

УДК 629:004.891

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ****Г.А. УВАРОВ***(Полоцкий государственный университет)*

Рассматриваются аспекты диагностирования систем питания автомобильных бензиновых двигателей с внешним типом смесеобразования по акустическому сигналу. Предложено анализировать акустический импульс, возникающий при сгорании топливовоздушной смеси, совместно с электромагнитным импульсом системы зажигания. Наложение осциллограмм акустического и электромагнитного импульсов позволит идентифицировать нарушения процессов сгорания в цилиндрах. Приводятся теоретические и практические предпосылки к проведению исследований в данной области. Определяется круг задач, требующих решения.

Введение. Частный легковой автопарк Республики Беларусь состоит из автомобилей самых различных марок, моделей и годов выпуска. Большое разнообразие автопарка требует высокой квалификации диагноста, а также соответствующего инструментального оснащения универсального диагностического поста, включающего в качестве обязательного атрибута цифровой осциллограф. Диагностирование систем, обеспечивающих оптимальное сгорание топливовоздушной смеси в цилиндрах автомобильного бензинового двигателя с внешним типом смесеобразования, сопряжено с проверкой исправности как электронных, так и механических компонентов.

Автомобили, имеющие пробег более 200 тыс. км, наиболее часто нуждаются в диагностировании и ремонте электронных и механических систем двигателей. При этом они трудоемки в диагностировании, так как имеют несовершенные системы управления. Лишь небольшая часть производителей дорогих моделей (к примеру, Mercedes-Benz, BMW, Audi) обеспечивают высокую информативность электронных блоков управления, алгоритмы самодиагностирования которых позволяют определять: разрывы и короткие замыкания в электрических цепях; отклонения форм сигналов датчиков от номинальных; неисправности механических систем (в электромеханических агрегатах с обратной связью); снижение цилиндровой мощности (по колебаниям угловой скорости вращения коленчатого вала).

Однако даже самые лучшие системы самодиагностирования не способны распознавать неисправности, имеющие комплексный, постепенный характер, не связанные с электронными компонентами. Большинство электронных блоков управления не способны идентифицировать комплексные неисправности, связанные с частичной потерей функциональности механизма газораспределения, снижением герметичности маслоъемных колпачков, ухудшением качества распыла топлива инжектором, снижением компрессии в цилиндрах, повышенным сопротивлением воздуху во впуске и отработанным газам на выпуске, дрейфом параметров расходомера воздуха, датчика кислорода, температурного датчика и др.

Развитие программно-аппаратных средств фиксации и анализа быстропротекающих процессов, снижение стоимости таких средств, а также повышение квалификации специалистов, занятых в диагностировании автомобилей, позволяют сегодня разрабатывать и предлагать для широкого практического применения методы диагностирования, ранее считавшиеся исключительно лабораторными. К таким методам относится инструментальный метод акустического диагностирования.

Основная часть. Органолептический способ акустического диагностирования автомобильных двигателей в силу своей доступности широко распространен, однако он имеет естественную ограниченность – недостаточно достоверен. В силу особенностей слухового восприятия человек не способен различить акустический импульс длительностью менее 70 мс [1]. К примеру, затруднительно на слух привязать отдельные пропуски воспламенения топливовоздушной смеси к конкретному цилиндру.

Исследования по совершенствованию инструментальных методов виброакустического диагностирования двигателей внутреннего сгорания длительное время проводятся в научных учреждениях России и других стран. Нами метод диагностирования систем питания бензиновых двигателей рассматривается исходя из изменения параметров акустического сигнала, сопровождающего сгорание топливовоздушной смеси. Данный метод не требует вмешательства в работающие системы, выполнения разборочных работ, подключения к электрическим цепям, универсален и оперативен, однако нуждается в тщательном методическом обеспечении.

Теоретическими предпосылками совершенствования инструментальной методики акустического диагностирования двигателей являются выявленные зависимости скорости сгорания топливовоздушной смеси от изменения ее качественного состава, компрессии в цилиндрах, качества процессов газообмена, угла опережения зажигания, а также энергии искрового разряда. Скорость горения смеси зависит от дисперсности смешивания топлива с воздухом.

