

ПЕРСПЕКТИВНОЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОЦЕССЫ

УДК 621.436

СТЕНДЫ И АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ СМЕСЕОБРАЗОВАНИЯ И СГОРАНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ В УСЛОВИЯХ ДВС

С.В. Гусаков, Д.В. Михрячев,
И.В. Афанасьева

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей
Инженерный факультет
Российский университет дружбы народов
Подольское шоссе, 8/5, Москва, Россия, 113093

В статье приводится краткое описание экспериментальных установок, предназначенных для проведения исследований особенностей протекания процессов смесеобразования и последующего сгорания топливно-воздушных смесей, в том числе и альтернативных топлив, в условиях двигателей внутреннего сгорания с искровым зажиганием, с самовоспламенением от сжатия и с самовоспламенением гомогенного заряда. Приводится состав используемых приборов, и описываются методики испытаний.

Ключевые слова: исследование, ДВС, топливо, воздух, смесь, сгорание.

Горение топлива, как базовый процесс в двигателе внутреннего сгорания, определяет его мощностные, топливно-экономические и экологические характеристики. Вопросы ресурсосбережения и экологической безопасности, выходящие сегодня на первый план при эксплуатации ДВС, служат стимулом для более детального исследования как традиционных рабочих процессов, осуществляемых на товарных и альтернативных моторных топливах, так и инновационных рабочих процессов, например с самовоспламенением гомогенного заряда от сжатия. Изучение экспериментальными методами внутрикамерных процессов в серийных автомобильных и тракторных ДВС сопровождается рядом трудностей, которые можно устранить, организовав исследование на специализированных одноцилиндровых установках. В качестве базовых для этих целей нами были выбраны одноцилиндровые установки для исследования свойств топлив типа ИДТ-90 и УИТ-85.

Установки представляют собой одноцилиндровые двигатели внутреннего сгорания с искровым зажиганием (УИТ-85) и дизель (ИДТ-90), конструкция которых допускает регулировку геометрической степени сжатия. В состав установок входит электродвигатель-генератор, служащий как для запуска ДВС, так и для поглощения, вырабатываемой двигателем энергии. Электродвигатель-генератор поддерживает частоту вращения ДВС постоянной, вне зависимости от развиваемой двигателем мощности. Установки оснащены системами стабилизации температурного режима.

Однако изначальная специализация выбранных установок накладывает на их комплектацию некоторые ограничения, которые нам пришлось исключить конструктивными и аппаратными средствами.

Наиболее значимой доработкой установок под решение перспективных задач исследования динамики сгорания (тепловыделения) в цилиндре ДВС является установка аппаратуры для цифровой регистрации индикаторных диаграмм.

Круг задач, для решения которых могут быть использованы установки, очень широк. В качестве примера изложим методические подходы к решению задачи снижения эксплуатационного расхода топлива, для решения которой используются данные, получаемые на установке типа УИТ.

Как известно, степень сжатия в поршневом двигателе внутреннего сгорания с искровым зажиганием (ДсИЗ), выбирают наибольшей исходя из условия обеспечения бездетонационного сгорания во всем диапазоне рабочих режимов на топливе с определенным октановым числом (ОЧ) [1]. Склонность ДсИЗ к детонации зависит от его конструктивных особенностей, температурного режима, регулировочных и режимных параметров: частоты вращения коленчатого вала и среднего индикаторного давления. Степень сжатия двигателя ограничивает такое сочетание всех этих факторов, при котором вероятность возникновения детонации наибольшая. Если все же увеличить степень сжатия, то часть поля рабочих режимов двигателя окажется в зоне детонации. Исключить детонационное сгорание в этом случае возможно за счет оперативного изменения степени сжатия, регулировки угла опережения зажигания и изменения ОЧ топлива. Первый путь подразумевает существенное изменение и усложнение конструкции и представляет собой отдельное направление развития ДВС [2]. Снижение детонации за счет установки более позднего угла опережения зажигания свыше определенных пределов вызывает существенное ухудшение топливной экономичности процесса [3]. Рассмотрим более подробно возможность исключения детонационного сгорания за счет изменения свойств топлива.

