

Системы электронного управления для дизельных двигателей

© В.В. Фурман¹, В.А. Иванов¹, В.А. Марков²

¹ ООО «ППП «Дизельавтоматика», Саратов, 410017, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Описаны электронные системы управления для дизелей. Рассмотрена возможность существенного улучшения показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов при установке на дизель опытных систем управления.

Ключевые слова: *дизельный двигатель, система управления, регулирование угла опережения впрыскивания топлива, переходный процесс, топливная экономичность, токсичность отработавших газов.*

Управление процессом топливоподачи в дизелях транспортного назначения может рассматриваться как одно из важнейших средств улучшения топливной экономичности и уменьшения количества выбросов вредных веществ с отработавшими газами (ОГ) [1–5]. Применение систем автоматического регулирования и управления (САР и САУ) позволяет существенно улучшить показатели дизелей путем согласования характеристик различных систем комбинированного двигателя, обеспечения их работы на оптимальных режимах, корректирования законов управления в зависимости от параметров окружающего воздуха и свойств применяемого топлива. Формирование оптимизированных характеристик топливоподачи, обеспечение требуемого давления впрыскивания и ряда других характеристик могут быть реализованы при использовании систем топливоподачи различных типов с соответствующими системами управления.

Системы топливоподачи современных дизелей весьма разнообразны. Основными признаками их классификации являются способ создания высокого давления впрыскивания и наличие или отсутствие трубопроводов высокого давления [1, 6–8]. В аппаратуре разделенного типа топливный насос высокого давления (ТНВД) и форсунка соединены нагнетательным трубопроводом. В топливной аппаратуре неразделенного типа ТНВД и форсунка объединены в один узел — насос-форсунку. В аккумуляторных системах топливоподачи высокое давление топлива создается в аккумуляторе, откуда оно через короткие топливопроводы подается к форсункам. Особенности управления процессом топливоподачи в перечисленных системах можно выявить по схемам электронных систем управления топливоподачей

транспортных и автотракторных дизелей с топливной аппаратурой различных типов, представленным на рис. 1 [1, 7].

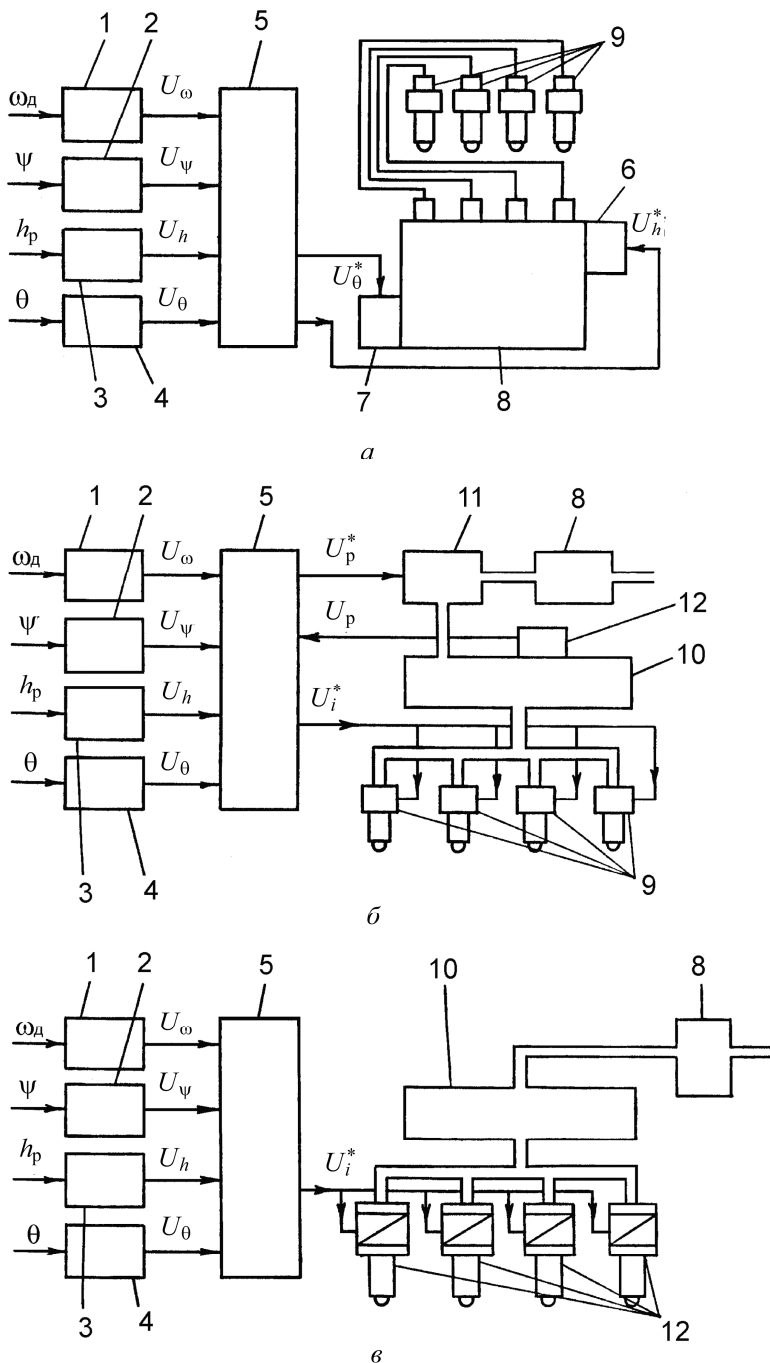


Рис. 1. Типы электронных систем управления топливоподачей транспортных и автотракторных дизелей с топливной аппаратурой разделенного типа (*a*), с аккумуляторными системами топливоподачи (*б*) и с аппаратурой неразделенного типа (*в*)

В системах топливоподачи разделенного типа для создания высокого давления впрыскивания обычно используют золотниковые топливные насосы с механическим приводом плунжеров, которые соединены протяженными топливопроводами с форсунками. Дозирование топлива и управление топливоподачей обычно осуществляются непосредственно в насосной секции ТНВД. Для организации такого управления применяют механические, гидромеханические и электронные регуляторы, воздействующие на дозирующую рейку ТНВД. На ряде ТНВД устанавливают и регуляторы угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ). При электронном управлении топливоподачей информация о двигателе от датчика 1 (рис. 1, а) частоты вращения (угловой скорости ω_d) коленчатого вала двигателя, датчика 2 положения рычага управления, датчика 3 положения дозирующей рейки, датчика 4 УОВТ и ряда дополнительных датчиков поступает в электронный блок 5 регулятора. На основании поступающих сигналов с использованием формируемых законов управления, заложенных в запоминающем устройстве микропроцессора, в блоке 5 определяются требуемые значения цикловой подачи топлива (ЦПТ) и УОВТ. Эти значения сравниваются с действительными значениями, получаемыми от датчиков 3 и 4. При наличии рассогласования блок 5 формирует управляющие сигналы U_h^* и U_θ^* , подаваемые на исполнительные устройства 6 и 7, которые воздействуют на дозирующую рейку и орган управления УОВТ соответственно. Такая схема САУ позволяет сохранить без изменений конструкцию ТНВД 8 и электрогидроуправляемых форсунок 9.

