

результаты теории случайных сигналов [7] в части распространения их на аддитивную смесь детерминированного сигнала и шума в широком диапазоне отношения «сигнал/шум».

Полученные результаты исследований устанавливают высокую степень ортогональности сигналов виброускорения, виброскорости, виброперемещения при диагностике машин, что хорошо согласуется с практикой [4] и объясняет целесообразность совместного использования этих вибропараметров в качестве независимых диагностических признаков в задачах диагностики.

Литература:

1. Автоматизированный расчет колебаний машин / Под ред. К.М. Рагульскаса. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 104 с.
2. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 288 с.
3. Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУБЭР-КОМПАКС®). М.: Машиностроение, 1999. – 163 с.
4. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.
5. Костюков А.В. Формирование вектора независимых диагностических признаков технического состояния роторных агрегатов // Сборник научных трудов по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана. – Москва, 2005. – С. 26-29.
6. Костюков А.В. Контроль и мониторинг центробежного насосного агрегата по трендам вибропараметров. Канд. Дисс. Омск, 2006. – 203 с.
7. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. - М.: Советское радио, 1974, т.1. - 550 с.; 1975, т.2. - 392 с.; 1976, т.3. - 288 с.
8. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Вибродиагностика / Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИБОРОВ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВПРЫСКИВАНИЕМ БЕНЗИНА

Зяц Ю. А., Веревтин А.Ю. (Рязанский военный автомобильный институт)

Значительную часть тепловых двигателей парка автомобилей как в мире в целом, так и в нашей стране, составляют бензиновые двигатели, конструкция которых постоянно совершенствуется. Применение систем подачи горючей смеси в цилиндры двигателя с помощью карбюраторов уходит в прошлое, так как в этом случае проблематично обеспечить точную дозировку топлива по цилиндрам. Кроме того, слишком много топлива в виде тонкой пленки остается на стенках впускного коллектора. В дальнейшем эта пленка постепенно сносится потоком воздуха в сторону впускного клапана и периодически в цилиндр начинает поступать избыточное количество топлива. В результате в отработавших газах резко повышается содержание продуктов неполного сгорания: углеводородов и оксида углерода. Поэтому задача по выполнению жестких нормативных требований к содержанию вредных веществ в отработавших газах двигателей с карбюраторными системами является достаточно сложной.

Очередным шагом развития способов приготовления и подачи топливовоздушной смеси стало создание систем впрыска топлива во впускной коллектор, наиболее перспективной из которых является электронная система распределенного впрыскивания бензина. Применение электронных устройств в системе питания двигателя открывает широкие возможности в осуществлении любой технической задачи, связанной с автоматической оптимизацией протекающих в двигателе процессов и позволяет значительно увеличить мощность двигателя (до 20%), улучшить экономичность на переходных режимах и режимах полной мощности (до 10%), улучшить динамические качества автомобиля, характеризующие его ускорение и максимальную скорость (до 7%), повысить пусковые качества [1].

В настоящее время более 90 % автомобильных бензиновых двигателей оборудуются системами распределенного впрыскивания, широкое распространение которых обусловлено высокой точностью дозирования топлива как на установившихся, так и на переходных режимах. В основном, благодаря этому качеству, двигатели с распределенным впрыскиванием топлива, оснащенные нейтрализатором отработавших газов, удовлетворяют нормам токсичности EURO III, действующим сейчас в Европе, а также вводимым в перспективе нормам EURO IV.

Основной принцип функционирования современных систем распределенного впрыскивания топлива заключается в том, что топливо подается под постоянным средним давлением в накопительный объем – топливную рампу, и через электромагнитные форсунки, соединенные с рампой, впрыскивается во впускной трубопровод двигателя под контролем электронных устройств [2].