В простейшем случае это смесевое топливо, состоящее из двух смешиваемых в любых пропорциях компонентов, имеющих различные ОЧ. Низкооктановый, как правило, более дешевый компонент рассматриваем как основное топливо, а высокооктановый компонент — добавка, количество которой должно быть минимизировано. Условие — топливная смесь должна быть такого состава, чтобы не возникало детонации на любом из нагрузочно-скоростных режимов работы ДсИЗ. Естественно, что расход высокооктанового компонента зависит от того, в какой мере была увеличена степень сжатия относительно штатной.

Для количественной оценки расхода смесового топлива и его компонентов необходимо решить две задачи:

1) определить наименьшее допустимое ОЧ топлива при данной степени сжатия в анализируемой точке нагрузочно-скоростной характеристики двигателя, обеспечивающее отсутствие детонации;

2) дать оценку относительного времени работы двигателя в рассматриваемой точке характеристики в реальных условиях эксплуатации.

Первая задача решается экспериментально на модернизированной установке для исследования топлив типа УИТ. Подготовка установки к данным исследованиям включает монтаж дросселирующего устройства на впуске для регулирования развиваемой мощности. При изменении режима работы установки для поддержания постоянства значения коэффициента избытка воздуха во впускной коллектор установлен датчик кислорода (λ -зонд). Нагрузочный режим оценивается значением среднего индикаторного давления p_i . Для этого осуществляется индицирование рабочего процесса с последующей обработкой результатов. Для индицирования в головку цилиндра устанавливается пьезокварцевый датчик давления типа *AVL 12QP505clk*, сигнал с которого усиливается преобразователем заряда, на инструментальном усилителе *INA 116 (BURR-BROWN)* с высоким входным сопротивлением, порядка 10^{15} Ом, и поступает на цифровой запоминающий осциллограф *OCZ01* производства Центра АПЦ «Руднев—Шиляев», работающий под управлением персонального компьютера (ПК). В результате оцифрованный сигнал с датчика давления, пропорциональный текущему давлению в цилиндре, записывается на жесткий диск в ПК виде массива данных. Калибровка по амплитуде канала регистрации давления в цилиндре осуществляется по данным регистрации максимального давления в цилиндре, определяемом компрессометром, при сжатии-расширении на режиме прокрутки двигателя. Для оценки влияния скоростного режима работы двигателя n , кроме двух стандартных частот вращения коленчатого вала установки УИТ: 600 и 900 мин⁻¹, используются еще несколько частот, получаемых за счет изменения передаточного отношения передачи от ДВС к электродвигателю-генератору.

Таким образом, появляется возможность определения экспериментальной зависимости требуемого октанового числа $ОЧ = \vartheta(\epsilon, n, p_i)$ в функции степени сжатия ϵ , для каждого сочетания режимных параметров p_i и n , при постоянных факторах: температуре воздуха на впуске в двигатель t_0 , температуре охлаждающей жидкости t_W , угле опережения зажигания $\theta_{зак}$. В каждой экспериментальной точке регистрируется расход смесового топлива $G_T = \psi(n, p_i)$.

Вторая задача решается путем численного моделирования работы силовой установки (СУ) транспортного средства (ТС) при его движении в соответствии с одним из стандартизированных испытательных циклов, например европейским циклом NEDC (New European Driving Cycle). Цикл NEDC определяет график скорости движения ТС по времени $V_{ТС} = f(t)$. На основании расчета тягового баланса конкретного автомобиля, зная в результате его скорость и ускорение в каждый

