



НАУМОВ
Валерий Николаевич
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

NAUMOV
Valeriy Nikolaevich
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)



БАЙТИМЕРОВ
Рустам Миндияхметович
(Южно-Уральский
государственный университет)

BAYTIMEROV
Rustam Mindiaxmetovich
(Chelyabinsk, Russian
Federation,
South Ural State University)



ПОГУЛЯЕВ
Юрий Дмитриевич
(Южно-Уральский
государственный университет)

POGULYAEV
Yuriy Dmitrievich
(Chelyabinsk, Russian
Federation,
South Ural State University)

Двухуровневая форсунка для дизельного двигателя с прямым механическим приводом иглы и втулки

В.Н. Наумов, Р.М. Байтимеров, Ю.Д. Погуляев

В настоящее время ведущие производители дизельных двигателей внутреннего сгорания решают сложные и зачастую противоречивые задачи. Одна из таких задач — осуществление мультивпрыска для улучшения экологических и технических характеристик двигателя.

Самые совершенные на данный момент системы топливоподачи (ТПС) — аккумуляторные системы непосредственного впрыска типа COMMON RAIL с электрогидравлическими или пьезоэлектрическими форсунками могут впрыскивать до девяти порций топлива за один цикл. При этом объемы этих порций могут отличаться на 2 порядка. Так, объем пилотного впрыска может составить 1 мм³ и менее, а объем основной порции — 100 мм³ и более.

Объем впрыскиваемого топлива регулируется длительностью или давлением впрыска, поскольку впрыскивание всех порций топлива осуществляется через один уровень отверстий, выбор диаметров которых является трудной задачей.

При относительно большом диаметре отверстий очень сложно дозировать малые объемы. Электрогидравлическое управление клапанами форсунок не справляется с этой функцией, так как не открывшийся до конца вследствие электромагнитных переходных процессов клапан необходимо закрывать для точного дозирования порции топлива. В этот период времени клапан не поддается управлению.

При относительно малом диаметре отверстий гораздо сложнее реализовать основной впрыск по объему подаваемого топлива. Для этого нужно увеличивать по времени основной впрыск и выходить за границы оптимального впрыска по условиям экологии или повышать давление впрыска. Повышение давления впрыска также ограничено утечками и технологическими возможностями при изготовлении форсунок.

Выполненное расчетное исследование топливной форсунки с двумя уровнями отверстий нового типа с прямым механическим приводом иглы и втулки для топливной системы типа COMMON RAIL дизельного двигателя доказало ее преимущество по сравнению с другими. Рассчитаны технические характеристики форсунки.

Ключевые слова: дизельный двигатель, топливная форсунка, система COMMON RAIL, уровень впрыскивающего отверстия, прямой привод иглы и втулки.

A two stage diesel injector with direct-driven needle and hub

V.N. Naumov, R.M. Baytimerov, Yu.D. Pogulyaev

Currently, the leading manufacturers of diesel internal combustion engines have to solve complex and often inconsistent problems. One of these problems deals with the implementation of multiple injections to improve the environmental and performance characteristics of the engine. COMMON RAIL-type direct injection battery systems with electrohydraulic or piezoelectric injectors are con-

sidered to be the most advanced systems at the moment. They can inject up to nine portions of fuel per cycle, with portion volumes varying by two orders of magnitude. The pilot injection volume may be less than 1 cubic millimeter, while the main portion volume may exceed 100 cubic millimeters. Since the fuel is injected through similar holes, the flow-rate is determined by injection duration or pressure. The problem is to choose appropriate diameters of holes, which is not an easy task. If the diameter of a hole is relatively large, measuring small volumes is difficult. Electronic injector valves are not able to do this due to electromagnetic transient processes limiting their functionality. If the diameter of a hole is relatively small, the required fuel volume can be provided by increasing the main injection time, which contradicts the optimal eco-friendly injection, or by increasing the pressure. The injection pressure increase is also limited by leaks and manufacturing capabilities. In this paper, a fuel injector with two kinds of holes of a new type with directly driven needle and hub is investigated for the COMMON RAIL-type fuel system of a diesel engine. The conducted research proved its advantages over other injectors. Injector specifications are calculated.

Keywords: diesel engine, fuel injector, COMMON RAIL-type system, injection holes, direct injection.

В настоящее время активно разрабатываются топливные форсунки с двумя уровнями отверстий [1–4], в том числе и мировыми лидерами по производству топливной аппаратуры: Robert Bosch GmbH [5–7], Delphi Corporation [8, 9], AVL List GmbH [10]. Это обусловлено широкими возможностями таких форсунок для организации гибкой системы топливоподачи (ТПС) в дизельных двигателях.

