

1568950

На правах рукописи

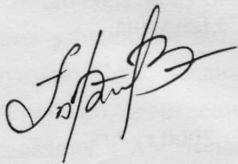
НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Трифонов Валерий Львович

УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЕЙ
ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Специальность 05.04.02 - тепловые двигатели,

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва - 2000

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете имени Н.Э.Баумана

Научный руководитель:

кандидат технических наук,
доцент Кузнецов А.Г.

Научный консультант:

доктор технических наук,
профессор Марков В.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Круглов М.Г.

кандидат технических наук,
доцент Гусаков С.В.

Ведущая организация:

НПП «Агродизель» (Москва)

Защита состоится « 11 » декабря 2000 г. в « 14 » часов
на заседании диссертационного совета К 053.15.05 при МГТУ им.Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, Москва, Лефортовская набережная, д.1, корпус факультета

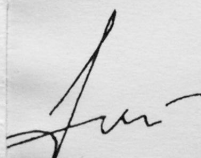
знакомиться в библиотеке МГТУ

х экземплярах, заверенный печатью

МГТУ им.Н.Э.Баумана,

1568950

ноября 2000 г.



Ефимов С.И.

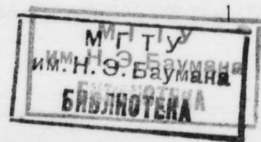


ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Основным направлением совершенствования транспортных силовых установок с двигателями внутреннего сгорания является улучшение их экологических и экономических показателей. Один из эффективных методов улучшения названных показателей - повышение качества рабочего процесса дизеля в широком диапазоне эксплуатационных режимов за счет совершенствования систем автоматического управления (САУ). При этом наиболее перспективны САУ с электронными регуляторами на микропроцессорной базе. С применением электронных регуляторов САУ дизельными двигателями выходят на новый, качественно более высокий уровень, на котором целью управления становится комплексная оптимизация двигателя как основного элемента энергетической установки.

Характер протекания рабочего процесса дизеля в значительной мере определяется организацией процесса топливоподачи: обеспечением необходимых или оптимальных значений цикловой подачи топлива, угла опережения впрыскивания топлива (УОВТ), других параметров и характеристик топливоподачи, управлением этими параметрами в соответствии с режимами работы дизеля. Удовлетворение современных жестких требований к токсичности отработавших газов (ОГ) возможно только при совместном управлении цикловой подачей топлива и УОВТ.

Одной из задач, которую необходимо решить при разработке САУ топливоподачей, является выбор оптимальных законов управления. Экономические и экологические показатели транспортных дизелей находятся в сложной, часто противоречивой зависимости. Поэтому нахождение оптимальных характеристик топливоподачи представляет определенные трудности. Другая важная задача - реализация достаточно сложных законов управления. Применяемые в отечественных транспортных дизелях топливная аппаратура и регуляторы не позволяют получить требуемых экологических показателей. Возникает проблема разработки нетрадиционной топливоподающей аппаратуры и соответствующих САУ, реализующих полученные законы управления. Таким образом, актуально проведение исследований в направлении разработки и совершенствования САУ топливоподачей дизеля. Результаты этих исследований способствуют решению важной задачи - созданию САУ, обеспечивающих современные и перспективные требования к токсичности ОГ при достижении достаточно высоких показателей дизелей по топливной экономичности.



Работа проводилась в соответствии с планами госбюджетных и хозяйственных работ лаборатории "Автоматическое управление и регулирование ДВС" кафедры "Теплофизика" МГТУ им.Н.Э.Баумана.

Цель работы. Повышение экологических и экономических показателей дизелей путем разработки и совершенствования микропроцессорной системы управления, обеспечивающей воздействие на цикловую подачу топлива и УОВТ, а также разработки систем топливоподачи, адаптированных к электронному управлению углом опережения впрыскивания.

Методы исследования. Поставленная в работе цель достигается сочетанием теоретических и экспериментальных методов исследования. При проведении теоретических исследований использованы теория рабочих процессов двигателей, методы многокритериальной оптимизации параметров топливоподачи и методы теории автоматического управления и регулирования. Основные уравнения разработанной математической модели САУ базируются на физических законах и решаются с использованием современных численных методов. Достоверность результатов, полученных при теоретических исследованиях, проверялась при испытаниях ТНВД на безмоторной установке и на моторном стенде. Экспериментальные исследования системы топливоподачи выполнены по хорошо зарекомендовавшим себя стандартным методикам с применением современных измерительных средств и приборов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработана модифицированная методика определения базовой характеристики управления углом опережения впрыскивания топлива, оптимизированной по топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизельного двигателя;
- разработана математическая модель системы автоматического управления с электронным регулятором, учитывающая рассогласование характеристик системы топливоподачи и воздухообеспечения в переходных процессах;
- разработана система управления дизелем на базе микроЭВМ, обеспечивающая воздействие на цикловую подачу топлива и угол опережения впрыскивания;
- разработаны системы топливоподачи, адаптированные к электронному управлению углом опережения впрыскивания;

