

УДК 629:004.891

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО ДИНАМИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ И ВИБРАЦИИ КОРПУСА

*д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ; Г.А. УВАРОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается системная проблема диагностирования двигателей автомобилей по виброакустическим колебаниям. Представлены некоторые новые подходы к совершенствованию виброакустического способа диагностирования при помощи современных компьютерных средств. Предлагается повысить достоверность диагностирования исходя из полученных и проанализированных данных о динамических характеристиках отработавших газов и параметрах вибрации двигателя. Проведенное исследование показало, что использование информации о флуктуации динамических параметров позволило уменьшить трудозатраты на диагностирование.

Введение. Мощность и экономичность автомобильного бензинового двигателя обусловлена техническим состоянием его систем управления, питания, зажигания, выпуска и снижения токсичности отработавших газов и газораспределительного механизма. Усложнение современных двигателей и повышение требований к охране окружающей среды связаны с совершенствованием известных и разработкой новых способов диагностирования. Падение цилиндровой мощности в одном или нескольких цилиндрах двигателя приводит к повышению расхода топлива, снижению ресурса, увеличению динамических нагрузок на трансмиссию и повышению токсичности отработавших газов [1]. Эти отклонения не всегда заметны для органолептического восприятия и часто не фиксируются системой самодиагностирования двигателя, что оставляет нераспознаваемой значительную часть неисправностей. Параметры процессов сгорания топливовоздушной смеси (ТВС) в отдельных цилиндрах бензиновых двигателей могут отклоняться от номинальных значений по ряду причин. Выборочное диагностирование сопряжено с проверкой множества элементов различных систем и является трудоемким процессом [2].

Анализ динамических параметров отработавших газов и колебаний корпусной детали двигателя относительно кузова автомобиля позволяет получить диагностическую информацию о характеристиках процессов сгорания и газообмена в цилиндрах двигателя, что способствует более быстрому и достоверному определению неисправностей. Подобная информация используется на практике не в полной мере по причине отсутствия соответствующих способов и приборов. Повышение эффективности такого диагностирования представляет практический интерес.

Цель данной работы – уменьшение трудоемкости и повышение достоверности диагностирования автомобильных бензиновых двигателей путем разработки диагностической системы, состоящей из прибора, способа получения и анализа информации о динамических характеристиках отработавших газов и колебаниях двигателя.

Методы исследования. Для получения и анализа диагностической информации нами использовалась система программно-аппаратных средств, состоящая из персонального компьютера, двухканального аналого-цифрового преобразователя, датчиков перемещений индукционного типа оригинальной конструкции, датчика колебаний высокого напряжения системы зажигания, токовых клещей (рис. 1).

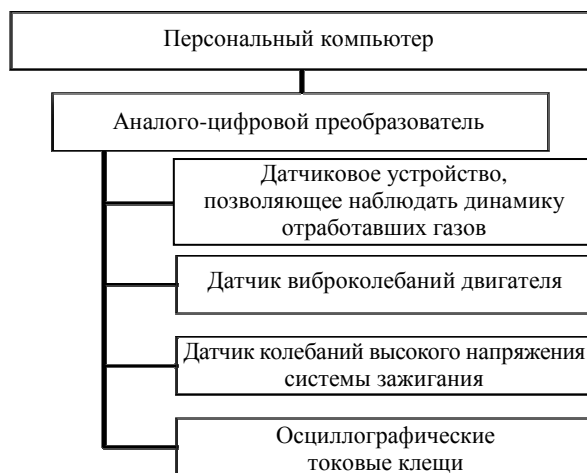


Рис. 1. Состав программно-аппаратного диагностического комплекса

При изучении колебаний среды (отработавших газов) и стенок корпусной детали использовали датчики, каждый из которых состоял из постоянного магнита и индуктивной катушки. Магниты закрепляли на подвижной, а катушку индуктивности посредством штатива – на неподвижной поверхности. Колебания магнита возбуждают в катушке электродвижущую силу, пропорциональную скорости изменения их взаимоположения. В отличие от широко используемых для измерения параметров колебаний датчиков вихретоковых, на основе пьезоэлементов, а также тензометрических примененный нами датчик отличается меньшей стоимостью и простотой. Изменения импульса газов и скорости перемещений стенок корпусной детали двигателя непосредственно преобразуются в выходное напряжение.