При горении топливовоздушной смеси импульс давления газов возбуждает колебания деталей двигателя, которые затем, соприкасаясь с наружным воздухом, генерируют акустические колебания. Энергия акустических колебаний зависит от энергии и скорости горения смеси. Колебания воздушного давления на наружной поверхности двигателя ориентировочно составляют 0,001 % от величин колебаний давления газов внутри камеры сгорания. Одним из определяющих параметров перехода волновой энергии из одной среды в другую является разница величин акустического сопротивления (импеданс) этих сред. Акустическое сопротивление чугуна примерно в 60000 раз больше, чем воздуха. Поэтому только незначительная часть звуковой энергии передается от газов к чугуну, и затем от него к воздуху. На расстоянии 1 м от двигателя звуковое давление падает лишь на 10 %, что позволяет диагностировать по акустическому сигналу дистанционно [2].

Импульсы давления передаются через поршни и шатуны в коленчатый вал, который в свою очередь передает их шкивам и маховику. Колебания передаются сопряженным деталям. Чугунный блок и картер обладают множеством резонансов на разных частотах. Изгибные волны, возникающие в металле, отражаются от всех участков блока, где его форма и толщина резко изменяются, создавая во всей конструкции стоячие волны различной пространственной формы и различных частот (реверберация). Разумеется, все эти волны имеют гармоники. Явление резонанса значительно снижает акустический импеданс конструкции для звука резонансной частоты. В двигателе есть и другие источники шума; одни из них не зависят от сгорания топлива, другие связаны с ним. Каждый раз, когда открывается выпускной клапан, происходит мгновенное высвобождение остаточной энергии газов. Система выпуска отработанных газов обладает собственными резонансными частотами и гармониками. При открытии впускного клапана происходят колебания давления воздуха в системе впуска. Механизм газораспределения также создает шумовой фон. Шум генерирует и вентилятор системы охлаждения. В некоторых случаях шум вентилятора превосходит звук работы двигателя.

Таким образом, для диагностических целей необходимо выделить начальный импульс, генерируемый сгорающей топливовоздушной смесью, из остального акустического фона.

Для стробирования акустического сигнала нами был применен датчик электромагнитной индукции, позволяющий отслеживать изменения электромагнитного поля вблизи высоковольтных проводов и катушек высокого напряжения системы зажигания. Сигналы от микрофона и датчика индукции подаются на вход двухканального цифрового осциллографа. При этом осциллограф синхронизируется по сигналу от датчика электромагнитной индукции (рис. 1).

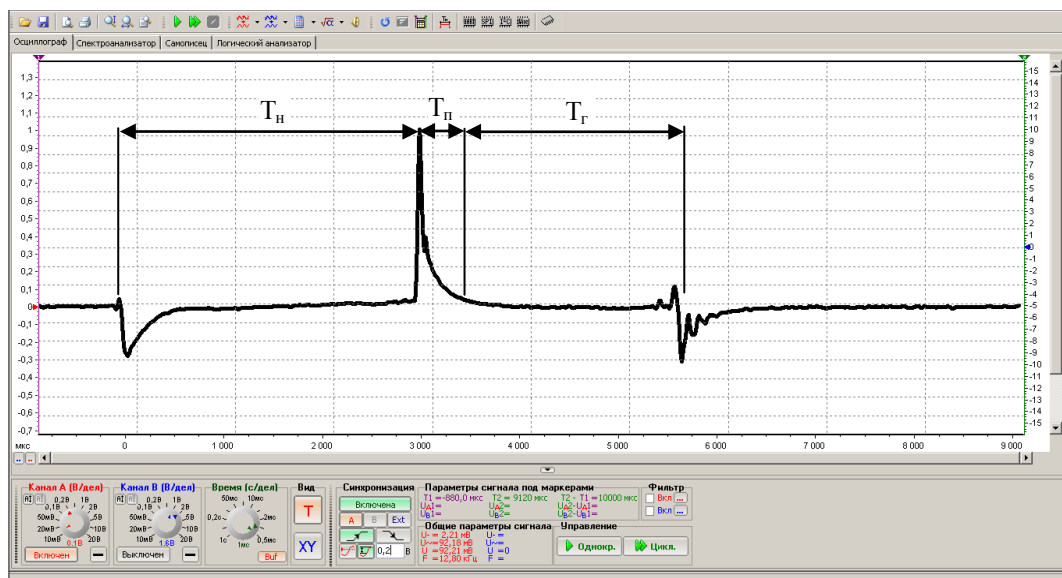


Рис. 1. Осциллограмма электромагнитного импульса системы зажигания:
 T_n – время насыщения индуктивной катушки зажигания; T_p – момент искрового пробоя;
 T_r – период горения электрической дуги

