



УДК 629.431.74
ББК 30

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ИХ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

А.В. Васильев, Д.С. Березюков

Обосновывается актуальность исследований, направленных на создание эффективных методов диагностирования электромагнитных форсунок, показана важность динамической производительности форсунок как диагностического параметра. Рассмотрены причины и следствия эксплуатационного изменения инерционности форсунок. Предложена методика диагностирования форсунок по осциллограммам падения напряжения на обмотках электромагнита и приведены результаты ее проведения.

Ключевые слова: электромагнитная форсунка, динамическая производительность, эксплуатационное изменение показателей, временные параметры работы, метод диагностирования.

Управление цикловой подачей в двигателях с впрыском топлива осуществляется преимущественно изменением продолжительности управляющего электрического импульса, приходящего на электромагнитную форсунку (ЭМФ) от блока управления двигателем. Для того чтобы обеспечить строгое соответствие между величиной длительности управляющего сигнала и количеством подаваемого форсункой топлива, необходимо сформировать одинаковые условия протекания процессов впрыскивания топлива в каждом рабочем цикле, такие как: перепад давления на клапане форсунки, уровень напряжения питания электромагнита форсунки, статическая и динамическая производительность форсунки. Однако во время эксплуатации двигателя эти условия могут изменяться из-за воздействия различных неблагоприятных факторов, что приводит к несоответствию продолжительности импульса управления и цикловой подачи и, следовательно, ухудшению энергетических и экологических характеристик двигателя. Не-

которые из этих условий (например, уровень напряжения питания) учитываются электронной системой управления двигателем при расчете продолжительности импульса управления ЭМФ в каждом рабочем цикле, однако эксплуатационные изменения рабочих показателей самой форсунки, возникающие вследствие загрязнения и износа ее элементов, никак не компенсируются. К таким рабочим показателям относятся статическая и динамическая производительность форсунки, равномерность подачи между форсунками, герметичность посадки запирающего элемента, дисперсность распыливания, форма топливного факела и сопротивление обмотки электромагнита. Поскольку, как показывает практика эксплуатации двигателей с впрыском топлива, загрязнение и износ элементов ЭМФ составляет более половины неисправностей системы топливоподачи, представляется актуальной задача создания эффективных методов диагностирования топливных форсунок.

В настоящее время существуют безразборные методы диагностирования ЭМФ, позволяющие достаточно эффективно оценить статическую производительность форсунки [2, с. 119; 3, с. 111–113; 4, с. 94–96], которая представляет собой количество подаваемого фор-

сункой в единицу времени топлива в условиях полного открытия ее запорного элемента и нормированного перепада давления на клапане. Однако в связи с импульсным режимом работы ЭМФ необходимо учитывать переходные процессы открытия и закрытия клапана форсунки, ввиду наличия которых реальная продолжительность открытого состояния ЭМФ не совпадает с желаемой, рассчитанной электронным блоком управления двигателем для обеспечения требуемой цикловой подачи топлива на текущем режиме работы двигателя. Эти переходные процессы оценивают с помощью параметра динамической производительности ЭМФ. На практике широкое распространение получило представление динамической производительности как количества подаваемого форсункой топлива за единичный импульс управления продолжительностью 2,5 мс. Такое значение импульса управления выбрано на том основании, что является сопоставимым по величине с длительностью переходных процессов работы ЭМФ, поэтому их эксплуатационное изменение становится легко обнаруживаемым. Таким образом, динамическая производительность ЭМФ позволяет оценить их инерционность, которая особенно важна при работе двигателя на режимах малых цикловых подач, когда запаздывание открытия и закрытия клапана форсунки относительно начала и окончания управляющего импульса оказывает значительное влияние на точность дозирования цикловой подачи.

Наличие временных задержек в работе ЭМФ вызвано тем, что при подаче на обмотку клапана форсунки импульса напряжения тяговое усилие электромагнита принимает максимальное значение не сразу, а через некоторый промежуток времени. При прекращении подачи управляющего импульса тяговое усилие электромагнита также не обращается мгновенно в нуль, что объясняется экспоненциальным характером протекания кривых тока в цепи управления ЭМФ при ее замыкании и размыкании [5, с. 191–193].