Электромагнитные форсунки являются исполнительным механизмом аппаратуры впрыскивания, дозирующим и распределяющим топливо по цилиндрам двигателя. Форсунка представляет собой гидравлический клапан с приводом от быстродействующего электромагнита. Клапан работает в импульсном режиме и имеет два устойчивых состояния – полностью закрытое и полностью открытое. Проходное сечение клапана в процессе дозирования можно считать постоянным, так как время перемещения клапана из одного положения в другое значительно меньше времени открытого состояния. Продолжительность открытого состояния клапана находится в непосредственной связи с длительностью управляющего импульса, подаваемого на обмотку электромагнита форсунки. Дозирование порций топлива электромагнитными форсунками основывается на изменении длительности открытого состояния управляемого электромагнитного клапана. Количество поданного форсункой топлива (цикловая подача) определяется интервалом времени истечения топлива через открытый клапан и перепадом давления на клапане, зависящем от давления топлива в системе и давления во впускном тракте двигателя. В современных системах впрыскивания бензина программирование топливоподачи ведется по давлению во впускном тракте (как одному из задающих параметров); его изменение учитывается автоматически. Требуемое давление в системе топливоподачи поддерживается редукционным клапаном, перепускающим избыток топлива в топливный бак. Чтобы не усложнять регулирование и в то же время обеспечить точность дозирования принимают постоянным давление топлива в системе или перепад давления на клапанах форсунки [3].

Таким образом, поток проходящего через форсунки топлива напрямую не контролируется, а оценка состояния системы топливоподачи сводится к измерению давления топлива в рампе с помощью манометра [4]. Подобный способ

несовершенен и не позволяет достоверно оценить работоспособность форсунок, регулятора давления топлива, герметичность трубопроводов и т.д.

В свою очередь, в результате вынужденных возмущений в системе возникают гидродинамические колебательные процессы волнового характера [3], по изменению которых в процессе регистрации можно судить с достаточной достоверностью о техническом состоянии приборов системы питания.

Рассмотрим систему топливоподачи как упругую напряженную систему, состоящую из ряда емкостей и трубопроводов, заполненных жидкостью под давлением. Импульсное открытие и закрытие клапана форсунки является возмущающей причиной, выводящей упругую систему из равновесия. Обычно нестационарное движение жидкости в системах с трубопроводами описывается известными дифференциальными уравнениями в частных производных. Приближенное решение уравнений нестационарного движения жидкости в системе топливоподачи аппаратуры впрыска может быть представлено системой уравнений в форме прямых и обратных волн, имеющей вид:

$$\begin{cases} p = p_0 + e^{-knt} \left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) - W\left(t + \frac{x}{a}\right) \right]; \\ u = u_0 + \frac{1}{\rho a} e^{-knt} \left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) - W\left(t + \frac{x}{a}\right) \right], \end{cases}$$

где p , u – средние в сечении значения давления и скорости; p_0 , u_0 – средние в сечении значения давления и скорости до возмущения; a – скорость распространения волн возмущения; ρ – плотность топлива; x , t – координаты расстояния и времени; F , W – функции соответственно прямых и обратных волн давления аргументов $[t - (x/a)]$ и $[t + (x/a)]$; k_n – фактор гидравлического сопротивления, учитывающий противодействующие силы вязкостного трения и внутреннего трения в материале стенок трубопровода [3].

Таким образом, в результате вынужденных возмущений в системе возникают гидродинамические колебательные процессы волнового характера, по изменению которых в процессе регистрации можно судить с достаточной достоверностью о техническом состоянии элементов системы топливоподачи.

Определить практически параметры величины изменения давления топлива в нагнетательной магистрали и проверку электромагнитных форсунок возможно по величине и форме импульсов наведенных волн от колебаний топлива как сжатой жидкой среды при отсекании подачи топлива электромагнитными форсунками, фиксируемых индикаторным датчиком давления жидкости с токовым выводом с последующим отображением полученного сигнала в электронном блоке, сравнением сигнала с показаниями устройства согласования и выводом сигнала на устройство отображения без демонтажа приборов системы питания в процессе работы двигателя [5].

