

УДК 621.436.03

DOI 10.18698/0536-1044-2017-10-43-51

Концепция и разработка перспективных конструкций форсунок аккумуляторного типа для среднеоборотных дизелей

Л.В. Грехов, А.А. Денисов, Е.Е. Старков, А.С. Кулешов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

Advanced Injectors for Common Rail Fuel Systems in Medium-Speed Diesel Engines. Concept and Design

L.V. Grekhov, A.A. Denisov, E.E. Starkov, A.S. Kuleshov

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1



e-mail: lgrekhov@power.bmstu.ru, adenisov@bmstu.ru, starkovmstu1991@mail.ru, kuleshov@power.bmstu.ru



Непрерывное ужесточение экологических норм на содержание вредных веществ в отработавших газах дизельных двигателей обуславливает развитие современного дизелестроения. Вследствие этого уже на этапе разработки рабочего процесса снижение эмиссии токсичных компонентов становится актуальной задачей. К основным методам достижения поставленной задачи относятся управляемый турбонаддув, рециркуляция отработавших газов, гибкое регулирование фаз газораспределения, оптимизация конструкции камеры сгорания и применение перспективной топливоподающей аппаратуры. В связи с этим к топливоподающей аппаратуре предъявляются более жесткие требования для организации малотоксичного рабочего процесса. Одной из самых важных особенностей топливоподающей аппаратуры является способность формировать характеристику впрыскивания. В статье рассмотрены основные показатели функционирования перспективных конструкций электрогидравлических форсунок аккумуляторных топливных систем. Сформулированы обобщенные требования к форме характеристики впрыскивания среднеоборотных дизелей. Сформирована концепция проектирования перспективной топливоподающей аппаратуры. Описаны разработанные конструкции электрогидравлических форсунок с возможностью формирования характеристики впрыскивания.

Ключевые слова: среднеоборотный дизель, малотоксичный рабочий процесс, электрогидравлическая форсунка, формирование характеристики впрыскивания



Continuous tightening of environmental regulations on harmful substance content in exhaust fumes of diesel engines determines modern diesel engine development. It is important to recognize the need to reduce toxic emissions already at the design stage of the working process. Variable-geometry turbochargers, exhaust gas recirculation, variable valve timing, optimized combustion chamber and modern fuel injection systems are the main methods to achieve this goal. Therefore, there are stricter requirements to fuel injection equipment to ensure low-emission levels of the combustion process. The ability of the fuel injection equipment to shape the injection rate is one of the most relevant features. This article describes the main performance indicators of advanced designs of electro-hydraulic common rail injectors. Generalized requirements to the shape of the injection rate for medium-speed diesel engines are formulated. The design of advanced fuel injection

equipment is conceptualized. The developed designs of electro-hydraulic injectors that can shape the injection rate are described.

Keywords: medium-speed diesel, low-emission process, common rail injector, injection rate shaping

Дизелестроение — одна из ключевых областей промышленности развитых стран. Достигнутый уровень показателей эмиссии вредных веществ и энергоэффективности обуславливает широкий спектр применения дизельных двигателей (далее — дизелей), показатели и характеристики которых главным образом определяют уровень технического совершенства конечных объектов.

Стимулами развития современного дизелестроения являются устоявшаяся тенденция ужесточения экологического законодательства и стремление увеличить энергоэффективность. Реализация таких дизелей повышает требования к организации рабочего процесса и, в частности, к топливоподающей аппаратуре (ТПА).

Цель работы — расширение возможностей снижения эмиссии токсичных компонентов путем разработки ТПА с перспективными показателями.

Прогноз показателей функционирования аккумуляторных топливных систем (АТС). К основным показателям, характеризующим

качество функционирования АТС, относятся максимальное давление впрыскивания, расход топлива на управление и подыгольный объем. Анализ эволюции этих показателей в серийно производимых образцах АТС [1, 2] позволил выявить их динамику и прогнозировать значения для разрабатываемой перспективной ТПА средне- (СОД) и высокооборотных (ВОД) дизелей (рис. 1).

Тенденции конструирования перспективной ТПА. Исследование отечественного и мирового опыта конструирования показало, что при разработке перспективных образцов АТС повышенное внимание уделяется конструктивному исполнению электрогидравлической форсунки (ЭГФ), управляющего клапана, распылителя и электропривода.

Компоновка ЭГФ. Для уменьшения влияния физических явлений сжатия и нагрева топлива, сопровождающих процесс топливоподачи, в перспективных конструкциях ЭГФ рекомендуется избегать протяженных каналов и увеличения объемов камеры управления (КУ). В связи с этим становятся менее приемлемыми в использовании схемы форсунок с мультипликатором запираания, а КУ следует располагать над иглой с максимально приближенным управляющим клапаном.