В аккумуляторных системах топливоподачи ТНВД поддерживает высокое давление в аккумуляторе, а функции дозирования и управления УОВТ возлагаются на форсунку. Поскольку отпадает необходимость дозирования топлива в ТНВД, могут быть использованы более простые топливные насосы. В аккумуляторных топливных системах применяют электронные САУ. Управляющий сигнал U_i^* (рис. 1, б), подаваемый на форсунки 9, формируется электронным блоком 5 с учетом сигналов от датчиков 1–4 режимных параметров. Кроме того, блок 5 формирует управляющее воздействие U_p^* для исполнительного устройства 11 регулятора давления топлива после ТНВД 8 с использованием сигнала U_p от датчика 12 давления топлива в аккумуляторе 10. Такая схема САУ обеспечивает независимость параметров топливоподачи от скоростного и нагрузочного режимов и возможность формирования практически любого требуемого закона управления, в том числе двухразовым впрыскиванием.

Широкое распространение получили системы неразделенного типа с насосами-форсунками, объединяющими в одном узле ТНВД и форсунки. При этом функция получения высоких давлений впрыски-

вания возлагается непосредственно на насосы-форсунки. Для этого в насосах-форсунках применяют нагнетательные поршни (плунжеры), приводимые в движение от кулачкового вала или топливом с повышенным давлением от топливного насоса или аккумулятора. Нагнетательные поршни чаще выполняют ступенчатыми (дифференциальными), что повышает давление впрыскивания по сравнению с давлением в ТНВД (или аккумуляторе). Поэтому давление топлива после ТНВД 8 (рис. 1, в) и в аккумуляторе 10 значительно ниже, чем в аккумуляторных системах. Это обеспечивает возможность использования более простых ТНВД и аккумулятора. Впрыскивание осуществляется электроуправляемыми насосами-форсунками 12 после поступления управляющего сигнала U_i^* от электронного блока 5. При этом функции дозирования и фазирования топливоподачи также возложены на насосы-форсунки. Отсутствие нагнетательных топливопроводов в системах неразделенного типа позволяет получать высокие значения давления впрыскивания (до 200 МПа).

Система электронного регулирования частоты вращения дизеля. Для регулирования частоты вращения дизелей, в том числе и для автотракторной техники, разработаны электронные регуляторы для разделенных систем топливоподачи, работающие по схеме, приведенной на рис. 1, а. В этой системе применяют исполнительные устройства, воздействующие на дозирующую рейку ТНВД. Разработаны исполнительные устройства типа ЭРУС мощностью 1, 1,8 и 3 Дж. В их конструкции удалось оптимизировать массогабаритные показатели и КПД. Данные электронные системы вместе с исполнительными устройствами были переданы дизелестроительным заводам для проведения испытаний, и в дальнейшем конструкция исполнительных устройств была реализована в системах электронного регулирования транспортных силовых установок и дизель-генераторов. ООО «ППП «Дизельавтоматика» (Саратов) использовало разработанные исполнительные устройства типа ЭРУС мощностью 1 Дж для первичного преобразования электрических сигналов в электрогидравлических устройствах микропроцессорных систем регулирования тепловозных дизелей. Структурная схема САР тепловоза с регулятором типа ЭРЧМ30Т показана на рис. 2.

Схема исполнительного устройства регулятора типа ЭРЧМ30Т приведена на рис. 3.

Микропроцессорная система регулирования с электронным регулятором, управляющим традиционным ТНВД, реализована в электронном регуляторе типа ЭРЧМ30Т, разработанном ООО «ППП «Дизельавтоматика» первоначально для тепловоза типа ЧМЭ-3 по техническим требованиям Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) в рамках про-

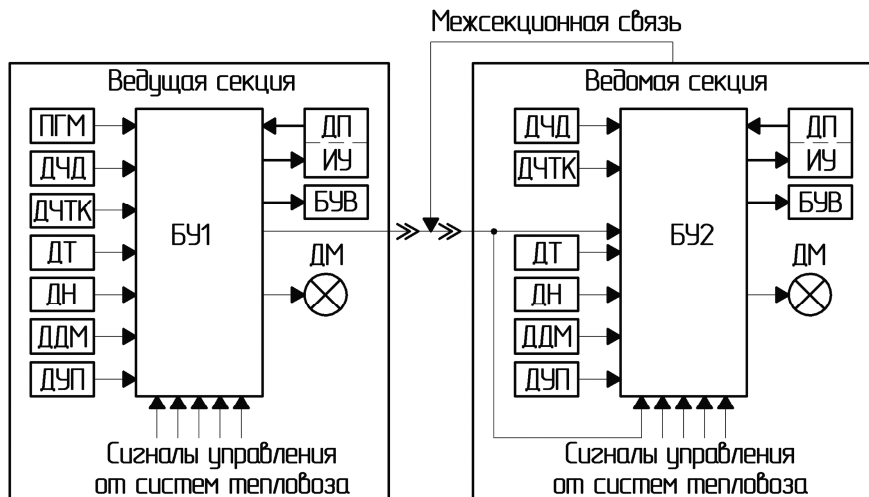


Рис. 2. Структурная схема системы регулирования тепловоза с регулятором ЭРЧМ30Т:

БУ1 — блок управления ведущей секцией; БУ2 — блок управления ведомой секцией; БУВ — блок управления возбуждением; ДДМ — датчик давления масла; ДН — датчик напряжения тягового генератора; ДП — датчик положения; ДТ — датчик тока; ДУП — датчик угла поворота; ДЧД — датчик частоты вращения дизеля; ДЧТК — датчик частоты вращения турбокомпрессора; ДМ — датчик момента; ИУ — исполнительное устройство; ПГМ — програматор

