

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ФОРСУНОК АККУМУЛЯТОРНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ДИЗЕЛЕЙ

Драган Ю.Е., Рахметуллаев М.Н.

ОАО «Научно-исследовательский конструкторско-технологический институт двигателей» (ОАО «НИКТИД»), г. Владимир

В соответствии с представленным в Правительство проектом специального технического регламента «О требованиях к выбросам вредных (загрязняющих) веществ колесных транспортных средств, выпускаемых в обращение на территории Российской Федерации» предусматривается поэтапное введение норм экологической безопасности Euro-3 (в 2008 г.) и Euro-4 (в 2010 г.). Это очень сжатые сроки введения в действие таких норм, т.к. в настоящее время пока еще не все выпускаемые в стране автомобили укладываются в нормы Euro-2.

Ведущие мировые фирмы, производящие бензиновые и дизельные транспортные средства, перешли на продукцию нового поколения. Это позволило обеспечить выполнение экологических нормативов Euro-3 и ввод в действие в текущем году Euro-4. В частности, к продукции нового поколения следует отнести внедрение автомобильных дизельных двигателей с аккумуляторными топливными системами типа «Common Rail», удельный вес производства которых составит по прогнозу фирмы Bosch в 2006 г. порядка 60%, существенно потеснив выпуск традиционной топливной аппаратуры.

В аккумуляторных топливных системах процессы создания энергии впрыскивания и дозирования топлива разделены во времени и в отличие от традиционных способов топливоподачи не оказывают неблагоприятного воздействия друг на друга. Аккумуляторная топливная система позволяет управлять давлением впрыскивания и обеспечить оптимальное значение этой величины на всех режимах работы дизеля. Все это в сочетании с электронным управлением топливоподачей позволяет решить экологические и экономические проблемы дизельных силовых установок.

При разработке отечественной аккумуляторной топливной системы с электронным управлением, которую выполняли в 2002...2004 г.г. ОАО «НИКТИД» совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана в рамках государственного контракта, ключевой проблемой стало создание электрогидравлической форсунки (ЭГФ). Конструкция ЭГФ разработана в НИКТИД на основе математического моделирования гидродинамических процессов в её гидравлических трактах. Первый вариант конструкции ЭГФ изготовлен Ногинским заводом топливной аппаратуры, второй усовершенствованный вариант – ООО «Прецизика-Сервис» (г. Ярославль). Электромагнитный привод для управления ЭГФ создан в НИКТИД.

Преимущества аккумуляторных топливных систем по сравнению с традиционными топливными системами дизелей могут быть достигнуты при условии реализации процесса многократного впрыскивания в одной цикловой подаче в сочетании с оптимальными углами опережения и высоким давлением впрыскивания. Для такой реализации необходимо достижение определенного уровня быстродействия ЭГФ, достаточной производительности ТНВД для создания в аккумуляторе давления порядка 150...200 МПа, электронного управления цикловой подачей и давлением в аккумуляторе. В дальнейшем потребуется отработка электронного синхронного управления топливоподачей и регулируемым турбонаддувом.

В соответствии с методикой исследования быстродействие ЭГФ и ее выходной параметр – цикловая подача – отрабатываются на безмоторном стенде топливной аппаратуры. Созданные специальные емкостные датчики перемещения якоря электромагнитного клапана и иглы распылителя позволяют в режиме реального времени исследовать электрические и гидравлические процессы в ЭГФ. Под быстродействием понимается реакция ЭГФ на управляющие сигналы, т.е. периоды времени от момента подачи управляющего импульса на электромагнитный клапан (ЭМК) до момента начала подъема или посадки иглы распылителя. На этот параметр влияет ряд конструктивных (число витков обмотки и т.п.) и режимных факторов (напряжения и токи на обмотке электромагнита, длительности импульсов тока).

Трудности разработки конструкции ЭГФ для высокооборотного дизеля легкового автомобиля связаны с жесткими габаритными ограничениями, необходимостью осуществления высокого давления впрыскивания при быстродействии, составляющем доли миллисекунд.