На рисунке 1 приведены характеристика «время-сечение» клапана ЭМФ и показаны временные параметры работы форсунки при подаче на ее обмотку импульса управления продолжительностью $T_{ВПР}$. Из рисунка 1 видно, что весь процесс впрыскивания топлива можно разбить на следующие временные интервалы: время срабатывания клапана форсунки $T_{СРАБ}$, состоящее из времени с момента начала импульса управления до момента трогания иглы $T_{ТР}$ и времени подъема иглы $T_{ПОД}$; время с момента полного открытия клапана до окончания импульса управления $T_{СТ}$; время отпуская клапана форсунки $T_{ОТП}$, состоящее из времени залипания $T_{ЗАЛ}$ и времени опуская иглы $T_{ОП}$.

Время срабатывания $T_{СРАБ}$ и время отпуская $T_{ОТП}$ определяются конструкцией ЭМФ и не зависят от продолжительности управляющего электрического импульса [1, с. 73]. Данные периоды являются неуправляемыми временными параметрами ЭМФ, и при соизмери-

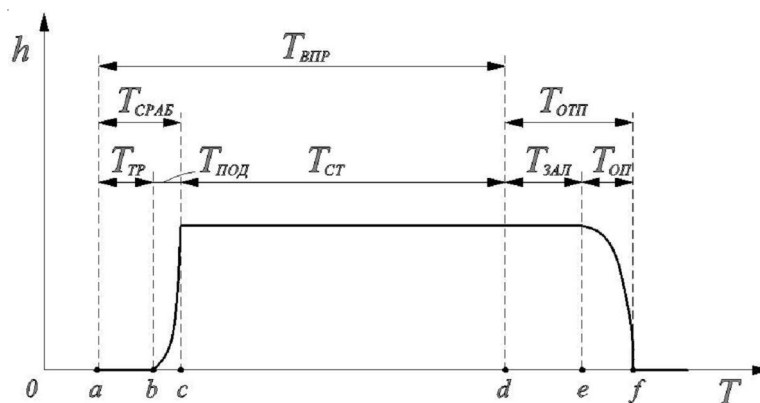


Рис. 1. Характеристика «время-сечение» клапана ЭМФ и временные параметры работы:
 $T_{ВПР}$ – длительность управляющего сигнала от блока управления двигателем; $T_{ТР}$ – время трогания;
 $T_{ПОД}$ – время подъема иглы; $T_{СТ}$ – время с момента полного открытия клапана до окончания импульса управления; $T_{ЗАЛ}$ – время залипания; $T_{ОП}$ – время опуская иглы; $T_{СРАБ}$ – время срабатывания;
 $T_{ОТП}$ – время отпуская

мых значениях с продолжительностью управляющих импульсов их следует отнести к нежелательным явлениям, отрицательно сказывающимся на точности дозирования. Так, например, минимальное управляемое время открытого состояния клапана, а следовательно, и минимальная цикловая подача, при которой возможно управляемое дозирование, определяется временем отпускания ЭМФ $T_{отп}$, к тому же, чтобы выйти на минимальную цикловую подачу, продолжительность управляющих импульсов $T_{впр}$ должна быть не меньше времени срабатывания клапана $T_{сраб}$.

На величину неуправляемых временных параметров ЭМФ оказывают значительное влияние конструкция и материалы магнитопровода, величина массы подвижных деталей форсунки, наличие трения при перемещении этих деталей, амплитуда импульса тока, управляющего работой форсунки, величина противодействующего усилия, а также соотношение между индуктивным и активным сопротивлениями цепи управления ЭМФ [1, с. 74].

Эксплуатационные изменения динамической производительности ЭМФ объясняются изменением неуправляемых временных параметров, вызванных увеличением трения между ее подвижными элементами и изменением величины рабочего хода запорной иглы клапана, вследствие износа и загрязнения ее деталей, а также ослаблением усилия возвратной пружины.

Таким образом, динамическая производительность ЭМФ может быть оценена по ее временным параметрам работы, удобным способом определения которых является получение осциллограмм падения напряжения на

обмотке форсунки во время подачи на нее электрического управляющего импульса, на которых видны характерные временные периоды работы.

В лаборатории кафедры автотракторных двигателей на разработанном безмоторном стенде [2, с. 118] получены осциллограммы падения напряжения на обмотке для разных типов форсунок с различной наработкой. На рисунке 2 представлена такая осциллограмма для топливной форсунки Siemens Deka VAZ20735 двигателя ВАЗ 21124 при продолжительности импульса управления $T_{впр} = 2,5$ мс.