момент времени выполнения испытательного цикла, можно определить требуемую от СУ ТС мощность (уровень нагрузки). Частота вращения коленчатого вала двигателя определяется через скорость автомобиля и заданный алгоритм переключения передач коробки перемены передач. Все поле возможных режимов работы двигателя (по частоте вращения коленчатого вала — от минимально устойчивых оборотов холостого хода до номинальной частоты вращения, по нагрузке — от нуля до максимальной, соответствующей внешней скоростной характеристике) разбивается на элементарные зоны, путем деления частоты вращения на N_i , и среднего индикаторного давления на N_j интервалов. При работе программы на каждом расчетном шаге по времени (расчет ведется через $\Delta t = 0,1$ с, при общем времени цикла $t_{\Sigma} = 1200$ с), определяется в какой нагрузочно-скоростной зоне (ij) работает двигатель ТС и продолжительность расчетного шага Δt добавляется к суммарному времени работы в данной зоне универсальной характеристики двигателя $\Delta t_{ij} = \Delta t_{ij} + \Delta t$. Таким образом, по завершении расчета общее время цикла t_{Σ} оказывается распределенным между элементарными нагрузочно-скоростными зонами

$$\Delta t_{\Sigma} = \sum_{i,j=1}^{N_i, N_j} \Delta t_{ij},$$

отражая характер загрузки двигателя в условиях эксплуатации.

Оценка расхода смесового топлива и его компонентов определяется следующим образом. Задается степень сжатия и определяется октановое число $ОЧ_{ij}$ для всех элементарных зон поля режимов работы двигателя. Понятно, что чем выше степень сжатия, тем выше КПД процесса и ниже удельный расход топлива. Это учитывается на экспериментальной характеристике

$$G_T = \psi(n, p_i) \cdot E,$$

полученной при постоянной штатной степени сжатия ϵ_0 , где значение поправочного коэффициента E определяется по зависимости

$$E = \frac{1 - \epsilon_{ij}^{1-k}}{1 - \epsilon_0^{1-k}},$$

в которой ϵ_{ij} — степень сжатия наибольшая из условий детонации степень сжатия в ij -ой нагрузочно-скоростной зоне.

Если требуемое $ОЧ$ оказывается больше $ОЧ$ низкооктанового компонента смесового топлива, то исходя из адитивности определения $ОЧ$, вычисляется доля высокооктанового компонента β_{ij} , добавляемого в топливо для обеспечения требуемого $ОЧ_{ij}$. Таким образом, с одной стороны, для каждой нагрузочно-скоростной зоны известен массовый расход смесового топлива $G_{T_{ij}}$ и доля содержания в нем высокооктанового компонента β_{ij} , а с другой — время работы двига-

теля в каждой зоне Δt_{ij} при выполнении NEDC цикла. В результате имеем расход смешанного топлива за цикл испытаний

$$G_{\Sigma} = \sum_{i,j=1}^{N_i, N_j} G_{Tij} \cdot \Delta t_{ij}$$

и количество израсходованного высокооктанового компонента $G_{\Sigma B} = \beta_{ij} \cdot G_{\Sigma}$ при выбранной степени сжатия.

Решение рассмотренной задачи позволяет достаточно простым способом повысить эксплуатационную топливную экономичность транспортных ДВС с искровым зажиганием.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Гусаков С.В., Макаров А.П. Характеристики двигателя с переменной степенью сжатия // Проблемы теории и практики в инженерных исследованиях: Сб. научн. трудов. — М.: АСВ, 2000. — С. 195—197.*
- [2] Поршневой двигатель внутреннего сгорания с переменной степенью сжатия // Патент РФ № 2256085, F02B, приоритет от 08.08.2000.
- [3] Двигатели внутреннего сгорания. Кн. 1. Теория рабочих процессов / Под ред. В.Н. Лукина и М.Г. Шатрова. — М.: Высшая школа, 2007.

STANDS AND APPARATUS FOR THE STUDY OF PROCESSES MIXTURE FORMATION AND COMBUSTION OF ALTERNATIVE FUELS UNDER ICE

**S.V. Gusakov, D.V. Mikhryachev,
I.V. Afanasyeva**

Department of heating engineers and heat engines
Faculty of Engineering
Peoples' Friendship University of Russia
Podolskoe shosse, 8/5, Moscow, Russia, 113093

The article provides a brief description of the experimental units, is retained for research features of processes of mixing and subsequent combustion of the fuel-air mixtures, including alternative fuels in an internal combustion engine with spark ignition, ignition and compression-ignition homogeneous charge. The structure of the instruments used and describes the testing methods.

Key words: research, internal combustion engine, fuel, air, mixture, combustion.