Для организации оптимального цикла подачи топлива необходима ТПС, способная впрыскивать нужное количество топлива в цилиндры двигателя под требуемым высоким давлением в точно отведенные моменты времени. Она должна реализовать несколько впрысков за цикл с разными параметрами, менять характеристику впрыска в зависимости от режима работы ДВС, а также разрешить практически все противоречивые задачи, которые в настоящее время ставятся перед про-

изводителями дизельных двигателей и топливоподающей аппаратуры [11].

Идея использования двухуровневых форсунок основана на следующих соображениях:

- впрыскивание топлива только через первый уровень отверстий распылителя с меньшим сечением на частичных режимах работы двигателя для снижения расхода топлива;
- в номинальном режиме впрыск происходит через оба ряда отверстий;
- разделение этапов мультивпрыска между первым (с меньшим эффективным сечением) и вторым (с большим эффективным сечением) уровнями отверстий;
- пилотный впрыск (перед основным) и дожигающие впрыски (после основного), осуществляющиеся и точно дозируемые через распылитель с меньшим эффективным проходным сечением и первый уровень отверстий, являются малыми по объему (до долей кубических миллиметров);
- основная порция топлива впрыскивается через второй уровень отверстий либо через оба уровня одновременно.

При правильном подборе параметров использование двухуровневых форсунок позволяет достичь существенных преимуществ: снижение расхода топлива, эмиссии вредных веществ в отработавших газах. Вместе с тем возможно снижение необходимого давления впрыска и утечек топлива в ТПС [1], а также существенное расширение диапазона цикловых подач топлива.

Однако такие форсунки обладают и существенными недостатками. Одними из основных требований к двухуровневым форсункам является компактность и управляемость.

Многие из известных двухуровневых форсунок — гидравлические с электромагнитным или пьезоэлектрическим управляющим клапаном, одним на оба уровня отверстий. Игла и втулка подпружинены каждая своей пружиной, затяжка пружин выбирается таким образом, что при малых цикловых подачах поднимается только игла, а при больших — оба запирающих элемента [1, 2, 7, 10].

Электрогидравлическая форсунка, описываемая в работе [3], имеет только один запи-

рающий элемент сложной формы. При небольших подъемах иглы открывается только верхний ряд отверстий, при больших — оба. То, что короткие впрыски осуществляются через верхний уровень отверстий является существенным недостатком, поскольку гораздо удобнее расположить большее количество отверстий с большим диаметром в верхнем ряду. Этот же недостаток присущ форсунке, предлагаемой в работе [8].

Необычную схему имеет форсунка с иглой и втулкой, рассмотренная в [9]. В ней игла управляется напрямую электромагнитами. Для создания большей тяги используются два электромагнита. Втулка поднимается только тогда, когда сила давления под втулкой преодолевает силу пружины над втулкой. Использование электромагнитов как прямого привода иглы в условиях высоких давлений впрыска в современных дизельных ТПС является очень энергозатратным.

Интересные схемы форсунок представлены в работах [5, 6]. Форсунка [5] имеет два подпружиненных запирающих элемента, сила затяжки пружин изменяется в процессе впрыска с помощью пьезоактюатора. В форсунке [6] игла и втулка неподпружинены и связаны с пьезоактюатором через гидравлическую передачу.

В данной статье рассматривается двухуровневая форсунка с двумя запирающими элементами, напрямую управляемыми одним быстродействующим реверсивным механическим приводом (БРМП), которая по мнению авторов, является весьма перспективной. Принцип работы ТПС с такой форсункой подробно изложен в работе [12].

Для анализа характеристик впрыска и гидромеханических процессов в форсунке выполнено расчетное исследование. Была составлена математическая модель впрыска на основе метода Астахова–Голубкова [13] и приняты следующие допущения:

- давление в гидроаккумуляторе высокого давления (ГАВД) постоянно;
- давление газов в цилиндре двигателя постоянно;
- отсутствуют утечки топлива через иглу и втулку в закрытом состоянии и через уплотнения;

- давление в камере 2 постоянно и равно нулю, поскольку камера 2 служит для дренажа утечек через уплотнения форсунки в топливный бак;
- отсутствуют деформации деталей форсунки;
- отсутствует трение между деталями форсунки.

Расчетная схема форсунки представлена на рис. 1.

Система уравнений математической модели впрыска состоит из следующих уравнений:

- объемного баланса в камере 1

$$\alpha_{сж} V_1(t) \frac{dp_1(t)}{dt} = \frac{f_a}{a\rho} \left[p_0 - p_1(t) + 2F \left(t - \frac{L_1}{a} \right) \right] - \text{sign}[p_1(t) - P_u] (\mu f)_{\rho_1} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_1(t) - P_u|} - f_2 \frac{dx_u(t)}{dt} - \text{sign}[p_1(t) - P_u] (\mu f)_{\rho_2} \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_1(t) - P_u|} - f_{4-2} \frac{dx_b(t)}{dt}; \quad (1)$$

- движения иглы при открытии; определяется уравнением движения пластины БРМП [14]