Устройство, позволяющее наблюдать изменение динамических параметров отработавших газов на выходе из системы выпуска, состоит из подпружиненного экрана, установленного перпендикулярно потоку исходящих газов, с присоединенным к нему датчиком перемещения индукционного типа. Скорость и направление перемещения экрана зависят от скорости изменения количества движения (импульса) отработавших газов (ОГ). Таким образом, электрическое напряжение, генерируемое датчиком, находится в функциональной зависимости от скорости изменения давления ОГ в системе выпуска, что в свою очередь зависит от давления в камере сгорания в момент начала открытия выпускных клапанов, полноты сгорания ТВС в цилиндре, а также от газодинамического сопротивления системы выпуска. Максимум электрического напряжения, генерируемого датчиком, соответствует максимуму ускорения ОГ. Отсутствие напряжения на выходе датчика соответствует постоянной скорости ОГ. Подвижность экрана (и, таким образом, механическая чувствительность датчика) определяется жесткостью пружины. Сигнал с датчика подается на монитор осциллографа.

Пики колебаний на сигналограмме соответствуют максимуму скорости колебаний корпуса двигателя. Так как нами рассматривались только относительные характеристики (форма и симметричность колебаний), точная калибровка датчиков не требовалась.

Для исследований был выбран бензиновый двигатель автомобиля NISSAN PRIMERA 2001 года выпуска без наддува QGA18DE рабочим объемом 1,8 л и мощностью 84 кВт.

Основная часть. Характер колебаний скорости отработавших газов на выходе из системы выпуска зависит от стехиометрического состава и дисперсности топлива в ТВС, устойчивости искрообразования и компрессии в цилиндрах [4]. В зависимости от вида неисправностей возможны следующие явления:

- топливовоздушная стехиометрическая смесь образуется и подается в цилиндр, но не воспламеняется (циклически или стохастически) в нем, затем воспламеняется в выпускном тракте, порождая волны повышенного давления;
- состав смеси отличается от стехиометрического, что приводит к флуктуации процессов сгорания, импульс ОГ изменяется при этом в широких пределах;
- смесь (циклически или стохастически) не воспламеняется в различных цилиндрах при определенной частоте вращения коленчатого вала или интенсивность пропусков воспламенения возрастает с увеличением этой частоты;
- смесь стохастически не воспламеняется в различных цилиндрах, интенсивность пропусков воспламенения монотонно возрастает, что приводит к остановке двигателя по истечении времени от нескольких секунд до нескольких десятков секунд;
- эффективность сгорания ТВС снижается или монотонно возрастает во времени без изменения режима работы, или изменяется с изменением режима работы;
- флуктуация параметров сгорания ТВС снижается или возрастает по мере прогрева двигателя.

Идентификация данных явлений позволяет с большей вероятностью определять неисправности, связанные с нарушениями в работе систем питания топливом и воздухом, выпуска и нейтрализации отработавших газов, зажигания, механизма газораспределения и системы управления двигателем.

На рисунке 2 представлена сигналограмма колебаний экрана, взаимодействующего с отработавшими газами, при исправном двигателе.

