

Рис. 4.

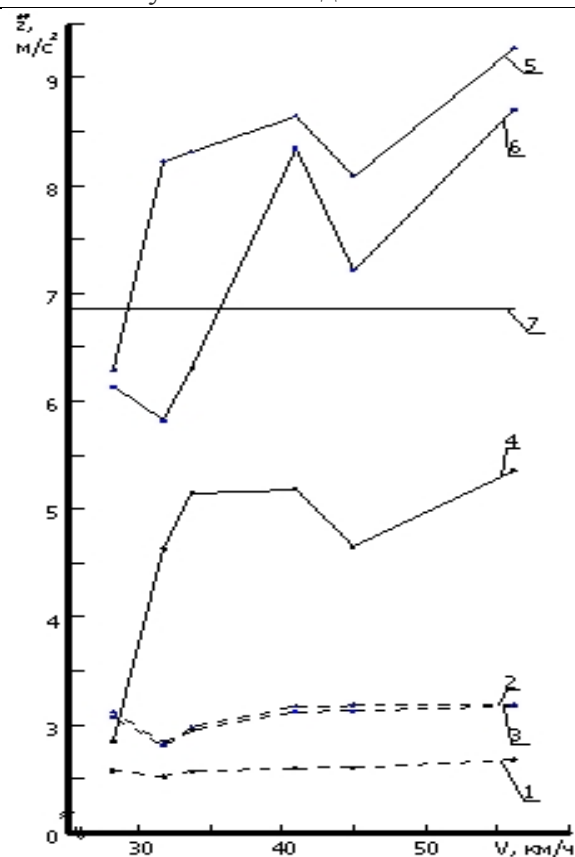


Рис. 5.

Анализ схемы ССП (рис. 1) позволяет сделать вывод о незначительном конструктивном усложнении системы поддрессирования. Управление связанной системой поддрессирования не представляет трудностей для механиков-водителей.

В связи с этим является актуальным создание рациональной ССП на базе пневмогидравлической подвески, позволяющей уменьшить негативное влияние колебательных процессов на экипаж и оборудование быстроходной гусеничной машины и повысить эффективность применения ГМ.

Литература.

1. Ладур А.Д. Исследование малых колебаний корпуса танка со связанными системами поддрессирования. Информационный выпуск. - М.: Издание академии БТВ, 1966.
2. Теоретическое исследование плавности хода машин со связанными амортизаторами. Отчет по НИР. - М.: Академия БТВ, 1968.
3. Головашкин Ф.П. Система поддрессирования со связанными гидропневматическими рессорами. Патент на полезную модель RU № 64142 от 27.06.2007 г., приоритет от 23.09.2005 г.
4. Дмитриев А.А., Чобиток В.А., Тельминов А.В. Теория и расчет нелинейных систем поддрессирования гусеничных машин. - М.: «Машиностроение», 1976. – 207 с.

Алгоритм и результаты расчета электромагнитной форсунки бензинового двигателя

д.т.н., проф. Ерохов В.И., Макарова М.П.
МГТУ «МАМИ»

Электромагнитная форсунка представляет собой быстродействующий клапан, обеспечивающий дозированную подачу топлива в цилиндры двигателя. Электрическое поле, создаваемое в обмотке электромагнита ЭМФ под воздействием электрических импульсов, посы-

лаемых с ЭБУ, приподнимает сердечник. Якорь электромагнита вместе с запирающим конусом в процессе работы колеблется с высокой частотой. Если на обмотку электромагнита подать импульс тока, то запирающий конус приподнимается на 0,1 мм над седлом распылителя. Воздушные зазоры оказывают влияние на электротехнические параметры:

$$\Delta_{pz} = \Delta_{1pz} + \Delta_{2pz}, \quad (1)$$

где: Δ_{1pz} - начальный рабочий зазор,

Δ_{2pz} - конечный рабочий зазор.

$$\delta_y = \Delta_{1pz}. \quad (2)$$

Продолжительность открытого и закрытого состояния ЭМФ находится в диапазоне 1...1,5 мс. При подаче импульса напряжения клапан открывается и топливо через распылитель тонкой распыленной струей подается под давлением на впускной клапан. Важнейшей характеристикой ЭМФ является ее быстродействие, определяемое жесткостью возвратной пружины, массой запирающего элемента и конструкцией электромагнитной системы. Быстродействующие ЭМФ имеют малое сопротивление обмотки 4,0 Ом и менее. Целесообразно иметь две цепи управления ЭМФ. Для быстрого открытия клапана форсунки используется первая (форсирующая) обмотка, по которой течет большой ток. Для удержания клапана ЭМФ в открытом состоянии большой ток не требуется, и управление электромагнитом переходит на другую (удерживающую) цепь с большим сопротивлением.