В этих условиях малогабаритные электромагниты должны развивать усилия в десятки Н. Для снижения тепловыделения ЭМК предусматривается сложная структура управляющего импульса, реализуемого блоком силовой электроники. Форсирующая составляющая высокого напряжения этого импульса предназначена для преодоления усилия запирающей клапан пружины и инерции якоря ЭМК. Длительность этого импульса должна быть, по возможности, минимальной для ограничения силы тока. Длительность следующей составляющей (удерживающей) этого импульса с 2..3 кратным уменьшением напряжения зависит от значения цикловой подачи и управляется контроллером.

Третья составляющая управляющего импульса – размагничивающая имеет обратную полярность и предназначена для ускорения посадки ЭМК и иглы распылителя ЭГФ. На рисунках 1 и 2 показано, что отсутствие размагничивающей составляющей управляющего импульса не позволяет осуществить предварительное впрыскивание, в то же время размагничивание магнитопровода обеспечивает двухкратное впрыскивание (предварительное и основное).

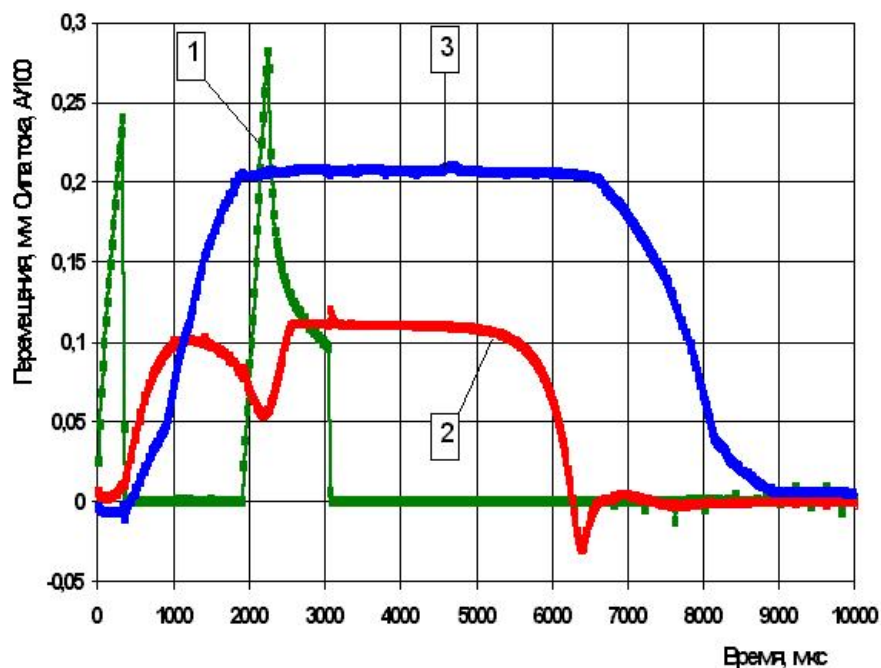


Рис. 1. Диаграмма срабатывания ЭГФ при отсутствии размагничивания и при давлении в аккумуляторе 30 МПа: 1- ток в обмотке ЭМК; 2- перемещение якоря ЭМК; 3- ход иглы