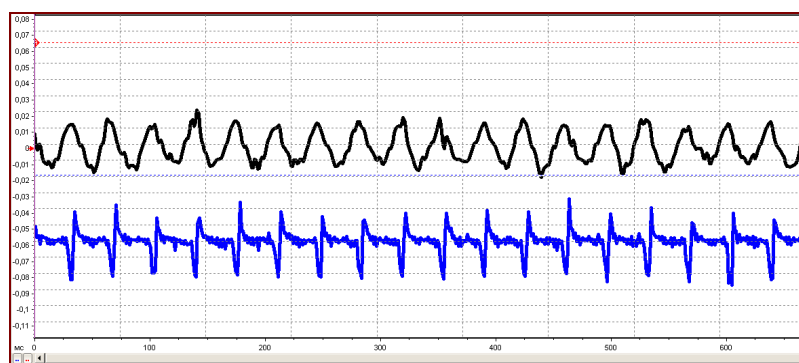


Рис. 2. Сигналограмма исправного двигателя

Сигналограмма датчика динамических параметров выхлопных газов совмещена с осциллограммой сигнала датчика, регистрирующего изменение высокого напряжения системы зажигания. На этом рисунке наблюдаются ряды симметричных колебаний от датчика колебаний высокого напряжения и датчика колебаний экрана.

На рисунке 3 приведена сигналограмма того же двигателя при пропусках воспламенения в одном цилиндре. Отчетливо видно различие значения максимального ускорения ОГ при выпуске из различных цилиндров. Не полностью сгоревшее в одном цилиндре топливо, догорая в системе выпуска, придает ОГ дополнительный импульс. При этом наблюдается устойчивое искрообразование, свидетельствующее об исправности системы зажигания. Данная сигналограмма свидетельствует о неполном сгорании ТВС в одном из цилиндров двигателя. Наиболее возможными причинами этого могут быть механическая неисправность распылителя топливного инжектора данного цилиндра или падение компрессии в цилиндре.

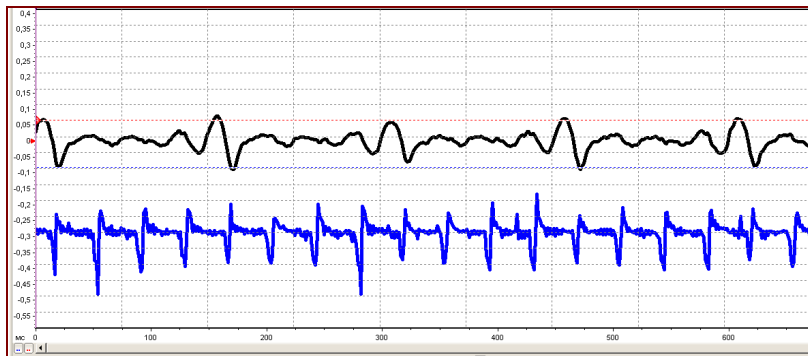


Рис. 3. Сигналограмма неисправного двигателя

Устройство, позволяющее наблюдать динамику отработавших газов, имеет регулятор натяжения пружины экрана, что позволяет управлять чувствительностью диагностического устройства. Чем меньше сжата пружина, тем более подвижен экран. И наоборот, сжатие пружины регулировкой приводит к игнорированию слабых воздействий, позволяя выделять информативный сигнал (рис. 4 и 5).