На рисунке 3 показаны определенные по осциллограммам падения напряжения на обмотке электромагнита для комплекта форсунок с наработкой 40 тыс. км и новой ЭМФ характерные временные периоды неуправляемых параметров, эксплуатационные изменения которых носят разнонаправленный характер: значения времени срабатывания $T_{сраб}$ и времени отпускания $T_{отп}$ изменяются как в большую, так и в меньшую сторону относительно значений для новой форсунки.

Для оценки динамической производительности форсунок по полученным временным параметрам работы ЭМФ было определено реальное время открытого состояния клапана $T_{ос}$ по формуле: $T_{ос} = T_{впр} - T_{сраб} + T_{отп}$. Результаты расчета $T_{ос}$ для комплекта диагностируемых форсунок в сравнении со значением для новой форсунки при длительности управляющего импульса 2,5 мс показаны на рисунке 4а.

Для диагностируемого комплекта форсунок также объемным способом были опреде-

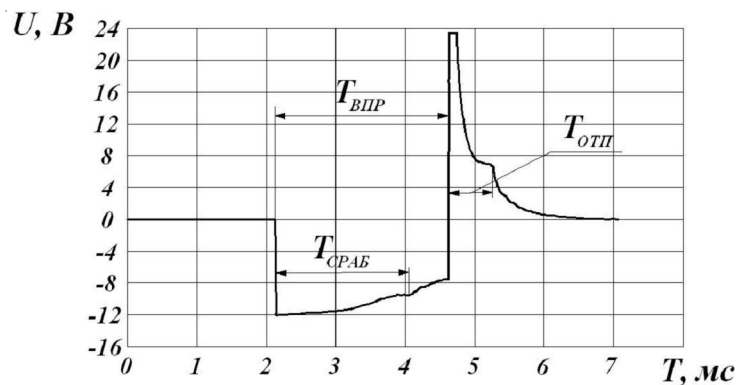


Рис. 2. Осциллограмма падения напряжения на обмотке ЭМФ во время подачи на нее электрического управляющего импульса $T_{впр} = 2,5$ мс

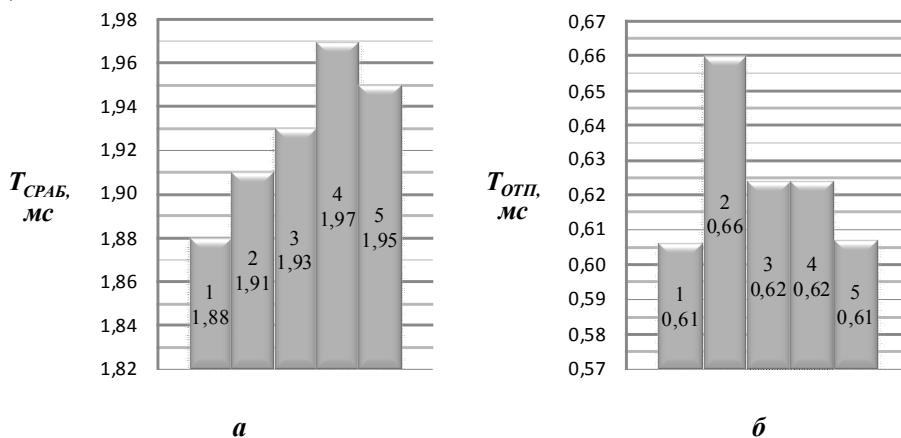


Рис. 3. Временные параметры работы ЭМФ:
 а – время срабатывания T_{CPAB} ; б – время отпущения $T_{ОП}$; 1, 2, 3, 4 – форсунки из комплекта с наработкой 40 тыс. км; 5 – новая форсунка

