

УДК 621.43

**Е. В. Кузнецов, канд. техн. наук, доц.****ТОПЛИВНЫЙ НАСОС ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЯ**

Представлена методика исследовательского, а не репродуктивного метода создания сложного технического изделия. Даны классификация и анализ существующих систем подачи топлива дизелей. Описаны результаты теоретических и экспериментальных исследований топливного насоса высокого давления с электронной системой управления. Приведены конструкция опытного образца топливного насоса высокого давления дизеля и его характеристики.

Для улучшения показателей конкурентоспособности белорусской авто-тракторной техники, а также в качестве импортозамещения жизненно необходимо развивать в республике производство топливной аппаратуры дизелей. Этот довод следует хотя бы из того, что стоимость комплекта форсунок и топливного насоса высокого давления (ТНВД) составляет от 10 до 40 % от стоимости всего дизеля. К тому же качество топливной аппаратуры в основном определяет экологические, экономические и другие характеристики мотора и машины в целом [1].

Главными требованиями, предъявляемыми к системе подачи топлива дизеля, являются:

1) создание как можно более высоких давлений впрыска, что способствует более мелкому распылу топлива, а значит, уменьшает время испарения и

перемешивания топлива с воздухом;

2) обеспечение строго ступенчатой характеристики подачи (рис. 1), что исключает подтекание топлива в распылителе, а значит, препятствует его закоксовыванию и дымлению мотора;

3) возможность многоступенчатого впрыска для минимизации периода индукции воспламенения и осуществления управляемого горения, следствием чего являются меньшие шумность, токсичность и динамические нагрузки;

4) строго идентичное дозирование топлива по цилиндрам для минимизации динамических нагрузок, а значит, для уменьшения материалоёмкости и увеличения ресурса двигателя.

Важным моментом является обеспечение указанных требований на всех режимах работы – от минимального скоростного до номинального [2].

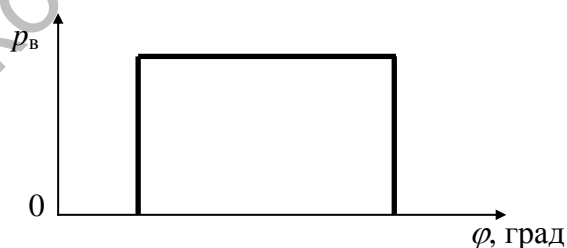


Рис. 1. Идеальная характеристика подачи топлива в цилиндр дизеля:  $p_v$  – давление впрыска, т. е. давление топлива в распылителе форсунки;  $\varphi$  – угол поворота коленчатого вала (ПКВ) дизеля

Специалисты различают несколько принципиальных схем систем подачи топлива дизелей:

1) разделенного типа, когда ТНВД и форсунки связаны довольно длинными трубопроводами высокого давления;

- 2) с насос-форсунками, когда вышеуказанные трубопроводы отсутствуют;
- 3) аккумуляторного типа.

Каждая из схем имеет как достоинства, так и недостатки. Например, первая наиболее проста, технологична, а значит, при прочих равных условиях имеет меньшую стоимость, поэтому наиболее широко применяется в отечественной технике. Однако использование секционного ТНВД с механическим регулятором цикловых подач топлива не отвечает современным требованиям. Система с насос-форсунками позволяет развивать наибольшие давления впрыска ( $p_v > 300$  МПа), но и с её помощью затруднительно получить строго одинаковые цикловые подачи по цилиндрам, и, кроме того, она дороже секционного ТНВД. Аккумуляторная система *Common rail* имеет электронный блок управления, обеспечивая разнообразные характеристики. В этой системе ТНВД существенно проще по конструкции в сравнении с системой первого типа, т. к. является только источником давления и не регулирует цикловую подачу топлива. Однако конструктивная и технологическая сложности форсунок

очень высоки, что обуславливает высокую стоимость и сравнительно низкий ресурс. К тому же КПД этой системы существенно ниже первых двух, что связано с необходимостью поддержания постоянного высокого давления в гидроаккумуляторе и высокой энергии электрического импульса управления каждой форсункой (напряжение  $U_n > 70$  В; сила тока  $I_n > 20$  А).

