

А.Н. ПОЙДА, д-р. техн. наук НТУ «ХПИ»;
Д.Г. СИВЫХ, канд. техн. наук, НТУ «ХПИ»;
Р.Н. КАРСЕКИН, магистр, НТУ «ХПИ»

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ УЗЛОВ СИСТЕМЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ВПРЫСКИВАНИЯ БЕНЗИНА АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В статті розглянута розроблена математична модель, яка дозволяє виконувати електроконструктивний розрахунок електромеханічних вузлів системи безпосереднього впорскування бензину, в тому числі електромагнітного привода прямої дії електрокерованою форсункою с урахуванням гідродинамічних процесів в системі

In article is considered designed mathematical model, allowing execute electroconstructive calculation of the electromechanic nodes of the system direct supply benzine, including electromagnetic drive first-motion electrooperated injectors with provision for hydrodynamic of the processes in system.

Бензиновому двигателю не раз предрекали скорую кончину. Но этот мотор продолжает совершенствоваться и не сдает своих позиций. Очередным этапом его развития в конце 90-х прошлого столетия стала подача бензина прямо в камеру сгорания – так называемый непосредственный впрыск.

Пионером в применении непосредственного впрыска топлива стала компания Mitsubishi, разработавшая систему питания GDI. Сегодня аналогичную технологию используют Mercedes (CGI), BMW (HPI), концерн Volkswagen (FSI, TFSI, TSI – VW, Audi, skoda, Seat) и Toyota (JIS).

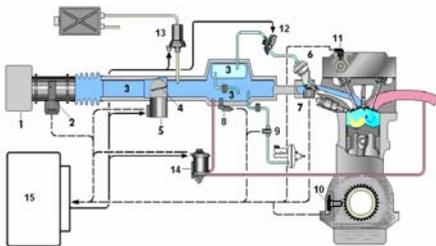


Рисунок 1 – Схема системы управления двигателем с впрыскиванием бензина в камеру сгорания

1-воздушный фильтр; 2-датчик температуры воздуха; 3-воздушный трубопровод; 4-дроссельная заслонка; 5-блок управления дроссельной заслонкой; 6-вакуумный привод впускной заслонки; 7-потенциметрический датчик положения впускной заслонки; 8- датчик давления во впускном трубопроводе; 9-датчик давления в магистрали усилителя тормозного привода; 10-датчик положения коленвала; 11-датчик положения распредвала; 12-клапан управления впускной заслонкой; 13-электромагнитный клапан продувки адсорбера; 14-клапан перепуска отработавших газов с датчиком его положения; 15-блок управления двигателем.

Главный принцип работы данной системы питания – подача бензина не во впускной тракт, а непосредственно в камеру сгорания и формирование послойного и однородного смесеобразования в различных режимах работы мотора.

Оптимальный способ смесеобразования выбирается электронной системой управления в зависимости от нагрузки двигателя и положения дроссельной заслонки.

Главным преимуществом системы топливоподдачи аккумуляторного типа является возможность программно изменять давление топлива и в широком диапазоне управлять моментом начала и продолжительностью впрыскивания. Это реализуется путем разделения процессов создания давления и обеспечения впрыскивания.

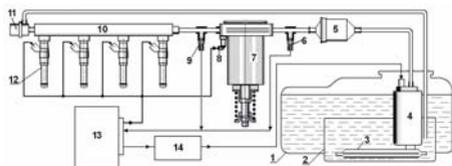


Рисунок 2 – Функциональная схема системы топливоподдачи

1–топливный бак; 2–накопитель топлива;
3–входной фильтр; 4–топливный насос с

электрическим приводом (топливоподкачивающий); 5–топливный фильтр; 6–датчик низкого давления топлива; 7–топливный насос высокого давления (ТНВД); 8–электромагнитный клапан регулирования давления топлива; 9–датчик высокого давления топлива; 10–аккумулятор давления топлива (рампа); 11–редукционный (перепускной) клапан; 12–электромагнитные клапанные форсунки; 13–электронный блок управления(ЭБУ) двигателем; 14–ЭБУ топливоподкачивающим насосом.

В данной системе можно выделить два контура: контур низкого давления и контур высокого давления топлива.

В контур низкого давления входят: топливный бак 1, накопитель топлива 2, входной фильтр 3, топливоподкачивающий насос с электрическим приводом 4, топливный фильтр 5 и датчик низкого давления топлива 6. Управляет работой топливоподкачивающего насоса электронный блок 14, имеющий связь с электронным блоком управления двигателем 13 и местную обратную связь через датчик низкого давления 6. В результате программного управления топливоподкачивающий насос 4 подает на вход ТНВД 7 такое количество топлива при давлении 0,3...0,5 МПа, которое необходимо для работы двигателя на данном режиме.