Практическая значимость. Предложенная методика формирования базовой характеристики управления УОВТ позволяет на базе результатов экспериментальных исследований дать практические рекомендации по выбору

оптимальных значений УОВТ. Предложенная математическая модель САУ дизеля с турбонаддувом и электронным регулятором с учетом достаточно точного совпадения с экспериментом может быть рекомендована для анализа и синтеза систем управления топливоподачей. Разработана микропроцессорная система управления дизелем, содержащая универсальную часть с микроЭВМ и каналы воздействия на цикловую подачу и угол опережения впрыскивания. Предложены и реализованы две схемы систем топливоподачи, адаптированных к электронному управлению. Применение разработанных систем позволяет обеспечить современные требования по токсичности отработавших газов и топливной экономичности.

Реализация результатов работы. Основные положения и результаты работы использовались при разработке новых видов топливной аппаратуры дизелей, в частности микропроцессорной системы управления топливоподачей дизеля Д-245 автомобиля ЗИЛ-5301 ("Бычок"). Результаты исследований внедрены в АО "Ногинский завод топливной аппаратуры" и АМО "Зил".

Апробация работы. Диссертационная работа заслушана и одобрена заседании кафедры «Поршневые двигатели» МГТУ им.Н.Э.Баумана в мае 2000 г. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на межвузовской научно-технической конференции "165 лет МГТУ им.Н.Э.Баумана" в 1995 г., на заседаниях международной научно-технической конференции "Двигатель 97" в МГТУ им.Н.Э.Баумана в 1997 г., на заседаниях всероссийского научно-технического семинара по автоматическому регулированию и управлению теплоэнергетических установок в МГТУ им.Н.Э.Баумана в 1998, 1999 г.г., на международном научно-техническом семинаре "Снижение токсичности выбросов отработавших газов" в московской государственной академии водного транспорта (МГАВТ) в 1999 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 работ, в том числе 6 статей, 6 материалов конференций, 1 учебное пособие, 1 авторское свидетельство, 1 патент.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов и заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объем работы 152 страницы, включая 140 страниц основного текста, содержащего 20 рисунков, 6 таблиц. Список литературы включает 64 наименования на 7 страницах. Приложение на 2 страницах включает документы о внедрении результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проведения работ, направленных на улучшение экологических показателей транспортных дизелей. Приведена общая характеристика работы.

В первой главе проведен анализ требований, предъявляемых к дизелям в современных условиях. Рассмотрены состав ОГ, особенности образования токсичных компонентов и нормы на эмиссию токсичных компонентов ОГ дизелей. Сделан вывод о том, что требования по токсичности ОГ в настоящее время становятся приоритетными.

Успешное решение задачи улучшения экологических и экономических показателей транспортных дизелей возможно путем улучшения качества рабочего процесса дизеля. В работах Крутова В.И., Толшина В.И. Леонова И.В., Патрахальцева Н.Н., Пинского Ф.И., Покровского Г.П., Федорова П.В., Грехова Л.В., Шарова Г.И. и др. ученых показано, что улучшение качества рабочего процесса дизеля в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов обеспечивается при оптимизации основных характеристик топливopодачи с использованием микропроцессорных систем управления. К таким характеристикам топливopодачи относится УОВТ, целенаправленное изменение которого позволяет воздействовать на эмиссию основного токсичного компонента ОГ - оксидов азота NO_x . При уменьшении УОВТ снижаются максимальные температуры сгорания и, следовательно, эмиссия NO_x . Изменение УОВТ на номинальном режиме на 1° п.к.в. приводит к изменению эмиссий NO_x на 5-10 %.

Проведен обзор систем управления дизелями с электронными регуляторами, дан анализ основных типов систем и показаны тенденции их развития. Приведены схемы соответствующей топливной аппаратуры, дана оценка состояния и перспектив развития технических средств микропроцессорных устройств.

Таким образом, значительный эффект улучшения экологических и экономических показателей дизелей достижим при использовании микропроцессорной системы управления с воздействием на УОВТ.

Поэтому возникает проблема разработки микропроцессорных САУ и топливopодающей аппаратуры, адаптированной к электронному управлению параметрами процесса топливopодачи. Необходимо также определить оптимальный закон управления УОВТ, что является одной из наиболее сложных задач разработки САУ топливopодачей. При создании микропроцессорных САУ необходимо провести оценку влияния некоторых параметров электронного

регулятора на показатели качества переходных процессов в САУ. Для расчетного исследования необходимо разработать математическую модель САУ с электронным регулятором.

В представленной работе ставятся и решаются следующие научные и практические задачи:

1. Разработка методики определения базовых характеристик для управления УОВТ и расчет характеристик, оптимизированных по топливной экономичности и токсичности ОГ.
2. Разработка математической модели САУ с электронным регулятором и исследование влияния параметров регулятора на показатели качества переходных процессов.
3. Разработка микропроцессорных средств САУ с подсистемами управления цикловой подачей топлива и УОВТ.
4. Разработка систем топливоподачи, адаптированных к электронному управлению.
5. Исследование разработанных микропроцессорных систем управления и систем топливоподачи.