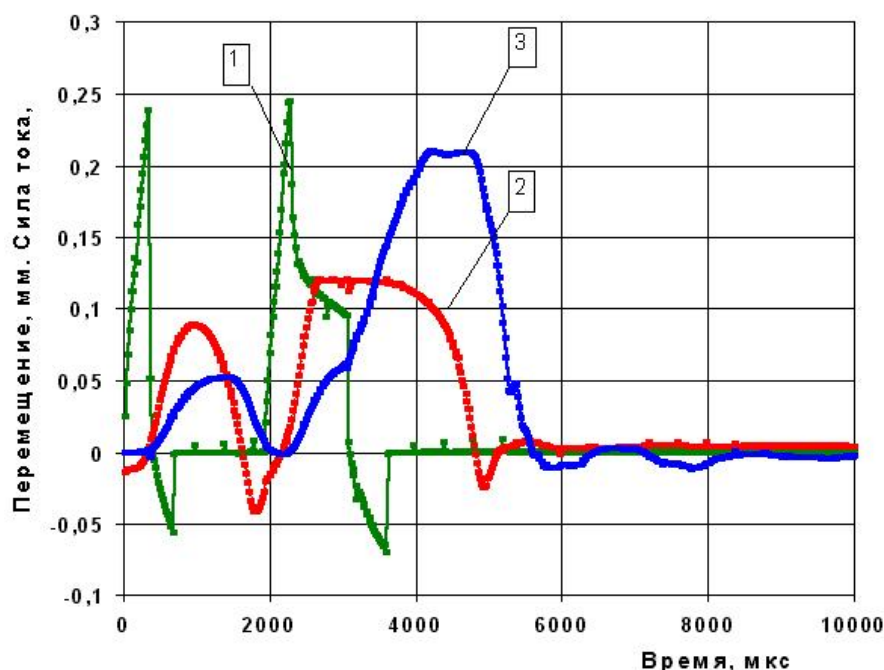


Рис. 2. Диаграмма срабатывания ЭГФ при размагничивании и при давлении в аккумуляторе 30 МПа: 1- ток в обмотке ЭМК; 2- перемещение якоря ЭМК; 3- ход иглы

На осциллограммах перемещения иглы распылителя ЭГФ на линии подъема видна точка перегиба, а на линии посадки примерно на том же уровне – волнистый участок. Анализ осциллограмм не менее двухсот опытов дал объяснение такому характеру этого явления. Точка перегиба соответствует началу подъема иглы распылителя, а волнистый участок – концу ее посадки. Осциллограммы ниже этих участков соответствуют процессу разгрузки или нагрузки деформированной штанги, соединяющей иглу распылителя с мультипликатором запирания ЭГФ. Штанга большой длины и малого поперечного сечения под большой сжимающей нагрузкой от дав-

ления топлива работает в условиях, близких к потере устойчивости. Волнистость осциллограмм после посадки иглы отражает колебание штанги и нестационарность давления топлива в управляющей камере. На рисунке 3 показана осциллограмма перемещения иглы, не имеющая точки перегиба. При этом подъема иглы не происходит, и цикловая подача отсутствует.

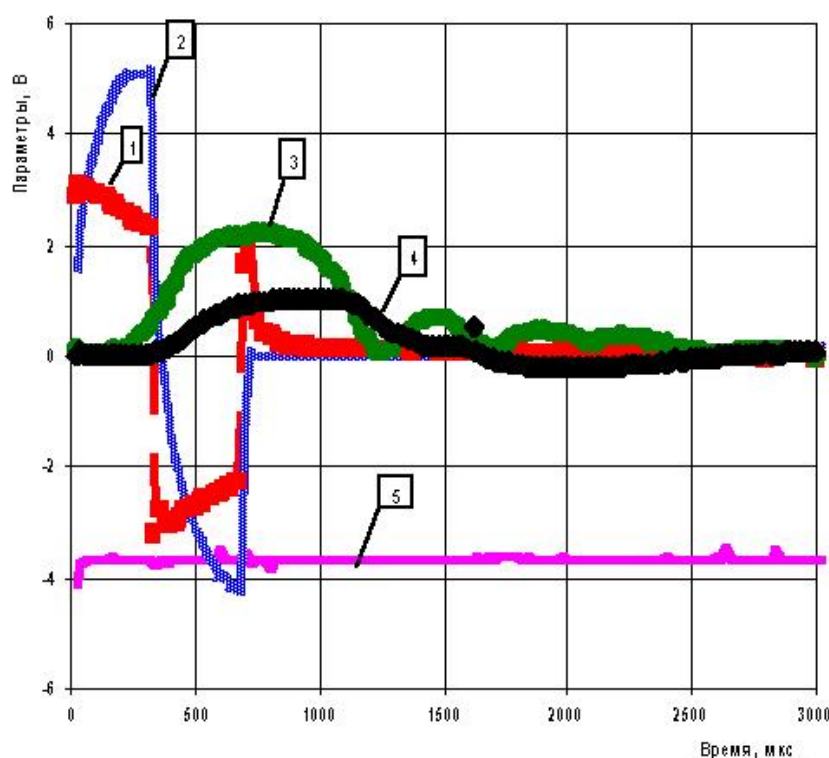


Рис. 3. Напряжение (1), ток (2) в обмотке ЭМК-70, перемещение якоря (3) и иглы распылителя (4) ЭГФ № 4 при давлении в аккумуляторе 30 МПа и длительности форсирующей и размагничивающей составляющих импульса тока, равной 0,3 мс. $q_{ц} = 0$