Тяговая характеристика представляет зависимость электромагнитного усилия F_y от перемещения δ якоря, т.е. $F_y = f(\delta)$. Механическая характеристика представляет собой зависимость противодействующих сил F_m , создаваемых пружинами и силой тяжести, от величины перемещения якоря, т.е. $F_m = \psi(\delta)$. Временные фрагменты осциллограмм переходных процессов в электрической и механической частях форсунки за время (t) приведены на рис. 1.

В момент срабатывания электромагнита время срабатывания t_{cp} , в течение которого ток нарастает до I_{cp} . Время движения якоря (сердечника) определяет время его движения $t_{дв}$, которое совместно со временем $t_{тр}$ и составляет время срабатывания:

$$t_{cp} = t_{тр} + t_{дв}, \text{ с} \quad (3)$$

где: $t_{тр}$ - время трогания, измеряемое от момента подачи напряжения на электромагнит до момента начала движения клапана дозатора с якорем электромагнита, с;

$t_{дв}$ - время перемещения клапана дозатора вместе с якорем электромагнита из закрытого состояния в открытое, с.

Если индуктивность электромагнита постоянного тока принять постоянной, то время трогания определится:

$$t_{тр} = \frac{L \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - I_T / I_y} \right)}{R}, \text{ с} \quad (4)$$

где: L - индуктивность катушки электромагнита, Г;

R - активное сопротивление катушки, Ом;

I_y - установившееся значение тока в катушке электромагните, А;

I_T - ток трогания клапана дозатора с якорем электромагнита, А.

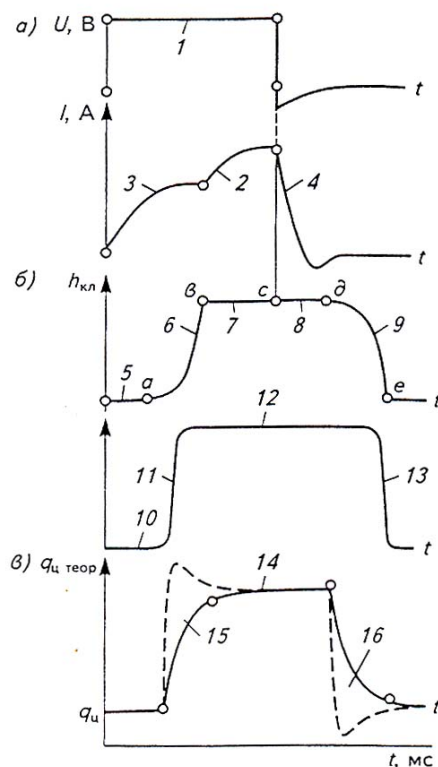


Рис. 1. Временные фрагменты осциллограмм переходных процессов, происходящих в электрической и механической частях форсунки за время t :

a – осциллограмма напряжения и тока в обмотке; $б$ – высота $h_{кл}$ перемещения (открытия) клапана; $в$ – осциллограмма цикловой подачи; теоретическая ($q_{цтеор}$) и фактической ($q_{ц}$); 1 – осциллограмма напряжения (U, B); 2 и 3 и 4 – осциллограммы импульса тока (I, A); 5 – закрытое положение клапана; 6 – начало и конец движения клапана; 7 – открытое состояние клапана; 8 – задержка импульса открытого состояния клапана; 9 – величина обратного перелета клапана; 10 – задержка цикловой подачи топлива; 11 – линия начала цикловой подачи топлива; 12 – теоретическая линия подачи топлива; 13 – теоретическая линия снижения подачи топлива; 14 – фактическая величина подачи топлива; 15 – область увеличения цикловой подачи топлива; 16 – область снижения цикловой подачи топлива; о – закрытое положение клапана; а – начало движения клапана; в – окончание перемещения клапана; с – окончание импульса тока; д – начало обратного движения клапана; е – окончания движения клапана.

Время перемещения клапана дозатора с якорем электромагнита $t_{дв}$ можно определить из уравнения равноускоренного движения этих деталей:

$$t_{дв} = \frac{\delta_{я}}{50 \cdot a}, \quad (5)$$

где: a - ускорение клапана дозатора с якорем электромагнита, $м/с^2$.

Ускорение клапана дозатора с якорем электромагнита в свою очередь будет зависеть от действующих на них сил и их массы:

$$a = \frac{P_{м} - P_{д}}{m} \text{ м/с}^2, \quad (6)$$

где: P_m - сила электромагнита, Н;

P_d - сила от перепада давлений на входе и выходе дозатора, Н;

m - масса клапана дозатора с якорем электромагнита, кг.

Сила от перепада давлений на входе и выходе дозатора равна:

$$P_d = (p_{вх.макс} - p_{вых.мин}) \cdot S \cdot g, \quad (7)$$

где: $p_{вх.макс}$ - максимальное давление на входе дозатора, кг/см²;

$p_{вых.мин}$ - минимальное давление на выходе дозатора, мПа.