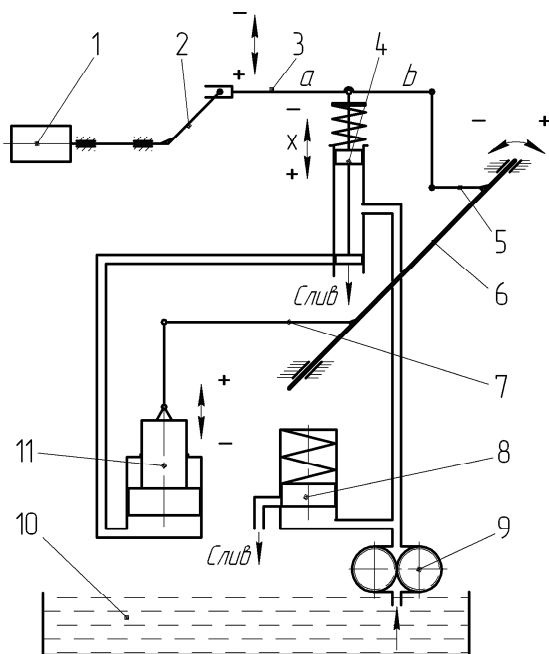


Рис. 3. Схема электрогидравлического исполнительного устройства:
 1 — электромагнит поворотный; 2 — рычаг электромагнита; 3 — рычаг обратной связи; 4 — золотник управления; 5 — рычаг обратной связи; 6 — вал силовой; 7 — рычаг сервомотора; 8 — аккумулятор давления масла; 9 — насос масляный; 10 — масляная ванна; 11 — сервомотор; a, b — плечи рычага обратной связи

граммы замещения импортных изделий. Созданы модификации электронных регуляторов типа ЭРЧМ30Т для установки на тепловозах 2ТЭ116, ТЭМ18, 2ТЭ10, на вновь разработанных тепловозах 2ТЭ70, 2ТЭ25К, П70БС и ТЭП70У, которые нашли широкое применение на железнодорожном транспорте. Управление регулятором типа ЭРЧМ30Т осуществляется машинистом от контроллера позиций. Параметры регулятора можно настраивать от выносного пульта. Регуляторы имеют последовательный порт для обмена информацией с системой высшего уровня по протоколу RS-232 или RS-485. На рис. 4 приведены параметры, заданные разработчиком и полученные в ходе испытаний дизель-генератора 1А-9ДГ на стендах ОАО «Коломенский завод».

I , мА; n_d , мин⁻¹; n_t , мин⁻¹; h_p , мм; p_k , Па

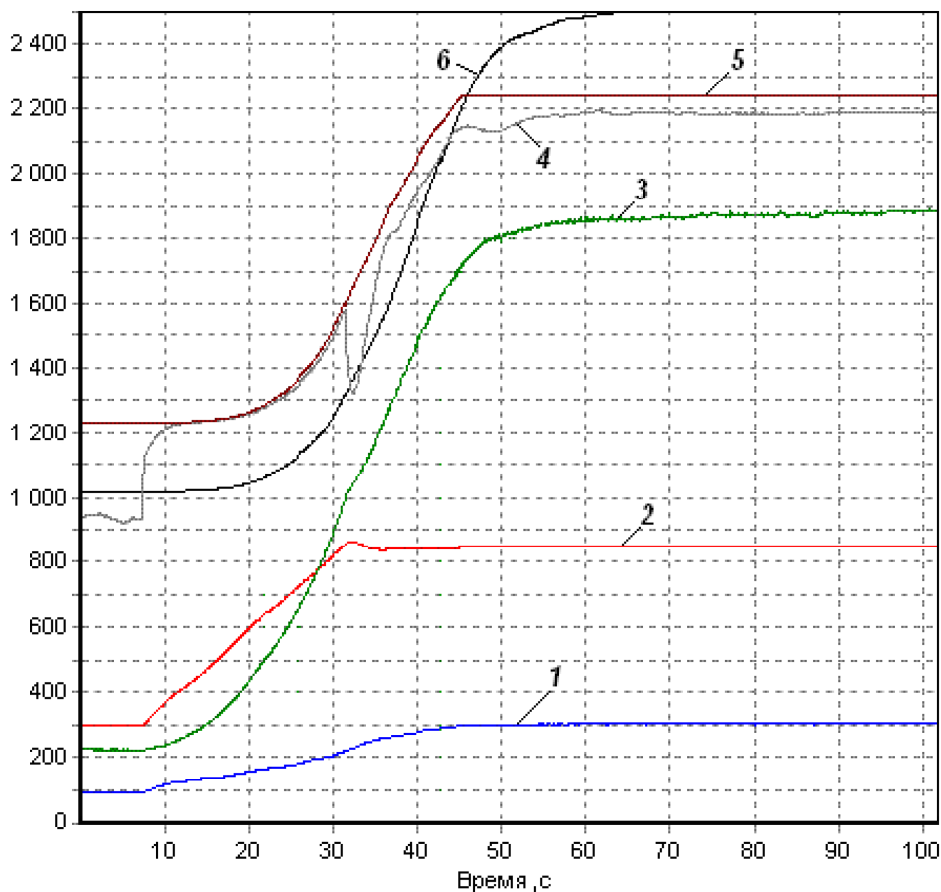


Рис. 4. Параметры переходного процесса, полученные в ходе испытаний дизель-генератора 1А-9ДГ на стендах ОАО «Коломенский завод»:

1 — ток I ; 2 — частота вращения двигателя n_d ; 3 — частота вращения турбины n_t ; 4 — положение дозирующей рейки h_p ; 5 — ограничение рейки; 6 — давление наддува p_k (после компрессора)

Система электронного регулирования позволяет осуществить любой закон перемещения реек топливных насосов и оптимизировать работу дизель-генераторных установок на тепловозах в соответствии с требованиями разработчика дизелей. Так, при создании модификации системы электронного регулирования были реализованы следующие требования разработчика дизеля:

- ограничение перемещения реек топливных насосов в соответствии с заданным законом;

- реализация заданного темпа разгона установки и использование избыточной энергии, возникающей при разгоне дизеля, для догрузки генератора.