Управляющий клапан. Возрастание максимального уровня давления впрыскивания приводит к увеличению сил, действующих на управляющий клапан ЭГФ. Поэтому для достижения необходимого быстродействия следует использовать двухзатворные гидравлически разгруженные клапаны, которые в меньшей степени чувствительны к изменению максимального давления впрыскивания, обеспечивают пологую линейную нагрузочную характеристику и пониженный теплоотвод от электропривода.

Контактная жесткость стыков деталей ЭГФ. Использование разгруженных и двухходовых клапанов обуславливает наличие множества топливоподводящих каналов ЭГФ. Для обеспечения их герметичности при росте максимального давления впрыскивания требуется не только увеличение контактных напряжений,

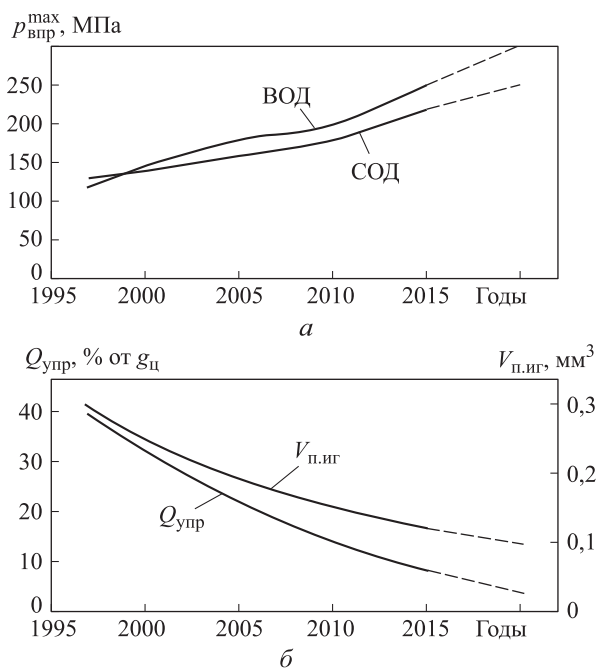


Рис. 1. Динамика показателей ТПА:

a — максимального давления впрыскивания $P_{впр}^{max}$ для СОД и ВОД; *б* — расхода топлива на управление $Q_{упр}$ и подыгольного объема $V_{п.иг}$ (g_c — цикловая подача)

но и их равномерное распределение по площади сечения [3].

Распылитель. На сегодняшний день существуют два основных направления совершенствования конструкции распылителя. Первое заключается в применении плавающей втулки [4]. Отсутствие косо­го топливоподводящего канала, являющегося концентрато­ром напряжения, повышает надежность. Вторым направлением совершенствования конструкции распылителя является снижение подыгольного объема, что подтверждает выявленные тенденции (рис. 1, б). Известно, что его величина влияет на выброс несгоревших углеводородов.

Электропривод управляющего клапана. Известно, что пьезоэлектрический привод обладает большим быстродействием, чем электромагнитный. При этом для обеспечения надежности технология его производства требует длительной отработки. Область применения СОД (специального, судового и тепловозного назначения, где предъявляются повышенные требования к надежности) накладывает ограничение на использование пьезоэлектрических приводов управляющего клапана. В связи с этим наиболее приемлемой конструкцией служит оптимизированный электромагнитный привод [5].

Разработка перспективных конструкций АТС. Актуализированным в последнее время требованием, предъявляемым к перспективной ТПА, является возможность формирования характеристики впрыскивания топлива (ХВ). Как правило, АТС с формированием ХВ имеют два управляющих клапана и сложную

систему управления, требующую длительной отработки [6].

Анализ требований, определенных при оптимизации рабочего процесса СОД (М150М (12ЧН15/17,5) производства ОАО «Звезда», Д200 (6ЧН20/28) ОАО «ПДМ» и ДМ-185Т (12ЧН 18,5/21,5) ОАО «УДМЗ» [7]), показал, что у таких дизелей отсутствует необходимость в управлении формой ХВ по режимам работы. Оптимальные теоретические профили ХВ, полученные при оптимизации рабочего процесса СОД, показаны на рис. 2, где G — массовый расход впрыскиваемого в цилиндр топлива; t — время впрыскивания. Это дает основание для разработки ЭГФ с жестким (не изменяемым по режимам) формированием ХВ.

На основе требований, полученных при оптимизации рабочего процесса СОД, и требований к надежности ТПА разработаны перспективные образцы ЭГФ с формированием ХВ.

ЭГФ с дроссельным управлением (рис. 3, а), принятая в качестве базовой конструкции, оснащена однозатворным неразгруженным управляющим клапаном. Такие клапаны распространены, но имеют ограниченные перспективы. Однако благодаря оптимальной конструкции и отработанной технологии производства, обеспечивающей приемлемый уровень надежности, они рассматриваются для применения в ЭГФ.

ХВ базовой ЭГФ имеет трапециевидный профиль (рис. 3, б). Благодаря варьированию сочетаний впускного и выпускного жиклеров КУ имеется возможность согласованного изменения крутизны переднего и заднего фронтов ХВ, что не обеспечивает их перелом или ступенчатость.

