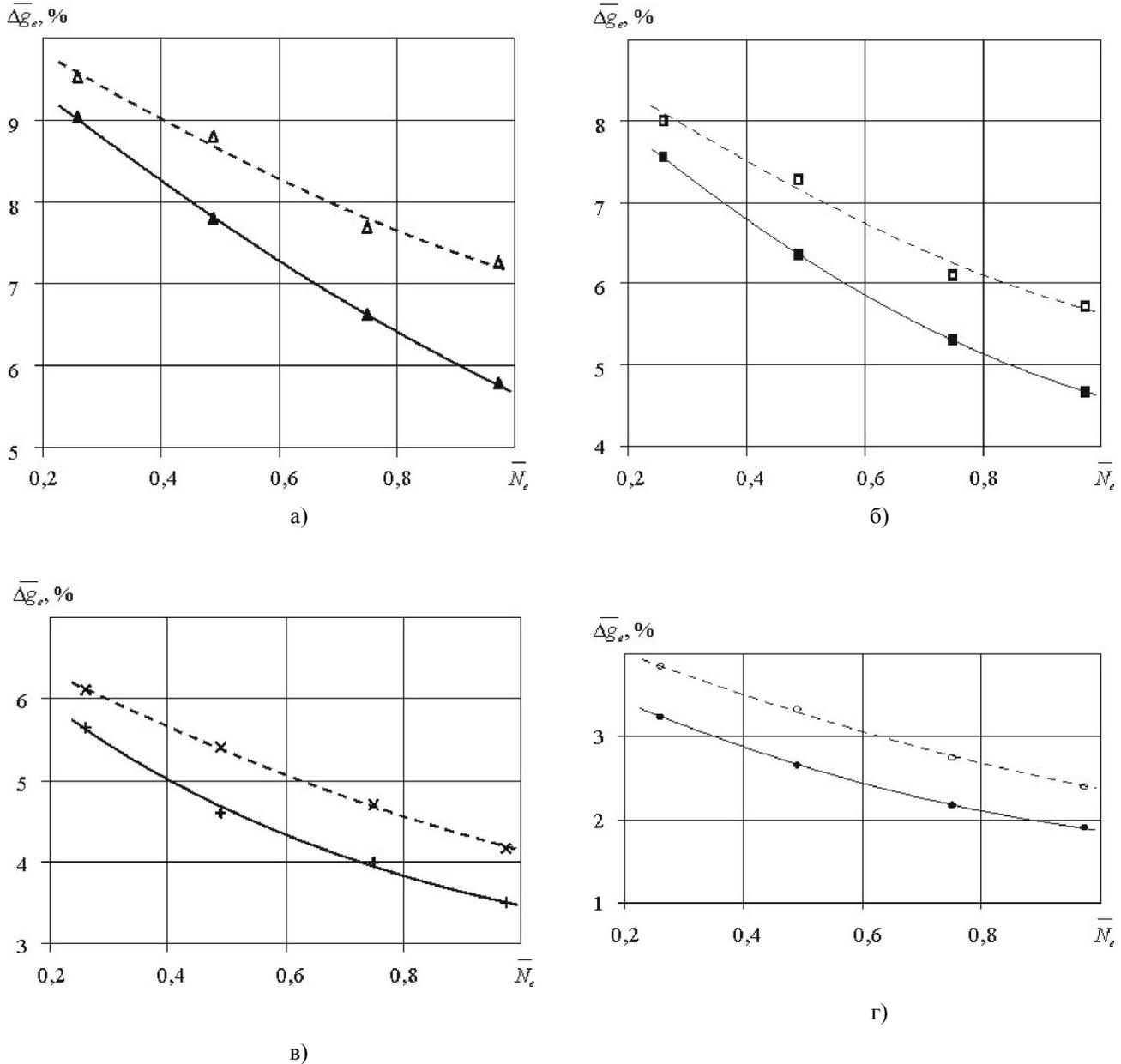


Рис. 2. Зависимость относительного сокращения удельного расхода топлива $\overline{\Delta g_e}$ от нагрузки на двигатель \bar{N}_e при разных температурах окружающего воздуха t_a и добавках водорода m_{H_2} , %: \circ, \bullet – $m_{H_2} = 0,5$ %; $+$, \times – $1,0$ %; Δ, \blacktriangle – $1,5$ %; \square, \blacksquare – $2,0$ %; — — — $t_a = 20$ °C; - - - - 48 °C

Зависимость относительного сокращения удельного расхода топлива $\overline{\Delta g_e}$ от нагрузки на двигатель \bar{N}_e при разных температурах окружающего воздуха t_a и добавках водорода m_{H_2} приведена на рис. 2.

Как видно, графики на рис. 2 полностью подтверждают сделанные ранее выводы относительно

целесообразности применения водородных добавок для компенсации ухудшения экономичности ДВС из-за повышения температуры воздуха на входе и работы на частичных нагрузках.

Об экономической целесообразности применения водородных добавок можно судить по экономии дизельного топлива, приходящейся на единицу массы добавки. С этой целью воспользуемся такой ве-

личной, 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 экономическая эффективность использования водорода будет наибольшей.