В контур высокого давления топлива входят: топливный насос высокого давления (ТНВД) 7, электромагнитный клапан регулирования давления топлива 8, датчик высокого давления топлива 9, аккумулятор давления топлива (рампа) 10, редукционный (перепускной) клапан 11 и электромагнитные клапанные форсунки 12.

ТНВД имеет привод от кулачкового вала механизма газораспределения и создает постоянное давление величиной от 5,0 до 12 МПа в аккумуляторе высокого давления. Заданное значение давления в топливном аккумуляторе

поддерживается электронным блоком управления двигателем 13 и блоком управления топливоподкачивающим насосом 14, имеющими местную обратную связь через датчики давления 6 и 9, а также электромагнитный клапан регулирования давления топлива 8.

Форсунка высокого давления представляет собой переходное устройство между топливной рейкой и камерой сгорания.

Когда электрический ток проходит через обмотку соленоида, создается магнитное поле. За счет этого игла, противодействуя давлению пружины, поднимается над седлом и открывает инжектирующее отверстие 8 форсунки. За счет разницы в давлении между топливной рейкой и камерой сгорания топливо впрыскивается в камеру сгорания.

Характерной чертой их является обязательное наличие ферромагнитного магнитопровода, окружающего катушку управления и служащего для усиления магнитного потока.

В особенно трудно совместить высокое быстродействие одновременно с большой величиной электромагнитного усилия. Эти характеристики как бы взаимно исключают друг друга и успешное решение задачи лежит в определении их оптимального соотношения.

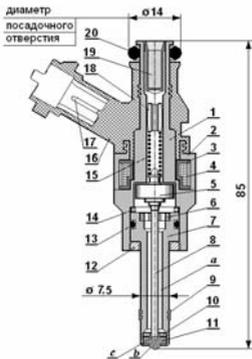


Рисунок 3 – Конструкция электромагнитной форсунки

- 1 – внутренний корпус (сердечник магнитопровода);
- 2 – наружный корпус (магнитопровод);
- 3 – каркас катушки;
- 4 – обмотка (катушка) электромагнита;
- 5 – якорь электромагнита;
- 6 – верхняя направляющая иглы;
- 7 – корпус распылителя;
- 8 – игла распылителя;
- 9 – тефлоновый уплотнитель корпуса распылителя;
- 10 – нижняя направляющая иглы;
- 11 – распылитель;
- 12 – гайка;
- 13 – уплотнительное кольцо корпуса распылителя;
- 14 – дистанционное кольцо;
- 15 – возвратная пружина;
- 16 – пластмассовая часть корпуса;
- 17 – электрический разъём;
- 18 – регулировочный винт;
- 19 – защитный фильтр;
- 20 – верхнее уплотнительное кольцо.

Для форсунки самым неблагоприятным режимом работы является, с точки зрения усилия электромагнита, режим максимальной нагрузки двигателя. При этом давление топлива в аккумуляторе наибольшее, электромагнит должен перебороть силу пружины и давление топлива. Анализ литературы показал, что сила затягивания пружины равна $F_{np} = 10 \text{ Н}$;

Сила удержания электромагнита будет равна силе затягивания пружины с учетом силы давления топлива и вычетом силы давления отработавших газов, которые через распыливающие отверстие попадают в полость ИГЛЫ. $F_{эм.уд} = F_{пр.кл.} + F_{давл.топл.} - F_{от.г.} = 612 \text{ Н}$.

Оценочный расчет электрических параметров ЭМ форсунки по геометрическим параметрам ее катушки.

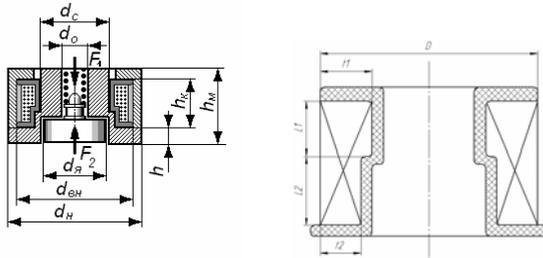


Рисунок 4 – Эскиз ЭМ форсунки и ее катушки

За основу мы возьмем параметры, которые сняли с реальной форсунки. С эскиза форсунки находим размеры каркаса ее катушки, зная внешний диаметр катушки.