Осциллограммы накладываются одна на другую для определения временного промежутка, заключенного между моментом искрового поджига топливовоздушной смеси и моментом получения акустического отклика, возникающего при сгорании топливовоздушной смеси. Это позволяет определять относительную скорость горения смеси и абсолютную с учетом геометрических параметров цилиндра. По амплитуде акустического сигнала возможно определить относительную энергию сгорания в цилиндре. При многократном повторе измерений формируется представление о флуктуации параметров горения.

При выявлении нарушений процесса сгорания необходимо рассматривать влияние различных факторов на его протекание. В 20-х годах прошедшего столетия Н.Р. Бриллинг установил, что скорость сгорания топливовоздушной смеси в цилиндрах двигателя зависит от коэффициента избытка воздуха. Наибольшей скоростью горения обладают обогащенные смеси $\alpha \approx 0,9$. Более богатые и более бедные смеси

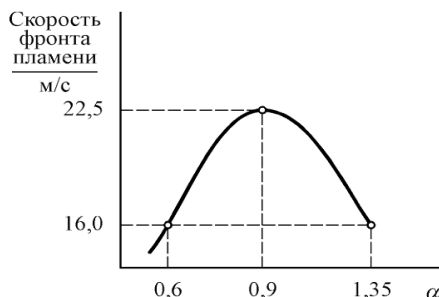


Рис. 2. Влияние состава смеси на скорость сгорания

горят медленнее. Изменение состава топливовоздушной смеси в диапазоне от нижнего до верхнего предела воспламеняемости изменяет скорость горения от 16 до 25 м/с (рис. 2). Значительное влияние на процесс горения оказывает угол опережения зажигания, а также параметры высоковольтной дуги на контактных свечах зажигания. Повышение давления при сжатии смеси способствует ускорению процессов горения (увеличивает скорость распространения фронта пламени). Скорость горения замедляется при ухудшении процессов газообмена [3].

Скорость сгорания оказывает существенное влияние на характер протекания индикаторной диаграммы (см. рис. 2). Нормальное сгорание гомогенной смеси сопровождается относительно небольшой скоростью нарастания давления (не более 0,2 МПа), поэтому уровень шума двигателей с искровым воспламенением относительно невысок (70...82 дБ).

Индикаторные диаграммы, приведенные на рисунке 3, соответствуют различным скоростям сгорания. Видно, что при составе смеси, характеризуемом $\alpha = 0,9$, индикаторная диаграмма получается наиболее полной, диаграмма, определяемая продолжительность сгорания ($\varphi'_z < \varphi''_z < \varphi'''_z$), характеризуется наименьшей полнотой.

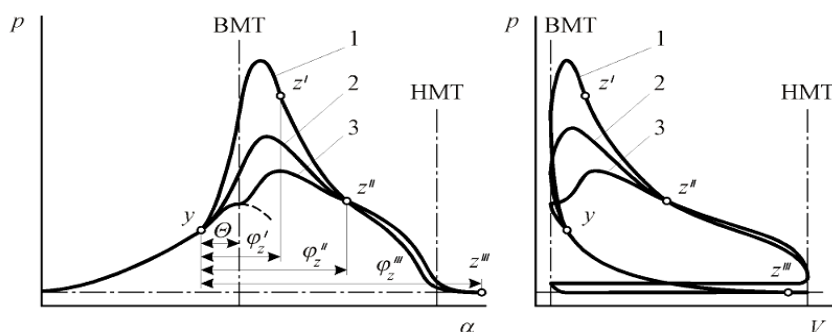


Рис. 3. Влияние состава смеси на характер протекания индикаторной диаграммы: 1 – $\alpha = 0,9$; 2 – $\alpha = 0,6$; 3 – $\alpha = 1,4$; Θ – угол опережения зажигания; $\varphi'_z, \varphi''_z, \varphi'''_z$ – период сгорания ТВС

Скорость сгорания и величина давления в значительной степени зависят не только от состава смеси, но и от угла опережения зажигания. На рисунке 4 показаны индикаторные диаграммы, соответствующие различным углам опережения зажигания. Приведенные диаграммы позволяют сделать заключение о зависимости величины максимального давления в цилиндре от угла опережения зажигания.

