На правах рукописи

Тихомиров Михаил Витальевич

КОМПЛЕКС АЛГОРИТМОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ДИАГНОСТИКИ ДИЗЕЛЯ

Специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ярославский государственный технический университет» на кафедре двигателей внутреннего сгорания.

Научный руководитель:	**Хрящёв Юрий Евгеньевич**, доктор технических наук, профессор кафедры двигателей внутреннего сгорания ФГБОУ ВПО «ЯГТУ»
Официальные оппоненты:	**Корнилов Геннадий Сергеевич**, доктор технических наук, директор центра «Проектная команда» ФГУП «НАМИ»
	Сиротин Евгений Андреевич, кандидат технических наук, главный специалист ООО «Силовые агрегаты – Группа ГАЗ»
Ведущая организация:	ОАО «Научно-исследовательский институт двигателей» (ОАО «НИИД»)

Защита диссертации состоится «14» мая 2015 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 212.141.09 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, Рубцовская наб., д. 2/18, учебно-лабораторный корпус, ауд. 947Л.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просьба высылать по адресу: 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, ФГБОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю диссертационного совета Д 212.141.09.

Автореферат диссертации разослан « » марта 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент Тумашев Р.З.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Поскольку дизель является перспективным двигателем для автотранспортных средств (АТС), то улучшение его технико-экономических, экологических, эргономических и др. качеств является постоянной задачей, решение которой призвано обеспечивать их конкурентоспособность. Наиболее эффективно это может быть осуществлено с использованием электронного регулирования процессами впрыскивания топлива, нагнетания воздуха, утилизации отработавших газов и т.п. Алгоритмы управления двигателем, осуществляемые с помощью электронной системы управления (ЭСУ) позволяют сформировать оптимальные регуляторные характеристики и ввести необходимые корректирующие поправки, характер которых определятся назначением двигателя и условиями его работы. Анализ проблемы по литературным источникам, проведенный на момент начала разработки ЭСУ для отечественных автомобильных дизелей, показал, что комплексная информация о разработке алгоритмов управления практически отсутствует, и задача по методике их проектирования является актуальной.

Объект исследования

Объектом исследования является электронно-управляемый дизель.

Предмет исследования

Предметом исследования является алгоритмическое и программное обеспечение ЭСУ и системы диагностики дизеля.

Цель и задачи

Целью работы является улучшение качества дизеля, а именно: его экономичности, управляемости, эргономичности, а также повышению экологического уровня – благодаря разработке комплекса алгоритмов управления дизелем и системы его диагностики.

Указанная цель достигается решением следующих задач:

1. Математическое описание элементов ЭСУ частотой вращения дизеля, синтез САУ при использовании различных регуляторов (здесь и далее под «регуляторами» понимается только алгоритмическая часть ЭСУ в отличие от аппаратной);

2. Разработка комплекса алгоритмов управления дизелем с помощью ЭСУ;

МГТУ
им. Н.Э. БАУМАНА
БИБЛИОТЕКА

3. Разработка алгоритмов (программ) для управления, настройки и диагностики системы;

4. Разработка комплекса диагностики ЭСУ.

Положения, выносимые на защиту

1. Модифицированный регулятор частоты вращения с обратными связями по частоте вращения и по координате рейки;

2. Алгоритмы управления дизелем (алгоритм обработки сигналов датчиков, алгоритм преобразования управляющего сигнала, алгоритм автоматической аварийной защиты, алгоритм пуска и прогрева, алгоритм регулятора минимальной частоты вращения холостого хода, алгоритм корректирования, алгоритмы управления скоростью автомобиля и др.);

3. Алгоритмы диагностики ЭСУ дизелем (алгоритм диагностики по интерфейсу K-Line, алгоритм диагностики по интерфейсу CAN).

Методы исследования

Теоретические исследования проводились с использованием аппарата математической логики, методов системного анализа, теории управления, теории алгоритмов и структур данных, методов математического и имитационного машинного моделирования, методов математического программирования. Экспериментальные полунатурные и натурные испытания проведены с использованием теории планирования и обработки результатов эксперимента, математической статистики.

Научная новизна

Научная новизна работы заключается в следующем:

– впервые для автомобильного дизеля разработан и исследован оригинальный модифицированный ПИД-регулятор частоты вращения с обратными связями по частоте вращения и по координате рейки;

– разработаны алгоритмы управления вспомогательными функциями автомобильного дизеля;

– разработан диагностический комплекс и алгоритмы диагностики автомобильных электронно-управляемых дизелей.

Достоверность

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием аппарата математической логики, методов системного анализа, теории управления, теории алгоритмов и структур данных, методов математического программирования, а также результатами имитационного моделирования на ЭВМ и экспериментальных исследований.

Теоретическая и практическая ценность работы

Теоретическая ценность заключается в разработке новых алгоритмов управления автомобильным дизелем на основе оригинального модифицированного ПИД-регулятора. Предложенные алгоритмы и математическая модель используются при разработке новых систем управления дизелями, а также при настройке и диагностике электронных блоков управления в процессе изготовления и эксплуатации.

Реализация результатов работы

Разработанные алгоритмы, реализованные в электронной системе управления топливоподачей дизеля ЭСУ-1А прошли полный комплекс моторных (моторные боксы ОАО «ЯЗТА», ОАО «КАМАЗ», ОАО «ММЗ», НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ») и дорожных (автомобили МАЗ, КАМАЗ, Урал; автобусы ПАЗ, ЛиАЗ) испытаний. Электронная система управления ЭСУ-1А введена в серийное производство с 2007 г. для установки на двигатели ЯМЗ-656.10 и ЯМЗ-658.10.

