

вала, равномерность подачи топлива по отдельным цилиндрам и моменты начала впрыскивания топлива как для запальной дозы, так и для основной подачи. В нашем случае размагничивающий импульс обратной полярности не требуется – быстродействие форсунки позволяет получить двойное и ступенчатое впрыскивание топлива без него.

Силовой блок (мы называем его блок ударного напряжения, БУН) усиливает электрические сигналы по току. Форсирование срабатывания клапанов УУ достигается путём заряда конденсатора (величина тока 25 а). Ток удержания якоря равен 7 а. ТС выдержала длительные испытания на безмоторном стенде и отсеке дизеля 1Д20,7/2х25,4. Имеет внутренние резервы.

Литература

1. Грехов Л. В., Иващенко Н. А., Марков В. А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. – М.: Автодата. – 2004, 2005. – 344 с.
2. Семёнов Б. Н. Возможности сокращения выброса окислов азота с отработавшими газами быстроходного форсированного дизеля при сохранении высокой топливной экономичности/ Б. Н. Семёнов, В. И. Смайлис, В. Ю. Быков, В. А. Липчук // Двигателестроение. – 1990. - № 4. – С 44 – 46.
3. Смайлис В.И. Оптимизация экономических и экологических показателей дизелей ЧН21/21 при форсировании по среднему эффективному давлению / В. И. Смайлис, В. Ю. Быков // Двигателестроение. - 1990. - № 4. - С 44 - 46.
4. Болдырев И.В. Применение двухфазного впрыска в многотопливном транспортном дизеле с турбонаддувом / И. В. Болдырев, Е.Т. Дятлов, О. Л. Осадчий // Двигателестроение. - 1981. - № 6. - С. 11-13.
5. Лазарев Е.А. Эффективность разделённого впрыскивания топлива в тракторных дизелях с камерой сгорания ЦНИДИ / Е.А. Лазарев, Б.Л. Арав, Е. Г. Пономарев // Двигателестроение. - 1990. - № 11. - С. 51 – 54.
6. Николаенко А.В. Исследование эффективности двухстадийного впрыска с подачей первой дозы топлива в конце такта выпуска дизеля / А.В. Николаенко, Н.И. Носков // Двигателестроение. - 1996. - № 1. - С. 22-24.

РАСЧЕТНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕКОЙ ФОРСУНКИ С РАЗГРУЖЕННЫМ ОТ ДАВЛЕНИЯ ТОПЛИВА УПРАВЛЯЮЩИМ КЛАПАНОМ

Олисевиц О. В. (ФГУП «НАМИ»)

Современный этап развития топливоподающей аппаратуры основывается на переходе к системам с микропроцессорным управлением процессом подачи топлива. Это позволяет повысить точность дозирования в каждом рабочем цикле дизеля и улучшить качество сгорания в цилиндрах двигателя. Основное распространение среди современных систем топливоподдачи получают аккумуляторные системы высокого давления типа «**Common Rail**».

Одна из конструкций электрогидравлической форсунки является форсунка с разгруженным от давления топлива управляющим клапаном. При применении такого клапана минимизируются недостатки, связанные с повышением расхода топлива на управление топливоподачей. ЭГФ данного типа выпускаются фирмой **DELPHI** (США).

НАМИ, в сотрудничестве с ЯЗТА и МАДИ были проведены экспериментальный и расчетный анализ данного типа форсунок. В работе приведены результаты

расчетно-экспериментального исследования электрогидравлической форсунки фирмы DELPHI.

Рассматриваемая топливная форсунка имеет одностворный управляющий клапан, выполненный с коническим затвором и поршнем, разгружающим клапан от осевых сил, создаваемых давлением топлива. Этим снижается необходимая сила пружины, запирающей клапан, и необходимая сила электромагнита, благодаря чему уменьшаются габариты и инерция клапана и, соответственно, габариты топливной форсунки в целом.

При построении математической модели и расчетном анализе АТС данной ЭГФ приняты следующие допущения: давление в аккумуляторе топлива постоянно; движение топлива в топливопроводе принимаем одномерным, коэффициент гидравлического трения – постоянным; процессы в топливной системе изотермические; плотность топлива ρ и скорость звука α в топливе имеют постоянные значения; деформации деталей под действием высокого давления пренебрежимо малы и ими можно пренебречь; силы трения в зазорах прецизионных кинематических пар не учитываются; соударения подвижных деталей с упорами являются абсолютно неупругими и деформации деталей вследствие соударений отсутствуют; давление в акустически коротких объемах (V_k, V_ϕ, V_p) в текущий момент времени одинаково во всех точках; пренебрегаем сжимаемостью объема в полостях топливной форсунки;