При создании САУ ставилась задача разработки регулятора с универсальным по структуре и аппаратурному составу электронным блоком, который может быть адаптирован к управлению любой системой дизеля путем добавления соответствующих каналов воздействия на исполнительные устройства и изменением программного обеспечения. Такой подход обеспечивает гибкость САУ и ее быстрое перенастраивание не только на различные системы двигателя, но и на различные типы двигателей.

Разрабатываемые варианты САУ должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к двигателям различного назначения. Требования к токсичности отработавших газов наиболее важны для дизелей автотракторного назначения. Поэтому отработка оптимизации УОВТ проводилась для дизелей семейства КамАЗ и Д-245. Наиболее жесткие требования по динамическим показателям предъявляются к системам автоматического регулирования скорости дизель-генераторов переменного тока. В связи с этим оптимизация закона регулирования частоты вращения проводилась для дизель-генератора 9ДГ.

Во второй главе рассмотрены разработанные законы управления УОВТ, известные из литературных источников. Показано, что задача выбора оптимальных значений УОВТ является многокритериальной оптимизационной задачей. К наиболее эффективным методам оптимизации параметров топливоподачи

относится метод свертки, при котором обобщенный критерий оптимальности J_0 формируется в виде суммы

$$J_0 = \sum a_i J_i, \quad (1)$$

где: J_i - частные критерии оптимальности, a_i - весовые коэффициенты.

В качестве частных критериев оптимальности могут быть выбраны часовой расход топлива G_T и массовые выбросы NO_x , CO , CH_x , т.е.

$$J_0 = a_{G_T} J_{G_T} + a_{NO_x} J_{NO_x} + a_{CO} J_{CO} + a_{CH_x} J_{CH_x}, \quad (2)$$

где J_{G_T} , J_{NO_x} , J_{CO} , J_{CH_x} - частные критерии оптимальности соответственно по расходу топлива G_T , выбросам NO_x , CO и CH_x ; a_{G_T} , a_{NO_x} , a_{CO} , a_{CH_x} - весовые коэффициенты частных критериев оптимальности.

Однако при определении базовой характеристики управления УОВТ для транспортных дизелей следует учитывать, что выбросы CO и CH_x обычно ниже предельно допустимых значений. В этом случае задача определения базовой характеристики управления УОВТ сводится к ее оптимизации только по двум критериям - топливной экономичности и выбросу оксидов азота, т.е. выражения для J_0 принимает вид

$$J_0 = a_{G_T} J_{G_T} + a_{NO_x} J_{NO_x}. \quad (3)$$

Частные критерии оптимальности, входящие в выражение (3), предлагается определять на каждом i -том режиме из соотношений

$$J_{G_T} = G_{Ti} / G_{Ti0}; \quad J_{NO_x} = E_{NO_xi} / E_{NO_xi0}, \quad (4)$$

где: G_{Ti} , E_{NO_xi} - параметры дизеля на рассматриваемом режиме при текущем значении УОВТ; G_{Ti0} , E_{NO_xi0} - параметры дизеля на этом же режиме при номинальном значении УОВТ. В разработанной методике значимость частных критериев J_{G_T} и J_{NO_x} определяется по соответствию исследуемого дизеля действующим нормам на токсичность. Для этого весовой коэффициент a_{G_T} принимался равным единице, а коэффициент a_{NO_x} определялся в виде отношения действительной эмиссии этого компонента ОГ к предельной величине эмиссии, определяемой нормами на токсичность, т.е.

$$a_{NO_x} = e_{NO_x} / e_{NO_x \text{ пр}}. \quad (5)$$

Разработанная методика оптимизации была использована для формирования матрицы настроек УОВТ для дизелей семейства КамАЗ размерности 12/12 (рис.1а) и Д-245 (4ЧН11/12,5), выпускаемого Минским моторным заводом и устанавливаемого на автомобиль Зил-5301 («Бычок») (рис.1б). Исходными данными для расчетов послужили результаты экспериментальных исследований.

Характеристика управления УОВТ, оптимизированная по топливной экономичности и токсичности ОГ, предусматривает уменьшение УОВТ с 15° п.к.в. до ВМТ на номинальном режиме до 8° п.к.в. до ВМТ на режимах холодного хода. Ее формирование с помощью соответствующей САУ позволяет снизить удельные выбросы оксидов азота NO_x с 11,8 г/(кВт ч) (при постоянном УОВТ $\theta = 19^\circ$ п.к.в. до ВМТ) до 6,0 г/(кВт ч) при работе дизеля по 13-ступенчатому циклу, т.е. обеспечить требования стандарта EURO-2 по этому показателю. При этом наблюдается увеличение выбросов монооксида углерода СО с 2,1 до 3,4 г/(кВт ч) и углеводородов CH_x - с 0,46 до 0,6 г/(кВт ч). Однако требования стандарта EURO-2 по выбросам этих токсичных компонентов ОГ выполняются. Наблюдается также незначительное увеличение среднего за 13-ступенчатый испытательный цикл расхода топлива g_c (с 313 до 318 г/(кВт ч)).

