

УДК 621.436.12

**ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПРИ ДВУХФАЗНОМ
ВПРЫСКЕ БУТАНОЛСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА**

**DIESEL PERFORMANCE INDICATORS WITH TWO-PHASE
BUTANOL-CONTAINING FUEL INJECTION**

Кухарёнок Г. М., д-р техн. наук, проф.,
Петрученко А. Н., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,
ОАО «Управляющая компания холдинга «Минский моторный
завод» г. Минск, Республика Беларусь

G. Kukcharonok, Doctor of technical Sciences, Prof.,
A. Petruchenko, Ph. D. in Eng., Ass. Prof., Senior Researcher,
OJSC «Minsk Motor Plant» Holding Mangement Company,
Minsk, Belarus

Дается анализ эффективности применения топлив, произведенных из возобновляемых источников в двигателях внутреннего сгорания. Исследования проведены с помощью математической модели рабочего процесса дизеля, реализованной в виде компьютерной программы. Получены регрессионные зависимости удельного индикаторного расхода топлива и «сырого» выброса оксидов азота от угла опережения впрыска топлива, длительности паузы между «пилотным» и основным впрыском топлива и концентрации бутанола в смеси с дизельным топливом, позволяющие определить показатели работы дизеля при двухфазном впрыске топлива. С позиций топливной экономичности и экологической безопасности, перспективно применение смеси дизельного топлива с бутанолом.

The paper analyses the efficiency of using fuels produced from renewable sources in internal combustion engines. The research is carried out with the help of a mathematical model of the diesel engine operating process implemented in the form of a computer programme. Regression dependences of specific indicator fuel consumption and «raw» nitrogen oxide emission on the fuel injection advance angle, duration of the pause between «pilot» and main fuel injection and

concentration of butanol in the mixture with diesel fuel have been obtained, allowing to determine the diesel performance indicators at two-phase fuel injection. From the standpoint of fuel efficiency and environmental safety, the use of a mixture of diesel fuel with butanol is promising.

Ключевые слова: *двигатель внутреннего сгорания, альтернативное топливо, бутанол, математическая модель дизеля, экологическая безопасность, топливная экономичность.*

Key words: *internal combustion engine, alternative fuel, butanol, mathematical model of a diesel engine, environmental safety, fuel efficiency.*

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на высокие достижения в разработке энергосберегающих технологий, развитие мировой экономики, не может происходить без увеличения энергопотребления. Производство энергии в возрастающих объемах происходит за счет роста потребления природных топливных ресурсов. Потребление энергии в нефтяном эквиваленте ежегодно увеличивается [1]. В тоже время количество разведанных и доступных добыче первичных ресурсов сокращается.

Для сокращения потребления первичных энергоресурсов в последние десятилетия активно развивается альтернативная энергетика, функционирование которой построено на использовании возобновляемых источников энергии.

Достаточно широко топлива, произведённые из биомассы, применяются в качестве добавок к бензину или дизельному топливу, в этом случае адаптация двигателя к смесевым топливам либо не производится, либо сводится к корректирующим регулировкам цикловой подачи, угла опережения зажигания или опережения впрыска топлива [2].

В последнее время пристальное внимание обращено к н-бутанолу, который рассматривают как добавку к минеральному дизельному топливу [3]. Из одноатомных спиртов он наиболее близок по своим физико-химическим свойствам к дизельному топливу.

Применение двухфазного впрыска топлива позволяет гибко управлять процессами смесеобразования и сгорания топливовоздушной смеси в цилиндре двигателя, следовательно,

адаптировать двигатель для работы на смесях дизельного топлива и бутанола, обеспечивая требуемые показатели, пользуясь регулировочными параметрами топливоподачи и не прибегая к конструктивным изменениям. Электронные системы управления, реализующие многофазный впрыск топлив, значительно расширяют перечень регулирующих параметров.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились с помощью математической модели рабочего процесса, основные положения которой изложены в работе [4]. Закон подачи топлива задавался согласно зависимостям, приведенных в работе [5]. Расчет оксидов азота осуществлялся с помощью уравнений, приведенных в работе [6].

В качестве объекта исследования принят рабочий процесс дизеля 4ЧН 11×12,5. Расчеты проводились для номинального режима работы дизеля при двухфазной подаче смесового топлива. Выбранный нагрузочный режим поддерживался постоянным за счет изменения количества топлива, подаваемого во второй фазе. Концентрация бутанола в опытном смесовом топливе составляла 5, 10, 15, 20 и 25 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На начальном этапе исследований были проведены работы по выбору величины «пилотной» порции топлива (g_n). Расчеты показывают, что при увеличении g_n «сырой» выброс оксидов азота снижается, а величина индикаторного КПД уменьшается для дизельного и смесовых топлив. Неоднозначное влияние величины g_n на «сырой» выброс оксидов азота и индикаторный КПД требует принятие компромиссного решения. Современные системы нейтрализации оксидов азота достаточно эффективны, поэтому в качестве приоритета целесообразно взять эффективность использования, подводимой в цикле теплоты, для этого величина «пилотной» порции топлива принята минимальной – 2 мм².