Разработанный диагностический комплекс ДК-5 внедрен в серийное производство с 2009 г. в ООО «Электронная автоматика» (г. Ярославль).

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №80. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2005;
2. Международный симпозиум «Образование через науку» посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2005;
3. Международная конференция «Прогресс транспортных средств и систем – 2005». Волгоград (Волгоградский государственный технический университет), 2005;
4. Международная научно-техническая конференция «Современные проблемы развития поршневых ДВС, посвященная 75-летию кафедры судовых ДВС и дизельных установок». Санкт-Петербург (Санкт-Петербургский государственный морской технический университет), 2005;
5. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №81. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2006;

6. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №82. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2007;

7. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №83. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2008;

8. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №84. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2009;

9. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №86. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2011;

10. Всероссийский научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №89. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2014;

11. Шестьдесят седьмая региональная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль (ЯГТУ), 2014;

12. Всероссийская научно-техническая конференция по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. В.И. Крутова, заседание №90. Москва (МГТУ им. Н.Э. Баумана), 2015.

Публикации

Основные результаты диссертации отражены в 13 научных работах, в том числе 3 статьи в журналах, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов и заключения, списка литературы. Общий объем основного текста диссертации составляет 179 страницы, список литературы состоит из 185 наименований. В работе содержится 88 рисунков и 5 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении кратко охарактеризовано общее направление работы, определены теоретические положения и практические результаты, известные на момент начала разработки алгоритмов управления дизелем, какие целесообразно использовать для управления транспортным дизелем

с помощью вновь разрабатываемой электронной системы управления, намечены пути собственных исследований и разработок.

В первой главе «Состояние вопроса о современном управлении быстроходными дизелями» проведен анализ современного состояния проблем, связанных с построением алгоритмов управления дизелем и алгоритмов его диагностики, сформулирована цель и определены задачи исследования.

Отмечено, что современная теория систем автоматического регулирования (САР) частоты вращения автомобильного дизеля (АД) сформирована благодаря усилиям проф. В.И. Крутова, В.И. Толшина, И.В. Леонова, И.И. Кринецкого, Ф.И. Пинского. Большой вклад в изучение и разработку САР АД внесли Е.И. Блаженнов, И.Д. Долгих, В.А. Марков, В.И. Шатров, Ю.Е. Хрящев, С.Г. Драгомиров, С.Н. Девянин, А.Г. Кузнецов, Г.С. Корнилов и др.

Основные требования к качеству современного ДВС включают в себя: высокий КПД, высокую топливную экономичность, надежность, технологичность, соответствие международным стандартам на ограничения по токсичности вредных выбросов и уровню шума и др., чего невозможно достичь как без высокого уровня форсирования двигателей, так и без применения электронного регулирования частотой вращения и управления процессами впрыскивания топлива, нагнетания воздуха, утилизации отработавших газов и т.п. Рассмотрено устройство систем электронного управления автомобильными двигателями, современных систем топливоподачи дизелей в качестве исполнительных элементов ЭСУ, проблемы развития САР частоты вращения дизелей.

Современные автомобили все больше оснащаются электронными системами управления со встроенными системами самодиагностики, объединенными в единую сеть, которые позволяют определить техническое состояние отдельного устройства или системы в целом с помощью тестирования различных электронных систем и исполнительных механизмов и выявления их неисправностей. Рассмотрены способы диагностики ЭСУ, типы диагностического оборудования, физические интерфейсы и протоколы передачи данных.

Во второй главе «Разработка цифрового регулятора частоты вращения автомобильного дизеля» составлены математические модели цифрового регулятора частоты вращения дизеля и положения рейки плунжерного топливного насоса высокого давления (ТНВД). В качестве

регулятора частоты вращения рассмотрены классический ПИД-регулятор и предложен модифицированный ПИД-регулятор с обратными связями по частоте вращения и по координате рейки в явном виде:

$$h_k = h_{k-1} + K_P(\Omega_{k-1} - \Omega_k) + K_I(h_з - h_{k-1}) + K_D(2\Omega_{k-1} - \Omega_{k-2} - \Omega_k), \qquad (1)$$

и в неявном виде:

$$h_k = \frac{h_{k-1} + K_P(\Omega_{k-1} - \Omega_k) + K_I h_з + K_D(2\Omega_{k-1} - \Omega_{k-2} - \Omega_k)}{1 + K_I}, \qquad (2)$$

где $h_з$ – заданное положение рейки;

h_k, h_{k-1} – положение рейки ТНВД в момент времени k и $k-1$ соответственно;

Ω_k, Ω_{k-1}, Ω_{k-2} – текущее значение частоты вращения коленчатого вала двигателя в моменты времени k, $k-1$, $k-2$ соответственно;

K_P, K_I, K_D – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты соответственно.

Анализ, проведенный с помощью математических моделей с предлагаемыми регуляторами, показал, что основными причинами неустойчивости частоты вращения дизеля является запаздывание срабатывания исполнительного механизма и дискретизация информационных и управляющих сигналов по времени.

