

ДАТЧИК ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КЛАПАНА ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ФОРСУНКИ

А.Н. Врублевский, доцент, к.т.н., ХНАДУ

***Аннотация.** Представлен способ определения положения электромагнитного клапана электрогидравлической форсунки. На примере форсунки Bosch показаны особенности регистрации положения клапана, а также зависимость топливоподачи от процессов, происходящих в полостях низкого давления электрогидравлической форсунки.*

***Ключевые слова:** электрогидравлическая форсунка, электромагнитный клапан, тензодатчик.*

Введение

В топливных системах аккумулирующего типа (ТСА) с электронным управлением закон топливоподачи формируется в форсунке при помощи устройств, преобразующих электрический сигнал в механическую работу, связанную с перемещением вспомогательного клапана или непосредственно иглы форсунки. Достоверные данные о перемещении клапана повышают эффективность работ, связанных с разработкой ЭГФ в целом и ее отдельных элементов (электромагнита, камеры управления и др.).

Анализ публикаций

Измерение микроперемещений элементов ТСА осуществляется различными методами. Некоторые из них описаны в работе [1]. При разработке методики измерения перемещения электромагнитного клапана можно использовать датчики, предложенные в работах [2 – 4]. В данном случае при использовании тензодатчиков [2, 3] необходимо решить целый ряд проблем, связанных с особенностями ЭГФ: работа датчика в магнитном поле, в среде дизельного топлива, скорость перемещения клапана более 0,3 м/с. Возможно выбрать для регистрации перемещения клапана ЭГФ оптический датчик [4]. Однако для этого необходимо изолировать область измерения от топлива, что сделать в условиях ЭГФ достаточно сложно. В случае работы оптического датчика в топливе неизбежны ошибки

измерения, связанные с рассеиванием пучка света и преломлением лучей.

Цель и постановка задачи

Цель работы – разработать способ определения перемещения клапана ЭГФ. Для достижения данной цели необходимо предложить и обосновать способ измерения хода клапана ЭГФ. Результатам достижения поставленной цели – разработке способа регистрации данного перемещения – и посвящена эта работа.

Объект исследования

Объектом исследования является ЭГФ с электромагнитным управляемым клапаном. Подробно принцип работы данной форсунки описан в [5, 6].

Разработка методики измерения и результаты ее применения

Анализ показал, что при выборе системы определения положения клапана ЭГФ необходимо выполнить следующие условия:

- минимизировать возможное увеличение массы подвижных деталей ЭГФ;
- исключить зависимость показаний измерений от температуры, так как в зоне измерения температура достигает 120 °С;
- учесть высокое быстродействие (микронные перемещения клапана происходят за микросекунды);

- исключить зависимость измеряемой величины от электромагнитного поля;
- обеспечить длительную работу датчика перемещения в среде топлива.

Как было указано выше, при попытке регистрации перемещения клапана в ЭГФ возникает целый ряд трудностей. А именно, клапан омывается топливом, поступающим по прецизионным зазорам и с камеры управления. Верхний открытый торец клапана опирается на пружину и заходит в магнитопровод. Рабочий ход клапана равен 0,05 мм. Для регистрации таких перемещений необходимо: с одной стороны – повышать чувствительность датчика, а с другой – минимизировать зависимость измеряемой величины от магнитного поля, течения топлива, идущего в систему сбора утечек и др.

Для преобразования перемещения клапана в электрический сигнал нами используется датчик балочной конструкции (см. рис. 1). Вызванная перемещением клапана деформация балки 2 фиксируется тензорезисторами 1, наклеенными на ее поверхность. С целью минимизировать возможные при измерении колебания балки для ее изготовления выбран материал с высоким декрементом затухания колебаний – стеклотекстолит. Толщина балки из стеклотекстолита выбиралась из условия обеспечения линейной характеристики датчика в исследуемом диапазоне перемещений (0 – 50 мкм). Дополнительным преимуществом такого выбора материала балки является его парамагнетизм. Чтобы повысить чувствительность измерительной цепи при малых перемещениях (до 0,05 мм) применяется мостовая схема включения с двумя активными датчиками (рис. 1). Изоляция тензорезисторов от топлива обеспечивается трехслойным лаковым покрытием.