Зависимость относительного сокращения удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$ от нагрузки на двигатель \bar{N}_e при температуре воздуха на входе $t_b = 20^\circ\text{C}$ и разных добавках водорода m_{H_2} , %, приведена на рис. 3. Как видно, с уменьшением нагрузки на двигатель \bar{N}_e относительное сокращение удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$ от применения добавок водорода увеличивается. Если в результате применения водородных добавок на номинальном режиме приращение величины $\Delta g_e / g_{H_2}$ составляет примерно 3,5 %, то на режиме $\bar{N}_e = 0,25$ – уже 5,5 %, что подтверждает целесообразность применения добавок для компенсации отрицательного влияния частичных режимов на экономичность ДВС.

Как видно, на всех режимах нагрузки двигателя графики, соответствующие величине водородных добавок $m_{H_2} = 1,5\%$, располагаются выше, чем $m_{H_2} = 2,0\%$. Это указывает на существование некоторой оптимальной величины добавки, составляющей примерно $m_{H_2} = 1,5\%$ и обеспечивающей максимальное относительное сокращение удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$.

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.

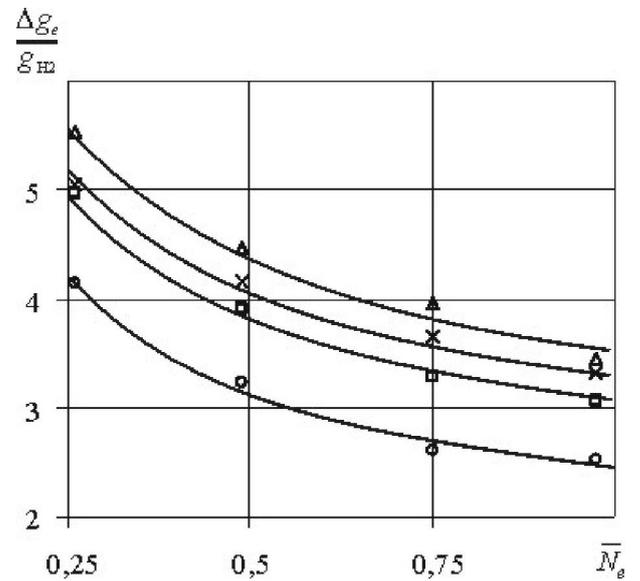


Рис. 3. Зависимость относительного сокращения удельного эффективного расхода дизельного топлива $\Delta g_e / g_{H_2}$ от нагрузки на двигатель \bar{N}_e при температуре воздуха на входе $t_b = 20^\circ\text{C}$ и разных добавках водорода m_{H_2} , %: о – $m_{H_2} = 0,5\%$; x – $1,0\%$; Δ – $1,5\%$; □ – $2,0\%$

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 свойство выделять водород при более высоком давлении, чем происходит его поглощение. Разница давлений может использоваться для подачи водорода с повышенным давлением либо для производства механической (электрической) энергии или холода.

Выводы

1. Применение небольших (1...2 %) добавок водорода к топливу компенсирует отрицательное влияние повышения температуры воздуха, подаваемого в цилиндры двигателя, и частичных режимов работы на его экономические показатели.

2. Использование добавок на номинальном режиме ($\overline{N_e} = 1,0$) обеспечивает уменьшение g_e примерно на 6 %, а при $\overline{N_e} = 0,5$ – на 7...9 %.

3. Водородные добавки обеспечивают сокращение относительного (отнесенного к удельному расходу водорода) удельного эффективного расхода дизельного топлива на 2...6 %.

4. С повышением температуры воздуха, подаваемого в цилиндры, и уменьшением нагрузки на двигатель эффект от использования водородных добавок возрастает.

Список литературы:

1. Мельник Г.В. Водород – энергоноситель XXI века // *Двигателестроение*. – № 3 (221). – 2005. – С. 48–49.
2. Сирота А.А., Чураков А.И. Испытания судового высокооборотного ДВС с добавками водорода // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – № 2. – С. 81–84.
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.

УДК 621.436

С.И. Тырловой, канд. техн. наук

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ВПРЫСКА АВТОМОБИЛЬНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТНВД

Введение

Одной из устойчивых тенденций развития современной топливовпрыскивающей аппаратуры (ТПА) дизелей можно считать интенсификацию процесса впрыска топлива. Это в значительной степени позволяет решить противоречивые задачи одновременного снижения жесткости сгорания (шумности), выброса твердых частиц и расхода топлива [1]. Кроме того, повышение давления впрыска позволяет

существенно улучшить экономичность работы дизеля на частичных режимах [2,3,4].

Очевидно, такое направление работ по совершенствованию ТПА является актуальным не только для вновь разрабатываемой техники, но и для существующей топливной аппаратуры. Можно считать, что не менее актуальной задачей, связанной с модернизацией и должной настройкой ТПА, является поддержание высоких технико-экономических показателей дизелей в эксплуатации. В частности, известна