Численное моделирование системы автоматического регулирования частоты вращения привело к выводу, что настройка классического ПИД-регулятора существенно зависит от нагрузки и для обеспечения устойчивой работы системы требуется динамическая подстройка всех коэффициентов регулятора (Рис. 1). При использовании модифицированного ПИД-регулятора устойчивость управления зависит главным образом от градиентной характеристики рейки ТНВД и от величины нагрузки, при этом его настройки слабо зависят от нагрузки, что позволяет выбрать универсальные настройки, обеспечивающие устойчивую работу дизеля на всех режимах (Рис. 2). Использование неявной схемы для модифицированного ПИД-регулятора приводит к значительному уменьшению колебаний рейки ТНВД, что позволяет увеличить точность и быстродействие регулирования.

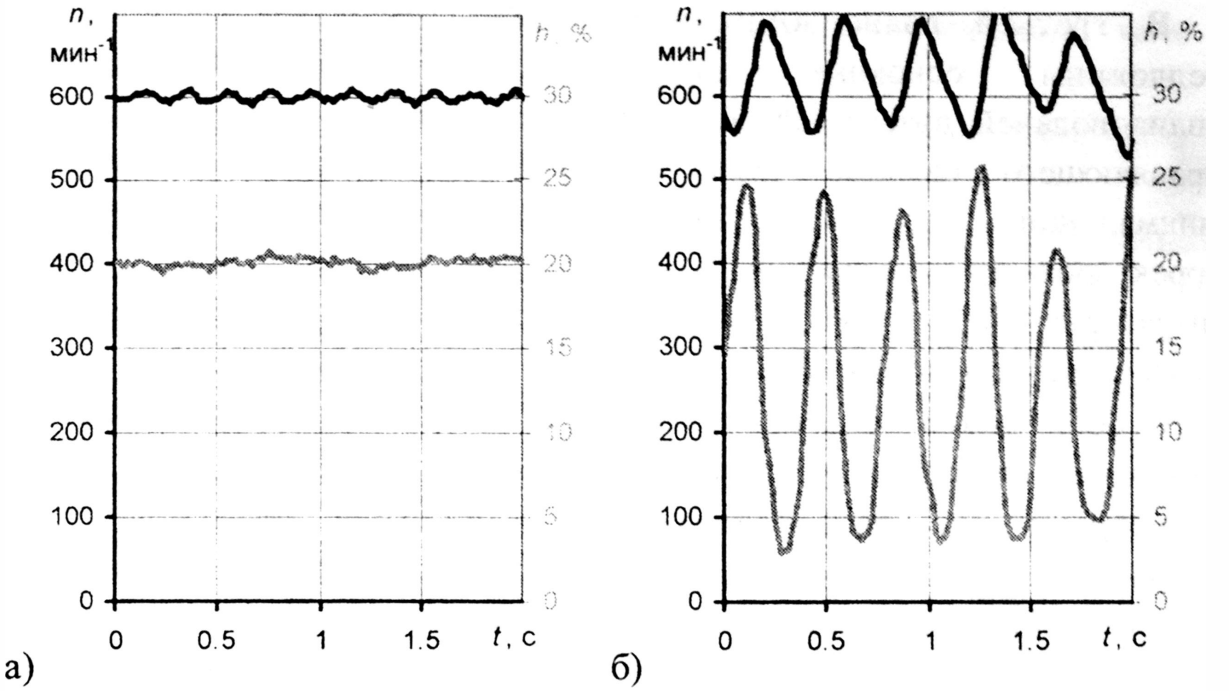

Рис. 1.

Результаты моторных испытаний классического ПИД-регулятора, явная схема (при постоянных коэффициентах):