Регуляторы отличаются высокой надежностью в работе и легкостью настройки, а также меньшими (в несколько раз) трудозатратами при обслуживании по сравнению с аналогичным показателем для гидромеханических регуляторов, которые использовались ранее. Например, регуляторы из первой партии установленных на тепловозах ЧМЭЗ отработали более 10 лет без ремонта. Согласно результатам исследований ВНИИЖТ, микропроцессорная система электронного управления дизель-генератором тепловоза позволяет:

- уменьшить расход топлива на 12 %;
- повысить показатели надежности силовой установки на 10...20 %;
- улучшить экологические показатели дизеля по выбросам оксидов азота и монооксида углерода на 15...20 %, по дымлению (выбросу сажи) — в 2–3 раза;
- сократить расходы на ремонт примерно на 8 %.

При этом снижается масса электрооборудования, уменьшается расход цветных металлов, сокращается число механически изнашиваемых узлов и деталей, а также узлов, требующих внимания при техническом обслуживании и ремонте локомотива.

Следует отметить, что наличие в электронном регуляторе ЭРЧМ30Т электрогидравлического исполнительного устройства несколько снижает быстродействие регулятора вследствие увеличения его запаздывания. Это запаздывание определяется передаточными функциями элементов электронного регулятора частоты вращения (ЭРЧВ) типа ЭРЧМ30Т, структурная схема которого представлена на рис. 5.

Система электронного управления топливоподачей дизеля. Современные требования к токсичности ОГ, шумности и экономичности двигателей можно выполнить при использовании более совершенных электронных систем с импульсным управлением топливоподачей. В этом случае управление осуществляется посредством быстродействующего электрогидравлического клапана, установленного в

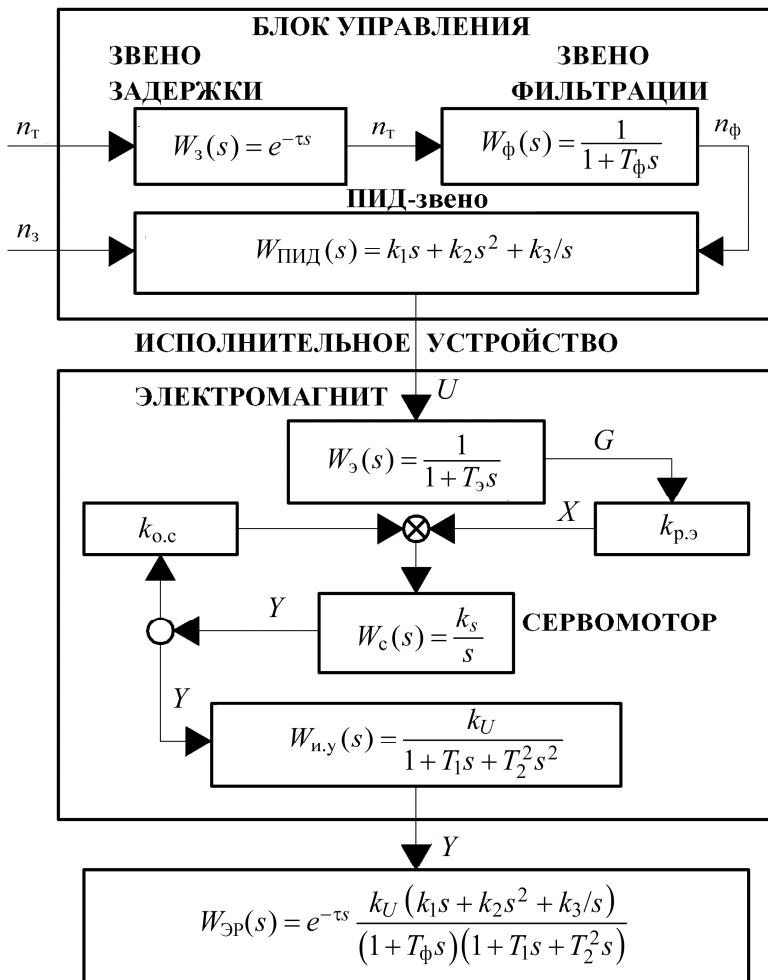


Рис. 5. Структурная схема ЭРЧВ типа ЭРЧМ30Т:

$W_3(s)$, $W_\phi(s)$, $W_{\text{ПИД}}(s)$, $W_3(s)$, $W_c(s)$, $W_{\text{и.у.}}(s)$, $W_{ЭРЧВ}(s)$ — передаточные функции звена задержки, звена фильтрации, пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) звена, электромагнита, сервомотора, исполнительного устройства и ЭРЧВ; τ — время задержки; n_τ , n_3 — текущая и заданная частота вращения; n_ϕ — текущая частота вращения после фильтрации; U — среднее напряжение, подаваемое на электромагнит; G — перемещение конца рычага электромагнита; X — перемещение золотника управления; Y — перемещение сервомотора; $k_{\text{р.э}}$ — передаточное отношение от рычага электромагнита к золотнику управления; $k_{\text{о.с}}$ — передаточное отношение от сервомотора к золотнику управления (обратная связь); k_U — коэффициент зависимости перемещения рычага электромагнита от среднего напряжения; T_1 , T_2 — постоянные времени исполнительного устройства

магистрالی высокого давления. Топливо после этого клапана непосредственно подается в цилиндры двигателя в такте сжатия, поэтому запаздывание сведено к минимуму. Электронный регулятор частоты вращения с импульсным управлением электрогидравлическим клапаном имеет следующие звенья регулирования:

- звено задержки, обеспечивающее подсчет частоты вращения через интервал времени T_3 ;
- звено фильтрации;
- ПИД-звено.

Структурная схема передаточных функций ЭРЧВ с системой импульсного управления топливоподачей дана на рис. 6.