Ступенчатый профиль ХВ можно формировать путем активного использования волновых явлений в нагнетательном топливопроводе.

При начале расходования топлива через клапан управления, немного позже, через сопловые отверстия, наблюдается снижение давления в полостях ЭГФ. В результате в форсунке формируются волны разрежения, которые распространяются по питающему нагнетательному трубопроводу в сторону внешнего аккумулятора. В этот период вследствие уменьшения напора расход топлива в камеру сгорания снижен.

Волны разрежения, войдя в аккумулятор, отражаются волнами сжатия. Они доходят до форсунки с ощутимой задержкой и увеличивают давление в ней. Таким образом, второй этап

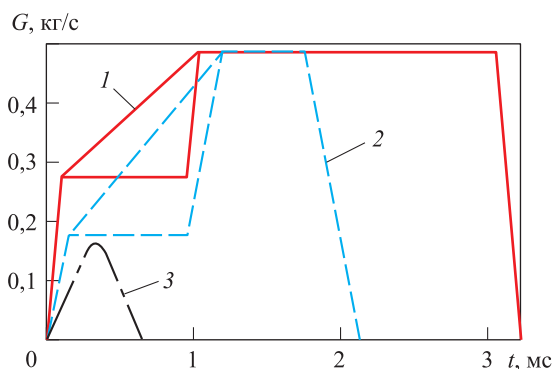


Рис. 2. Теоретические профили ХВ, полученные при оптимизации рабочего процесса СОД, в различных режимах:
 1 — 100 % p_e (p_e — среднее эффективное давление);
 2 — 50 % p_e ; 3 — холостой ход

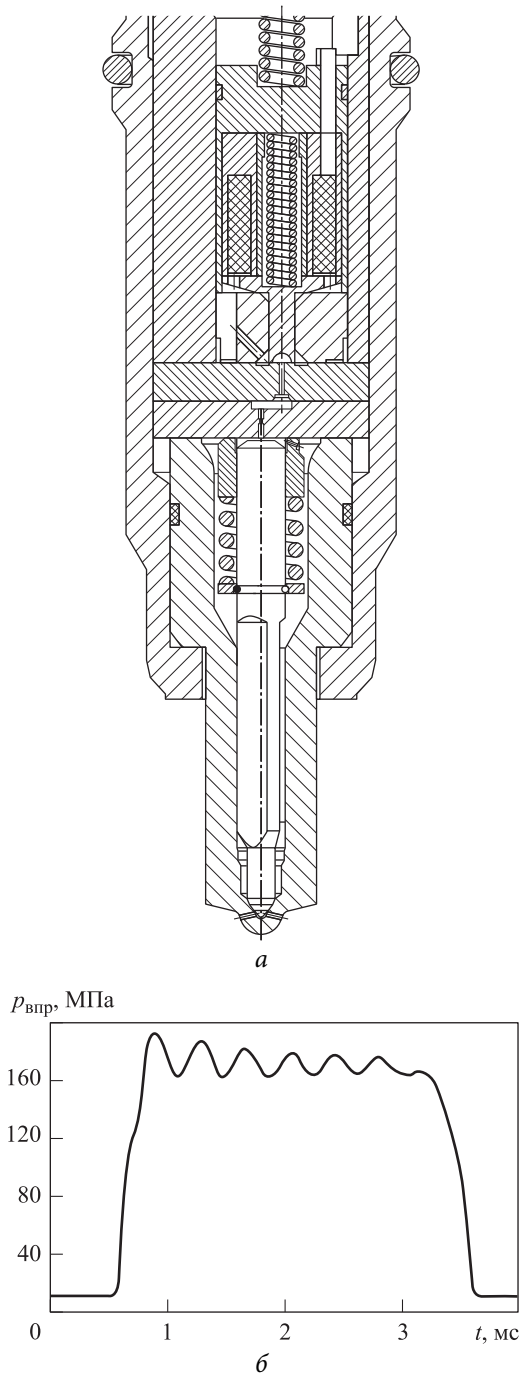


Рис. 3. Конструктивная схема (а) и ХВ (б) базовой ЭГФ

подачи, напротив, происходит при повышенном давлении, т. е. при увеличенном расходе.

В ходе проведения расчетных исследований для наиболее эффективного применения волновых процессов выявлено, что мертвые объемы форсунки должны быть минимизированы, диаметр ее каналов и диаметр нагнетательного трубопровода $d_{тр}$ — минимальны, а его длина $l_{тр}$ — оптимизирована.

ЭГФ с активным использованием волновых процессов при различном сочетании длины и диаметра нагнетательного топливопровода позволяет формировать ХВ, показанные на рис. 4.

Волновая технология сложно сочетается с независимым управлением параметрами многогоразового впрыскивания. Но это требует особенно тщательной отладки или в целом такое сочетание скорее нецелесообразно.