На рисунке 4 приведены графики, иллюстрирующие значение задержек подъема якоря для электромагнитных клапанов ЭМК-70 и ЭМК-150. Числовое значение в обозначении их марки показывает число витков в обмотке электромагнита. В результате применения ЭМК-70 задержки сократились практически в два раза по сравнению с ЭМК-150. Уменьшение задержек ускоряет срабатывание электромагнитного клапана и позволяет осуществлять многоразовое впрыскивание. При этом снижение задержек действительного начала подъема иглы распылителя также ощутимо, эта задержка в среднем на 40 % меньше для ЭМК-70 по сравнению с ЭМК-150, для которого она составляет от 0,8 до 1 мс.

Испытания электрогидравлической форсунки показали, что расходы на управление имеют такой же порядок, что и величины цикловых подач. Проблеме снижения затрат энергии на управление ЭГФ в дальнейшем должно быть уделено большое внимание. Для устранения больших утечек в прецизионных парах ЭГФ внесены существенные изменения в конструкцию форсунки, на которую получен патент Российской Федерации.

Для подготовки ЭГФ к моторным испытаниям доводочные работы по производительности форсунок осуществлены путем подбора проходных сечений μf входного в управляющую камеру и выходного из нее жиклеров.

В качестве примера результатов такой подготовки на рисунке 5 приведены зависимости цикловых подач ЭГФ №№ 1я, 2я, 11я, и 13я от длительности удерживающего импульса, реализуемого контроллером электронной системы управления по командам персонального компьютера.

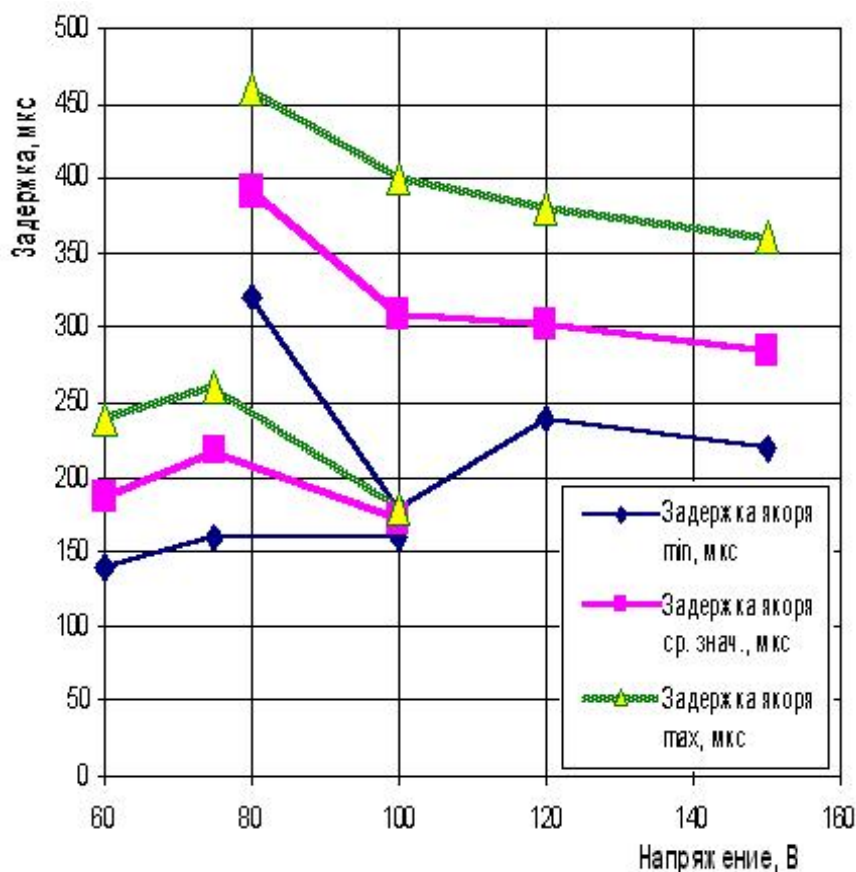


Рис. 4. Задержка хода якоря ЭМК-70 (60, 75 и 100 В) и ЭМК-150 (80, 100, 120 и 150 В) в зависимости от форсирующего напряжения на обмотке

Эмпирическая зависимость среднего значения цикловых подач от длительности удерживающего импульса, предназначенная для программирования контроллера, имеет линейный характер (коэффициент корреляции 0,996):

$$q_{ц} = 85,81 t - 24,502; \quad (1)$$

где $q_{ц}$ – цикловая подача, мм³/цикл; t – длительность удержания, мс.