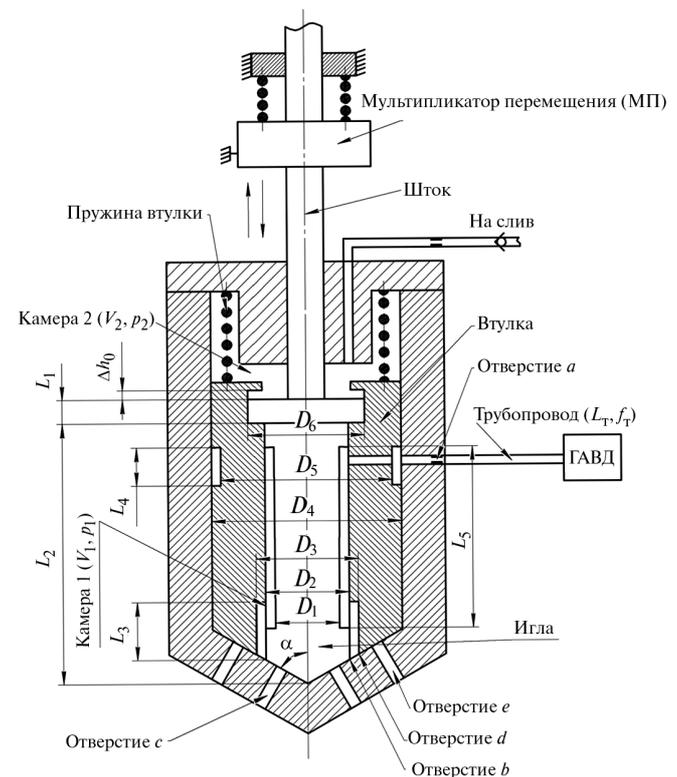


Рис. 1. Расчетная схема форсунки:

БРМП — быстродействующий механический реверсивный привод; ГАВД — гидроаккумулятор высокого давления; V_i, p_i — соответственно объем и давление в i -й камере; Δh_u — максимальный ход иглы без подъема втулки; L_i, f_i — соответственно длина и площадь сечения трубопровода

$$x_{и}(t) = k_{мп} x_{пл}(t); \quad (2)$$

• движения иглы при посадке ее на седло записывается согласно второму закону Ньютона, игла движется вниз под действием пружин БРМП и втулки:

$$\begin{aligned} & \left[m_{БРМП} + m_{шт} + m_{и} + m_{в} \operatorname{sign}(x_{в}(t)) \right] \frac{d^2 x_{и}(t)}{dt^2} = \\ & = F_{пр\ БРМП} + F_{пр,в} \operatorname{sign}(x_{в}(t)), \quad (3) \\ & - p_1(t) f_2 - p_2(t) f_{4-3} \operatorname{sign}(x_{в}(t)) - p_1(t) f_{3-2}; \end{aligned}$$

• движения втулки:

$$x_{в}(t) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_{и}(t) \leq \Delta h_{и}, \\ x_{и}(t) - \Delta h_{и}, & \text{если } x_{и}(t) > \Delta h_{и}. \end{cases} \quad (4)$$

Масса втулки меньше, чем масса системы из пластины, штоков и иглы. Пружина втулки достаточно жесткая, при движении запирающих элементов вниз под действием пружин не происходит отрыва иглы от втулки. Поэтому для полного описания движения иглы и втулки вниз уравнений (3) и (4) достаточно;

• состояния топлива в начале трубопровода (у ГАВД):

$$\begin{cases} p_{т}^H(t) = p_0 + F(t) - W(t) = P_{ГАВД}, \\ u_{т}^H(t) = \frac{1}{a\rho} [F(t) + W(t)]; \end{cases} \quad (5)$$

• состояния топлива в трубопроводе у форсунки:

$$\begin{cases} p_{т}^K(t) = p_0 + F\left(t - \frac{L_{т}}{a}\right) - W\left(t + \frac{L_{т}}{a}\right), \\ u_{т}^K(t) = \frac{1}{a\rho} \left[F\left(t - \frac{L_{т}}{a}\right) - W\left(t + \frac{L_{т}}{a}\right) \right]; \end{cases} \quad (6)$$

• эффективных проходных сечений распылителей первого и второго уровней отверстий согласно [15]:

$$\begin{aligned} (\mu f)_{p1}(t) &= \frac{(\mu f)_c (\mu f)_b(t)}{\sqrt{(\mu f)_c^2 + (\mu f)_b^2(t)}}, \\ (\mu f)_{p2} &= \frac{(\mu f)_e (\mu f)_d(t)}{\sqrt{(\mu f)_e^2 + (\mu f)_d^2(t)}}; \end{aligned} \quad (7)$$