Такую технологию можно применять для работы дизеля на больших и средних мощностях, т. е. в тех случаях, когда необходимо формировать ступенчатую ХВ. Таким образом, рациональный выбор параметров АТС позволяет использовать ее в многорежимном двигателе, например, работающем по тепловозной или винтовой нагрузочной характеристике.

Для дизеля Д-200 ПАО «НЗТА» разработан уточненный вариант ЭГФ, позволяющий формировать ступенчатый передний фронт с помощью волновых процессов в нагнетательном топливопроводе. Ступенька переднего фронта с уменьшенной подачей топлива и конечная фаза подачи с повышенным давлением впрыскивания обеспечиваются минимизацией мертвых объемов ЭГФ, снижением диаметра нагнетательного топливопровода с 6 до 2...2,5 мм и оптимизацией его длины (800...900 мм).

ЭГФ с дополнительным регулирующим сечением в распылителе (рис. 5, а) использует техническое решение, заимствованное у топливных систем непосредственного действия [8–10]. Для организации ступенчатой ХВ на игле расположено управляющее сечение в виде кромки распылителя и канавки на игле. В первую фазу подачи — хода иглы x — топливо к сопловым отверстиям поступает только

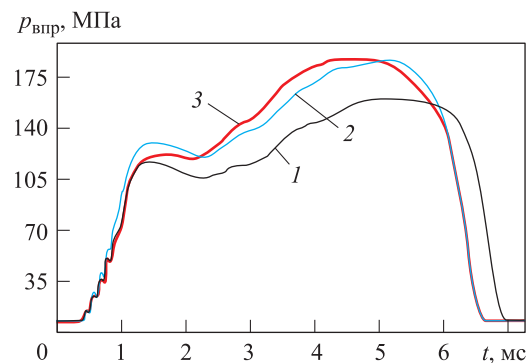


Рис. 4. ХВ ЭГФ с активным использованием волновых процессов:

1 — $d_{тр} = 1,6$ мм, $l_{тр} = 800$ мм; 2 — $d_{тр} = 2$ мм, $l_{тр} = 900$ мм;
3 — $d_{тр} = 2$ мм, $l_{тр} = 800$ мм

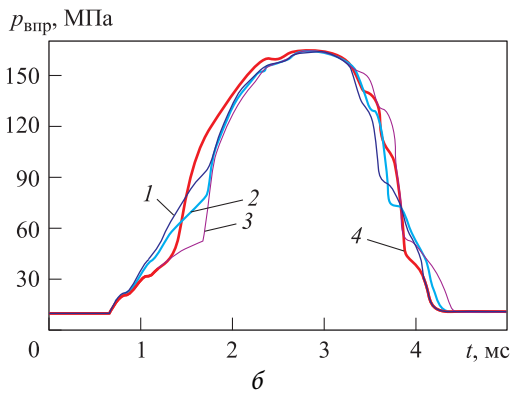
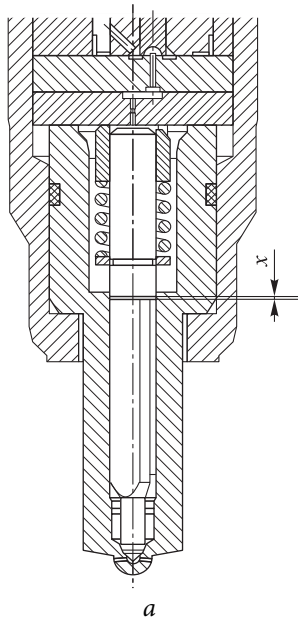


Рис. 5. Конструктивная схема (а) и ХВ (б) ЭГФ с дополнительным регулирующим сечением в распылителе:

1 — $x = 0,15$ мм, $\delta = 40$ мкм; 2 — $x = 0,15$ мм, $\delta = 30$ мкм;
3 — $x = 0,15$ мм, $\delta = 20$ мкм; 4 — $x = 0,1$ мм, $\delta = 20$ мкм

через зазор δ в прецизионной паре у канавки. При дальнейшем подъеме иглы открывается дополнительное управляющее сечение, и топливо проходит к соплам беспрепятственно, т. е. с большим расходом.

Проведенное расчетное исследование процесса топливоподачи в таких ЭГФ показало возможность формирования ступенчатого профиля ХВ (рис. 5, б). Движение иглы не зависит от наличия и параметров дополнительного регулирующего сечения, а давление впрыскивания и расход — непосредственно от хода иглы x и зазора дроселирующего сечения до его открытия. Ход иглы обуславливает продолжительность первой фазы подачи, а величина зазора дроселирующего сечения — амплитуду первой фазы.

Достоинством ЭГФ с дополнительным регулирующим сечением является возможность четкого задания амплитуды и фазы точки перегиба переднего фронта ХВ между первым и вторым участками, а недостатком — деформация заднего фронта ХВ, затягивающая окончание процесса топливоподачи.