Для упрощения расчетов сила воздействия электромагнита, сила от перепада давлений на входе и выходе дозатора считаются постоянными и не зависящими от хода клапана дозатора с якорем электромагнита. Такое допущение вполне оправдано, так как ход клапана дозатора с якорем электромагнита в таких конструкциях очень мал и составляет величину порядка 1 мм и меньше. Выразив из формул 5-7 силу электромагнита, получим:

$$P_m = \frac{0,02 \cdot H_{макс} \cdot m}{t_{дв}^2} + (p_{вх.макс} - p_{вых.мин}) \cdot S \cdot g. \quad (8)$$

Если задаться величиной времени срабатывания дозатора $t_{ср} = 2,0$ мс и принять соответственно $t_{тр} = 1,0$ мс и $t_{дв} = 1,0$ мс, то можно сформулировать требования к основным элементам дозатора. В формуле (4) значение натурального логарифма при $I_t / I_y < 0,3$ (для быстродействующих электромагнитов I_t / I_y еще меньше) будет 0,5 и менее.

Следовательно, для электромагнита дозатора должно выполняться условие

$$\frac{L}{R} < 0,002 \cdot c \quad (9)$$

Преобразуя (8), получим силу электромагнита:

$$P_m = 20000 \cdot H_{макс} \cdot m + (p_{вх.макс} - p_{вых.мин}) \cdot S \cdot g. \quad (10)$$

Между якорем управляющего электромагнита и топливным запирающим узлом существует жесткая связь, поэтому временная диаграмма срабатывания однозначно связана с динамикой электромагнитной части форсунки.

Продолжительность циклового впрыскивания $\tau_{цв}$ можно представить уравнением:

$$\tau_{цв} = \tau_n - \tau_{oa} - \tau_{ав} + \tau_{cd} + \tau_{de}, \quad (11)$$

где: $\tau_{цв}$ - длительность циклового впрыскивания;

τ_n - длительность управляющего импульса;

τ_{oa} - запаздывание начала движения затвора;

$\tau_{ав}$ - время движения затвора при его открытии;

τ_{cd} - запаздывание движения затвора при его закрытии;

τ_{de} - время движения затвора при его закрытии.

Цикловая объемная доза топлива может быть представлена выражением:

$$g_{цт} = g_o \cdot \tau_{цв}, \quad (12)$$

где: g_o - статическая производительность ЭМФ.

В реальной ЭМФ клапан открывается и закрывается не одновременно с началом поступления и окончанием управляющего импульса подачи тока, а с некоторым запаздыванием. Продолжительность срабатывания и отпускания электромагнита не зависит от продолжи-

тельности импульса тока в обмотке, так как они являются неуправляемыми временными параметрами.

Быстродействие форсунки с электромагнитным управлением характеризуется неуправляемым временем открытия затвора и составляет:

$$\Delta\tau_{oz} = \tau_{oa} + \tau_{ab}. \quad (13)$$

Продолжительность закрытия затвора составляет:

$$\Delta\tau_{zz} = \tau_{cd} + \tau_{de}. \quad (14)$$

Фактическая продолжительность открытого состояния затвора τ_{ad} отличается от длительности импульса τ_{oc} . Статическая производительность ЭМФ характеризует величину предельного расхода при постоянно открытом ее клапане. Чтобы ЭМФ не потеряли управляемость при максимальной цикловой подаче и максимальной частоте вращения, между управляющими импульсами должна быть пауза продолжительностью не менее времени отпущения $t_{отп}$. Реальная продолжительность паузы должна быть не менее 2 мс. Максимальная продолжительность управляющих импульсов может быть определена

$$\tau_{max} \leq T_{min} - t_{отп}. \quad (15)$$

Минимальная продолжительность управляющих импульсов должна быть равна или более времени срабатывания клапана:

$$\tau_{min} \geq t_{cp}. \quad (16)$$

Максимально возможная продолжительность открытого состояния клапана ограничивается периодом следования формируемых импульсов по формуле

$$T = (60\tau / ni) \cdot 10^3, \quad (17)$$

где: T – период следования импульсов тока, мс; n – частота вращения КВ двигателя, мин⁻¹; τ – коэффициент тактности двигателя; i – общее число срабатываний ЭМФ за один оборот распределительного вала.