Непосредственно при расчете принимаем следующие ограничения:

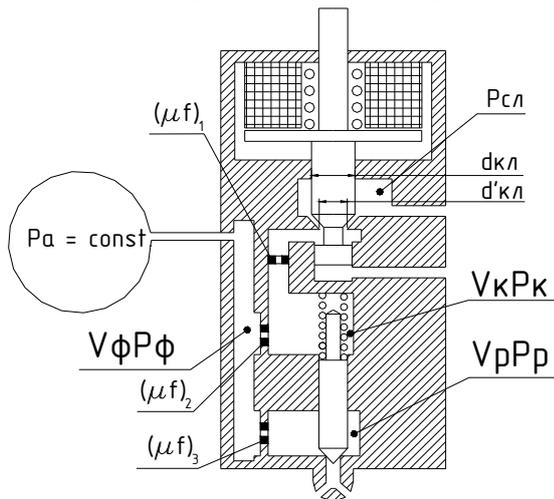


Рис.1. Расчетная схема АТС с форсункой имеющей разгруженный от давления топлива управляющий клапан.

- При $y \leq 0$ и $F_u^\Sigma < 0$ принимаем $y = 0$ и $C_u = 0$; при $y \geq y_{\max}$ и $F_u^\Sigma > 0$ принимаем $y = y_{\max}$ и $C_u = 0$. Где: C_u – скорость подъема иглы форсунки; y – текущий подъем иглы форсунки; y_{\max} – максимальный подъем иглы форсунки; F_u^Σ – суммарная сила, действующая на иглу форсунки; при $h_{кл} \leq 0$ и $F_{кл}^\Sigma < 0$ принимаем $h_{кл} = 0$ и $C_{кл} = 0$; при $h_{кл} \geq h_{кл \max}$ и $F_{кл}^\Sigma > 0$ принимаем $h_{кл} = h_{кл \max}$ и $C_{кл} = 0$. Где: $C_{кл}$ – скорость движения управляющего клапана; $h_{кл}$ – текущий подъем клапана; $h_{кл \max}$ – максимальный подъем клапана; $F_{кл}^\Sigma$ – суммарная сила, действующая на управляющий клапан.

Расчетная схема АТС с топливной форсункой с разгруженным от давления топлива управляющим клапаном представлена на рисунке 1.

С учетом следующих обозначений: V_ϕ, P_ϕ – объем и давление в полости форсунки; V_p, P_p – объем и давление в полости распылителя; V_k, P_k – объем и давление в полости управления; P_π – давление в цилиндре двигателя; P'_p – давление топлива в полости между конусом иглы и сопловыми отверстиями распылителя; P'_k – давление топлива в полости управления действующее перпендикулярно; L – длина топливопровода высокого давления от топливного аккумулятора к форсунке; P_0 – начальное давление топлива в топливопроводе высокого давления; $P_{сл}$ – давление топлива в полости слива форсунки; $(\mu f)_1, (\mu f)_2, (\mu f)_3$ – эффективное проходное сечение жиклеров топливной форсунки; $(\mu f)_\phi$ – эффективное проходное сечение

чение форсунки; $(\mu f)_{\Sigma_{кл}}$ – суммарное эффективное проходное сечение управляющего клапана; M_u , f_u – масса иглы распылителя и площадь его поперечного сечения; $M_{кл}$, $f_{кл}$ – масса и площадь клапана; $F_{эм}$ – сила электромагнита; $F_{пр0}$ – начальная сила пружины клапана; δ_u – жесткость пружины иглы; $\delta_{кл}$ – жесткость пружины клапана, система уравнений которая описывает процессы, протекающие в электрогидравлической форсунке представлена ниже:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP_\phi}{dt} &= \frac{1}{\alpha V_\phi} \left(f_m \frac{1}{\alpha \rho} \left(P_0 - P_\phi + 2F \left(t - \frac{L}{a} \right) e^{-k \frac{L}{a}} \right) - \sigma_2 (\mu f)_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_\phi - P_k|} - \sigma_3 (\mu f)_3 \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_\phi - P_p|} \right) \\ \frac{dP_p}{dt} &= \frac{1}{\alpha V_p} \left(\sigma_3 (\mu f)_3 \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_\phi - P_p|} - (\mu f)_\phi \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_p - P_u|} - C_u f_u \right) \\ \frac{dP_k}{dt} &= \frac{1}{\alpha V_k} \left(\sigma_2 (\mu f)_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_\phi - P_k|} - (\mu f)_{\Sigma_{кл}} \sqrt{\frac{2}{\rho} |P_\phi - P_{кл}|} + C_u f_u \right) \\ \frac{dC_u}{dt} &= \frac{1}{M_u} \left((f_u - f'_u) (P_p - P_{p0}) + f'_u P'_p - \delta_u y - f_u P_k \right) \\ \frac{dy}{dt} &= C_u \\ \frac{dC_{кл}}{dt} &= \frac{1}{M_{кл}} \left(F_{эм} - F_{пр0} - \delta_{кл} h_{кл} + \sigma_{кл} (f_{кл} - f'_{кл}) \frac{P'_к + P_{кл}}{2} \right) \\ \frac{dh_{кл}}{dt} &= C_{кл} \end{aligned} \right\} (5)$$