ЭГФ с двухпружинным запираем иглы (рис. 6, а) использует техническое решение,

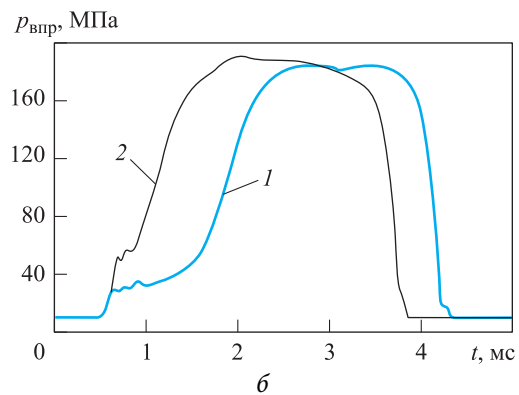
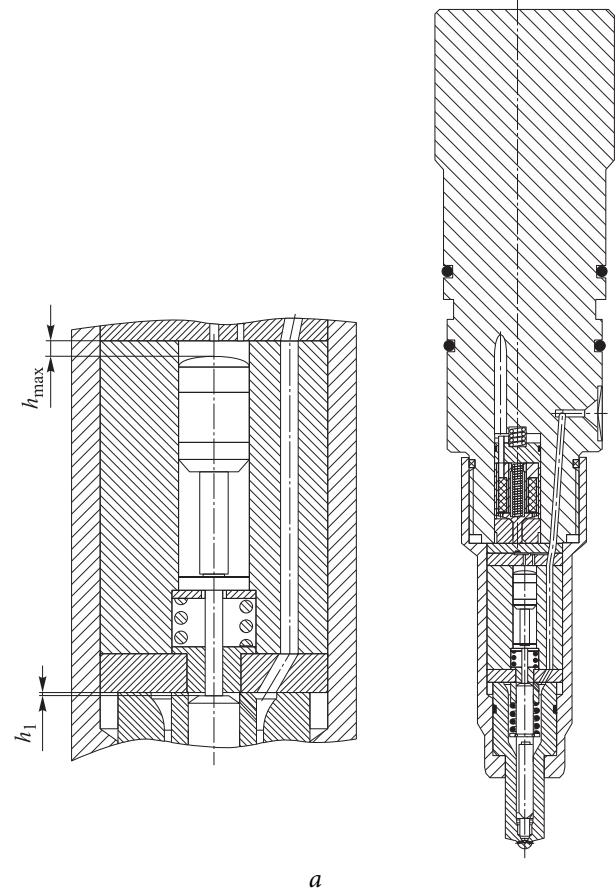


Рис. 6. Конструктивная схема (а) и ХВ (б) ЭГФ с двухпружинным запираем иглы

(h_{max} — ее максимальный ход):
1 — $h_1 = 0,06$ мм, $p_2 = 100$ МПа;
2 — $h_1 = 0,08$ мм, $p_2 = 100$ МПа

также заимствованное у топливных систем непосредственного действия. Такая конструкция требует обеспечения возможности небыстрого подъема иглы. При ее быстром подъеме промежуточный упор будет преодолеватся не в условиях баланса действующих сил, которые изменятся при достижении ею промежуточного упора h_1 , а за счет кинетической энергии разогнанной иглы. Для этого наиболее эффективное средство — мультипликатор запирания, поэтому двухпружинное запирание иглы рассматриваем на базе конструкции с мультипликатором запирания.

Скорость подъема иглы и, соответственно, ХВ регулируются параметрами ЭГФ. На рис. 6, б представлены результаты расчета работы двухпружинной ЭГФ, где показано, как изменение хода иглы по первой пружине h_1 и первоначальная затяжка второй пружины p_2 (выражена в МПа, эквивалентных давлению начала впрыскивания по второй пружине) влияют на форму ХВ.

ЭГФ с двухпружинным запиранием имеет широкие возможности по формированию профиля ХВ. Однако при больших p_2 могут возникнуть трудности компоновки и обеспечения требуемой надежности ЭГФ.

ЭГФ с регулируемым байпасированием (рис. 7, а) способна создавать ломаный профиль ХВ. В этой конструкции формирование ХВ обусловлено замедлением иглы вследствие ступенчатого стравливания давления из КУ.

Наличие байпасного канала позволяет быстро разгрузить КУ от давления в аккумуляторе до давления равновесного положения иглы, при котором она начинает подниматься. Быстрое начало подачи исключает образование большого количества крупных капель.

По мере подъема иглы выше h_1 канал перекрывается торцом мультипликатора или иглы. Тогда уже поступление топлива через входной жиклер и его необходимое объемное вытеснение из КУ ограничены тем, что оно управляющим клапаном отправляется на слив, проходя только через жиклер клапана. В этом случае его эффективное сечение не должно быть большим. В результате давление в КУ снижается медленно и скорость мультипликатора (иглы) ограничивается, что соответствует формированию второго пологого участка переднего фронта ХВ. ХВ, рассчитанные при различных диаметрах байпасирующего канала d и хода иглы до его перекрытия h_1 , приведены на рис. 7, б.