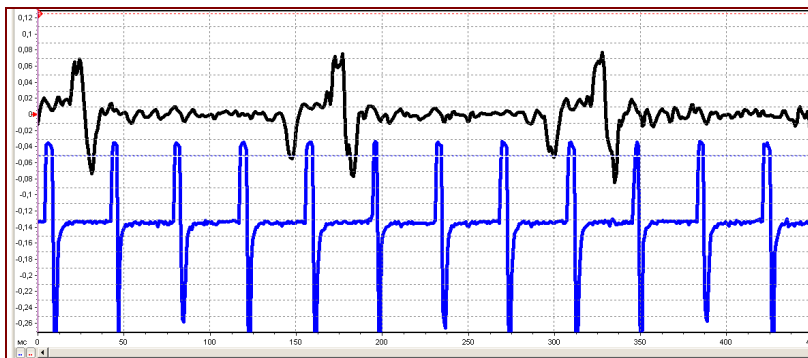


Рис. 4. Чувствительность датчика понижена

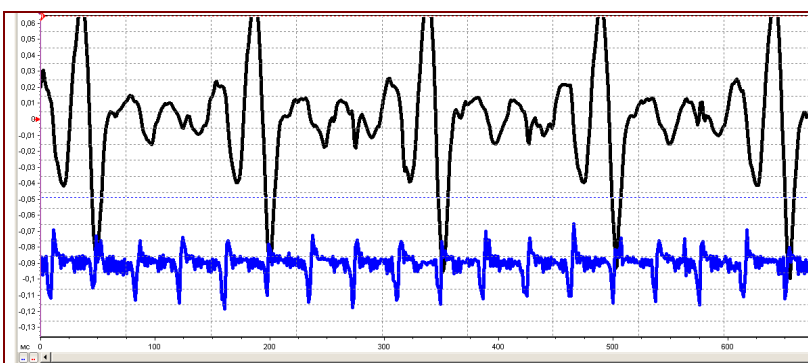


Рис. 5. Чувствительность датчика повышена

Дополнительную диагностическую информацию можно получить, изучая параметры колебаний двигателя. Частота и амплитуда колебаний двигателя относительно кузова автомобиля зависят от частоты вращения коленчатого вала, нагрузки на двигатель и цилиндровой мощности. При исправных элементах демфирующей подвески двигатель совершает колебания относительно кузова с частотой, равной удвоенной частоте вращения коленчатого вала. В первой трети такта рабочего хода давление в цилиндре достигает максимума, а во второй трети рабочего хода двигатель отклоняется в сторону, противоположную направлению вращения коленчатого вала. В последней трети такта рабочего хода давление в цилиндре уменьшается, при этом упругая подвеска отклоняет двигатель в обратную сторону. Таким образом, за один поворот коленчатого вала происходит два циклических колебания от одного цилиндра.

При равной цилиндровой мощности амплитуды колебаний должны быть равны, а их сигналограммы симметричны, т.е. высоты пиков, а также продолжительность одного колебания должны быть одинаковы. При неисправностях систем питания или зажигания, выпуска и нейтрализации отработавших газов или газораспределительного механизма характер колебаний изменяется.

На рисунке 6 представлена сигналограмма колебаний корпусной детали исправного двигателя, где отчетливо наблюдается примерно равная максимальная скорость колебаний, ветви колебаний одинаковы.

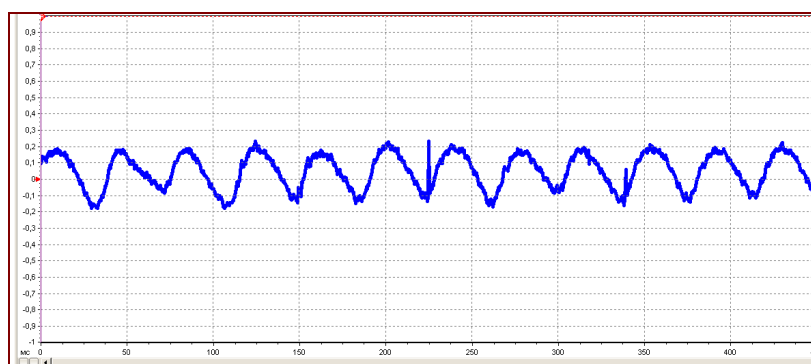


Рис. 6. Сигналограмма колебаний двигателя при минимальной разнице цилиндровой мощности

На рисунке 7 отображена сигналограмма колебаний двигателя при падении мощности одного из цилиндров. На осциллограмме отчетливо видно циклическое (в течение четырех тактов) асимметричное изменение скорости колебаний, вызванное различием цилиндровой мощности. В данном случае уменьшение мощности одного из цилиндров не было заметно для органолептического восприятия и не было зарегистрировано системой самодиагностирования.