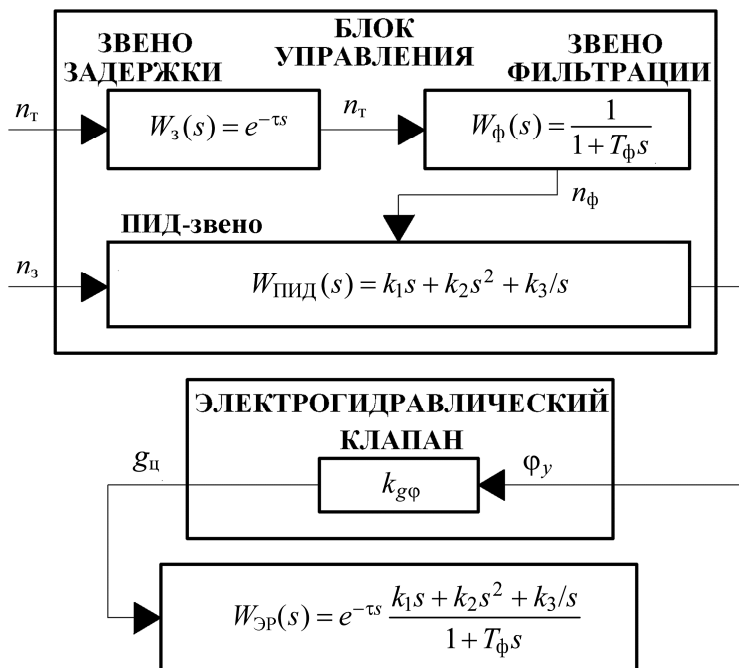


Рис. 6. Структурная схема ЭРЧВ с системой импульсного управления топливоподачей:

φ_y — длительность управляющего сигнала, подаваемого на электрогидравлический клапан; $g_{ц}$ — цикловая подача топлива; $k_{г\phi}$ — коэффициент зависимости цикловой подачи от длительности управляющего сигнала

Сопоставление структурных схем на рис. 5 и 6 показывает, что ЭРЧВ с системой импульсной подачи обладает более высоким быстродействием и большим запасом устойчивости. В связи с этим были разработаны и испытаны экспериментальные образцы основных элементов электронных систем импульсного управления топливоподачей. При этом был проанализирован опыт отечественных разработчиков и зарубежных фирм, занимающихся проектированием и изготовлением подобных систем. Анализ показал, что для российских тепловозных и судовых дизелей наиболее приемлемой является электронная система с импульсным индивидуальным управлением в магистралях высокого давления от ТНВД к форсункам. Такая система наиболее проста в производстве и эксплуатации, обладает высокой

степенью унификации под любой типоразмер дизелей, не требует больших изменений в топливных системах дизелей, находящихся в эксплуатации, при оборудовании их данными системами в условиях депо и ремонтных заводов.

В состав электронной системы импульсного управления топливоподачей входят следующие основные составные части:

- блок управления;
- электроуправляемые клапаны (по одному на каждый цилиндр);
- комплект датчиков;
- комплект кабелей связи;
- комплект монтажных частей.

Блок управления представляет собой цифровой микропроцессорный комплекс со специальным (для каждого типа двигателя) программным обеспечением для выполнения следующих функций:

1) автоматическое поддержание заданной частоты вращения в соответствии с ПИД-законом регулирования по статической или астатической характеристике на всех скоростных и нагрузочных режимах (функция регулятора частоты вращения двигателя);

2) автоматическое поддержание заданной мощности тягового генератора (в системах регулирования мощности);

3) обеспечение работы дизеля по ограничительной характеристике в зависимости от давления наддува и частоты вращения с реализацией заданного ускорения в переходных режимах (в системах регулирования мощности);

4) формирование УОВТ в зависимости от частоты вращения двигателя, нагрузки на дизель, давления наддува, температуры окружающей среды;

5) ограничение топливоподачи в зависимости от давления наддува и частоты вращения двигателя;

6) программная защита дизеля от превышения максимально допустимого давления масла;

7) автоматическое корректирование топливоподачи в каждом цилиндре в зависимости от их загрузки по сигналу от датчиков и от сопряженных систем;

8) отключение по заданному закону или по внешней команде одного цилиндра (группы цилиндров);

9) обеспечение реверсивности двигателей;

10) индикация на цифровом дисплее по запросу оператора диагностической информации о частоте вращения двигателя, частоте вращения турбокомпрессора, температуре, давлении масла, давлении наддува, наработке (числе моточасов), а также сообщений о возникших неисправностях в работе системы.

Преимущество разработанной импульсной системы топливоподачи с электронно-управляемым клапаном, установленным в линии высокого давления (в надплунжерной полости), заключается в возможности реализации характеристик топливоподачи, которые нельзя сформировать с использованием серийной системы топливоподачи. В первую очередь это относится к фазам топливоподачи — началу и окончанию подачи. В отличие от серийной разработанная система топливоподачи позволяет одновременно изменять момент и начала, и окончания подачи. При этом появляется возможность управлять началом топливоподачи — параметром УОВТ — в зависимости не только от скоростного режима работы дизеля (что широко применяется в быстроходных дизелях), но и от нагрузки на дизель (подачи топлива), а также от ряда дополнительных параметров (температуры окружающего воздуха, свойств топлива и др.).

Законы управления углом опережения впрыскивания топлива можно гибко изменять в зависимости от условий эксплуатации дизеля. Такое управление УОВТ позволяет заметно снизить выбросы с ОГ наиболее значимого токсичного компонента — оксидов азота NO_x . Основной проблемой снижения токсичности ОГ дизелей является одновременное уменьшение выбросов NO_x и твердых частиц (сажи). Это связано с тем, что эмиссии этих основных токсичных компонентов ОГ дизелей связаны между собой гиперболической зависимостью: снижение выброса одного компонента обычно сопровождается увеличением эмиссии другого. Эффективный способ снижения эмиссии твердых частиц без увеличения выхода NO_x — двухступенчатое (двухстадийное) впрыскивание топлива, которое может быть реализовано с применением разработанной системы топливоподачи.

Еще одним преимуществом разработанной системы топливоподачи является возможность влиять на характеристику впрыскивания для изменения наклона ее переднего и заднего фронтов. Передний фронт этой характеристики предопределяет жесткость процесса сгорания, характеризуемую такими параметрами, как период задержки воспламенения, скорость нарастания давления при сгорании, максимальное давление сгорания. Наклон заднего фронта определяет быструю отсечку топлива. При этом продолжительность подачи с уменьшающимися давлениями впрыскивания минимизируется, что обеспечивает снижение выбросов продуктов неполного сгорания топлива, в первую очередь углеводородов и сажи. В целом следует отметить, что в отличие от традиционных в разработанной системе топливоподачи потери топлива в процессе подачи минимальны, впрыскивание начинается энергично, имеет место четкая отсечка, способ регулирования не снижает давления впрыскивания, сохраняя

ется возможность индивидуальной подачи топлива по цилиндрам. В такой аппаратуре в перспективе можно осуществлять двухфазное впрыскивание.