Скрупулёзный анализ достоинств и недостатков существующих конструкций позволил автору данной статьи синтезировать схему системы подачи топлива, близкую по характеристикам к *Common rail*, но значительно проще её, а значит, при прочих равных условиях существенно дешевле. В предлагаемой системе используются традиционные гидроуправляемые форсунки и ТНВД распределительного типа, но с электроклапаном в нагнетательной полости (рис. 2). Данное техническое решение защищено патентом Республики Беларусь [3], что является одной из основных предпосылок для высокой конкурентоспособности такого ТНВД.

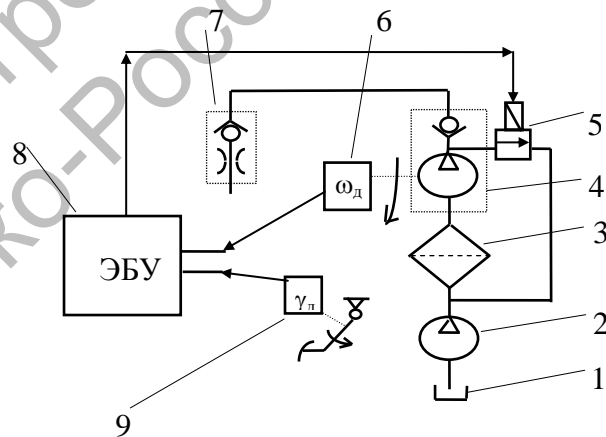


Рис. 2. Схема предлагаемой системы подачи топлива дизеля: 1 – топливный бак; 2 – насос подкачки; 3 – топливный фильтр; 4 – ТНВД; 5 – электроклапан отсечки топлива; 6 – датчик угловой скорости вала насоса; 7 – форсунка; 8 – электронный блок управления; 9 – датчик положения рычага подачи топлива

Оценка жизнеспособности такой системы и предварительный выбор её параметров осуществлялись с помощью ма-

тематической модели, реализованной на ЭВМ [4]. Модель имитирует движение:

- 1) плунжера ТНВД; задается ку-

лачком с учётом утечек топлива, зависящих от зазоров в парах «плунжер–втулка» и «игла–корпус распылителя», а также сжимаемости топлива;

2) иглы распылителя форсунки под действием давления топлива и пружины;

3) якоря электроклапана от действия пружины, давления топлива и электромагнитной силы обмотки.

С помощью методов численного дифференцирования, интегрирования, нелинейного программирования, а также с использованием фундаментальных законов гидравлики и электротехники с учётом эмпирических коэффициентов удалось подтвердить плодотворность предлагаемой идеи и осуществить

предварительный выбор параметров электроклапана ТНВД применительно к двигателю Минского моторного завода (ММЗ) Д-240. Например, максимальный ход якоря  $x_{я}^{\max}$  для обеспечения его приемлемого быстрого действия без повышения напряжения электропитания ( $U = 12$  В) должен составлять примерно 0,5 мм; диаметр сливного дросселя  $d_c = 1$  мм; предварительный натяг пружины  $F_{пр.0} = 650$  Н. Эти параметры выбраны из расчёта максимального давления  $p_{вп}^{\max} = 100$  МПа и регулировок форсунок на давление начала впрыска  $p_{\phi} = 20$  МПа. На рис. 3 представлен один из многочисленных результатов, полученных с помощью указанной модели.