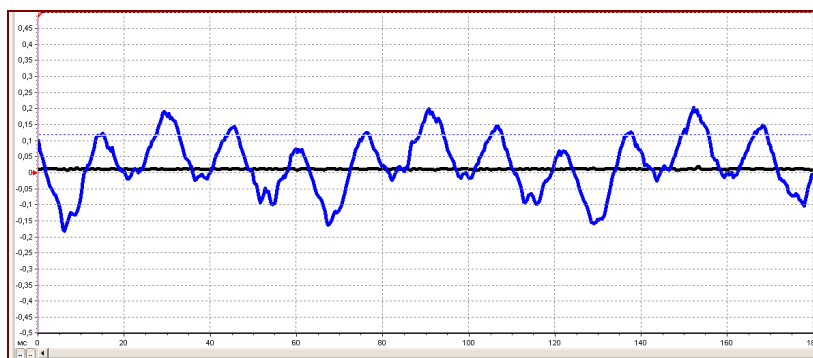


Рис. 7. Сигналограмма колебаний двигателя при падении мощности одного из цилиндров

Предложенный способ позволяет отнести диагноз к отдельному цилиндру, выявить неисправность системы зажигания, падение компрессии, предположить о неисправности инжектора без выполнения разборочных операций. Например, при случайном падении мощности в различных цилиндрах и усилении флуктуации процессов сгорания при увеличении частоты вращения коленчатого вала можно предполагать о снижении давления топлива по причине неисправности топливного насоса или регулятора дав-

ления. Следующим целесообразным диагностическим шагом будет проверка давления топлива в рампе. При быстром равномерном монотонном снижении импульса ОГ сразу после пуска двигателя можно предполагать о повышенном сопротивлении отработавшим газам в системе выпуска из-за оплавления катализатора нейтрализации ОГ. Целесообразно будет проверить работу двигателя с отсоединенным катализатором или снятым первым датчиком кислорода.

При исправной системе зажигания, диагностируемой по динамике электромагнитного поля, генерируемого цепями высокого напряжения, следующим целесообразным диагностическим шагом будет проверка относительной компрессии в цилиндрах по силе тока, потребляемого стартером. Динамику потребления тока стартером целесообразно изучать с использованием осциллографа и токовых клещей.

Заключение. Анализ динамики отработавших газов и колебаний двигателя позволяет получить информацию о характере сгорания топлива и обосновать предположения о возможных неисправностях. Выполненные эксперименты подтвердили применимость способа для выявления пропусков воспламенения, снижения эффективности сгорания топлива в цилиндрах.

Предложенное программно-аппаратное средство обеспечивает сравнительно низкую трудоемкость диагностирования, позволяет локализовать и идентифицировать неисправности, связанные с системами питания, зажигания и выпуска отработавших газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хрулев, А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей / А.Э. Хрулев. – М.: За рулем, 1999. – 438 с.
2. Данов, Б.А. Электронные системы управления иностранных автомобилей / Б.А. Данов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 224 с.
3. Яманин, А.А. Динамика поршневых двигателей: учеб. пособие / А.А. Яманин, А.В. Жаров. – М.: Машиностроение, 2003. – 464 с.
4. Железко, Б.Е. Основы теории и динамика автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для вузов / Б.Е. Железко. – Минск: Выш. шк., 2005. – 304 с.

Поступила 24.11.2014

DIAGNOSING OF THE AUTOMOBILE PETROL ENGINES ON DYNAMIC PARAMETERS THE FULFILLED GASES AND CASE VIBRATION

V. IVANOV, H. UVAROV

In article the system engineering problem diagnostics of engines of cars is considered. Some new approaches to perfection vibroacoustic a method of diagnosing by use of modern computer means are presented. It is offered to raise reliability of process of diagnosing by reception and the analysis of the data about dynamic characteristics of the let out fulfilled gases and vibration parameter of the engines. Use of the information on characteristics of fluctuation dynamic parameters, allows to lower labor input of diagnosing.