а) работа под нагрузкой; б) режим холостого хода

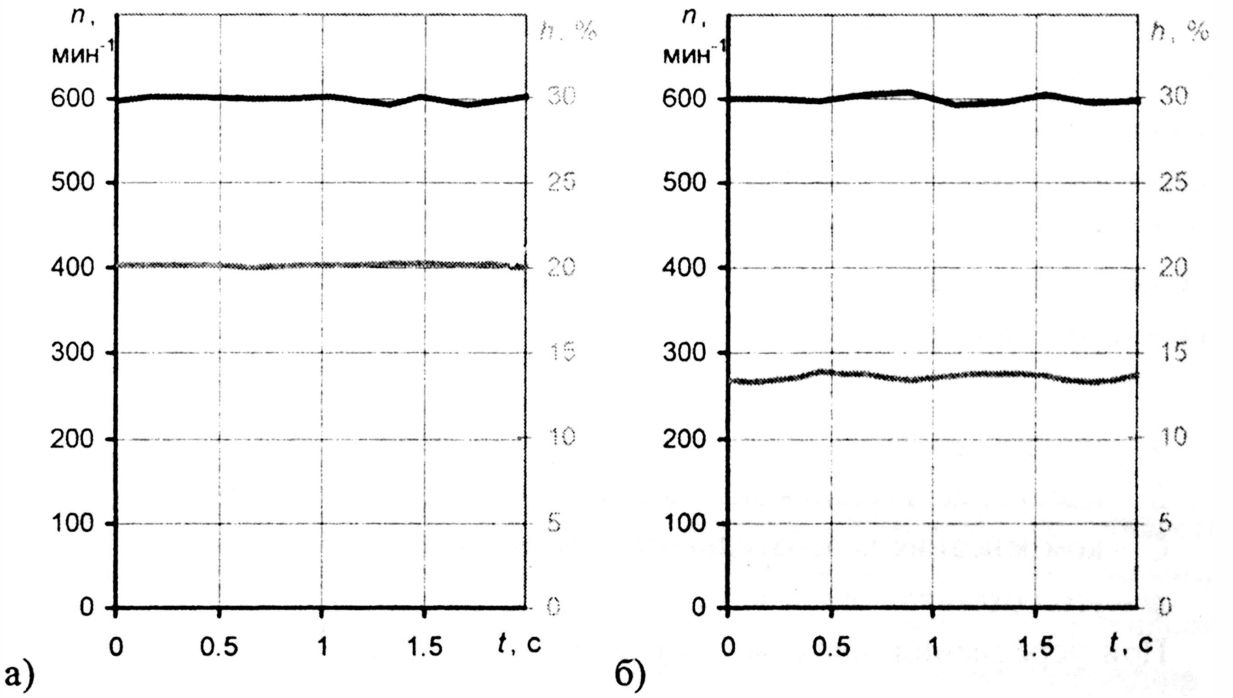

Рис. 2.

Результаты моторных испытаний модифицированного ПИД-регулятора, неявная схема (при постоянных коэффициентах):

а) работа под нагрузкой; б) режим холостого хода

В третьей главе «Алгоритмы функционирования ЭСУ ДВС» предложены основные алгоритмы функционирования ЭСУ топливоподачей дизеля: обработки сигналов датчиков, преобразования управляющего сигнала, пуска и прогрева двигателя, регулятора минимальной частоты вращения холостого хода, алгоритмы корректирования, управления скоростью автомобиля, управления дизель-генераторной установкой, автоматической аварийной защиты, управления режимом работы дизеля по внешней шине CAN (Controller Area Network).

Особое внимание уделено алгоритмам обработки дискретных и аналоговых сигналов датчиков ЭСУ, являющихся базовыми входными параметрами для всех последующих алгоритмов работы ЭСУ и влияющих, в конечном счете, на устойчивость частоты вращения двигателя. В результате спектрального анализа сигнала частоты вращения двигателя выявлены четыре вида колебаний: высокочастотные колебания с частотой $\Omega \cdot Z$ и амплитудой до 12 мин$^{-1}$, колебания с частотой $4 \cdot \Omega$ (КАМАЗ-740.60) или $1{,}5 \cdot \Omega$; $3 \cdot \Omega$; $4{,}5 \cdot \Omega$ (ЯМЗ-656.10) и амплитудой до 30 мин$^{-1}$, колебания с частотой Ω и амплитудой до 6 мин$^{-1}$, колебания с частотой $\Omega/2$ и амплитудой до 2 мин$^{-1}$.

Простое усреднение сигнала частоты вращения по некоторому промежутку времени, традиционно используемое в электронных системах управления, не приводит к улучшению регулирования, поскольку усреднение создает эффект запаздывания сигнала на полупериод усреднения, что ухудшает качество регулирования. В общем случае усредненное значение частоты вращения коленчатого вала двигателя Ω можно представить в виде:

$$\overline{\Omega} = A + B\varphi + C\cos\varphi, \tag{3}$$

где A – среднее значение частоты вращения на периоде усреднения;

B – изменение значения мгновенной частоты вращения на периоде;

C – компенсация колебательного изменения сигнала;

φ – угол отставания сигнала.

При усреднении частоты вращения за два оборота коленчатого вала двигателя:

$$A = \Omega_S,\ B = \frac{\Omega_0 - \Omega_4}{4\pi},\ C = 0,\ \varphi = 2\pi + \frac{\pi}{8} + \Delta t \cdot \Omega_0 \approx 2\pi + \frac{\pi}{8}, \tag{4}$$

где Ω_S – среднее значение частоты вращения коленчатого вала на интервале $[i\text{-}4\pi, i]$, Гц;

Ω_0 – среднее значение частоты вращения коленчатого вала на интервале $[i-\pi/4, i]$, Гц;

Ω_4 – среднее значение частоты вращения коленчатого вала на интервале $[i-4\pi-\pi/4, i-4\pi]$, Гц;

Δt – задержка, связанная со временем обработки сигнала и временем позиционирования исполнительного механизма, с.

Алгоритм показал приемлемые результаты при фильтрации сигнала частоты вращения коленчатого вала как двигателя КАМАЗ-740.60, так и ЯМЗ-656.10 (Рис. 3).