• давления под конусом иглы и втулки, вычисляемые из условия равенства расходов через распылители и сопловые отверстия [13]:

$$p_{p1}(t) = \frac{(\mu f)_{p1}^2}{(\mu f)_c^2} (p_1(t) - p_{и}) + p_{и}, \quad (8)$$

$$p_{p2}(t) = \frac{(\mu f)_{p2}^2}{(\mu f)_e^2} (p_1(t) - p_{и}) + p_{и}.$$

Здесь t — время; $\alpha_{сж}$ — коэффициент сжимаемости топлива; $V_1(t)$, $p_1(t)$ — соответственно объем и давление в камере 1; a — скорость звука в топливе; ρ — плотность топлива; p_0 — остаточное давление топлива в трубопроводах; f_a, f_b, f_c, f_d, f_e — площади поперечных сечений соответствующих отверстий; F, W — соответственно прямая и обратная волны давления в трубопроводе; $L_{т}$ — длина трубопровода; $P_{ГАВД}, P_{и}$ — давление в цилиндре; $x_{и}(t), x_{в}(t)$ — соответственно перемещение иглы и втулки; $\Delta h_{и}$ — максимальный ход иглы без подъема втулки; $k_{мп}$ — передаточное отношение мультипликатора перемещения (см. рис. 1); $x_{пл}(t)$ — перемещение пластины БРМП; f_2 — площадь дифференциальной площадки под иглой; f_{4-2} — площадь поперечного сечения втулки; f_{4-3} — площадь дифференциальной площадки под втулкой; f_{3-2} — площадка под иглой, на которую действует давление $p_1(t)$; $m_{БРМП}$ — масса подвижных частей БРМП, приведенная к игле; $m_{и}$ — масса иглы; $m_{шт}$ — масса штока; $m_{в}$ — масса втулки; $F_{пр\ БРМП}$ — сила, развиваемая пружиной сжатия БРМП, приведенная к игле; $F_{пр,в}$ — сила, развиваемая пружиной втулки; $p_{т}^H, u_{т}^H$ — давление и скорость топлива в трубопроводе у ГАВД; $p_{т}^K, u_{т}^K$ — давление и скорость топлива в трубопроводе у форсунки.

Необходимые площади, объемы и массы рассчитываются исходя из геометрических размеров форсунки (см. рис. 1) по известным формулам.

Моделирование проводилось для трехфазного впрыска. Первый впрыск — пилотный, реализуемый через первый уровень отверстий. Пластина БРМП взаимодействует с первым, коротким, управляющим микропрофилем 1 (рис. 2), который обеспечивает малую длительность впрыска и ход иглы меньше $\Delta h_{и}$, поэтому втулка остается на седле. Далее впрыскивается основная порция топлива управляющим микропрофилем 2, который длиннее и обеспечивает боль-

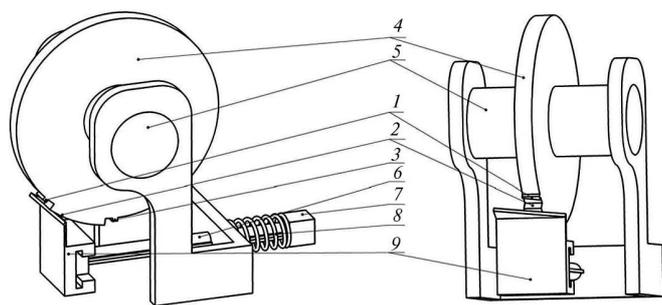


Рис. 2. Кинематическая схема БРМП:

- 1, 2, 3 — микропрофили, управляющие пилотным, основным и дожигающим впрысками; 4 — кулачок; 5 — кулачковый вал; 6 — шток; 7 — мультипликатор перемещения; 8 — пружина; 9 — пластина

шую длительность впрыска. Сначала поднимается игла, затем при движении вверх она подхватывает и перемещает втулку. Топливо впрыскивается через оба ряда распыливающих отверстий. Последний дожигающий впрыск, управляемый коротким микропрофилем 3, так же как и пилотный, реализуется только через первый уровень отверстий.

Согласно работе [16] оптимальная характеристика управления трехфазного впрыска ТПС типа COMMON RAIL для транспортного дизеля при номинальной нагрузке и частоте вращения коленчатого вала 1 800 об/мин представлена на рис. 3.

Результаты расчета в виде диаграмм рабочего процесса форсунки приведены на рис. 4.

Процессы перестановки запирающих элементов характеризуются очень высокой динамикой (рис. 4, а). Подъем иглы для пилотного и дожигающего впрысков продолжается 0,1 мс, что сравнимо с быстродействием пьезоэлектрических элементов. Благодаря этому дифференциальные характеристики расхода топлива через распылитель (рис. 4, б) имеют крутые передние фронты, а жесткие запирающие пружины обеспечивают крутые задние фронты. Таким образом форсунка обеспечивает высокие средние давления впрыска (рис. 4, в).