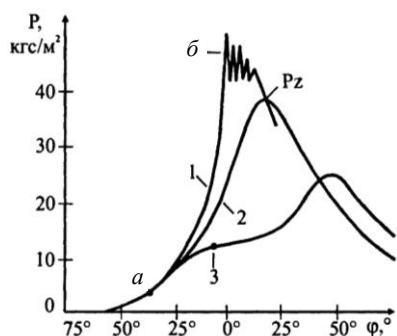


Рис. 4. Изменение давления в цилиндре двигателя в зависимости от момента зажигания: 1 – раннее зажигание; 2 – нормальное зажигание; 3 – позднее зажигание; a – момент зажигания; б – детонация;

Оптимальное значение угла опережения зажигания зависит от нагрузки (степени открытия дроссельной заслонки), частоты вращения коленчатого вала, организации процессов смесеобразования и сгорания [4]. Отклонение угла опережения зажигания от оптимального оказывает значительное влияние на изменение давления газов в надпоршневой полости.

В работе [5] указывается, что по индикаторной диаграмме можно различить отклонения процесса сгорания от нормального, как детонацию, так и калильное зажигание.

Напомним, что при детонации нарушение процесса сгорания проявляется в конце основной (второй) фазы сгорания, а при калильном зажигании – в начале. В обоих случаях жесткость работы (колебания) и шум двигателя возрастают. Энергия горения снижается при ухудшении процессов газообмена, уменьшении энергии искрового разряда, при сниже-

P_z – максимум давления в цилиндре нии компрессии в цилиндре.

Заключение. По результатам экспериментов и совместному анализу параметров электромагнитного импульса при искровом пробое на свече и акустического импульса при горении топливоздушнoй смеси в цилиндре возможно говорить о практической целесообразности диагностирования систем питания двигателей с использованием двухканального цифрового осциллографа, оснащенного датчиками электромагнитного и акустического импульсов.

Разрабатываемая диагностическая методика является, по нашему мнению, перспективной, требующей дальнейшего исследования. Методика позволит локализовывать и идентифицировать пропуски воспламенения, определять снижение цилиндровой мощности, выявлять калильное зажигание, детонацию а также определять характер флуктуации параметров горения.

В процессе доработки данной методики до уровня практической значимости необходимо решить следующие задачи:

- определить наиболее оптимальный способ выделения информативной составляющей акустического сигнала, усовершенствовать устройство датчиков, оптимизировать их чувствительность;
- повысить глубину анализа получаемых данных, автоматизировать их обработку;
- накопить и обобщить экспериментальный материал, построить базу знаний по данной методике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлов, Б.В. Акустическая диагностика механизмов / Б.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1971. – 223 с.
2. Тейлор, Р. Шум / Р. Тэйлор; пер. с англ. Д.И. Арнольда; под ред. М.А. Исаковича. – М.: «Мир», 1978. – 308 с.
3. Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: учебник по курсу «Теория рабочих процессов и моделирование процессов в двигателях внутреннего сгорания» / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
4. Дьяченко, В.Г. Теория двигателей внутреннего сгорания: учебник / В.Г. Дьяченко; пер. с укр. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – 500 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для втузов / Д.Н. Вырубов [и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.

Поступила 24.01.2014

PERFECTION OF THE ACOUSTIC METHOD OF DIAGNOSING OF AUTOMOBILE PETROL ENGINES

G. UVAROV

Some aspects of diagnosing of power supply systems of automobile petrol engines with external type of mixing, on an acoustic signal are considered. It is offered to analyze the acoustic impulse arising at combustion of a fuel mix, together with an electromagnetic impulse of system of ignition. Imposing of oscillograms of acoustic and electromagnetic impulses will allow to identify infringements of processes of combustion in cylinders. Theoretical and practical preconditions are resulted in carrying out of researches in the field. The circle of the problems demanding the decision is defined.