В представленной системе первые три уравнения (5) представляют собой уравнения объемного баланса топлива в полостях форсунки V_ϕ ; V_p ; V_k . Следующие уравнения являются уравнениями динамического равновесия иглы распылителя форсунки и управляющего электромагнитного клапана и связанных с ними подвижных частей.

Сила электромагнита $F_{эм}$ рассчитывается по формулам:

$$F_{эм} = \frac{t}{\Delta t} \left(\frac{a}{b + (h_{\max} - h_{кл})} \right) (6), \text{ при } t \leq \Delta t, \text{ и } F_{эм} = \left(\frac{a}{b + (h_{\max} - h_{кл})} \right) (7), \text{ при } t > \Delta t,$$

здесь: τ – текущее значение времени; $\Delta \tau$ – время нарастания тягового усилия электромагнита без учета зависимости силы электромагнита от величины магнитного зазора ($h_{\max} - h$); h_{\max} – максимальный ход управляющего клапана; a и b – постоянные электромагнита.

Ступенчатая функция $\sigma_2 = +1$ при выполнении условия $P_\phi \geq P_k$ и $\sigma_2 = -1$ при условии $P_\phi < P_k$. Ступенчатая функция $\sigma_3 = +1$ при $P_\phi \geq P_p$ и $\sigma_3 = -1$ при условии $P_\phi < P_p$.

Текущее эффективное проходное сечение форсунки $(\mu f)_\phi$ рассчитывается с учетом его изменения в зависимости от положения иглы распылителя.

Суммарное эффективное проходное сечение через жиклер 14 и управляющий клапан:

$$(\mu f)_{\Sigma_{кл}} = \frac{(\mu f)_1 * \mu_k f_u}{\sqrt{(\mu f)_1^2 + (\mu_k f_u)^2}} (8)$$

Давление в распылителе P'_p рассчитывается по формуле:

$$P'_p = \left(\frac{(\mu f)_\phi}{(\mu f)_c} \right)^2 (P_p - P_u) + P_u (9)$$

Давление в камере управления P'_k рассчитываем по формуле:

$$P'_k = \frac{(\mu f)_1^2 P_k + (\mu_k f_{цл})^2 P_{сг}}{(\mu f)_1^2 + (\mu_k f_{цл})^2} \quad (10)$$

Новизна данной математической модели заключается в ее уточнении для ЭГФ с разгруженным от давления топлива управляющим клапаном.

Программа гидродинамического расчета данной топливной форсунки разработана и отлажена для персонального компьютера **IBM PC** на языке программирования C++.

Программа расчета составлена из условий обеспечения точности расчета и уменьшения шага расчета в зависимости от продолжительности управляющего импульса. В состав программы входят блоки расчетов интегральной и дифференциальной характеристик топливоподачи, давлений в ЭГФ, подъема иглы распылителя и управляющего клапана а так же их скоростей. Следует отметить, что программа позволяет производить расчеты предварительных впрысков, производимых топливной форсункой, а так же последующих после основного подвпрысков топлива, что позволяет приблизить расчетный анализ ЭГФ к технически необходимым характеристикам топливоподачи.

Программа экспериментальных исследований ЭГФ включала в себя определение характеристик дозирования топлива, динамических параметров работы топливной форсунки и расходных характеристик форсунки.

Испытания проводились на аккумуляторной установке, выполненной на базе аттестованного регулировочного стенда Friedmann&Maier A1027. Аккумуляторная установка включает ТНВД ЧРА-0667.011.005 и аккумулятор высокого давления объёмом 700 см³ с регулируемым клапаном-ограничителем давления. Форсунка соединялась с аккумулятором высокого давления посредством топливопровода длиной 435 мм с увеличенным до 4 мм внутренним диаметром для снижения сопротивления потоку топлива.