В процессе обработки конструкции электроуправляемых клапанов удалось значительно снизить их теплонапряженность и увеличить быстродействие, что позволило уменьшить ток открытия до 15 А, а время открытия сократить до значения менее 1 мс. Такие параметры клапана позволяют осуществлять двухфазную подачу топлива, улучшающую процесс смесеобразования и сгорания, что в итоге улучшает показатели топливной экономичности и токсичности ОГ. Осциллограммы двухфазной подачи, полученные на безмоторном стенде, приведены на рис. 7.

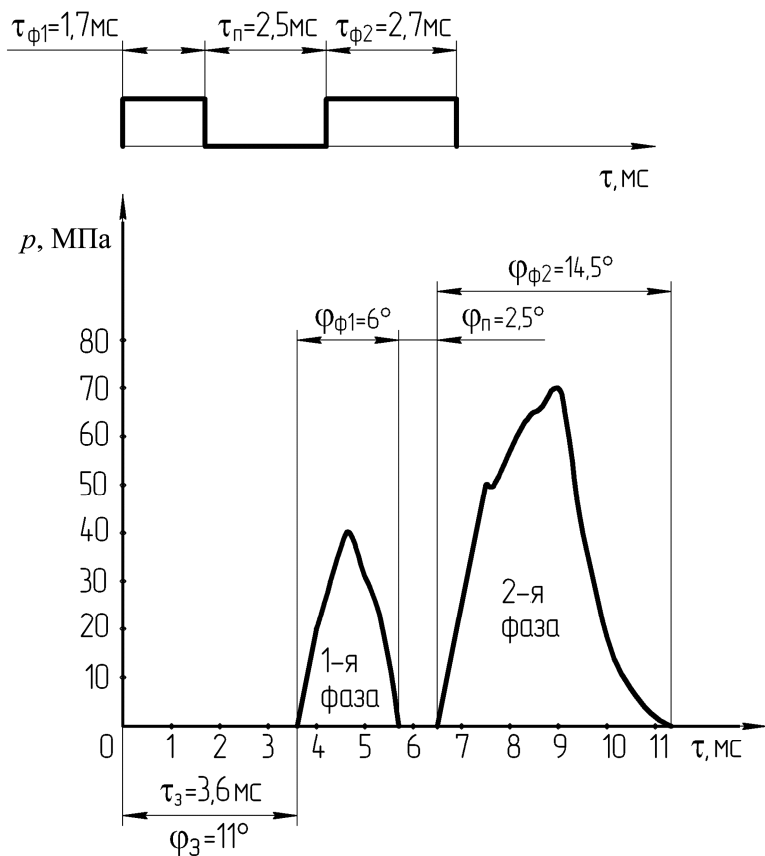


Рис. 7. Осциллограммы двухфазной подачи:

$\tau_{\phi 1}$, $\phi_{\phi 1}$ — длительность подачи управляющего сигнала на электроуправляемый клапан в 1-й фазе и угол поворота кулачкового вала за это время; $\tau_{п}$, $\phi_{п}$ — длительность паузы и угол поворота кулачкового вала за это время; $\tau_{\phi 2}$, $\phi_{\phi 2}$ — длительность подачи управляющего сигнала на электроуправляемый клапан во 2-й фазе и угол поворота кулачкового вала за это время; τ_3 , ϕ_3 — длительность задержки впрыска и угол поворота кулачкового вала за это время

Одновременно проведены разработка и внедрение электрогидравлических управляемых клапанов в конструкцию блочного насоса 4.432 производства Ногинского завода топливной аппаратуры, предназначенного для автотракторной техники. В целях отработки конструкции указанных клапанов и системы электронного управления выполнены испытания насоса в составе дизеля типа Д-240 (4Ч 11/12,5) на стенде Научно-исследовательского конструкторско-технологического института двигателей. Общий вид блочного насоса с электрогидравлическими управляемыми клапанами представлен на рис. 8.

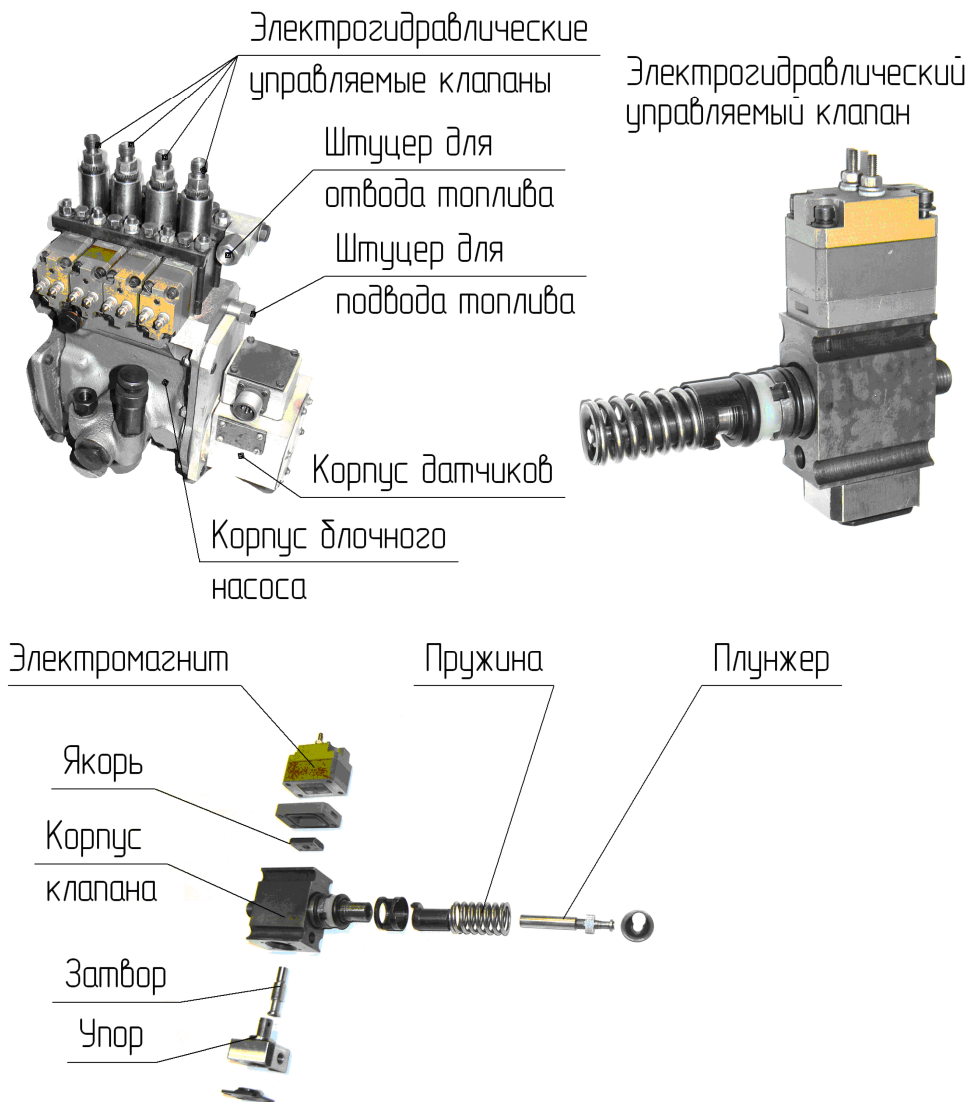


Рис. 8. Общий вид блочного насоса с электрогидравлическими управляемыми клапанами