Динамическая модель САУ дизеля с электронным регулятором разработана для дизеля 16ЧН26/26, работающего на генератор переменного тока. К динамическим характеристикам таких дизелей предъявляются наиболее жесткие требования. Модель содержит дифференциальные уравнения основных элементов дизеля с газотурбинным наддувом:

$$\text{собственно двигателя} \quad J_{\text{д}} \frac{d\omega_{\text{д}}}{dt} = M_{\text{д}} - M_{\text{с}}; \quad (6)$$

$$\text{турбокомпрессора} \quad J_{\text{т}} \frac{d\omega_{\text{т}}}{dt} = M_{\text{т}} - M_{\text{к}}; \quad (7)$$

$$\text{впускного трубопровода} \quad \frac{V_{\text{вп}}}{R_{\text{в}} T_{\text{в}}} \frac{dp_{\text{в}}}{dt} = G_{\text{к}} - G_{\text{д}}; \quad (8)$$

$$\text{выпускного трубопровода} \quad \frac{V_{\text{вып}}}{R_{\text{г}} T_{\text{г}}} \frac{dp_{\text{г}}}{dt} = G_{\text{д}} - G_{\text{топл}} - G_{\text{т}}; \quad (9)$$

где: $J_{\text{д}}$ и $J_{\text{т}}$ - моменты инерции валов дизеля с потребителем и турбокомпрессора соответственно; $\omega_{\text{д}}$ и $\omega_{\text{т}}$ - частоты вращения валов дизеля и турбокомпрессора; $M_{\text{д}}$, $M_{\text{с}}$, $M_{\text{т}}$, $M_{\text{к}}$ - моменты: крутящий (эффективный) дизеля, сопротивления потребителя, развиваемый турбиной, потребляемый компрессором; $V_{\text{вп}}$ и $V_{\text{вып}}$ - объемы впускного и выпускного трубопроводов; $R_{\text{в}}$ и $R_{\text{г}}$ - газовые постоянные наддувочного воздуха и ОГ; $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{г}}$ - температуры наддувочного воздуха и ОГ; $p_{\text{в}}$ и $p_{\text{г}}$ - давления наддувочного воздуха и ОГ; $G_{\text{д}}$, $G_{\text{к}}$, $G_{\text{топл}}$, $G_{\text{т}}$

- расходы воздуха через двигатель и компрессор, топлива, газов через турбину соответственно.

Параметры, входящие в правые части уравнений (6)-(9), были представлены как функции параметров, непосредственно характеризующих рабочий процесс двигателя. В частности, крутящий момент дизеля был выражен в виде функции положения рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД) h_p , частоты вращения двигателя ω_d и плотности воздуха ρ_B .

Для получения такой функциональной зависимости проведены экспериментальные статические исследования, при которых обеспечивалось независимое изменение параметров рабочего процесса дизеля и лопаточных машин. Применительно к крутящему моменту дизеля осуществлялись независимые изменения положения дозирующей рейки h_p и плотности наддувочного воздуха ρ_B . Для проведения таких испытаний дизель отсоединяется от турбокомпрессора, а питание воздухом осуществляется от постороннего источника.

В результате проведенных расчетов для параметров дизеля, входящих в правые части уравнений (6)-(9) были получены полиномы второго и третьего порядков. Полином третьего порядка для момента дизеля, работающего на режимах астатической регуляторной характеристики, имеет вид

$$M_d = -609,47 + (202,2 - 12,987 h_p - 16,434 \rho_B) h_p + (967,14 - 458,08 \rho_B) \rho_B - 0,2413 h_p^3 + 066,613 \rho_B^3 + 11,913 h_p^2 \rho_B - 0,2217 h_p \rho_B^2 - 2,0077 h_p^2 \rho_B^2 \quad (10)$$

Система уравнений (6)-(9) объекта регулирования дополнена уравнениями, описывающими электронный регулятор, представляющий собой последовательное соединение датчика частоты вращения, вычислительного устройства и исполнительного механизма. Сравнение на рис.2 экспериментальных (сплошные линии) и расчетных (пунктирные линии) переходных процессов частоты вращения n_d и положения рейки топливного насоса h_p достаточно хорошее их совпадение подтверждает возможность применения разработанной модели для расчетов динамики.

Математическая модель использована для проведения расчетного анализа влияния некоторых параметров электронного регулятора (задержки работы цифрового регулятора $\Delta t_{зАД}$, коэффициентов K_P , K_I , K_D составляющих ПИД-закона регулирования, количество $N_{зуб}$ зубьев колеса датчика частоты вращения, передаточного отношения рычага исполнительного механизма $K_{ПЕР}$) на показатели качества переходных процессов в САУ. По результатам расчетов были выбраны значения указанных параметров для разрабатываемых регуляторов.