В то же время характеристика основного впрыска (см. рис. 4, б) имеет небольшую сту-

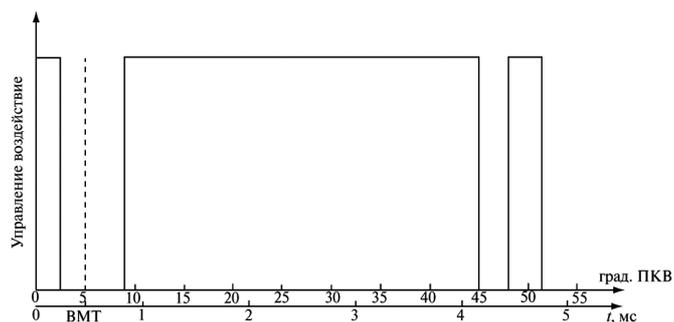


Рис. 3. Оптимальная характеристика управления для трехфазного впрыска транспортного дизеля с системой ТПС типа COMMON RAIL. За начало отсчета принято начало пилотного впрыска:

ВМТ — верхняя «мертвая» точка

пеньку из-за того, что втулка начинает подниматься позже иглы. Это способствует более плавному нарастанию интенсивности впрыскивания основной порции топлива и должно снизить эмиссию оксидов азота.

Существенное влияние на процесс впрыска оказывают волновые процессы в трубопроводе, соединяющим форсунку с аккумулятором высокого давления (см. рис. 4, б, в). Во время впрыска скачки давления в камере 1 форсунки достигают 30 %, что отрицательно сказывается на точности дозирования топлива.

Для сравнения был проведен расчет той же самой форсунки без соединительного трубопровода, т.е. аккумулятор высокого давления находится в непосредственной близости от форсунки. Результаты расчета представлены на рис. 5 в виде диаграмм рабочего процесса, аналогичных рис. 4.

При отсутствии трубопровода характеристика впрыска (рис. 5, б) имеет практически прямоугольный характер. При этом точность дозирования топлива выше, а работа форсунки характеризуется постоянными давлениями впрыска (рис. 5, в). В целом, это должно положительно сказываться на характеристике двигателя.

Создать такую ТПС можно с помощью системы топливоподачи с индивидуальными аккумуляторами [18–20], которые в настоящее время интенсивно исследуются, в том числе и авторами данной статьи.

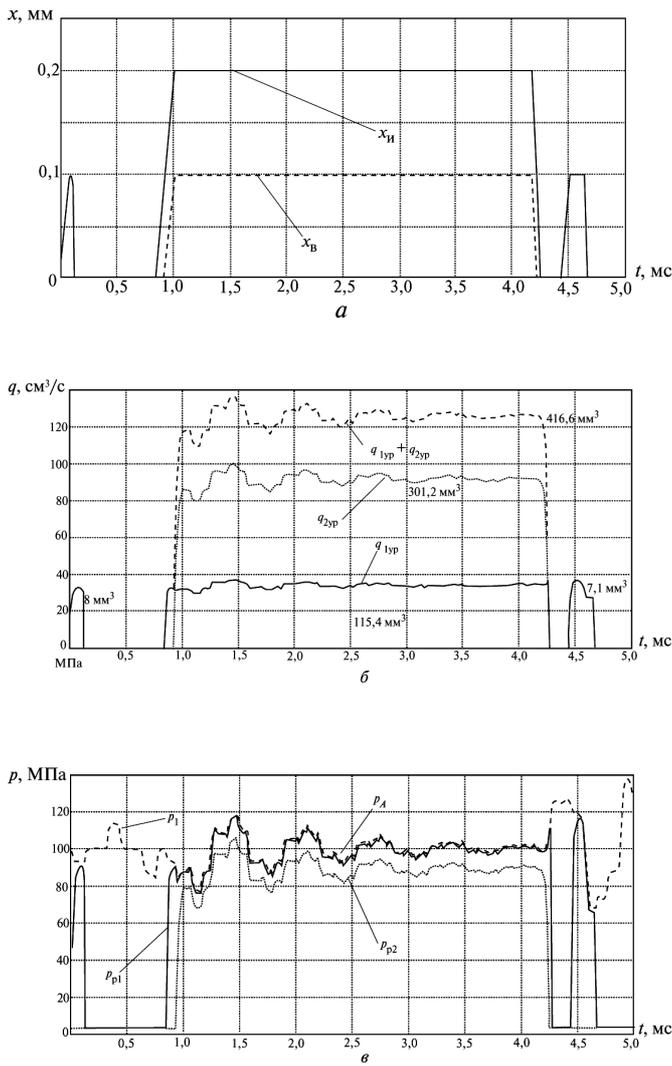


Рис. 4. Диаграмма рабочего процесса форсунки:
 а — перемещения иглы и втулки;
 б — дифференциальных расходов топлива через распылитель; в — давления

Благодаря прямому механическому приводу запирающих элементов в системах без соединительного трубопровода отсутствуют задержки в подъеме иглы, характерные для форсунок с гидравлическим принципом действия. Момент начала подъема иглы при этом совпадает с моментом подачи управляющего воздействия, что повышает управляемость форсункой.