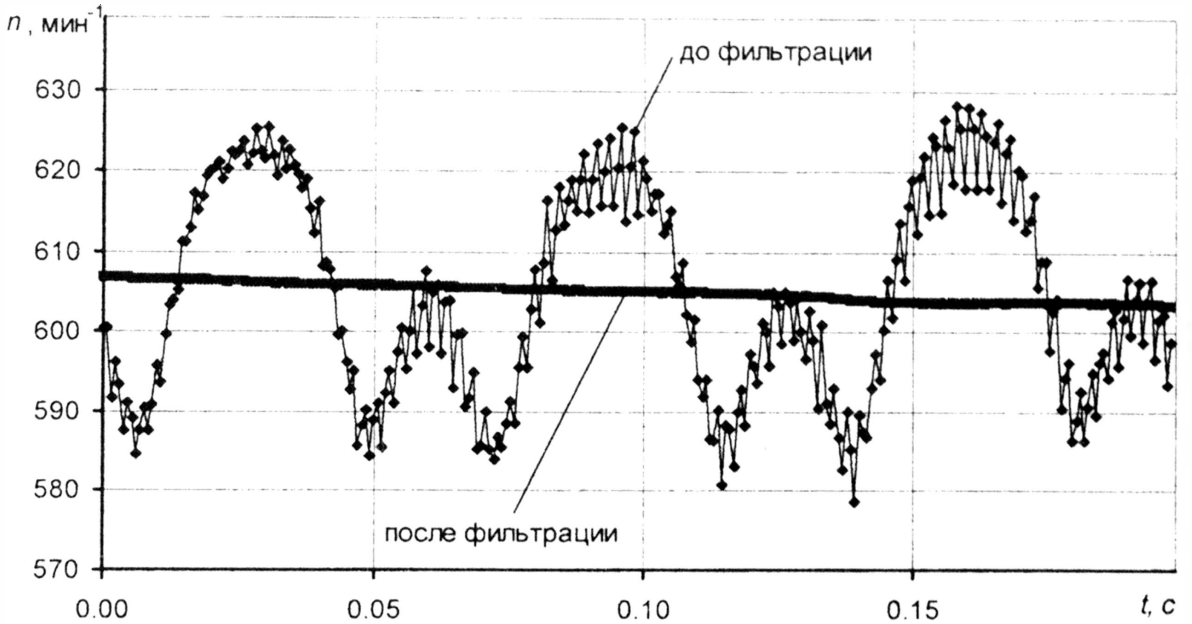

Рис. 3.

Сигнал частоты вращения коленчатого вала двигателя ЯМЗ-656.10

При рассмотрении алгоритмов управления скоростью автомобиля (функция ограничения скорости и функция «круиз-контроль») предложена оригинальная методика определения передаточного коэффициента коробки передач (КП), поскольку данная величина не является постоянной даже при движении на одной передаче во время разгона-торможения по причине наличия податливости реальной крутильной системы (большие люфты трансмиссии, проскальзывание сцепления и упругость элементов), в результате чего появляются колебания и существенное запаздывание реакции системы на изменения частоты вращения выходного вала КП от изменения частоты вращения коленчатого вала (Рис. 4).

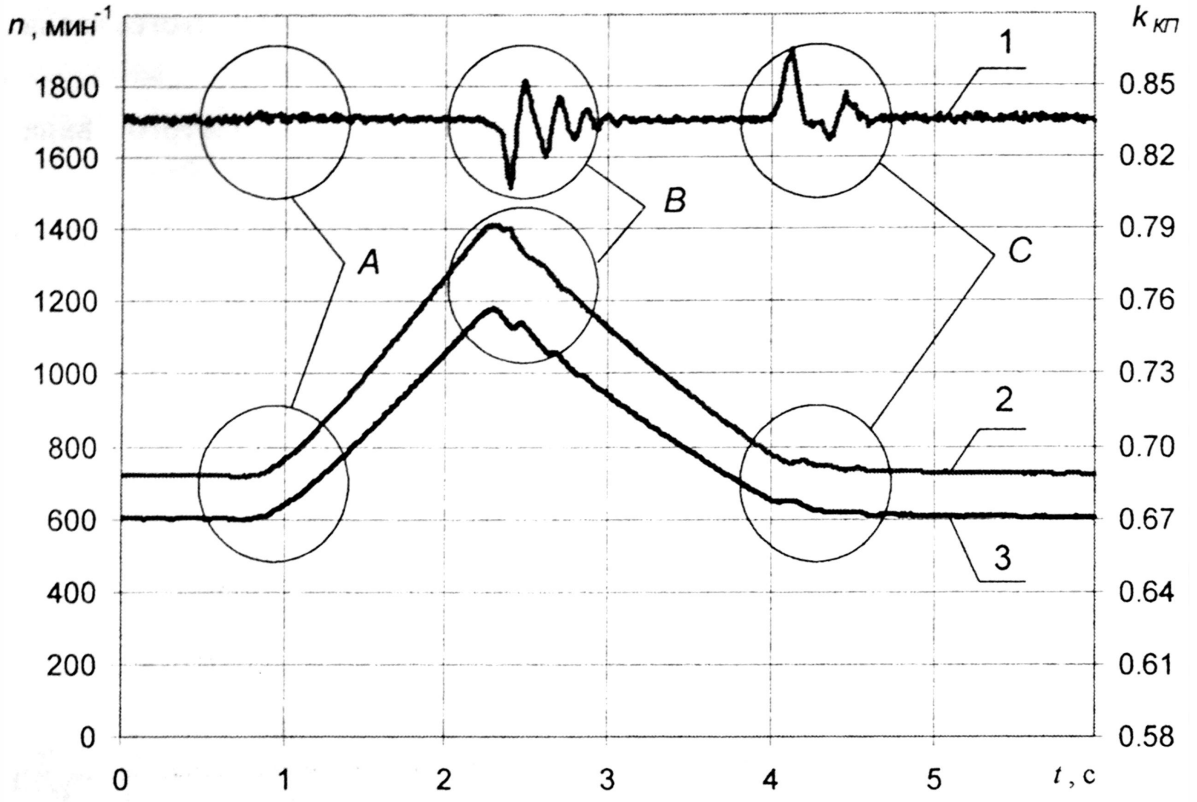

Рис. 4.