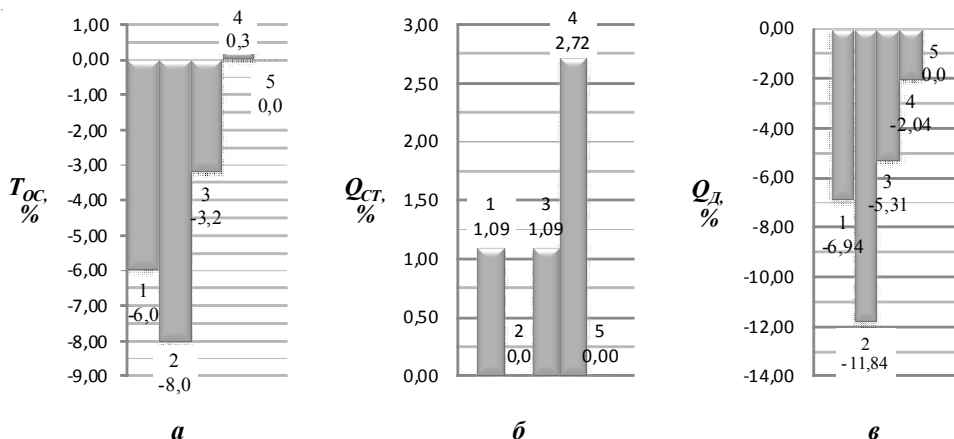


Рис. 4. Эксплуатационное изменение параметров ЭМФ:
 а – реальное время открытого состояния клапана T_{OC} при длительности управляющего импульса 2,5 мс;
 б – статическая производительность Q_{CT} ; в – динамическая производительность $Q_{Д}$;
 1, 2, 3, 4 – форсунки из комплекта с наработкой 40 тыс. км; 5 – новая форсунка

лены статическая производительность Q_{CT} и динамическая производительность $Q_{Д}$ значения которых представлены на рисунке 4б, в.

По приведенным на рисунке 4 диаграммам видно, что статическая производительность проверяемых форсунок в процессе эксплуатации изменилась незначительно и находится в пределах допустимых значений, тогда как изменение динамической производительности существенно и неравномерно, что снижает энергетические и экологические показатели двигателя при работе на режимах малых циклов подачи и подтверждает необходимость

определения этого диагностического параметра в процессе диагностирования ЭМФ.

Как показано в данной работе, оценить динамическую производительность топливных форсунок с минимумом трудовых и временных затрат возможно с помощью безразборного метода, основанного на снятии осциллограмм падения напряжения на обмотках электромагнита форсунки, определения по ним временных параметров работы форсунки и сравнении реального времени открытого состояния клапана с требуемым для данного режима работы двигателя. Сочетание такого метода с существующим

способом диагностирования ЭМФ по показаниям датчика давления топлива в нагнетательной магистрали системы топливоподачи [2, с. 119], позволяющего определить статическую производительность и неравномерность подачи, позволит комплексно оценить техническое состояние топливных форсунок и повысить эффективность процесса их диагностирования. Следует отметить, что реализация указанных методик диагностирования в программе электронного блока управления двигателем позволит существенно расширить возможности системы самодиагностики и улучшить эксплуатационные характеристики двигателей с впрыском топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобилей / Ю. И. Будыко [и др.]. – Л. : Машиностроение, 1975. – 192 с.

2. Васильев, А. В. Совершенствование диагностики топливных форсунок двигателей с распределенным впрыском / А. В. Васильев, Е. А. Салыкин, Д. С. Березюков // Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе : тез. докл. науч.-техн. конф. «5-е Луканинские чтения», г. Москва, 14–21 марта 2011 г. – М. : МАДИ, 2011. – С. 118–119.

3. Вереютин, А. Ю. Способ диагностирования электромагнитных форсунок двигателей с впрыскиванием бензина : дис. ... канд. техн. наук : 05.04.02 : защищена 15.07.10 / Алексей Юрьевич Вереютин. – Рязань, 2010. – 143 с.

4. Залознов, И. П. Повышение эффективности эксплуатации автомобилей за счет обоснования периодичности обслуживания электромагнитных форсунок : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 : защищена 15.07.03 / Иван Павлович Залознов. – Омск, 2003. – 115 с.

5. Савельев, И. В. Курс общей физики : учеб. пособие для вузов. В 3 т. Т. 2. Электричество и магнетизм / И. В. Савельев. – 2-е изд., перераб. – М. : Наука, 1982. – 496 с.

IMPROVEMENT OF PETROL ENGINE INJECTORS DIAGNOSTICS ON THE BASIS OF THEIR DYNAMIC PRODUCTIVITY ESTIMATION

A. V. Vasilyev, D. S. Berezyukov

In this paper the urgency of research to improve petrol engine injectors diagnostics, the importance of the injectors dynamic productivity as the diagnostic parameter is shown. The method for injector diagnosing from the oscillograms of the voltage drop is proposed.

Key words: *electromagnetic injector, dynamic productivity, timing of the injector, method of injector diagnostics.*