Разработаны конструкции электроуправляемых насосов для тепловозных дизелей типа ЧН 26/26 со встроенными электрогидравлическими клапанами, выполненных на базе столбиковых индивидуальных ТНВД (рис. 9). Макетный образец электрогидравлического клапана вместе с макетным образцом системы испытан на одностолбиковом отсеке в лаборатории ОАО «Коломенский завод».



Рис. 9. Общий вид электроуправляемого насоса с электрогидравлическим клапаном, предназначенного для дизеля 12ЧН 26/26

Для тепловозного дизеля Д50 (6ЧН 31,8/33) производства ОАО «Пензадизельмаш» разработана конструкция и изготовлен комплект электроуправляемых насосов 4ЭТН.03 с электрогидравлическими клапанами (рис. 10). Электрогидравлические клапаны управляются с использованием сигналов от электронного блока. В состав системы электронного управления с импульсной топливоподачей входят также комплект датчиков и комплект монтажных изделий.

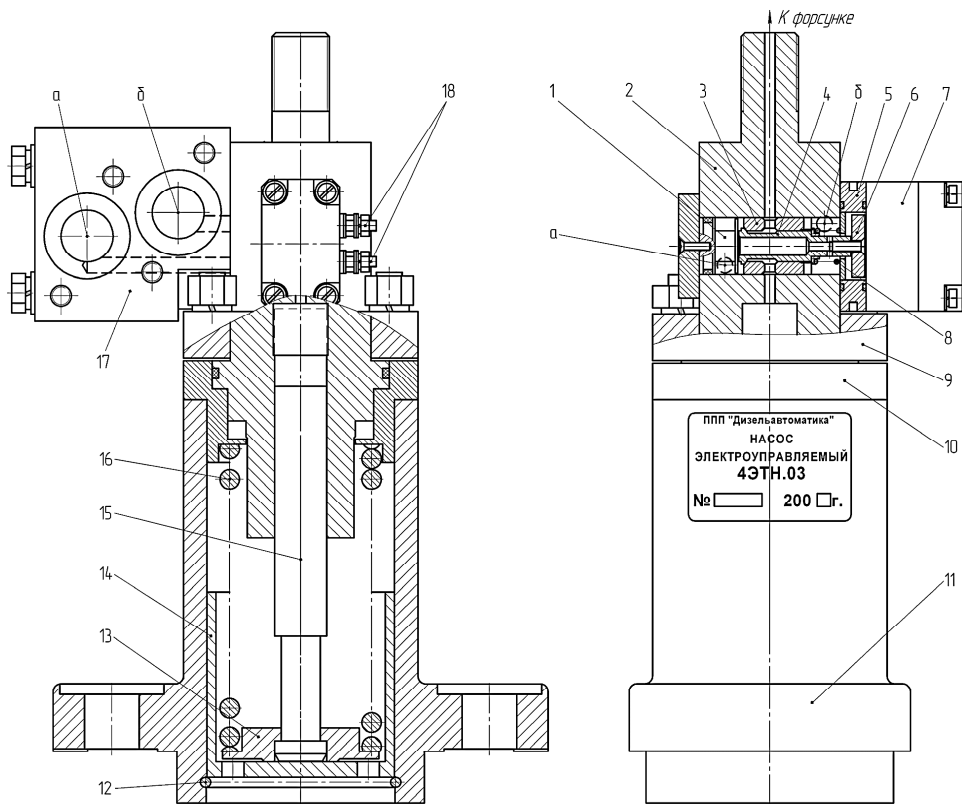


Рис. 10. Общий вид электроуправляемого насоса 4ЭТН.03:

1 — упор; 2 — корпус электрогидравлического клапана; 3 — втулка; 4 — затвор; 5 — проставок; 6 — якорь; 7 — электромагнит; 8 — пружина возвратная; 9 — фланец нажимной; 10 — фланец промежуточный; 11 — корпус насоса; 12 — кольцо стопорное; 13 — тарелка; 14 — стакан; 15 — плунжер; 16 — пружина плунжера; 17 — коллектор подвода топлива; 18 — клеммы выводные; а — отверстие для подвода топлива; б — отверстие для отвода топлива

Для систем электронного управления с импульсной топливоподачей тепловозных дизелей 12ЧН 26/26 и Д50 разработана система ЭСУВТ.01 (рис. 11). Первоначально работу этой системы проверяли в составе дизеля типа 12ЧН 26/26 на стенде экспериментального кольца ВНИИЖТ.