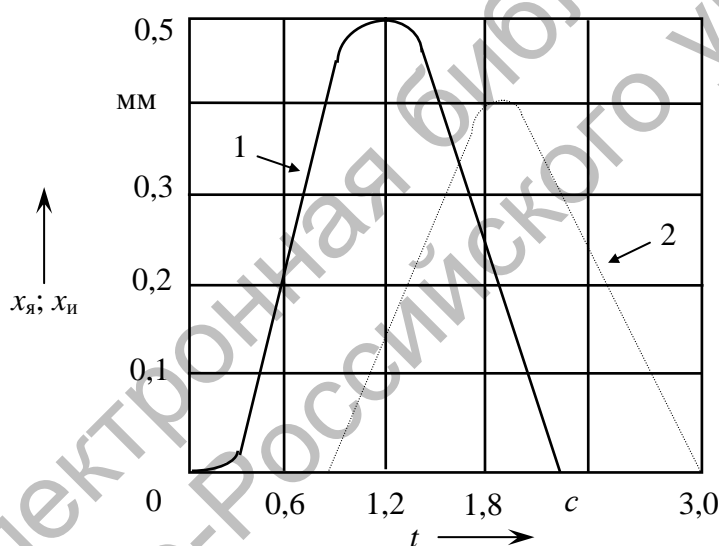


Рис. 3. Перемещения иглы форсунки  $x_{и}$  (линия 1) и якоря электроклапана ТНВД  $x_{я}$  (линия 2)

Для экспериментального подтверждения результатов теоретических исследований и уточнения предварительно выбранных параметров изготовлен первый опытный образец ТНВД с электронным блоком управления аналогового типа. Плунжерная пара заимствована от насоса EP/VE фирмы Р. Бош; приводной укороченный вал и крепёжный фланец от насоса УТН-5 дизеля Д-240; насос подкачки – ЯЗГА; корпус, муфта и блок управления оригинальные.

Исследования проводились не на стандартном довольно громоздком стенде для испытаний топливной аппаратуры дизелей КИ-921, имеющем в приводе трехкиловаттный асинхронный электродвигатель с клиноременным вариатором, не обеспечивающим стабильную частоту вращения приводного вала, а на специально изготовленном компактном стенде (рис. 4), включающем:

- 1) сварную раму с опорной плитой;
- 2) испытываемый ТНВД с трубо-

проводами высокого давления и штифтовыми форсунками;

3) приводной электродвигатель постоянного тока мощностью 0,5 кВт с электропитанием от блока ВС-24, позволяющим плавно регулировать частоту вращения вала насоса;

4) электронный блок управления (ЭБУ) с электропитанием от аккумуляторной батареи 6Ст74.

Типичные переходные характеристики полного цикла работы электроклапана, определённые с помощью осциллографа С1-73 и блока питания Б5-47, отражены на рис. 5.



Рис. 4. Стенд для испытаний первого опытного образца ТНВД

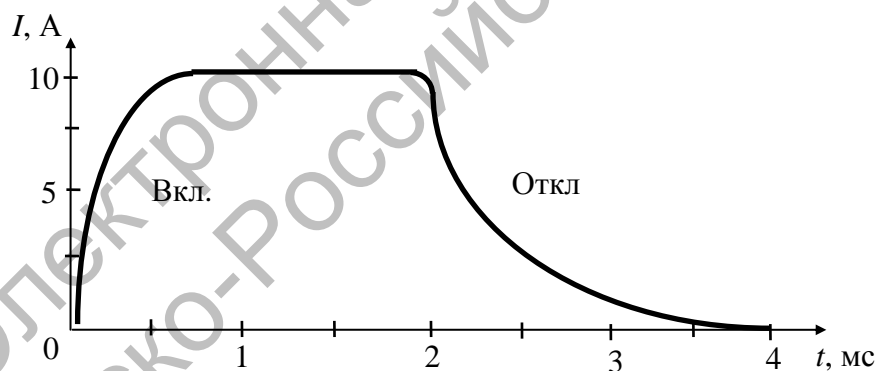


Рис. 5. Переходные характеристики электроклапана

Проведенные экспериментальные исследования в основном подтвердили правильность принятых решений с помощью математического моделирования на ЭВМ. В то же время натурные эксперименты позволили сделать ценные выводы для создания второго опытного образца. Например, вместо датчика угловой скорости вала насоса  $\omega_d$  следует использовать датчик поло-

жения этого вала, что позволит в будущем от аналоговой схемы управления легко перейти к микропроцессорной, а значит, реализовать любой закон управления путём перепрограммирования ЭБУ.