Для большей точности настройки форсунок потребуется выдерживать более жесткие допуски на размеры жиклеров, в частности, за счет селективной сборки. Дополнительно предусматривается индивидуальная корректировка цикловых подач контроллером по паспортным данным форсунок.

Разработанные конструкции ЭГФ и аккумуляторной топливной системы в целом способны осуществлять функцию многократового впрыскивания топлива. Отработаны режимы предварительного и основного впрыскиваний. Установлены экспериментальные зависимости цикловых подач от давления в аккумуляторе и длительности удерживающего импульса в пределах от 0,1 до 1,6 мс.

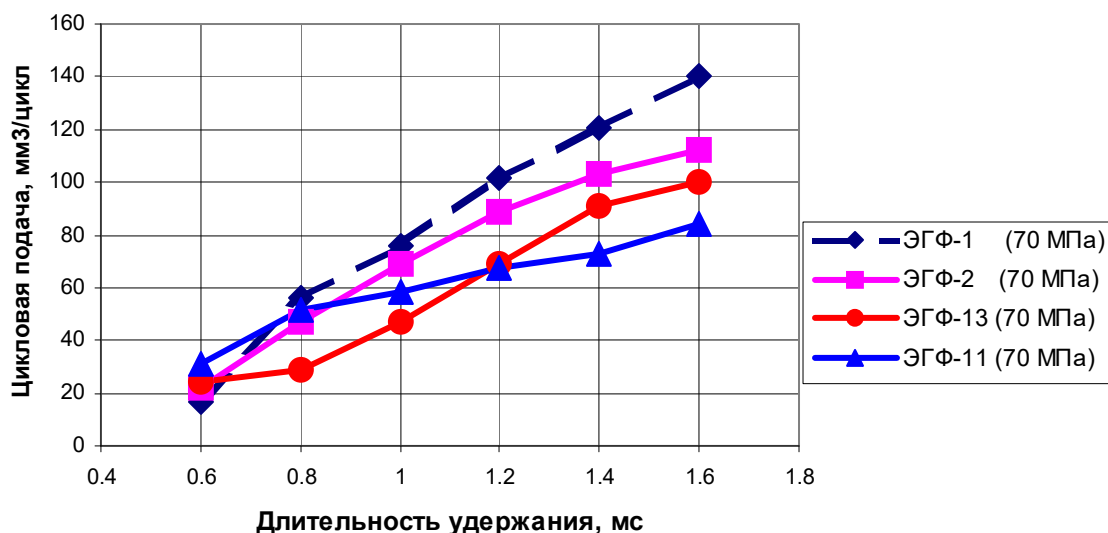


Рис. 5. Цикловые подачи ЭГФ №№ 1я, 2я, 11я, 13я при давлении в аккумуляторе 70 МПа. Форсунки подготовлены к моторным испытаниям

Синхронные осциллографические записи перемещений якоря ЭМК и иглы распылителя ЭГФ в режиме реального времени позволили выявить влияние упругой деформации штанги на задержку начала подъема иглы распылителя. Для уменьшения отрицательного влияния деформации штанги на кинематику иглы распылителя и задержку топливоподачи желательно создавать бесштанговые конструкции ЭГФ для аккумуляторных топливных систем или, по возможности, повышать жесткость штанги, уменьшая ее длину и увеличивая поперечное сечение. Моторные стендовые испытания отечественной аккумуляторной топливной системы подтвердили работоспособность ее агрегатов и разработанной электронной системы управления.

Таким образом, разработаны методические, конструктивные и технологические основы создания аккумуляторных топливных систем. Приобретенный опыт может быть полезен разработчикам подобных топливных систем с электронным управлением для дизелей другого назначения.

ТОПЛИВНЫЙ НАСОС ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ COMMON - RAIL

Грехов Л.В., Потапов А.И.¹

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, ¹ОАО «ДААЗ», г. Димитровград

Перспективы Common – Rail (CR) сегодня не вызывают сомнений. Скорейшее внедрение CR обуславливается необходимостью выполнения уже-