Отсутствие электромеханических и пьезоэлектрических узлов, а также дополнительных гидравлических контуров снижает затраты на дополнительное преобразование энергии, что должно повысить КПД системы топливоподачи в целом. Такой форсунке присущи

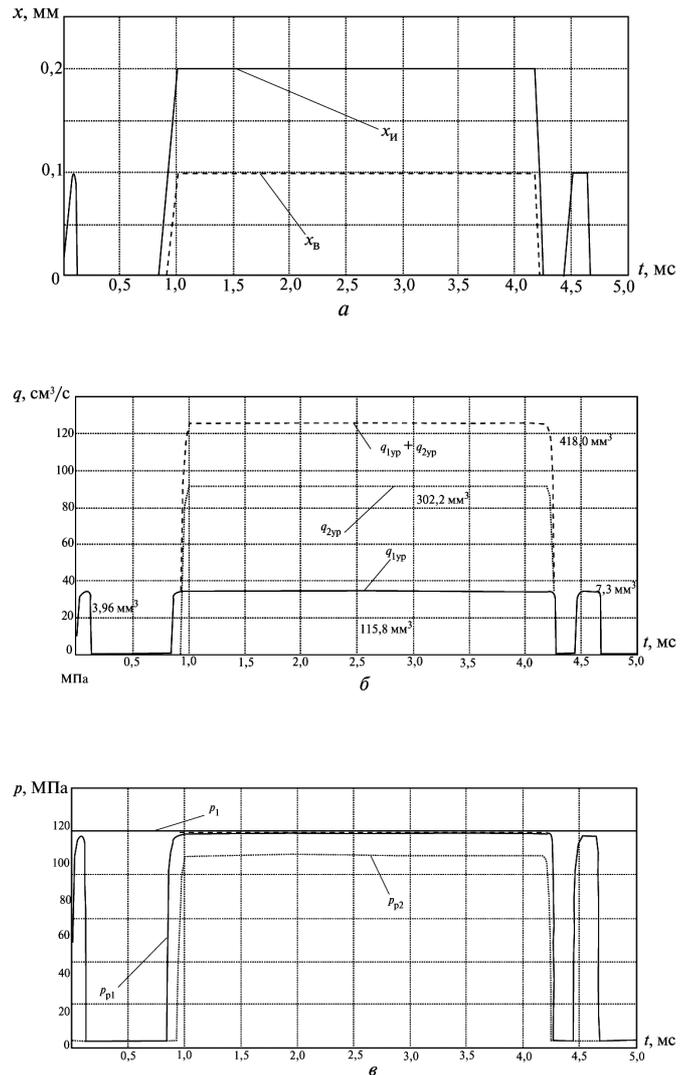


Рис. 5. Диаграммы рабочего процесса форсунки без трубопровода:

а — перемещения иглы и втулки;
 б — дифференциальных расходов топлива через распылитель; в — давления

достоинства, характерные только для форсунок с двумя уровнями отверстий, о которых сказано выше.

Выводы

1. Разработана математическая модель впрыска топлива двухуровневой форсункой с прямым механическим приводом иглы и втулки. Проведен расчет трехфазного впрыска данной форсункой. Определены основные параметры форсунки, обеспечивающие высокие технические показатели.

2. Показано, что рассматриваемая двухуровневая форсунка имеет ряд достоинств:

- за счет применения прямого быстродействующего механического привода улучшается управляемость форсункой, поскольку перестановка запирающих элементов из одного крайнего положения в другое происходит быстро и без задержки начала подъема запирающих элементов;
- вследствие отсутствия электромеханических и пьезоэлектрических преобразователей повышается КПД предлагаемой ТПС;
- поскольку нет управляющих клапанов и дополнительных контуров, не тратится топливо на управление;
- оригинальная конструкция форсунки позволяет использовать только один управляющий привод. Это обстоятельство вместе с отсутствием управляющих клапанов и гидравлических контуров позволяет изготовить форсунку небольших габаритов;
- наличие двух уровней отверстий позволяет осуществлять многофазные впрыски, причем пилотные и дожигающие через первый уровень, а основные — через второй.

Благодаря этим достоинствам можно подобрать сечения отверстий оптимальными с точки зрения точности дозирования, мелкости распыливания и состава отработавших газов.

Поэтому предлагаемые форсунки являются перспективными для реализации оптимальных циклов подачи топлива.