В третьей главе приведены результаты разработки технических средств микропроцессорной САУ: аппаратного исполнения электронного блока, вариантов топливной аппаратуры с исполнительными устройствами, программ управления. При разработке электронного блока особое внимание уделялось его универсальности, т.е. возможности использования с различными типами датчиков входных сигналов и исполнительных устройств. С этой целью было разработано ядро электронного блока, остающееся неизменным для регуляторов разных типов двигателей, и которое дополнялось впоследствии различными каналами управления соответствующими исполнительными механизмами. Электронный блок состоит из следующих основных функциональных частей: генератора, управляющей микроЭВМ, интерфейса аналоговых сигналов, дешифратора адреса, каналов преобразования сигналов датчиков, каналов управления исполнительными устройствами.

На рис.3 представлена структура электронного блока, которая включает: однокристалльную микроЭВМ или микроконтроллер (МК), регистр-зашелку адреса (РА), дешифратор адреса (ДША), оперативное (ОЗУ) и постоянное (ПЗУ) запоминающие устройства, схему перезапуска и защиты от сбоев (сторожевой таймер или WATCHDOG), усилители-формирователи для ввода сигналов с импульсных датчиков (ДЧВ и ДВМТ), мультиплексор и аналого-цифровой преобразователь (АЦП) для ввода сигналов с аналоговых датчиков (Днр, ДРк, ДТОхл, ДПУ и др.), каналы управления исполнительными механизмами

В соответствии с поставленными задачами исследования были разработаны системы топливоподачи, адаптированные к электронному управлению. В одноплунжерном ТНВД дизеля семейства КамАЗ (рис.4) управление УОВТ осуществляется при помощи фазирующей рейки и фазирующей втулки, а управление цикловой подачей - дозирующей рейкой и дозирующей втулкой. Перемещение дозирующей и фазирующей реек ТНВД осуществляется исполнительными устройствами электронного регулятора - шаговыми электродвигателями. Один из шаговых двигателей соединен с фазирующей рейкой парой "винт-гайка", а другой - через эксцентрик связан с дозирующей рейкой.

В ТНВД 4УТНИ дизеля Д-245 (рис.5) управление УОВТ осуществляется электромагнитными клапанами, размещенными в наполнительных каналах секций ТНВД, а управление цикловой подачей - с помощью электромагнита, воздействующего на дозирующую рейку.

В соответствии с разработанными схемами были изготовлены опытные образцы систем топливоподачи.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям, проведенным для проверки работоспособности описанных САУ и подтверждения возможности формирования требуемых характеристик топливоподачи.

Экспериментальные исследования опытных образцов систем топливоподачи проведена на безмоторных и моторной установках. На первом этапе исследовались элементы САУ, а на втором - системы топливоподачи и системы управления в целом.

В результате экспериментальных исследований на первом этапе были получены следующие характеристики:

1. Силовые характеристики электромагнита рейки ТНВД - зависимости усилий, создаваемых электромагнитом, от положения штока сердечника при различных значениях тока в обмотке.
2. Силовая характеристика электромагнитного клапана - зависимость усилия от хода золотника при подаче на обмотку клапана питающего напряжения.
3. Динамические характеристики электромагнитного клапана - переходный процесс перемещения золотника при подаче на обмотку питающего напряжения и частотный диапазон пропускания управляющих импульсов.
4. Последовательность импульсов управления электромагнитными клапанами установки угла опережения впрыскивания топлива.

Динамические характеристики электромагнитного клапана свидетельствуют о его достаточной работоспособности.

Характеристика электромагнита дозирующей рейки получена при питании обмотки от источника с напряжением 24 В и максимальном значении тока управления до 8 А. Соединение штока электромагнита с рейкой осуществлено в конструкции регулятора через рычаг с соотношением плеч 1:2. При этом использован ход сердечника 6 мм (зона больших усилий электромагнита).

Экспериментальные исследования опытного образца системы топливоподачи по схеме на рис.4 проведены на безмоторной установке «Motorpal». В результате экспериментальных исследований были получены зависимости цикловой подачи и УОВТ от положения дозирующих и фазирующих реек ТНВД и скоростные характеристики цикловой подачи ТНВД. Полный ход дозирующей рейки опытного ТНВД, обеспечивающий выключение подачи, составил 6,0 мм. Изменение УОВТ в диапазоне 10° поворота кулачкового вала насоса обеспечивается при перемещении фазирующей рейки на 8 мм.

В ходе экспериментальных исследований ТНВД с клапанами (рис.5) на безмоторной установке "Bosch" получены скоростные характеристики цикловой подачи ТНВД (рис.6) и характеристики УОВТ. Полученные осциллограммы топливоподачи свидетельствуют о том, что изменение момента закрытия электромагнитного клапана приводит к смещению переднего фронта характеристики давления впрыскивания, т.е. к изменению УОВТ (рис.7). Электромагнитные клапаны отрабатывают управляющие импульсы до частоты 80 Гц и обеспечивают требуемый частотный диапазон.