Данные для расчета: внешний диаметр $D=16$ мм; толщина намотки $t_1=2,1$ мм; $t_2=1,5$ мм; длина намотки $L_1=2,7$ мм; $L_2=3$ мм; диаметр проводников катушки $d_{пр}=0,31$ мм; материал проводников латунь; удельное сопротивление $0,0028$ Ом·мм²/м; коэффициент заполнения $k=0,6$.

Расчет производится за следующими формулами:

$S_{пр}=\pi \cdot d_{пр}^{2/4}$ – площадь поперечного разреза проводника катушки;

$Sk=t \cdot L$ – площадь поперечного разреза катушки;

$w=Sk \cdot k / S_{пр}$ – число витков катушки;

$D_{ср}=D - t$ – диаметр среднего витка катушки;

$L_{ср}=\pi \cdot D_{ср}$ – длина среднего витка катушки;

$L_{пр}=w \cdot L_{ср}$ – длина намотки;

$R_k=\rho \cdot L_{пр} / S_{пр}$ – активное сопротивление;

$R_k=1,35$ Ом (1,31 Ом – сопротивление снятое с прототипа).

Индуктивность многословной катушки можно рассчитать по формуле:

$$L_k = \frac{0,08 \cdot D_{ср}^2 \cdot w^2}{3 \cdot D_{ср} + 9 \cdot L + 10 \cdot t}$$

Расчет силы тока и напряжения в ЭМ форсунке.

Напряжение на конденсаторе $U_c = 60$ В; емкость конденсатора $C = 470$ мкФ; сопротивление катушки $R_L = 1,31$ Ом; сопротивление проводов (сумарный) $R_{пр} = 0,78$ Ом; суммарное сопротивление цепи $R_c = R_L + R_{пр} =$

$2,09$ Ом; постоянная времени цепи $T = \frac{L}{R_c}$.

Расчет производится по следующим формулам.

Сила тока в цепи катушки:

$$i = \frac{U_C}{R_C} \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{T}}). \quad (1)$$

Спад напряжения на конденсаторе результате разряджения

$$\Delta U_C = \frac{i_{CP}}{C} \cdot \Delta \tau,$$

где i_{CP} - Среднее значение тока на шаге расчета.

Поточное значение напряжения на конденсаторе $U_C = U_{j-1} - \Delta U_C$.

Расчет ведется по этим формулам пока $U_C \geq U_{\Pi}$. Далее в формуле (1) необходимо подставить $U_{\Pi} = 12,5..13,5В$. Расчет ведется до конца управляющего импульса τ_K . Тогда с этого момента время считать как $(\tau - \tau_K)$.

Ток падает по экспоненте $i = i_K \cdot e^{-\frac{-(\tau - \tau_K)}{T}} \cdot \cos(\omega \cdot (\tau - \tau_K))$.

При спаде тока и отсутствии напряжения возникает ЭДС самоиндукции.

$$U = e = L \frac{di}{dt} = L \frac{i_{k-1} - i_k}{\tau_k - \tau_{k-1}}.$$

Расчет производился в электронных таблицах Microsoft Office Excel.

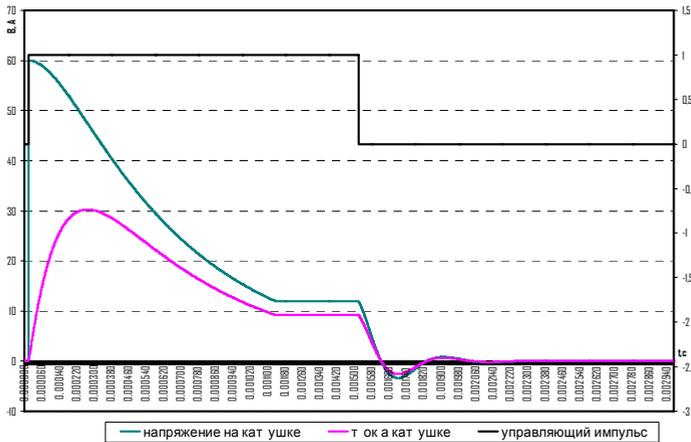


Рисунок 5 – Результаты расчета силы тока и напряжения для катушки форсунки FSI

Список литературы: 1. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт. - М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. - 144 с. 2. Акимов С.В., Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей. Учебник для вузов. - М: ЗАО КЖИ «За рулем», 2001. - 384 с. 3. Врублевский А.Н., Григорьев А.Л., Денисов А.В. Особенности выбора параметров электромагнита для топливной системы // Автомобильный транспорт. – 2007. - №20. – С. 75-80.

Поступила в редакцию 02.05.2011