Вторым элементом, выбор материала которого имеет важное значение, является шток 3. Материал штока должен обладать следующими свойствами: при малой плотности материала (минимизировать дополнительную массу клапана) быть парамагнитным и иметь модуль упругости не менее 100000 Н/мм^2 . Учитывая данные соображения, для штока выбран материал титан (плотность $4,51 \text{ г/см}^3$, $E = 110000 \text{ Н/мм}^2$, коэффициент линейного теплового расширения $8,3 \times 10^{-6}/\text{К}$). Перемещение штока вызывает деформацию балки, которая регистрируется тензодатчиками.

Сигнал с измерительной диагонали моста поступает на усилитель 4 АНЧ-22, где происходит подавление несущей частоты и усиление полезного сигнала. Полученная информация с усилителя и с датчиков тока и давления через систему сбора информации L-783 вводится в персональный компьютер для дальнейшей обработки средствами программного комплекса Power Graph 3.3.

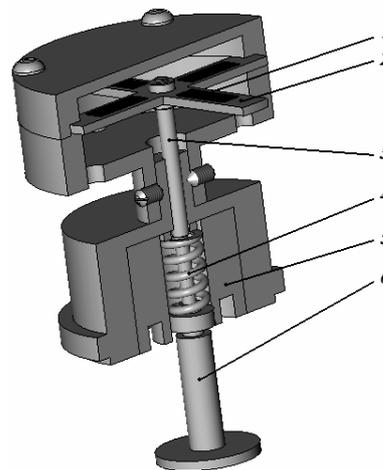


Рис. 1. Установка датчика хода клапана: 1 – тензорезистор; 2 – балка; 3 – шток; 4 – пружина клапана; 5 – магнитопровод; 6 – стойка клапана

Выясним, в какой мере кривая, полученная при использовании датчика (рис. 1), может отвечать поставленной цели – определению положения электромагнитного клапана. С этой целью нами выполнена серия расчетов ЭГФ с электромагнитным клапаном фирмы Bosch и разработанной в КП ХКБД электромагнитной форсунки. Для моделирования установки датчика в исходных данных программы расчета увеличены масса клапана (на 1,2 г шток, гайки и присоединенная масса крестообразной балки) и сила затяжки пружины клапана, эквивалентная силе предварительной деформации чувствительного элемента датчика. На рис. 2 представлено сравнение расчетных кривых перемещения клапана. Сравнение показывает, что установка датчика не приводит к изменению характера перемещения клапана. Незначительное влияние датчик оказывает в моменты достижения клапаном упоров-ограничителей хода в период затухающих колебаний. На основании сопоставления с данными расчета можно утверждать о возможности применения предложенной методики для регистрации перемещения клапана ЭГФ.

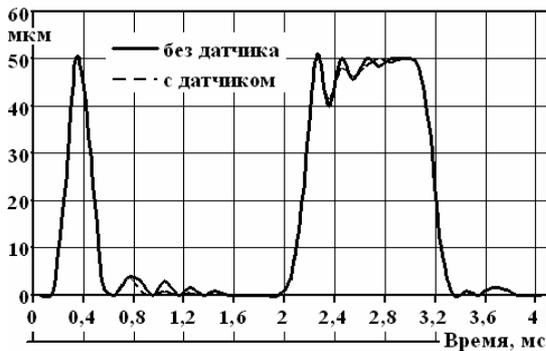


Рис. 2. Расчетные кривые движения элементов ЭГФ при двухфазном впрыскивании (давление в аккумуляторе 60 МПа)

Для исследования процессов, происходящих в ЭГФ, датчик перемещения клапана был установлен на форсунке Bosch (см. рис. 3). Далее приведены некоторые результаты данного экспериментального исследования.