Для подтверждения работоспособности конструктивной схемы топливоподачи и возможности формирования требуемых характеристик УОВТ были проведены моторные испытания дизеля семейства КамАЗ.

Моторные исследования разработанной САУ проведены на одноцилиндровой установке дизеля размерности 12/12 при его работе со штатным ТНВД и с ТНВД с двумя рейками.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных на одноцилиндровой установке со штатным ТНВД, свидетельствуют о том, что путем подбора оптимальных значений УОВТ на каждом эксплуатационном режиме работы дизеля можно существенно улучшить его экологические показатели без существенного ухудшения топливной экономичности. Однако, при этом закон управления УОВТ должен быть достаточно сложным и реализовать его с помощью штатного ТНВД не представляется возможным. Это достигнуто путем установки на двигатель опытного ТНВД (рис.4) с электронным регулятором топливоподачи.

Опытный ТНВД с регулятором позволяет уменьшить УОВТ при снижении частоты вращения и нагрузки и на этих режимах обеспечить работу с уменьшенной эмиссией NO_x . В частности, на режиме с $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузкой, соответствующей $p_1 = 0,52 \text{ МПа}$, объемная концентрация NO_x в ОГ снижается с 0,092 % (при работе со штатным ТНВД и $\theta = 18^\circ \text{ п.к.в. до ВМТ}$) до 0,058 % (при работе с опытным ТНВД и $\theta = 10^\circ \text{ п.к.в. до ВМТ}$, см.рис.4).

Анализ зависимостей концентраций продуктов неполного сгорания топлива (монооксид углерода CO и углеводородов CH_x) от режима работы дизеля и УОВТ показывает, что на эксплуатационных режимах с малыми частотами вращения и нагрузками эмиссия этих токсичных компонентов несколько снижается при использовании опытного ТНВД по сравнению со штатным ТНВД. Это обусловлено большей интенсивностью процесса впрыскивания, создавае-

мой опытным ТНВД. В то же время, на режимах с большими частотами вращения и нагрузками наблюдается некоторое увеличение эмиссии этих компонентов ОГ.

В целом экспериментальные данные свидетельствуют о том, что замена штатного ТНВД (с постоянным УОВТ $\theta = 18^\circ$ п.к.в. до ВМТ) на опытный ТНВД в исследуемом дизеле, работающем по 13-ступенчатому циклу, позволяет снизить удельный индикаторный расход топлива с 302,1 до 295,8 г/(кВт ч), т.е. на 2,1 %. Эмиссии NO_x при этом снижается с 12,3 до 8,00 г/(кВт ч), т.е. на 35 %, что обеспечивает удовлетворение норм EURO-1 по этому показателю. Выбросы продуктов неполного сгорания топлива также уменьшаются: эмиссия CO с 5,34 до 5,00 г/(кВт ч), т.е. на 6,6 %, эмиссия CH_x с 1,05 до 0,96 г/(кВт ч), т.е. на 8,9 %.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана методики определения базовых характеристик для управления УОВТ, оптимизированных по топливной экономичности и токсичности отработавших газов, базирующаяся на составлении обобщенного критерия оптимальности на основании двух основных частных критериев - часового расхода топлива и массовых выбросов оксидов азота. С использованием методики проведен расчет характеристик УОВТ.

2. Разработана математическая модель САУ с электронным регулятором топливоподачи для дизеля с турбонаддувом, учитывающая рассогласование характеристик систем топливоподачи и воздухообеспечения в переходных процессах. Исследование влияния настроек регулятора на показатели качества переходных процессов, проведенные с использованием разработанной модели, позволили определить параметры электронного блока, датчика частоты вращения, исполнительных устройств регулятора.

3. Разработана САУ с универсальным микропроцессорным блоком и подсистемами управления цикловой подачей и УОВТ.

4. Разработаны две систем топливоподачи, адаптированные к электронному управлению. В одной системе топливоподачи управление УОВТ осуществляется при помощи дополнительной фазирующей рейки ТНВД, а во второй - при использовании электромагнитного клапана, размещенного в наполнительном канале секции ТНВД и управляемого электронным блоком.

5. Проведены безмоторные экспериментальные исследования разрабо-

танных микропроцессорной системы управления и систем топливоподачи, подтвердившие их работоспособность и возможности формирования требуемых характеристик топливоподачи.

6. Проведены моторные экспериментальные исследования системы с ТНВД, имеющим два регулирующих органа - дозирующую и фазирующую рейки. При работе дизеля семейства КамАЗ с разработанным ТНВД по 13-ступенчатому циклу удельный индикаторный расход топлива снижается на 2,1 %, эмиссии NO_x - на 35 %, эмиссия CO - на 6,6 %, эмиссия CH_x - на 8,9 %.

Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:

1. Система регулирования угла опережения впрыскивания топлива / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. // Автомобильная промышленность. - 1994. - № 9. - С.9-12.