Для осуществления вышеизложенного предлагается использовать установку, схематично изображенную на рисунке 1, состоящую из индикаторного датчика давления жидкости с токовым выводом 3, электронного блока 6, устройства согласования 5 и устройства отображения 7 (индикаторный датчик давления жидкости с токовым выводом 3, электронный блок 6, устройство согласования 5 и устройство отображения 7 связаны между собой электрическими цепями 8, 9, 10). Установка подключается к штуцеру для контроля давления топлива 2, расположенному на топливной рампе 1.

При использовании данной установки возможна оценка параметров работы следующих приборов системы питания:

- электрического бензинового насоса;
- регулятора давления топлива;
- электромагнитных форсунок.

К примеру, оценка технического состояния электромагнитных форсунок осуществляется следующим образом. При работе двигателя топливо из топливной рампы 1 через поочередно открывающиеся электромагнитные форсунки 4 впрыскивается во впускной трубопровод. Каждое отсекание подачи топлива электромагнитными форсунками 4 сопровождается изменением величины импульса наведенной волны от колебаний топлива как сжатой жидкой среды. Индикаторный датчик давления жидкости с токовым выводом 3 фиксирует это изменение, подает сигнал на электронный блок 6, в котором сигнал преобразуется, передается в устройство согласования 5, сравнивается с массивом данных и выводится на устройство отображения 7.

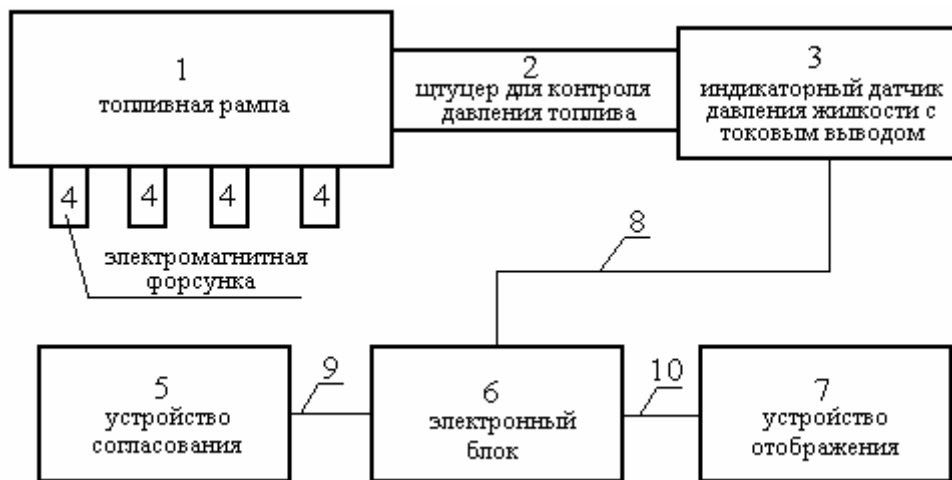


Рис. 1. Схема установки для оценки технического состояния топливной аппаратуры двигателя с впрыскиванием бензина

На рис. 2 приведена осциллограмма изменения давления в топливной рампе (зависимость величины падения напряжения в электрической цепи высокочувствительного датчика давления жидкости с линейной характеристикой работы от времени), снятая при работе двигателя ЗМЗ – 4062.10 с частотой вращения коленчатого вала $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ в течение одного цикла при отключенном электрическом бензонасосе для исключения влияния волн, наводимых самим насосом и регулятором давления топлива. Вертикальными линиями показаны моменты начала и окончания подачи электрических импульсов на электромагнитные форсунки соответствующих цилиндров двигателя, работу которых характеризует представленная осциллограмма. Ввиду того, что на установившемся режиме работы двигателя длительность импульсов открытия для всех форсунок одинакова и относительно стабильна, амплитуда пульсаций давления топлива в этом случае зависит только от производительности форсунок. При изменении производительности форсунок соответствующим образом изменяется вид осциллограммы.

Таким образом, значения величин импульсов наведенных волн от колебаний топлива как сжатой жидкой среды (либо их постоянных составляющих), создаваемых в системе топливоподачи, дают информацию о качестве функционирования

системы топливоподачи и по абсолютной разности (при сравнении со значениями заведомо исправной системы) позволяют сделать вывод о техническом состоянии приборов системы питания двигателя, что значительно повышает контролепригодность и снижает трудозатраты процесса диагностирования.