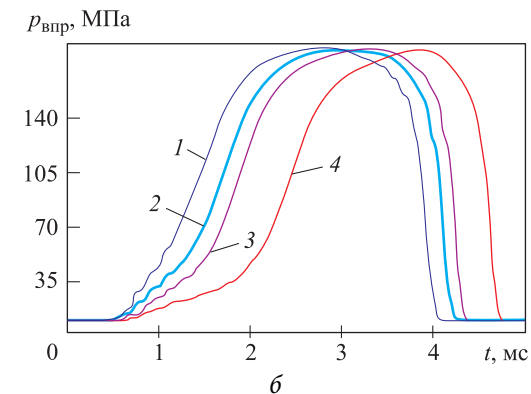
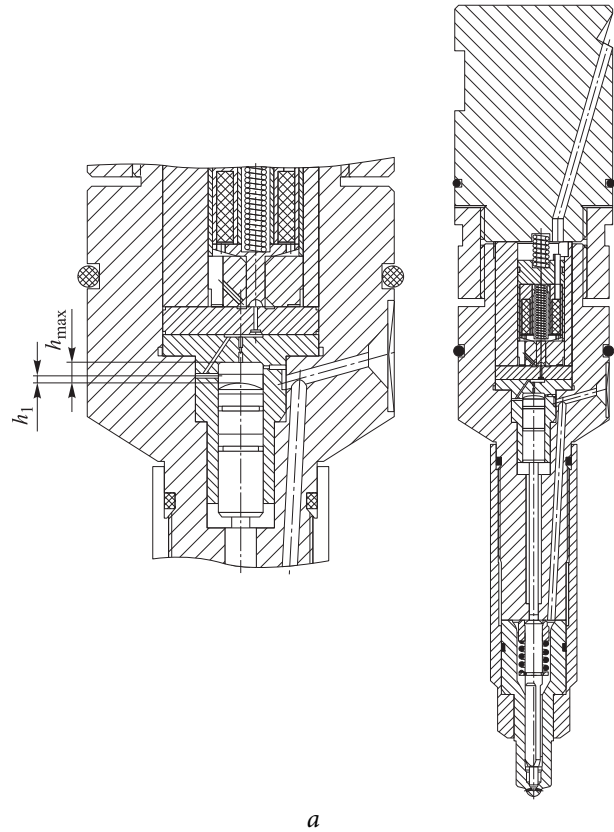


Рис. 7. Конструктивная схема (а) и ХВ (б) ЭГФ с регулируемым байпасированием:

1 — $h_1 = 0,09$ мм, $d = 4,0$ мм; 2 — $h_1 = 0,08$ мм, $d = 4,0$ мм; 3 — $h_1 = 0,07$ мм, $d = 4,5$ мм; 4 — $h_1 = 0,06$ мм, $d = 4,5$ мм

К достоинствам такого технического решения можно отнести широкие возможности по обеспечению ломаного профиля ХВ при максимальной простоте и наследовании привычной конструкции ЭГФ.

ЭГФ с двумя КУ, фрагмент которой показан на рис. 8, а, позволяет обеспечить ломаный профиль ХВ. Такая ЭГФ имеет две сообщенные КУ разного объема — основную 1 ($V_{\text{КУ1}}$) и вспомогательную 2 ($V_{\text{КУ2}}$). КУ работают последовательно, обеспечивая разное сопротивление движению иглы вследствие неодинаковой сжи-

маемости топлива. При переходе от одной КУ к другой наблюдается излом ХВ.

Оптимизация профиля ХВ достигается варьированием жиклеров и объемов КУ. Поведение ХВ обусловлено изменением давлений в обеих КУ. Разная скорость изменения давления в КУ обеспечивается варьированием расхода — между КУ и через управляющие органы.

Для появления характерного излома переднего профиля ХВ необходимо минимизировать влияние вспомогательной КУ на первом этапе и увеличить на втором. Это становится возможным благодаря сжимаемости топлива при увеличении объема вспомогательной КУ $V_{КУ2}$ (рис. 8, б).

Конструкция ЭГФ имеет широкие возможности по обеспечению требуемого профиля ХВ, однако содержит дополнительную прецизионную пару.

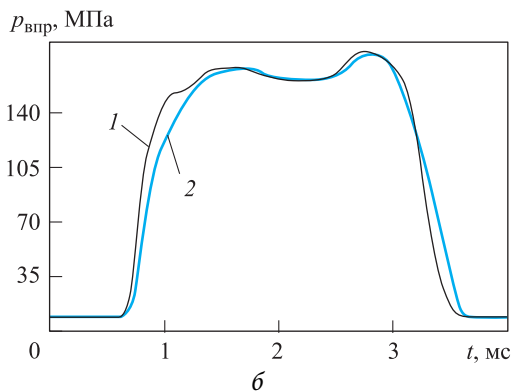
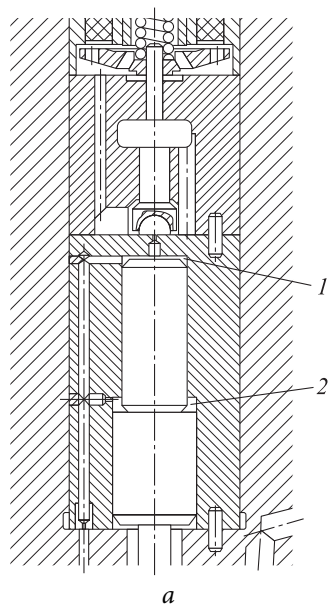