2. Система управления транспортным дизелем с регулированием угла опережения впрыскивания топлива / В.И.Крутов, А.Г.Кузнецов, В.Л.Трифонов и др. // Автомобильные и тракторные двигатели: Межвуз. сб. (М.). - 1995. - Вып.12. - С.37-41.

3. Разработка систем управления дизелями, обеспечивающих улучшение экономических и экологических показателей: Тез. докл. межвуз. науч.-тех. конф. / В.И.Крутов, А.Г.Кузнецов, В.Л.Трифонов и др. - М.: изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1995. - Ч.1. - С.98.

4. Улучшение экономических и экологических показателей транспортных дизелей путем совместного управления процессами топливоподачи и воздухообеспечения / А.Г.Кузнецов, И.В.Леонов, В.Л.Трифонов и др. // Конверсия. - 1996. - № 10. - С.40-44.

5. Формирование оптимальных настроек системы управления транспортным дизелем с регулированием угла опережения впрыскивания / В.И.Крутов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. // Автомобильные и тракторные двигатели: Межвуз. сб. (М.). - 1996. - Вып.13. - С.15-26.

6. Система управления транспортным дизелем с регулированием угла опережения впрыскивания / В.И.Крутов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. // Грузовик. - 1997. - № 12. - С.26-30.

7. Система управления топливоподачей транспортного дизеля / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. / Двигатель 97: Сб. тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. - М.: изд-во МГТУ, 1997. - С.112.

8. Микропроцессорная система управления автотракторным дизелем / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов В.Л. и др. / Двигатель 97: Сб. тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. - М.: изд-во МГТУ, 1997. - С.105-106.

9. Кузнецов А.Г., Трифонов В.Л., Березин С.Р. Разработка и исследование системы автоматического регулирования паровой винтовой машины: Тез. докл. всеросс. науч.-техн. сем. // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1998. - № 3. - С.117.

10. Топливный насос высокого давления с электронным управлением топливоподачей / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. / Снижение токсичности выбросов отработавших газов: Тез. докл. междунар. науч.-тех. сем. - М.: изд-во МГАВТ, 1999. - С.30-31.

11. Разработка электронной системы управления транспортным дизелем: Тез. докл. всеросс. науч.-тех. сем. / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 1999. - № 2. - С.124.

12. Моделирование и оптимизация систем автоматического регулирования на ЭВМ / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др.: Методические указания к лабораторным работам по курсу "Управление в технических системах". - М.: изд-во МГТУ им.Н.Э.Баумана, 1999. - 20 с.

13. Улучшение экологических показателей транспортных дизелей путем управления процессом топливоподачи / А.Г.Кузнецов, В.А.Марков, В.Л.Трифонов и др. // Вестник МГТУ. Машиностроение. - 2000. - № 2. - С.62-74.

14. А.с. 1747738 СССР, МКИ F 02 М 59/00. Топливная система для дизельного двигателя / В.А.Горшков, М.С.Долганов, В.Л.Трифонов и др. // Изобретения. - 1992. - № 26. - С.132.

15. Патент № 2127814 РФ, МКИ F01D17/20. Система регулирования частоты вращения паровой машины / С.Р.Березин, А.Г.Кузнецов, В.Л.Трифонов и др. // Изобретения. - 1999. - № 8. - Ч.2. - С.412.