Колебание передаточного числа КП при разгоне-торможении автомобиля (КАМАЗ 6540, 5 передача, $k_{КП}$=0,83)

1 – передаточное число КП; 2 – частота вращения выходного вала КП; 3 – частота вращения коленчатого вала двигателя

На основании предлагаемых алгоритмов разработана программа «DieselControl», предназначенная для связи с электронным блоком управления, выполнения опытно-конструкторских и исследовательских работ при проектировании и настройке ЭСУ топливоподачей дизеля.

В четвертой главе «Алгоритмы функционирования ЭСУ аккумуляторных систем топливоподачи» предложены основные алгоритмы функционирования, характерные для ЭСУ топливоподачей аккумуляторного типа: определения момента начала впрыскивания, управления электромагнитными клапанами, управления давлением топлива в аккумуляторе. Все основные алгоритмы работы ЭСУ (регулятор частоты вращения, регулятор холостого хода, алгоритмы корректирования, алгоритм пуска, прогрева и др.) аналогичны ранее рассмотренной системе.

Момент начала впрыскивания (Рис. 5) вычисляется по сигналам фазового колеса, имеющего количество зубьев равное числу цилиндров дизеля плюс один для определения первого цилиндра. Тогда время задержки впрыска dt после прохода зуба фазового колеса (без учета величины гидравлической задержки впрыска):

$$dt = \frac{dt_Z \cdot Z \cdot (\alpha + \varphi)}{360}, \qquad (5)$$

где dt_z – время между смежными зубьями фазового колеса, с;

Z – число зубьев фазового колеса минус один (или число цилиндров);

α – угол опережения впрыска топлива;

φ – технологический угол между фронтом синхронизирующего импульса и ВМТ.

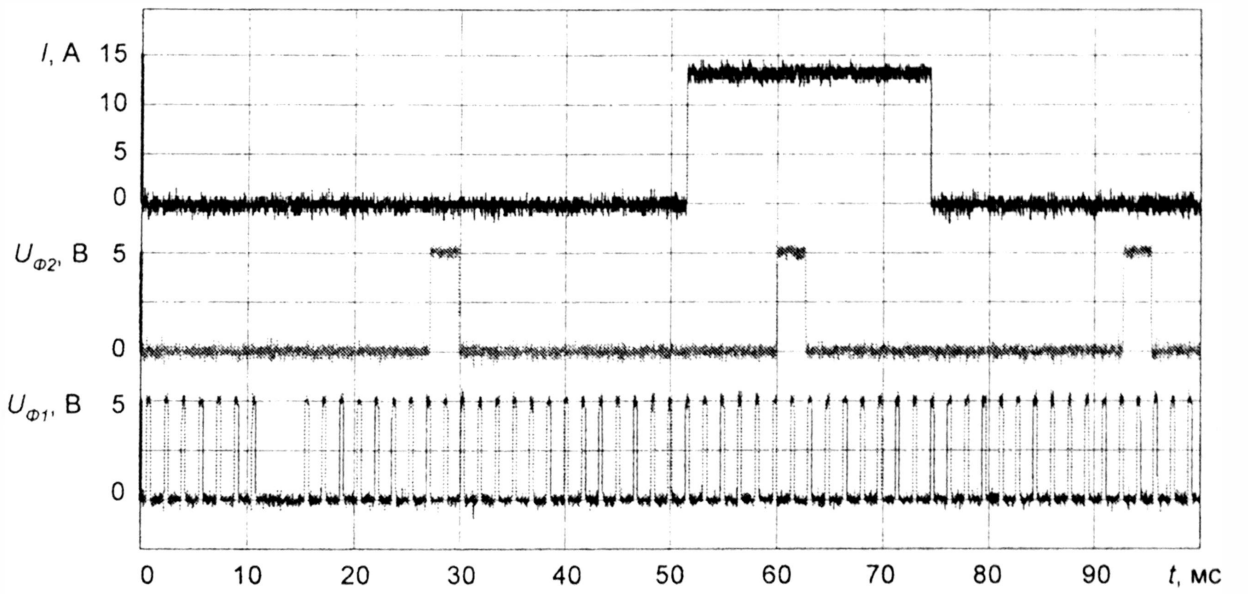

Рис. 5.

Осциллограмма базового впрыска

В качестве регулятора давления в аккумуляторе предложен классический ПИ-регулятор.

На основании предлагаемых алгоритмов разработана программа «DieselControlCR» для управления и настройки электронного блока управления.

В пятой главе «Диагностика ЭСУ дизеля» на основании предыдущих разработок предложен способ диагностики ЭСУ и разработан диагностический комплекс, состоящий из программного обеспечения и оборудования.

Оборудование диагностического комплекса представляет собой кабель-адаптер для подключения компьютера по USB интерфейсу к диагностической колодке OBD II двигателя или автомобиля (Рис. 6).