Рис. 8. Конструктивная схема фрагмента ЭГФ с двумя КУ (а) и ее ХВ (б):
 1 — $V_{КУ1} = 50 \text{ мм}^3$, $V_{КУ2} = 50 \text{ мм}^3$;
 2 — $V_{КУ1} = 50 \text{ мм}^3$, $V_{КУ2} = 500 \text{ мм}^3$

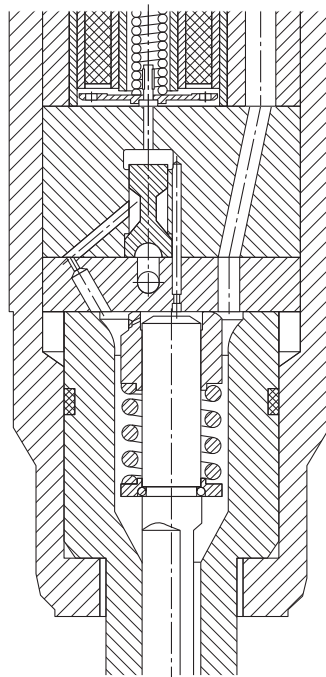


Рис. 9. Конструктивная схема фрагмента ЭГФ с частично разгруженным управляющим клапаном

Частично разгруженный управляющий клапан, разработанный для улучшения динамических качеств электромагнитного привода, показан на рис. 9. Недостатком такого клапана является повышенное количество прецизионных компонентов. Однако при этом он имеет возможность формирования ХВ с сохранением максимального числа ключевых компонентов базовой конструкции.

Выводы

1. Представлена концепция создания форсунок АТС, разработанная с учетом мирового и отечественного опыта конструирования топливных систем. К перспективным решениям в ЭГФ относятся распылитель с плавающей втулкой, двух- и однозатворные управляющие клапаны, их гидравлическая разгрузка, отказ от мультипликатора запираения иглы и др.

2. На основе этой концепции разработаны способы формирования различного профиля ХВ, обеспечивающие требования по оптимизации рабочего процесса и минимизации выбросов вредных веществ с отработавшими газами. Предложенные технические решения ЭГФ для формирования ХВ имеют простую отработанную конструкцию и потенциально могут быть изготовлены на производственных площадках заводов, производящих ТПА.

3. Благодаря варьированию конструктивных параметров предложенных технических решений можно получить П-образные, ломаные и ступенчатые ХВ с разной степенью излома, наклона переднего фронта, амплитуды и продолжительности ступеньки.

Литература

- [1] *Официальный сайт компании Bosch*. URL: http://www.bosch.de/en/de/our_company_1/business_sectors_and_divisions_1/diesel_systems_1/diesel-systems.html (дата обращения 10 апреля 2017).
- [2] *Официальный сайт компании Delphi*. URL: <http://www.delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/diesel> (дата обращения 10 апреля 2017).
- [3] Senghaas C., Ligensa M., Reischmann K. New platform based Common Rail Injector for MTU series 1163. URL: http://www.shipandoffshore.net/fileadmin/user_upload/pdf/CIMAC2013.pdf (дата обращения 15 апреля 2017).
- [4] Мазинг М.В., Тер-Мкртчян Г.Г., Богачев С.А. Новые подходы к конструированию распылителей топливных систем с повышенным давлением впрыскивания. *Грузовик*, 2014, № 10, с. 44–48.
- [5] Иващенко Н.А., Грехов Л.В., Чжао Цзяньхуэй. Методика расчета быстродействующего привода управляющего клапана топливоподающей аппаратуры. *Двигатели внутреннего сгорания (Всеукраинский научно-технический журнал)*, 2012, № 1, с. 65–69.
- [6] Грехов Л.В., Денисов А.А., Старков Е.Е. Выбор и обоснование типа и параметров топливоподающей аппаратуры перспективных дизелей. *Известия ВолгГТУ*, 2014, т. 18, № 6(145), с. 11–14.
- [7] Malastowski N.S., Barchenko F.B., Grekhov L.V., Kuleshov A.S. Shaping of Injection Rate for Reducing Emission Level of High-Speed Engine. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, pp. 11189–11196.
- [8] Грехов Л.В., Габитов И.И., Неговора А.В. *Конструкция, расчет и технический сервис топливной аппаратуры современных дизелей*. Москва, Изд-во Легион-Автодата, 2013. 292 с.
- [9] Маластовский Н.С., Барченко Ф.Б., Грехов Л.В., Кулешов А.С., Денисов А.А., Старков Е.Е. Формирование требований к характеристике впрыскивания высокооборотного дизеля в целях снижения токсичности. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2017, вып. 3. URL: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-3-1594> (дата обращения 15 апреля 2017).
- [10] Grekhov L.V., Dragan U.E., Denisov A.A., Starkov E.E. Injection rate shaping with possibilities of general design Common Rail system. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2015, vol. 6(3), pp. 1890–1902.