Расчетно-экспериментальный анализ показал, если на электромагнит подается импульс тока, то игла ЭМФ поднимается на 0,1 мм над седлом и топливо выходит через калиброванную щель. Время задержки открытия и закрытия ЭМФ находятся в диапазоне 1...1,5 мс. Задержка срабатывания ЭМФ составляет 1 мс, продолжительность открытого состояния 2...10 мс. Напряжение системы привода ЭМФ 4В. ЭМФ заземлена на массу в ЭБУ. Магнитный поток ЭМФ достигает своего максимального значения через промежуток времени

$$\tau = (4...5)L_{эфм} / r_{эфм}, \quad (18)$$

где: $L_{эфм}$ – индуктивность обмотки электромагнита ЭМФ;

$r_{эфм}$ – активное сопротивление обмотки ЭМФ.

Ток в обмотке ЭМФ после ее срабатывания изменяется по экспоненциальному закону. После окончания управляющего импульса магнитный поток исчезает не сразу. На частотах 500 Гц и выше время срабатывания и время отпущения не зависят от продолжительности импульса тока и являются неуправляемыми временными параметрами. ЭМФ обеспечивает открытие отверстия для прохода топлива за 0,6 мс и закрытие за 0,2 мс и позволяет работать с частотой 250 Гц. Импульс шириной t_i приводит в действие оконечный каскад, управляющий впрыскиванием топлива:

$$t_i = t_p + t_m + t_s = t_p + k_2 \cdot t_p + t_s = t_p \cdot (1 + k_2) + t_s = k_1 \cdot (Q/n), \quad (19)$$

где: $k = k_1 \cdot (1 + k_2)$, что и требуется для реализации программы топливоподачи.

Алгоритм управления основной исполнительской частью ЭМФ однозначно связан с ди-

намакой электромагнитной ее части и влияет на продолжительность $t_{\text{ц}}$ и на цикловую дозу впрыскивания $Q_{\text{цв}}$

$$t_{\text{имп}} = t_{\text{ц}} + t_{\text{ппо}} - t_{\text{ппз}}, \quad (20)$$

где: $t_{\text{имп}}$ – длительность электрического управляющего импульса;

$t_{\text{ц}}$ – продолжительность циклового впрыскивания;

$t_{\text{ппо}}$ – длительность переходного процесса открывания;

$t_{\text{ппз}}$ – длительность переходного процесса закрытия ЭМФ.

$$Q_{\text{ц}} = \mu_{\text{ф}} \cdot f_{\text{ф}} \cdot \sqrt{2/\rho} \cdot \sqrt{p_{\text{ср}}} \cdot t_{\text{ц}}, \quad (21)$$

где: $\mu_{\text{ф}} \cdot f_{\text{ф}}$ – площадь эффективного сечения дозирующего отверстие ЭМФ;

$p_{\text{ср}}$ – средний перепад давления на дозирующем отверстии;

ρ – плотность топлива.

Выводы

Разработаны теоретические основы расчета и проектирования ЭМФ, алгоритмы диагностирования бензинового двигателя, аппаратурная и алгоритмическая поддержка системы управления процессами топливоподачи.

Литература

1. Ерохов В.И. Системы впрыскивания бензиновых двигателей. Учебное пособие . 2005 г. - Горячая линия. -365 стр.
2. Черняк Б.Я. Автоматическое регулирование и управление процессами двигателей внутреннего сгорания, ч. III. МАДИ, - М., 1994.
3. Казаков Л.А. Электромагнитные устройства РЭА. Справочник.- М. Радио.1991.
4. Электротехнический справочник / Под ред. П.Г. Грудинского, М.Г. Чиликина (глав. ред.) и др. - Т.1. - М.: Энергия, 1971. - 880 с.
5. Куске Е.Я. Применение расчетных методов к анализу динамики затвора клапана в форсунках электронно-управляемых систем бензиновых двигателей. Журнал «Двигателестроение» - № 9, 1985. 28-31 с.

Совершенствование лазерно-искровой системы зажигания транспортного двигателя

д.т.н., проф. Ерохов В.И., Ревонченков А.М.
МГТУ «МАМИ»

Повышение топливной экономичности и снижение вредных выбросов транспортного двигателя зависит от совершенства систем топливоподачи и зажигания. Целью настоящей работы является повышение надёжности воспламенения обедненных ГС и создание адаптивной системы управления лазерно-искровой системой зажигания двигателей с впрыскиванием газового топлива. Задачей данной работы является исследование параметров лазерно-искровой системы зажигания двигателя внутреннего сгорания с более высокими энергетическими характеристиками воспламенения горючей смеси, а также в связи с этим снижение расхода топлива и уменьшение токсичности ОГ.

Нижний предел воспламеняемости для метана соответствует обеднению с $\alpha = 1,90$. При обеднении горючей смеси, приближающемся к предельному α , наблюдается неустойчивая работа ДВС из-за пропусков воспламенения в случае применения традиционной искровой системы зажигания, так как энергия воспламенения горючей находится в диапазоне: 0,05...15 Дж, а искровая система зажигания обеспечивает только нижний предел по энергии.

Подача дополнительной электромагнитной энергии в область искрового зазора свечи