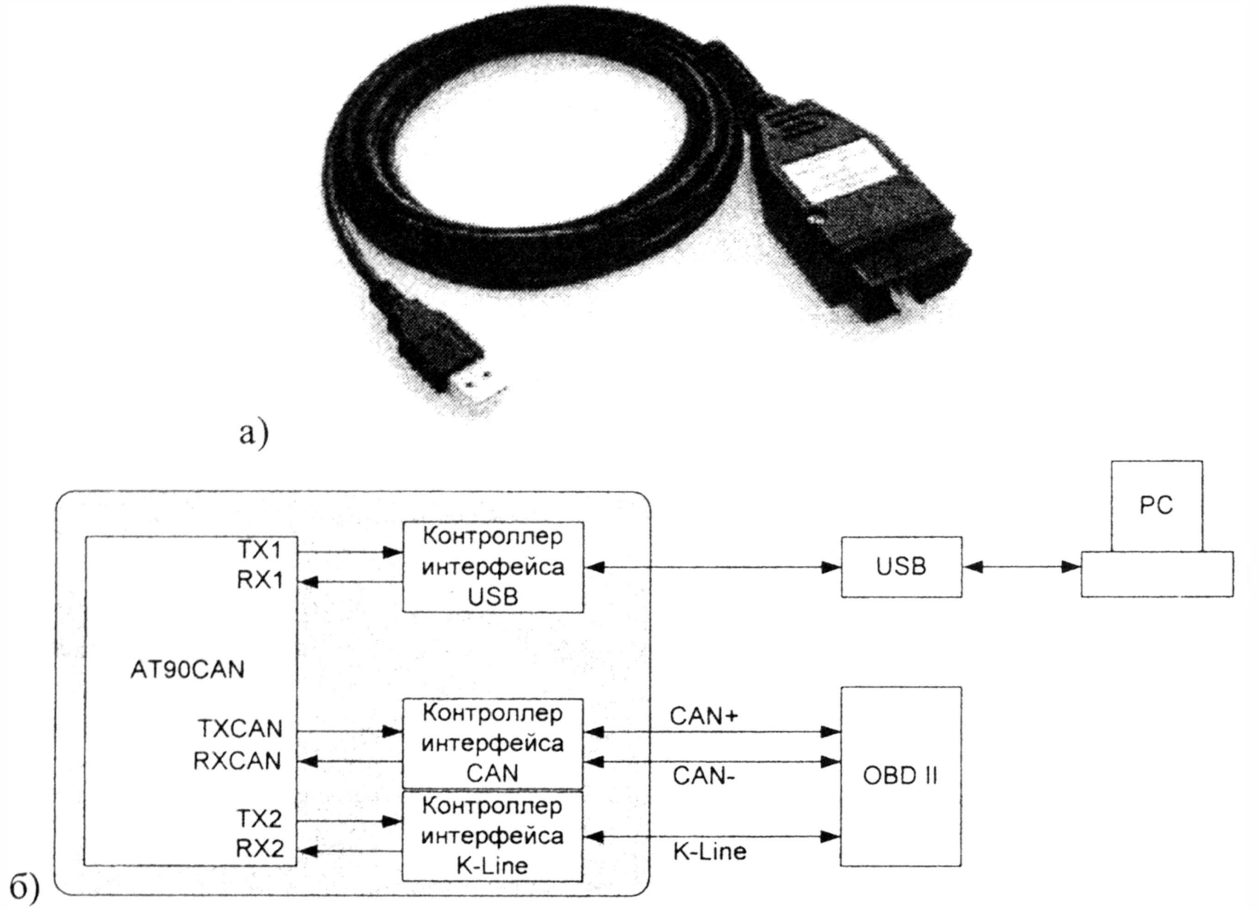

Рис. 6.
Диагностический кабель-адаптер ДК-5:
а) внешний вид; б) структурная схема

Разработаны алгоритмы взаимодействия диагностического комплекса с диагностируемым электронным блоком управления (ЭБУ) по интерфейсам K-Line (протокол передачи данных ISO 14230) и CAN (протокол передачи данных SAE J 1939), а также программа для микроконтроллера в кабель-адаптере, включающая в себя все алгоритмы, необходимые для подключения и обмена данными с диагностируемыми блоками управления; программа «EDCDiags» для проведения диагностики ЭСУ с компьютера (чтение ошибок, динамический мониторинг параметров, считывание паспорта ЭБУ, настройка некоторых алгоритмов, калибровка датчиков, проверка исполнительных механизмов и др.); программа «EDCFlasher» для перепрограммирования прошивки ЭБУ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основным результатом диссертации явилось создание алгоритмического и программного обеспечения системы управления и диагностики дизеля. Решены следующие задачи:

1. Составлена принципиальная схема системы автоматического регулирования частоты вращения, разработана модель электронного регулятора частоты вращения автомобильного дизеля, проведено численное моделирование и исследование системы регулирования частоты вращения дизеля;

2. Предложен модифицированный ПИД-регулятор частоты вращения дизеля в явном и неявном виде. Для данного вида регуляторов устойчивость слабо зависит от нагрузки, что позволяет выбрать универсальные настройки, обеспечивающие устойчивую работу двигателя на всех режимах. Использование неявной схемы для модифицированного ПИД-регулятора приводит к значительному уменьшению колебаний рейки ТНВД, что позволяет увеличить точность и быстродействие регулирования;

3. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для управления топливоподачей дизеля, включающее в себя все необходимые для управления топливоподачей дизеля алгоритмы;

4. Проведены моторные (моторные боксы ОАО «ЯЗТА», ОАО «КАМАЗ», ОАО «ММЗ», НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ») и дорожные (автомобили МАЗ, КАМАЗ, Урал, автобусы ПАЗ, ЛиАЗ) испытания всех разработанных алгоритмов. Моторные испытания показали, что с использованием алгоритмов комплексного корректирования топливоподачи улучшена эксплуатационная топливная экономность и уменьшена величина выбросов дыма, твердых частиц и продуктов неполного сгорания в ОГ. Дизели КАМАЗ-740.60-360, КАМАЗ-740.61-320, КАМАЗ-740.62-280, ЯМЗ-656.10 и ЯМЗ-658.10 с системой ЭСУ-1 и ЭСУ-1А удовлетворяют требованиям экологического стандарта уровня Euro-3 (Правила ЕЭК ООН №№49-04, 24-03) и прошли соответствующую сертификацию;