Литература

- [1] Сергеев В.М. Новый способ впрыскивания топлива в форсированных дизелях. *Автомобильная промышленность*, 1998, № 1, с. 33—37.
- [2] Пат. 2383772 Россия, МПК F 02M 61/18, F 02M 51/06, F 02M 47/02. Погуляев Ю.Д., Наумов В.Н. *Способ управления подачей топлива и устройство для его осуществления*. ГОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет».
- [3] Пат. 2494294 Канада, МПК F02M 63/04. *Fuel injection nozzle*. S. Haas; MAN B&W Diesel, Augsburg, DE.
- [4] Пат. 2012051183 Международ., МПК F02M 61/16, F02M 51/06, F02M 61/18. *A fuel injector with variable orifice*. Deyang Hou; Deyang Hou, Sugar Land, TX, US.
- [5] Пат. 10348925 Германия, МПК F02M 45/08. *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. Friedrich Boecking; Robert Bosch GmbH, Stuttgart, DE.
- [6] Пат. 10336327 Германия, МПК F02M 45/00. *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. S. Kanne, G. Nentwig; Robert Bosch GmbH, Stuttgart, DE.

[7] Марченко А.П., Мешков Д.В., Рыкова И.В. Тенденции развития форсунок аккумуляторных топливных систем типа COMMON RAIL. *Двигатели внутреннего сгорания*, 2005, № 1, с. 68—74.

[8] Louise A. Connelly, Michael P. Cooke, Andrew J. Limmer Пат. 7404526 США, МПК F02M 61/10. *Injection nozzle*. Delphi Technologies, Inc., Troy, MI.

[9] Пат. 2010145911 Междунар., МПК F02M 45/08, F02M 51/06, F02M 47/02, F02M 61/18. *Fuel injector*. Cooke Michael P.; Delphi Technologies Holding, Bascharage, Lu, US.

[10] Пат. 10038054 Германия, МПК F02M 47/06. *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. Burger L.; AVL List GmbH, Graz, AT.

[11] Mahr V. Future and Potential of Diesel Injection Systems. *THIESEL 2002 Conference on Thermo- and Fluid-Dynamic Processes in Diesel Engines*, 2002, no. 4, с. 5—17.

[12] Погуляев Ю.Д., Наумов В.Н., Байтимеров Р.М. Устройство управления подачей топлива с механическим управлением иглы и втулки. *Строительные и дорожные машины*, 2012, № 11, с. 30—35.

[13] Астахов И.В., Трусов В.И., Хачиян А.С., Голубков Л.Н. *Подача и распыливание топлива в дизелях*. Москва, Машиностроение, 1972, 260 с.

[14] Погуляев Ю.Д., Байтимеров Р.М. Топливная система типа Common Rail с гидравлической форсункой и механическим управлением двухпозиционным клапаном. *Строительные и дорожные машины*, 2012, № 12, с. 16—19.

[15] Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. *Топливная аппаратура и системы управления дизелей*. Москва, Легион-Автодата, 2004, 344 с.

[16] Bosch. *Системы управления дизельными двигателями*, Москва, ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004, 408 с.

[17] Богачев С.А. *Разработка топливоподающих систем дизеля нового поколения с целью выполнения перспективных нормативов, ограничивающих токсичность отработавших газов*. Дис. ... канд. техн. наук, Ярославль, 2002, 173 с.

[18] Заявка 20080296413 США, МПК F 02M 61/06. *Accumulator injection system for an internal combustion engine*. Gancer M.

[19] Ferrari A., Mittica A., Spessa E. Benefits of hydraulic layout over driving system in piezo-injectors and proposal of a new-concept CR injector with an integrated Minirail. *Applied energy*, 2013, vol. 103, pp. 243—255.

[20] Заявка 2012138877 Россия, МПК F 02M 61/18. *Способ управления подачей топлива и устройство управления подачей топлива*. Погуляев Ю.Д., Байтимеров Р.М.

References

- [1] Sergeev V.M. Novyi sposob vpryskivaniia topliva v forsirovannykh dizeliakh [A new way to inject fuel into the forced diesels]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [Automotive Industry]. 1998, no. 1, pp. 33—37.
- [2] Poguliaev Iu.D., Naumov V.N. *Sposob upravleniia podachei topliva i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia* [Method of controlling fuel supply and the device for its implementation]. Patent RF no. 2383772, MPK F 02M 61/18, F 02M 51/06, F 02M 47/02. South Ural State University publ.
- [3] Haas S. *Fuel injection nozzle*. Patent Canada no. 2494294, IPS F02M 63/04. MAN B&W Diesel, Augsburg, DE.
- [4] Deyang Hou *A fuel injector with variable orifice*. Patent US no. 2012051183, IPS F02M 61/16, F02M 51/06, F02M 61/18, 2012.
- [5] Friedrich Boecking *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. Patent Germany no. 10348925, IPS F02M 45/08. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, DE.
- [6] Kanne S., Nentwig G. *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. Patent Germany no.10336327, IPS F02M 45/00. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, DE.
- [7] Marchenko A.P., Meshkov D.V., Rykova I.V. Tendentsii razvitiia forsunok akkumuliatornykh toplivnykh sistem tipa COMMON RAIL [Trends in the development Injector type COMMON RAIL]. *Dvigateli vnutrennego sgoraniia* [Internal combustion engines]. 2005, no. 1, pp. 68—74.