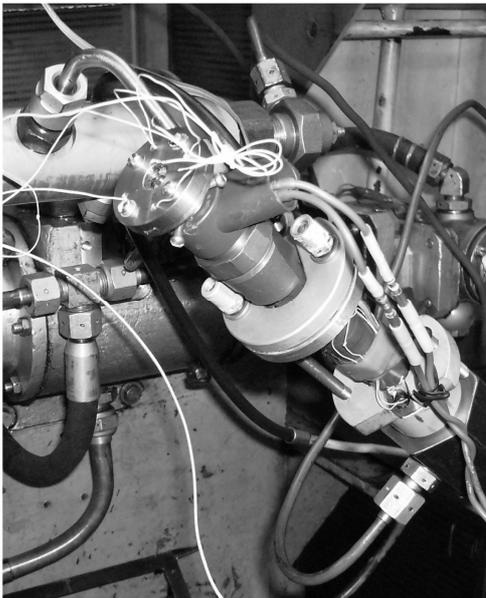


Рис. 3. Установка электрогидравлической форсунки на безмоторном стенде

Применение датчика перемещения электромагнитного клапана позволило выявить зависимость топливоподачи от процессов, происходящих в полостях низкого давления ЭГФ. Подробно данные процессы описаны в [6]. Выявить такую зависимость можно в следующем эксперименте. При идентичном управляющем сигнале ЭГФ запишем две осциллограммы: одну при выключенной подаче топлива ($P_{акк} = 0$ МПа), а вторую – при подаче топлива ($P_{акк} = 60$ МПа). На рис. 4 приведены совмещенные кривые перемещения клапана при организации двухфазного

впрыскивания. Можно выделить следующие отличия кривых и указать вероятные причины данных отличий. Первое – это увеличение скорости открытия клапана при $P_{акк} = 60$ МПа вследствие возникновения дополнительной силы, действующей на клапан, при течении топлива из полости управления. Второе – движение клапана вблизи упоров-ограничителей хода. В среде топлива амплитуда затухающих колебаний уменьшается. Как показано в [6], на колебания клапана вблизи упоров оказывают влияние процессы соударения деталей, эффект присоединенных масс, а также колебания витков пружин клапана, якоря и опоры. При подаче топлива зависимость хода клапана от процессов соударения деталей и колебания пружин уменьшается, так как присоединенные к клапану и другим движущимся деталям массы топлива демпфируют данные колебания. Третье – процесс посадки клапана при организации короткого (0,2 мс) импульса. Изменение процесса посадки клапана без подачи топлива приводит к увеличению продолжительности его открытия на 20 %. На наш взгляд, такое изменение связано с влиянием на движение клапана перемещений якоря и опоры.

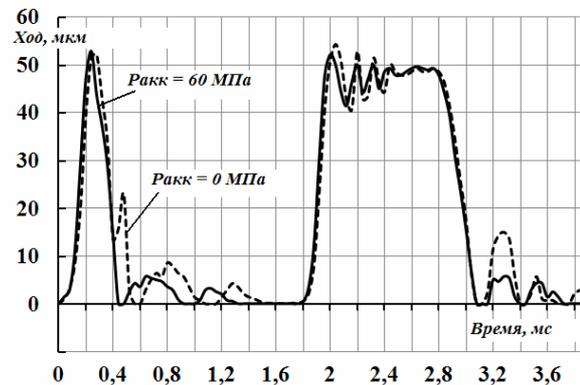


Рис. 4. Экспериментальные кривые перемещения клапана ЭГФ Bosch

На рис. 5 приведены экспериментальные кривые изменения тока в катушке электромагнита, хода клапана и мультипликатора. Кривые записаны в ходе исследования ЭГФ на безмоторном стенде при давлении в гидроаккумуляторе 60 МПа. На рис. 5 можно выделить следующие характерные периоды в работе ЭГФ:

– период А между началом управляющего сигнала и началом движения электромагнитного клапана;

– период **В** – запаздывание между началом движения клапана и мультипликатора;

– процесс **С** колебаний клапана после посадки, влияющих на эффективность посадки иглы форсунки;

– период **Д** затухающих колебаний клапана после полного перемещения и выхода на верхний упор.