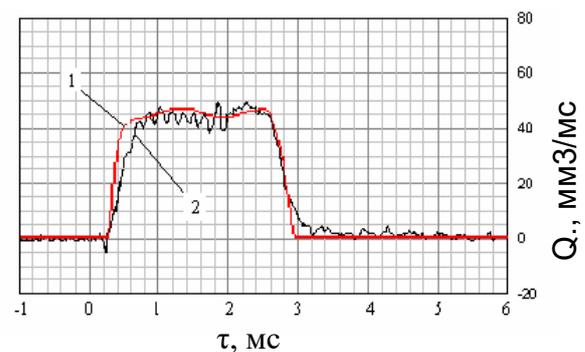
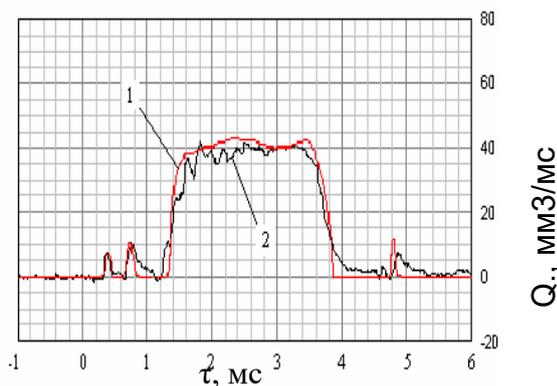
Параметры работы форсунки исследовались при давлениях 30, 60, 90 и 120 МПа в диапазоне цикловых подач 0-120 мм³. Постоянное давление в аккумуляторе поддерживалось путём изменения производительности ТНВД.

Давление топлива на входе в насос составляло 0.08-0.1 МПа, температура в пределах 18 ... 24 °С. Вязкость топлива 5.5 сСт при t=20°С.

↓ Рис.2. Характеристика впрыскивания топлива при $P_a=90$ МПа и $q=104$ мм³

1- расчетная характеристика впрыскивания топлива;
2 – экспериментальная характеристика впрыскивания топлива.

↓ Рис.3. Характеристика впрыскивания топлива при $P_a=120$ МПа и $q=97,3$ мм³.



Генерирование электрических управляющих сигналов, а также осциллографирование динамических параметров работы форсунки осуществлялось с помощью управляющего измерительного комплекса EControl v. 3 (г. Ярославль)

Характеристика впрыскивания определялась с помощью датчика, выполненного по схеме «Бош», чувствительным элементом являлся пьезодатчик давления Т-2500.

Для уменьшения влияния электрических помех на результаты испытаний осциллограммы характеристик впрыскивания аппроксимировались численным методом.

Для минимизации случайных погрешностей и влияния электрических помех на результаты измерений при проведении осциллографирования с помощью управляющего измерительного комплекса, динамические параметры определялись как средние значения по 30-ти последовательно взятым циклам на установившемся режиме.

На рисунках 2 и 3 приведены характеристики впрыскивания топлива. Сопоставление которых свидетельствует о хорошем совпадении расчета с экспериментальными данными.

Расхождение между расчетными и экспериментальными значениями цикловых подач при изменении давления в аккумуляторе P_a от 30 до 120 МПа и диапазоне продолжительности управляющего импульса $\tau = 1,5 \dots 2,0$ мс не превышает 5,5 %, что позволяет использовать разработанную математическую модель и программу гидродинамического расчета анализа аккумуляторных топливных систем сложных конструкций, сравнительные показатели представлены в таблице:

P_a , МПа	$t_{упр}$, мкс	Расчет $q_{ц}$, мм ³	Эксп. $q_{ц}$, мм ³	Расхождение δ %
120	2000	100,3	104	3,5
90	1500	93,7	97,3	3,7
60	1600	64,5	68	5,1
30	1600	44,6	46	3,1

Литература:

1. Корнилов Г.С., Мазинг М.В., Пинский Ф.И., Голубков Л.Н. Аккумуляторная система топливоподачи как средство улучшения экономических и экологических показателей автомобильных дизелей //Экология двигателя и автомобиля: Сб. научн.тр. /НАМИ. – М., 1998. С.141-150.

ВИХРЕВАЯ ТУРБУЛЕНТНОСТЬ И КАВИТАЦИЯ В СОПЛОВИМ КАНАЛЕ ДИЗЕЛЬНОЙ ФОРСУНКИ

Скоморовский С.А. (Комсомольский-на-Амуре ГТУ)

Гаврилов В.В., Семидетнов Н.В.

(Санкт-Петербургский государственный морской технический университет)

Голованов М.Н. (Новосибирской государственной академии водного транспорта)

Эффективности математического моделирования локальных внутрицилиндровых процессов особенно существенно препятствует малая изученность процессов первичного распада струи в сопловом канале дизельной форсунки.