References

- [1] *Ofitsial'nyi sait kompanii Bosch* [The official website of the Bosch]. Available at: http://www.bosch.de/en/de/our_company_1/business_sectors_and_divisions_1/diesel_systems_1/diesel-systems.html (accessed 10 April 2017).
- [2] *Ofitsial'nyi sait kompanii Delphi* [Official website of the company Delphi]. Available at: <http://www.delphi.com/manufacturers/auto/powertrain/diesel> (accessed 15 April 2017).
- [3] Senghaas C., Ligensa M., Reischmann K. *New platform based Common Rail Injector for MTU series 1163*. Available at: http://www.shipandoffshore.net/fileadmin/user_upload/pdf/CIMAC2013.pdf (accessed 15 April 2017).
- [4] Mazing M.V., Ter-Mkrtich'ian G.G., Bogachev S.A. *Novye podkhody k konstruirovaniiu raspylitelei toplivnykh sistem s povyshennym davleniem vpryskivaniia* [New approaches to designing spray fuel systems nozzles with high injection pressure]. *Gruzovik* [Truck: Transportation Complex and Special Technique]. 2014, no. 10, pp. 44–48.
- [5] Ivashchenko N.A., Grekhov L.V., Chzhao Tszian'khuei. *Metodika rascheta bystrodeistvuiushchego privoda upravliaiushchego klapana toplivopodaiushchei apparatury* [Computational method for high-speed actuator with fuel-control valve for fuel injection system].

- Dvigateli vnutrennego sgoraniia (Vseukrainskii nauchno-tekhnicheskii zhurnal)* [Internal Combustion Engines]. 2012, no. 1, pp. 65–69.
- [6] Grekhov L.V., Denisov A.A., Starkov E.E. Vybor i obosnovanie tipa i parametrov toplivopodaiushchei apparatury perspektivnykh dizelei [Selection and justification of the type and parameters of the fuel injection equipment of advanced diesel engines]. *Izvestiia VolgGTU* [Izvestiya VolgSTU]. 2014, vol. 18, no. 6(145), pp. 11–14.
- [7] Malastowski N.S., Barchenko F.B., Grekhov L.V., Kuleshov A.S. Shaping of Injection Rate for Reducing Emission Level of High-Speed Engine. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2016, vol. 11, pp. 11189–11196.
- [8] Grekhov L.V., Gabitov I.I., Negovora A.V. *Konstruktsiia, raschet i tekhnicheskii servis toplivnoi apparatury sovremennykh dizelei* [Design, calculation and technical service of fuel equipment of modern diesel engines]. Moscow, Legion-Avtodata publ., 2013. 292 p.
- [9] Malastovskii N.S., Barchenko F.B., Grekhov L.V., Kuleshov A.S., Denisov A.A., Starkov E.E. Formirovanie trebovaniy k kharakteristike vpryskivaniia vysokooborotnogo dizelia v tseliakh snizheniia toksichnosti [Determining the Diesel fuel injection rate shaping requirements for emission control purposes]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2017, is. 3. Available at: <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2017-3-1594> (accessed 15 April 2017).
- [10] Grekhov L.V., Dragan U.E., Denisov A.A., Starkov E.E. Injection rate shaping with possibilities of general design Common Rail system. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2015, vol. 6(3), pp. 1890–1902.

Статья поступила в редакцию 15.06.2017

Информация об авторах

ГРЕХОВ Леонид Вадимович (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Поршневые двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: lgrekhov@power.bmstu.ru).

ДЕНИСОВ Александр Александрович (Москва) — ассистент кафедры «Поршневые двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: adenisov@bmstu.ru).

СТАРКОВ Егор Евгеньевич (Москва) — аспирант кафедры «Поршневые двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: starkovmstu1991@mail.ru).

КУЛЕШОВ Андрей Сергеевич (Москва) — доктор технических наук, профессор кафедры «Поршневые двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: kuleshov@power.bmstu.ru).

Information about the authors

GREKHOV Leonid Vadimovich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Piston Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: lgrekhov@power.bmstu.ru).

DENISOV Aleksandr Aleksandrovich (Moscow) — Teaching Assistant, Piston Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: neon.bmstu@gmail.com).

STARKOV Egor Evgenievich (Moscow) — Postgraduate, Piston Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: starkovmstu1991@mail.ru).

KULESHOV Andrey Sergeevich (Moscow) — Doctor of Science, Professor, Piston Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: kuleshov@power.bmstu.ru).