По результатам расчетов получены регрессионные зависимости для определения удельного индикаторного расхода топлива и «сырого» выброса оксидов азота от угла опережения «пилотного» впрыска топлива, длительности паузы между «пилотным» и основным впрыском, $г/(кВт·ч)$:

$$\begin{aligned}
g_i &= 175,6 - 5,094 \cdot \theta_{\text{впр.п}}^* - 0,45 \cdot \theta_{\text{ин.по}}^* + 1,425 \cdot C_{\text{бут}}^* + 0,78 \cdot (\theta_{\text{впр.п}}^*)^2 + \\
&\quad + 0,16 \cdot (\theta_{\text{ин.по}}^*)^2 - 1,26 \cdot (C_{\text{бут}}^*)^2 - 2,8 \cdot \theta_{\text{впр.п}}^* \cdot \theta_{\text{ин.по}}^* + \\
&\quad + 0,175 \cdot \theta_{\text{впр.п}}^* \cdot C_{\text{бут}}^* - 0,45 \cdot \theta_{\text{ин.по}}^* \cdot C_{\text{бут}}^* ; \\
g_i &= 1,05 - 0,47 \cdot \theta_{\text{впр.п}}^* + 0,227 \cdot \theta_{\text{ин.по}}^* + 0,0125 \cdot C_{\text{бут}}^* + 0,005 \cdot (\theta_{\text{впр.п}}^*)^2 + \\
&\quad + 0,175 \cdot (\theta_{\text{ин.по}}^*)^2 - 0,03 \cdot (C_{\text{бут}}^*)^2 - 0,1025 \cdot \theta_{\text{впр.п}}^* \cdot \theta_{\text{ин.по}}^* + \\
&\quad + 0,1425 \cdot \theta_{\text{впр.п}}^* \cdot C_{\text{бут}}^* - 0,235 \cdot \theta_{\text{ин.по}}^* \cdot C_{\text{бут}}^* ,
\end{aligned}$$

где $\theta_{\text{впр.п}}^*$, $\theta_{\text{ин.по}}^*$, $C_{\text{бут}}^*$ – приведенные значения изменяемых параметров в натуральном масштабе измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные регрессионные зависимости удельного индикаторного расхода топлива и «сырого» выброса оксидов азота от угла опережения впрыска топлива, длительности паузы между «пилотным» и основным впрысками и концентрации бутанола в смеси с дизельным топливом при величине пилотной порции 2 мм², позволяют сократить объем исследований по выбору концентрации бутанола в смеси и алгоритма управления рабочим процессом дизелей высокого экологического уровня.

Найдены значения параметров $\theta_{\text{впр.п}}$ и $\theta_{\text{ин.по}}$, обеспечивающие снижение удельного индикаторного расхода топлива и «сырого» выброса оксидов азота. При концентрации бутанола в смеси 15 % минимальный «сырой» выброс оксидов азота составляет 0,55 г/(кВт·ч) при этом величина среднего индикаторного расхода топлива не превышает 172 г/(кВт·ч), величины углов $\theta_{\text{впр.п}}$ и $\theta_{\text{ин.по}}$, обеспечивающие полученные экологические и топливно-экономические показатели, принимают соответственно значения 30 и 18,5 град ПКВ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнова, М. Д. Основы анализа глобальных тенденций в мировой энергетике / М. Д. Смирнова, В. Е. Захаров // Российский внешнеэкономический вестник. – 2016. – № 10. – С. 3–21.

2. Василевкин, Е. В. Конструктивные изменения в ДВС, необходимые при переходе на бензоэтанольные топлива / Е. В. Василевкин, В. Н. Егоров, К. С. Руновский // Известия Московского государственного технического университета (МАМИ). – 2013. – Т. 1 – № 1. – С. 10–14.

3. Experimental study on performance and emissions of a high speed diesel engine fuelled with n-butanol/diesel blends under premixed low temperature combustion / G. Valentino [et al.] . – Fuel, 2012. – № 92(1). – P. 295–307.

4. Кухаренок, Г. М. Пусковые качества дизелей с аккумуляторной системой топливоподачи / Г. М. Кухаренок, А. Н. Марчук, А. Н. Петрученко. – Минск : БНТУ, 2012. – 173 с.

5. Кухаренок, Г. М. Снижение выбросов вредных веществ дизельных двигателей / Г. М. Кухаренок, А. Н. Петрученко, В. И. Березун. – Минск, 2013. – 248 с.

6. Петрученко, А. Н. Применение многофазного впрыска при работе на смесевом / А. Н. Петрученко, Д. Г. Гершань // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : сборник научных трудов : по результатам ежегодной Международной научно-практической конференции / ред. колл.: Ф. А. Романюк [и др.]. – Минск : БНТУ, 2014. – С. 193–199.

Представлено 15.05.2024