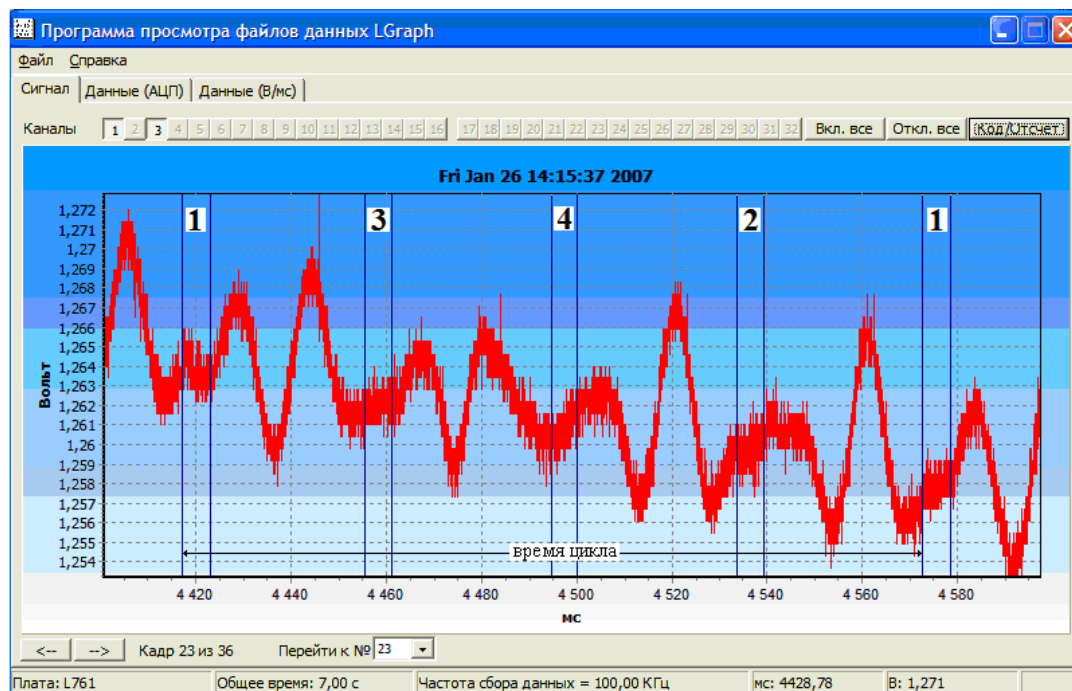


Рис. 2. Осциллограмма изменения давления топлива в топливной рампе системы питания двигателя с впрыскиванием бензина

Литература:

1. Филиппов А.З. Токсичность отработавших газов тепловых двигателей. – Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. – 160 с.
2. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт: Практ. пособ. – М.: Издательство «За рулем», 1999. – 144 с., ил.
3. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей / Ю. И. Будыко, Ю. В. Духнин, В. Э. Коганер, К. М. Маскенсков; Под общ.ред. Ю. И. Будыко. — 2-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982 — 144 с., ил
4. Ерохов В.И. Системы впрыска легковых автомобилей: эксплуатация, диагностика, техническое обслуживание и ремонт / В.И. Ерохов. – М.: ООО «Издательство Астрель»: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Транзиткнига», 2003.–159с.
5. Патент на изобретение № 2291983 от 20.01.07 г.

РАНГОВЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ КАЧЕСТВА МАШИН

Костюков В.Н., Костюков А.В. (НПЦ «Динамика», г. Омск)

В работе предлагается метод адаптивной безэталонной диагностики машин на основе анализа виброакустических и им подобных сигналов связанных с ненаблюдаемыми погрешностями машин и агрегатов возникающих при изготовлении и в эксплуатации, часть из которых не имеет адекватного представления в шкалах отношения и интервалов. Выведено каноническое уравнение связи между диагностическими признаками сигнала и структурными параметрами состояния машины, приведены результаты моделирования и экспериментов.