[8] Louise A. Connelly, Michael P. Cooke, Andrew J. Limmer *Injection nozzle*. Patent US no. 7404526 SShA, IPS F02M 61/10. Delphi Technologies, Inc., Troy, MI, 2008.

[9] Michael P. Cooke *Fuel injector*. Patent US no. 2010145911, IPS F02M 45/08, F02M 51/06, F02M 47/02, F02M 61/18. Delphi Technologies Holding, Bascharage, Lu, US, 2010.

[10] Ludwig Burger *Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen*. Patent Germany no. 10038054, IPS F02M 47/06. AVL List GmbH, Graz, AT.

[11] Mahr B. Future and Potential of Diesel Injection Systems. *THIESEL 2002 Conference on Thermo- and Fluid-Dynamic Processes in Diesel Engines*, 2002, no. 4, pp. 5–17.

[12] Poguliaev Iu.D., Naumov V.N., Baitimerov R.M. *Ustroistvo upravleniia podachei topliva s mekhanicheskim upravleniem igly i vtulki* [Fuel supply control apparatus for mechanically operated needle hub]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road building machinery]. 2012, no. 11, pp. 30–35.

[13] Astakhov I.V., Trusov V.I., Khachiiian A.S., Golubkov L.N. *Podacha i raspylivanie topliva v dizeliakh* [Feed and atomization of fuel in diesel engines]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1972. 260 p.

[14] Poguliaev Iu.D., Baitimerov R.M. *Toplivnaia sistema tipa Common Rail s gidravlicheskoj forsunkoi i mekhanicheskim upravleniem dvukhpozitsionnym klapanom* [The fuel system type Common Rail injector with hydraulic and mechanical control on-off valve]. *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny* [Construction and road building machinery]. 2012, no. 12, pp. 16–19.

[15] Grekhov L.V., Ivashchenko N.A., Markov V.A. *Toplivnaia apparatura i sistemy upravleniia dizelei* [Fuel equipment and control systems of diesel engines]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2004. 344 p.

[16] *Bosch. Sistemy upravleniia dizel'nyimi dvigateliami* [Bosch. Management system diesel engines]. Moscow, ZAO KZHI Za rulem publ., 2004. 408 p.

[17] Bogachev S.A. *Razrabotka toplivopodaiushchikh sistem dizelia novogo pokoleniia s tsel'iu vypolneniia perspektivnykh normativov, ogranichivaiushchikh toksichnost' otrabotavshikh gazov*. Dis. kand. tekhn. nauk [Development of diesel fuel supply systems of new generation to meet future standards that limit emissions. Cand. tehn. sci. dis.]. Iaroslavl', 2002. 173 p.

[18] Marco Gancer *Accumulator injection system for an internal combustion engine*. Request no. 20080296413 SShA, IPS F 02M 61/06, 2008.

[19] Ferrari A., Mittica A., Spessa E. Benefits of hydraulic layout over driving system in piezo-injectors and proposal of a new-concept CR injector with an integrated Minirail. *Applied energy*, 2013, vol. 103, pp. 243–255.

[20] Poguliaev Iu.D., Baitimerov R.M. *Sposob upravleniia podachei topliva i ustroistvo upravleniia podachei topliva* [A method of controlling fuel supply and fuel supply control apparatus]. Request no. 2012138877, MPK F 02M 61/18.

Статья поступила в редакцию 11.06.2013

Информация об авторах

НАУМОВ Валерий Николаевич (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Многоцелевые гусеничные машины и мобильные роботы». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: tankist_83@mail.ru).

БАЙТИМЕРОВ Рустам Миндияхметович (Челябинск) — аспирант кафедры «Электромеханика и электромеханические системы». Южно-Уральский государственный университет (454080, Челябинск, Российская Федерация, Ленина пр., д. 76).

ПОГУЛЯЕВ Юрий Дмитриевич (Челябинск) — доктор технических наук, профессор кафедры «Электромеханика и электромеханические системы». Южно-Уральский государственный университет (454080, Челябинск, Российская Федерация, Ленина пр., д. 76).

Information about the authors

NAUMOV Valeriy Nikolaevich (Moscow) – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of «Multi-Purpose Tracked Vehicles and Mobile Robots» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: tankist_83@mail.ru).

BAYTIMEROV Rustam Mindiakmetovich (Chelyabinsk) – Post-Graduate of «Electromechanics and Electromechanical Systems» Department. South Ural State University (SUSU, Leninskiy ave., 76, 454080, Chelyabinsk, Russian Federation).

POGULYAEV Yuriy Dmitrievich (Chelyabinsk) – Dr. Sci. (Eng.), Professor of «Electromechanics and Electromechanical Systems» Department. South Ural State University (SUSU, Leninskiy ave., 76, 454080, Chelyabinsk, Russian Federation).