При испытаниях первого опытного образца применялся электронный блок управления, схема которого приведена на рис. 6.

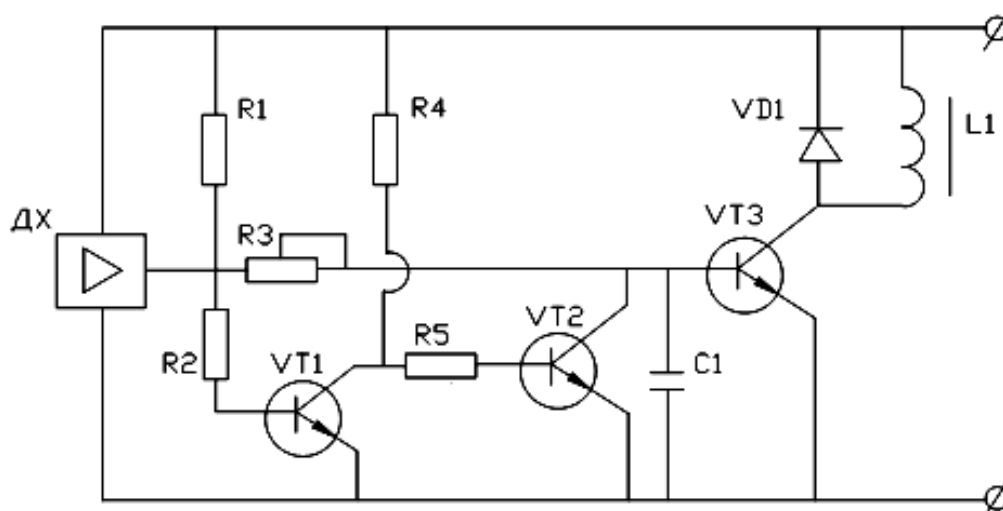


Рис. 6. Принципиальная схема электронного блока управления первого опытного образца ТНВД: ДХ – датчик Холла, выполняющий функцию датчика положения вала насоса; L1 – катушка электроклапана ТНВД; R3 – переменный резистор, являющийся датчиком положения рычага подачи топлива  $\gamma_d$

Открытием электроклапана насоса посредством включения катушки L1 управляет выходной транзистор VT3, который открывается сигналом ДХ с задержкой, задаваемой текущими параметрами RC-цепочки, составленной переменным резистором R3 и конденсатором C1. Диод VD1 разгружает выходной транзистор от токов самоиндукции при отключении катушки L1. Транзисторы VT1 и VT2 совместно с резисторами R1, R2, R4 и R5 составляют логический элемент «НЕ», который необходим для разрядки конденсатора C1 после отключения катушки L1.

Данная схема никак не учитывает скоростной режим работы двигателя. Однако, дополнив её генератором и счётчиком импульсов, подсчитывающим последние между сигналами ДХ, можно дополнительно изменять параметры RC-цепочки, управляющей задержкой включения выходного транзистора и тем самым учитывать скоростной режим работы мотора. Аналогично можно учитывать тепловой режим и другие параметры.

По результатам испытаний первого опытного образца ТНВД, который изготовлен в основном с помощью се-

рийно выпускаемых узлов, разработан второй опытный образец – оригинальный. Его эскиз представлен на рис. 7, где 1 – датчик положения вала насоса, 2 – кулачковая шайба, 3 – нагнетательный клапан, 4 – электроклапан, 5 – насос подкачки топлива. В настоящее время данный ТНВД готовится к испытаниям. В случае их удачного исхода следующим этапом работ будет разработка технологии изготовления насоса с разработкой оборудования для его производства, а в завершении – и организация производства.