5. Электронная система управления топливоподачей дизеля ЭСУ-1А введена в серийное производство для установки на двигатели ЯМЗ-656.10 и ЯМЗ-658.10;

6. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для управления топливоподачей дизеля с топливоподающей системой аккумуляторного типа, включающее в себя все необходимые для управления топливоподачей дизеля алгоритмы. Проведена доводка алгоритмов во время лабораторных и стендовых испытаний алгоритмов на топливных стендах ОАО «ЯЗТА»;

7. Разработанные алгоритмы ЭСУ дизелем в составе соответствующей топливной аппаратуры позволяют получить выполнение норм по токсичности отработавших газов уровня Euro-4 (Правила ЕЭК ООН №№49-04, 49-05, 24-03) и Euro-5 (Правила ЕЭК ООН №№49-05, 24-03) с дальнейшим совершенствованием;

8. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для диагностики блоков ЭСУ двигателем. Разработанный диагностический комплекс позволяет диагностировать не только двигатель, но и другие системы автомобиля;

9. Разработанный комплекс диагностики внедрен в серийное производство с 2009 г в ООО «Электронная автоматика» (г. Ярославль) и в настоящее время используется отечественными и зарубежными сервисными службами;

10. Результаты исследования могут быть использованы при создании алгоритмов и программного обеспечения ЭСУ и диагностики транспортных и промышленных дизелей.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Антропов Б.С., Тихомиров М.В. Основные направления экономии топлива при эксплуатации автомобилей // Двигателестроение. 1999. № 3. С. 34-35. (0,06 п.л./0,03 п.л.)

2. Хрящев Ю.Е., Антошин Р.О., Тихомиров М.В. Уровень EURO-3 с системами ЭСУ-1 // Электроника и электрооборудование транспорта. 2006. №3-4. С. 10-11. (0,09 п.л./0,03 п.л.)

3. Тихомиров М.В., Овчинников С.В., Хрящёв Ю.Е. Разработка диагностического комплекса для электронной системы управления отечественных автомобильных дизелей // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2015. №1. С. 142-148. (0,4 п.л./0,2 п.л.)

4. Хрящев Ю.Е., Скурыгин Е.Ф., Тихомиров М.В. Об оптимизации алгоритмов регулирования частоты вращения коленчатого вала автомобильного дизеля // Международный симпозиум «Образование через науку»: Материалы докладов секции «Двигатели внутреннего сгорания». Отдельный выпуск. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. С. 101-102. (0,06 п.л./0,02 п.л.)

5. Хрящев Ю.Е., Скурыгин Е.Ф., Тихомиров М.В. Анализ устойчивости цифровых регуляторов частоты вращения автомобильного дизеля // Сборник научных трудов по проблемам двигателестроения, посвященный 175-летию МГТУ им. Н.Э. Баумана. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. С. 78-84. (0,6 п.л./0,3 п.л.)

6. Хрящев Ю.Е., Тихомиров М.В., Жаров А.В. Алгоритм ограничения максимальной скорости автомобиля, оснащенного МПСУ // Прогресс транспортных средств и систем – 2005. Материалы международной научно-практической конференции. Волгоград: РПК «Политехник», 2005. Т. 1. С. 398-399. (0,12 п.л./0,6 п.л.)

7. Хрящев Ю.Е., Скурыгин Е.Ф., Тихомиров М.В. Обеспечение устойчивости работы дизеля с помощью модифицированного ПИД-регулятора // Современные проблемы развития поршневых ДВС. Материалы межотраслевой научно-технической конференции. СПб: ГМТУ, 2005. С. 69-70. (0,09 п.л./0,03 п.л.)

8. Тихомиров М.В., Хрящев Ю.Е. Особенности алгоритмов управления дизель-генераторной установкой // Шестьдесят седьмая региональная научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2014. Ч. 1. С. 408. (0,06 п.л./0,03 п.л.)

9. Анализ методов автоматической диагностики транспортных дизелей / М.В. Тихомиров [и др.] // История и перспективы развития транспорта на севере России: Сб. научн. статей. Ярославль: Изд-во «Принтхаус», 2012. С. 110-123. (0,6 п.л./0,1 п.л.)

10. Хрящёв Ю.Е., Тихомиров М.В., Епанешников Д.А. Алгоритмы управления двигателями внутреннего сгорания: монография. Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2014. 204 с. (12 п.л./4 п.л.)

11. Топливный насос высокого давления автомобильного дизеля. Патент РФ №2230213 / М.В. Тихомиров [и др.]; зарег. 10.06.2004. Бюл. №16.

12. Тихомиров М.В. Система автоматического управления топливоподачей дизеля «DieselControl». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614676, 06.05.2014.

13. Тихомиров М.В. Оболочка «DieselControl». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014614790, 07.05.2014.

Подписано в печать 9.03.2015 г.
Печ. л. 1. Заказ 196 Тираж 100.
Отпечатано в Издательском доме
Ярославского государственного технического университета
г. Ярославль, ул. Советская, 14 а, тел. 30-56-63.