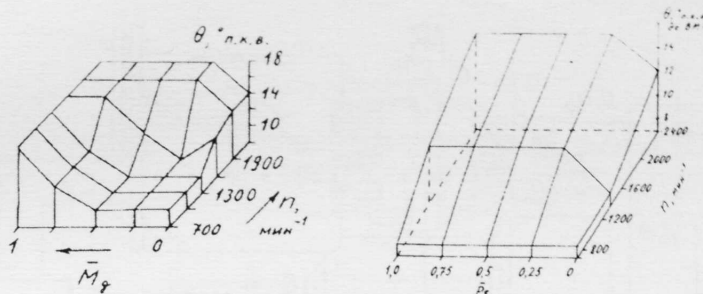


Рис.1. Базовые поверхности управления УОВТ

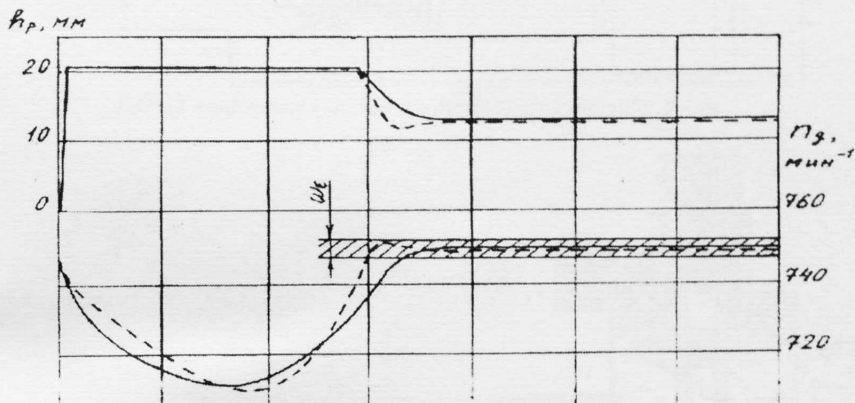


Рис.2. Переходные процессы дизель-генератора при набросе полной нагрузки

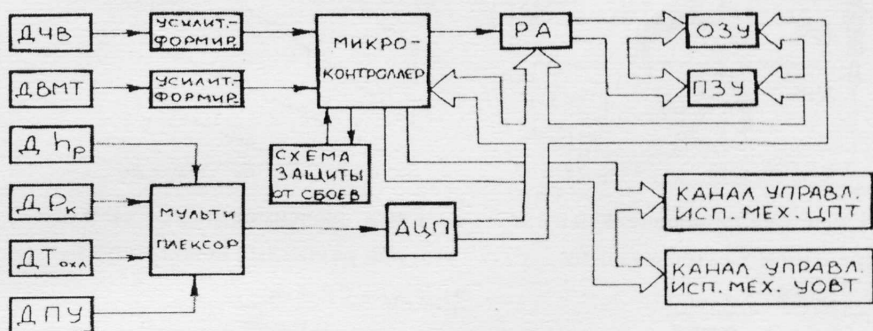


Рис.3. Структура электронного блока

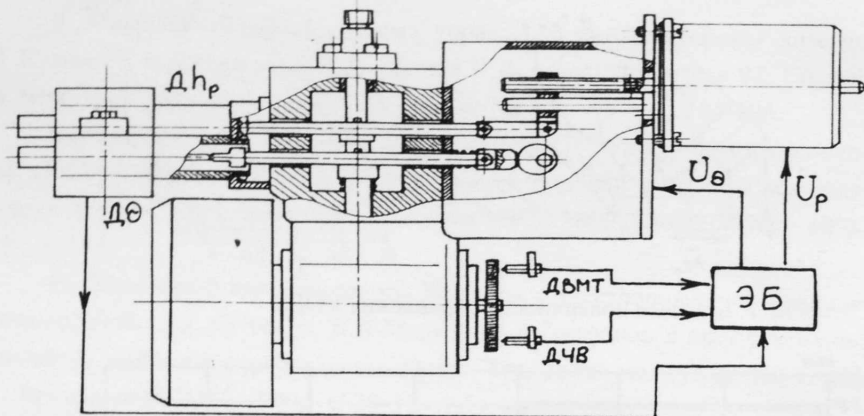


Рис.4. Система топливоподачи с двухречным ТНВД

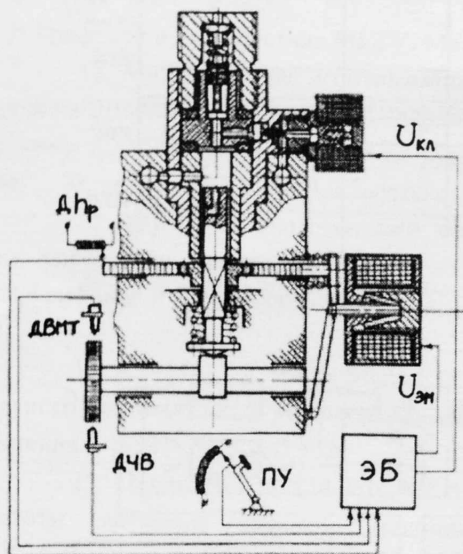


Рис.5. Система топливоподачи с э/м клапанами и электромагнитом

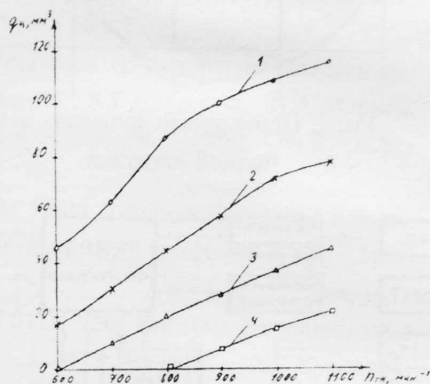


Рис.6. Зависимость $q_{\text{ц}}$ от ЧВ $n_{\text{тн}}$ при различных положениях h_p

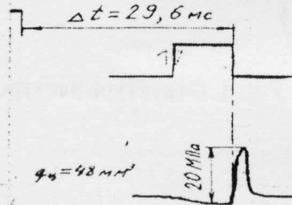
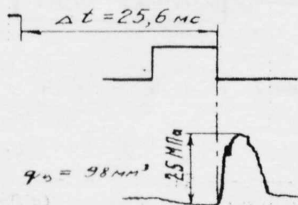


Рис.7. Осциллограммы давления впрыскивания при различных $\Delta t_{\text{закр}} \text{ клап}$

Заказ Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Подписано к печати .2000г.
Типография МГТУ им.Н.Э.Баумана