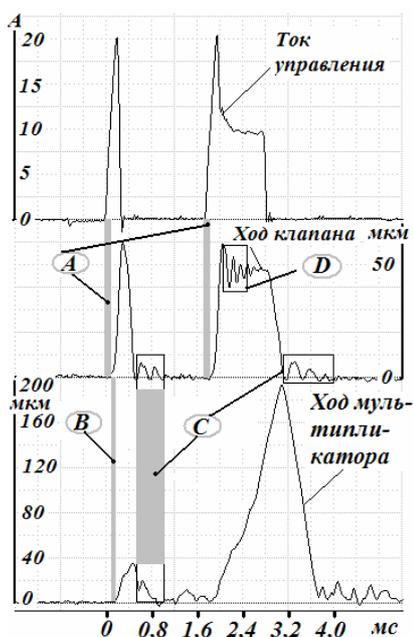


Рис. 5. Осциллограммы процесса впрыскивания топлива ЭГФ Bosch

Приведенные результаты показывают, что предложенный способ достоверно определяет положение клапана ЭГФ, что позволяет исследователю топливной аппаратуры выявить особенности протекания процесса топливоподачи в форсунке с электронным управлением. Также предложенный в статье датчик для измерения перемещения клапана можно использовать для проверки работоспособности серийно выпускаемых ЭГФ непосредственно на двигателе. Это позволит повысить эффективность диагностики топливной аппаратуры и снизить затраты на ее проведение.

Выводы

Предложено перемещение клапана электрогидравлической форсунки определять при помощи тензодатчика балочного типа.

Для минимизации погрешности при измерении реализована мостовая схема подключения датчиков, тензобалка изготовлена из

стеклотекстолита, а шток датчика – из немагнитного материала – титана.

В результате исследования процесса топливоподачи с применением датчика положения клапана управления определена длительность запаздывания начала впрыскивания относительно начала электрического сигнала. Так, при давлении в аккумуляторе 60 МПа запаздывание перемещения клапана и иглы составляет 0,25 и 0,15 мс, соответственно. Данные результаты необходимы для адаптации аккумулирующей ТА на двигатель.

Предложенный датчик положения клапана управления ЭГФ может быть применен в методике диагностирования состояния форсунок на двигателе.

Литература

1. Врублевский А.Н., Вахрушев В.И., Воронков А.И., Денисов А.В. Датчик для регистрации перемещения мультипликатора электрогидравлической форсунки // Вестник ХНАДУ. – 2007. – Вып. 38. – С. 321 – 326.
2. Розенблит Г.Б., Виленский П.Н., Горелик Л.М. Датчики с проволочными преобразователями. – М.: Машиностроение, 1966. – 135 с.
3. Финк К., Рорбах Х. Измерение напряжений и деформаций: Пер. с немецкого. – М.: Машгиз, 1961. – 535 с.
4. Coppo M., Dongiovanni C., Negri C. A Linear optical sensor for measuring needle displacement in common-rail diesel injectors Sensors and Actuators A: Physical Volume 134, Issue 2, 15 March 2007. – P. 366-373.
5. Системы управления дизельными двигателями: Перевод с немецкого. С. 40. – Первое русское издание. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 480 с.
6. Врублевский А.Н. Математическая модель движения элементов и течения топлива в полостях низкого давления электрогидравлической форсунки // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2008. – Вып. 22. – С. 109 – 117.

Рецензент: И.И. Тимченко, профессор, к.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 22 мая 2009 г.