### Заключение

Предлагаемый топливный насос высокого давления дизеля и система подачи топлива в целом не отличаются большой сложностью, а значит, при прочих равных условиях и стоимостью. Проведенные работы позволяют сделать вывод о перспективности таких изделий. Конструкция насоса практически доведена до кондиции серийного образца. Организация производства такого ТНВД в Республике Беларусь позволит существенно улучшить характеристики выпускаемых ММЗ дизелей и доходы республиканского бюджета за счёт импортозамещения.

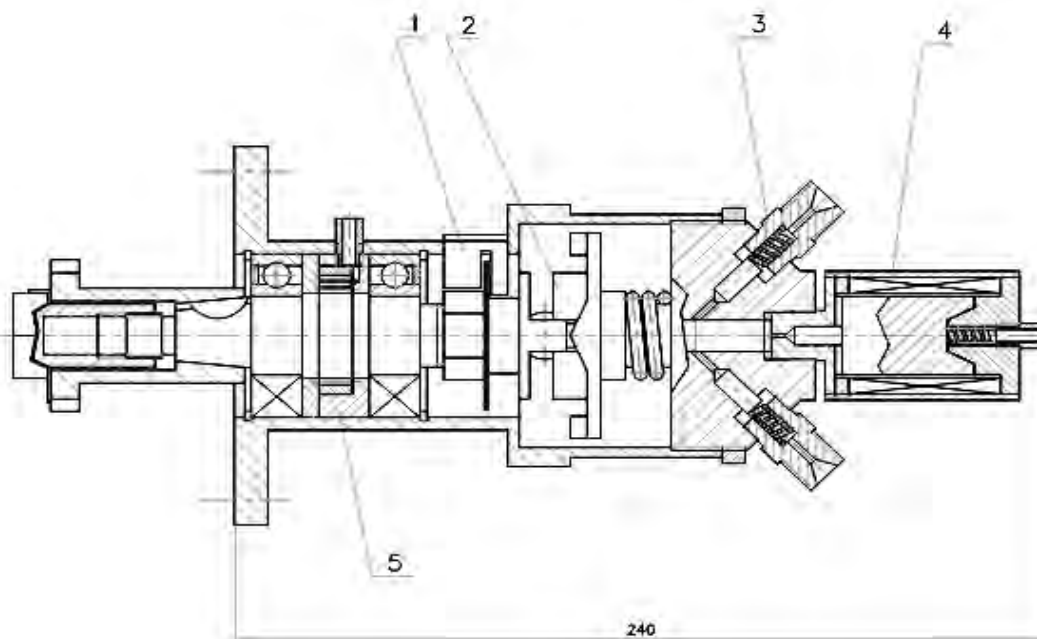


Рис. 7. Эскиз второго опытного образца ТНВД с электронным управлением

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кухарёнок, Г. М. Методы и средства совершенствования рабочего процесса высокооборотных дизелей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.04.02. – Минск : БГПА, 2000. – 46 с. : ил.

2. Файнлейб, Б. Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / Б. Н. Файнлейб. – Л. : Машиностроение, 1990. – 352 с. : ил.

3. Пат. РБ № 8144 МПК<sup>7</sup> F 02D 1 / 08, 41 / 00, F 02M 63 / 02, 59 / 36. Система подачи топлива дизеля / Е. В. Кузнецов, О. Н. Чалевич. – № а20030774 ; заявл. 28.07.03 ; опубл. 30.03.05. – 5 с.

4. Кузнецов, Е. В. Структура и выбор параметров перспективной топливной системы дизеля / Е. В. Кузнецов // Автомобильная промышленность. – 2004. – № 6. – С. 13–16.

Белорусско-Российский университет  
Материал поступил 15.04.2011

**E. V. Kuznetsov**  
**High pressure fuel pump**  
**of the diesel engine**

The author gives the methodology of a research method rather than that of a reproductive method for the development of a complex engineering product. The classification and analysis of the available fuel delivery systems in diesel engines are given. The results of theoretical and experimental research into the high pressure fuel pump with electronic control systems are described. The design of the prototype of the diesel high pressure fuel pump and its characteristics are presented.