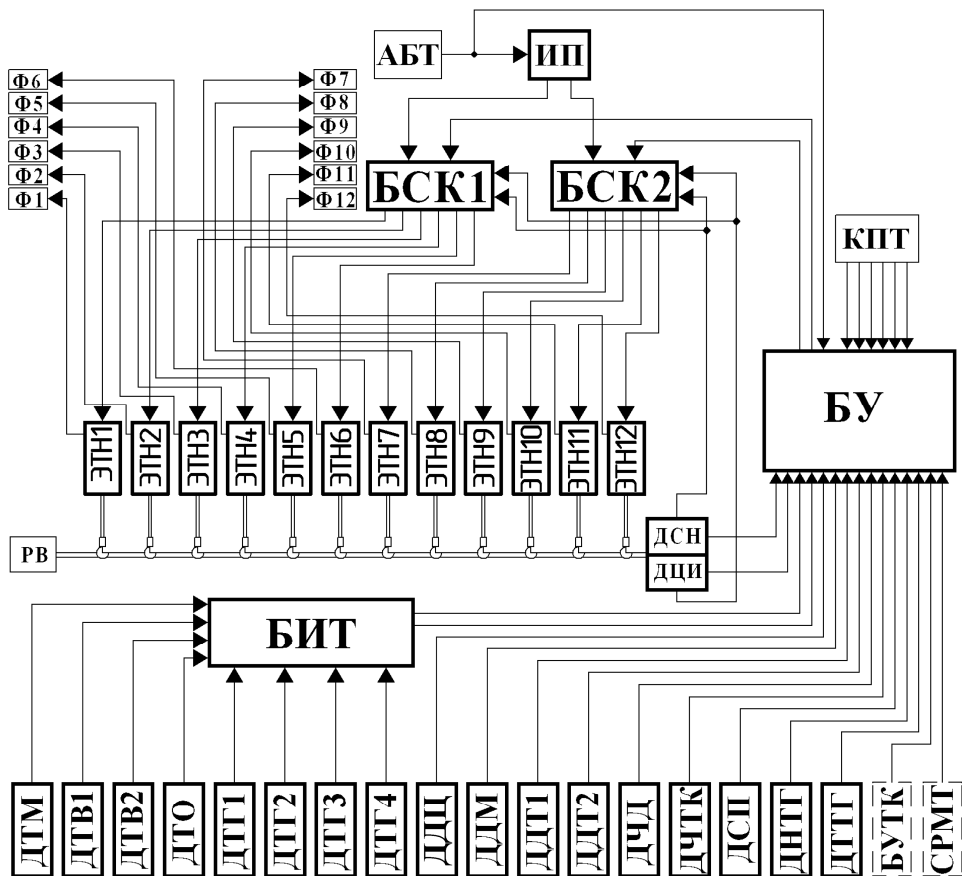


Рис. 11. Структурная схема системы электронного управления топливоподачей ЭСУВТ.01:

ДДМ — датчик давления масла; ДДЦ — датчик давления в цилиндре; ДДТ1, ДДТ2 — датчики давления на входе и на выходе из турбокомпрессора; ДНТГ — датчик напряжения тягового генератора; ДСН — датчик синхронизации; ДСП — датчик скорости поезда; ДТВ1–ДТВ2 — датчики температуры охлаждающей жидкости; ДТГ1...ДТГ4 — датчики температуры ОГ; ДТМ — датчик температуры масла; ДТО — датчик температуры окружающей среды; ДТТГ — датчик тока тягового генератора; ДЧД — датчик частоты вращения дизеля; ДЧТК — датчик частоты вращения турбокомпрессора; ДЦИ — датчик цилиндрических импульсов; АБТ — аккумуляторная батарея тепловоза; БИТ — блок измерения температуры; БУТК — блок управления турбокомпрессором; БСК1, БСК2 — блоки силовых ключей; БУ — блок управления; ИП — источник питания; КПТ — контроллер позиций тепловоза; РВ — распределительный вал; СРМТ — система регулирования мощности тепловоза; Ф1–Ф12 — форсунки; ЭТН1–ЭТН12 — электроуправляемые топливные насосы

Система электронного управления ЭСУВТ.01 прошла испытания в составе тепловозного дизеля Д50 на дизель-генераторном стенде ОАО «Пензадизельмаш». Получены следующие результаты, которые можно считать преимуществами по сравнению с серийной системой топливоподачи:

- уменьшен расход топлива на 3,5...17 % при частоте вращения 300...330 мин⁻¹;
- сокращен расход топлива на 0,9 % при частоте вращения 400...480 мин⁻¹;
- снижен уровень воздушного шума, исходящего от двигателя, на 1...11 дБ в зависимости от точек местонахождения измерительного прибора.

Установлено, что снижение частоты вращения холостого хода до 250 мин⁻¹ позволяет получить экономию расхода топлива более 31 % по сравнению с серийной системой топливоподачи на холостом ходу при 300 мин⁻¹, а снижение частоты вращения холостого хода до 220 мин⁻¹ — до 37 %. Исследуемый дизель Д50 с электронной системой управления ЭСУВТ.01 удовлетворяет требованиям ГОСТ Р 51249–99 по выбросам оксидов азота e_{NO_x} , монооксида углерода e_{CO} и углеводородов e_{CH_x} .

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. *Топливная аппаратура и системы управления дизелей*. Москва, Легион-Автодата, 2005, 344 с.
- [2] *Bosch: Системы управления дизельными двигателями*: пер. с нем. Москва, За рулем, 2004, 480 с.
- [3] Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. *Токсичность отработавших газов дизелей*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002, 376 с.
- [4] Trenne M.U., Ives A.P. Closed Loop Design for Electronic Diesel Injection Systems. *SAE Technical Paper Series*, 1982, no. 820447, pp. 133–139.
- [5] Shiozaki M., Hobo N., Akahori J. Development of a Fully Capable Electronic Control System for Diesel Engine. *SAE Technical Paper Series*, 1985, no. 850172, pp. 1–8.
- [6] Крутов В.И., Горбаневский В.Е., Кислов В.Г. *Топливная аппаратура автотракторных двигателей*. Москва, Машиностроение, 1985, 208 с.
- [7] Крутов В.И. *Электронные системы регулирования и управления двигателями внутреннего сгорания*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1991, 138 с.
- [8] Пинский Ф.И., Давтян Р.И., Черняк Б.Я. *Микропроцессорные системы управления автомобильными двигателями внутреннего сгорания*. Москва, Легион-Автодата, 2001, 136 с.

Статья поступила в редакцию 21.06.2013

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Фурман В.В., Иванов В.А., Марков В.А. Системы электронного управления для дизельных двигателей. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 5.

URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/criogen/723.html>

Фурман Виктор Владимирович родился в 1945 г., окончил Саратовский политехнический институт в 1967 г. Канд. техн. наук, ведущий конструктор ООО «ППП «Дизельавтоматика» (Саратов). Автор 20 научных работ в области автоматического управления и регулирования двигателей внутреннего сгорания. e-mail: dizavt@overta.ru

Иванов Виктор Алексеевич родился в 1948 г., окончил Челябинский политехнический институт в 1971 г. Инженер-конструктор ООО «ППП Дизельавтоматика» (г. Саратов). Автор 5 научных работ в области автоматического управления и регулирования двигателей внутреннего сгорания. e-mail: dizavt@overta.ru

Марков Владимир Анатольевич родился в 1958 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1981 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры «Теплофизика» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 300 научных работ в области автоматического управления и регулирования двигателей внутреннего сгорания. e-mail: markov@power.bmstu.ru