


*На правах рукописи*



**Валова Татьяна Сергеевна**

**МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩЕЙ  
СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ  
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Специальность: 05.11.16 – информационно-измерительные  
и управляющие системы (в технических системах)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань – 2018

Работа выполнена на кафедре математических и естественнонаучных дисциплин федерального государственного казённого военного образовательного учреждения высшего образования «Рязанское высшее воздушно-десантное ордена Суворова дважды Краснознамённое командное училище имени генерала армии В. Ф. Маргелова» Министерства обороны Российской Федерации

#### **Научный руководитель:**

кандидат технических наук, профессор **Гармаш Юрий Владимирович**, профессор кафедры «Математических и естественнонаучных дисциплин» Рязанского высшего воздушно-десантного командного училища имени генерала армии В.Ф. Маргелова (РВВДКУ) Министерства обороны РФ

#### **Официальные оппоненты:**

**Козловский Владимир Николаевич**, доктор технических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», г. Самара, заведующий кафедрой «Теоретическая и общая электротехника»;

**Абрамов Алексей Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационно-измерительной и биомедицинской техники» ФГБОУ ВО Рязанский государственный радиотехнический университет

#### **Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», г.Москва.

Защита диссертации состоится «23» марта 2018 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д212.211.04 в ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет» и на официальном сайте университета [www.rsreu.ru](http://www.rsreu.ru).

Автореферат разослан: «\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
д.т.н., доцент



Г.В. Овечкин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Системы управления двигателем внутреннего сгорания (ДВС) имеют быстроедействие, ограниченное временем срабатывания механической части – электромагнитных форсунок. При этом впрыск топлива имеет неоспоримые преимущества по сравнению с карбюраторным принципом смесеобразования. В первую очередь, это более точное дозирование топлива, а, следовательно, большая экономичность и приемистость автомобиля, а также меньшая токсичность отработавших газов. Однако основная исполнительная деталь системы впрыска - форсунка - работает в тяжелых условиях и поэтому весьма требовательна к обслуживанию. Дозирование количества топлива зависит от длительности электрического импульса, подаваемого в обмотку электромагнита форсунки электронной системой управления. Длительность электрического импульса управления форсункой рассчитывается микроконтроллером электронной системы управления двигателя (ЭСУД) в зависимости от сигналов датчиков: величины открытия дроссельной заслонки, температуры воздуха, температуры двигателя, оборотов двигателя, нагрузки и других. Следовательно, для работы форсунки необходимы точные регулировки управляющих ее работой напряжений.

Стабильность показателей форсунки в значительной мере определяется быстроедействием ее клапана. По этой причине при разработке быстроедействующих электромагнитов уменьшение времени срабатывания и времени отпускания является первоочередной проблемой.

В известных работах отмечается, что при функционировании на обедненных смесях и на высоких частотах вращения коленчатого вала ДВС время срабатывания должно быть порядка 0,3 мс. Следовательно, работа, посвящённая регулированию времени срабатывания времени электромагнитной форсунки в зависимости от режимов работы двигателя, является актуальной.

**Степень разработанности.** Вопросом, связанным с разработкой управляющих систем впрыска топлива ДВС занимались: Ермаков В.В., Пионтковская С.А., Патрин А.Н., Меркушов Ю.Н., Белов А.Б., Тер-Акопов А.К., Буль Б.К., Любчик М.Н., Акимов С.В., Ютт В.Е. и др. В подобных системах предусмотрена коррекция времени срабатывания электромагнитной форсунки по напряжению питания и по температуре охлаждающей жидкости во время прогрева двигателя, а также по температуре воздуха на впуске. Форсунки открываются автоматически и осуществляют дозирование и распыливание топлива. Однако, на высоких оборотах двигателя наблюдается нестабильность в работе электромагнитных форсунок, связанное с ограниченным временем вклю-

чения, что приводит к увеличению расхода топлива и к ухудшению экологических характеристик ДВС.

**Объект исследования:** управляющая система впрыска топлива ДВС.

**Предмет исследования:** управляющая система впрыска топлива ДВС с адаптивным управлением.

**Цель исследования** – разработка управляющей системы впрыска топлива ДВС, обладающей высокими эксплуатационными характеристиками.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решены следующие взаимосвязанные **задачи:**

1) выполнен анализ состояния проблем электронной управляющей системы впрыска топлива ДВС;

2) обоснован эффективный по эксплуатационным характеристикам алгоритм управления впрыском топлива ДВС;

3) исследованы пути совершенствования существующих управляющих систем, улучшены их технические и эксплуатационные характеристики, разработан новый принцип построения управляющей системы впрыска топлива ДВС;

4) разработан адаптивный преобразователь параметров электрической энергии для электронной управляющей системы впрыска топлива ДВС;

5) проведено экспериментальное исследование преобразователя параметров электрической энергии для электронной управляющей системы впрыска топлива ДВС.

**Теоретические основы исследования.** Диссертационное исследование проведено на основе формирования новых положений и научной аргументации в области улучшения эксплуатационных характеристик системы управления быстродействующими электромагнитами. При выполнении работы использованы методы математического моделирования, а также численные методы, в том числе, аппарат дифференциальных и алгебраических уравнений, операционного исчисления с применением традиционных способов их решения на базе разработанных алгоритмов.

**Научную новизну** исследования составляют:

1. Математическая модель построения управляющей системы впрыскивания топлива ДВС, отличающаяся широким диапазоном напряжений, превышающих номинальные, позволяющая регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки.

2. Принципы построения управляющей системы впрыскивания топлива, содержащей управляемый повышающий преобразователь

напряжения, позволяющий регулировать выходное напряжение в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС.

3. Технические решения построения управляющей системы впрыскивания топлива ДВС, позволяющие регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки в зависимости от режимов работы ДВС.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Математическая модель построения системы впрыскивания топлива ДВС, отличающаяся широким диапазоном напряжений в пределах, превышающих номинальные до двух раз и позволяющая регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки в зависимости от режимов работы ДВС.

2. Устройство управления электромагнитными форсунками, позволяющее регулировать выходное напряжение в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС с помощью адаптивного повышающего преобразователя напряжения, что снижает расход топлива на 4-6%, особенно на высоких оборотах.

3. Технические решения построения систем управления впрыском топлива ДВС, с помощью которых можно регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки в диапазоне 0,2-1 мс, что позволяет улучшить экологию работы ДВС.

#### **Практическая значимость исследования:**

– разработанные научные положения, предложенные конструктивные и технологические решения для электронной системы управления впрыскиванием топлива автомобилей, содержащие адаптивный повышающий преобразователь параметров электрической энергии, напряжение которого обеспечивает снижение времени срабатывания электромагнитной форсунки, значительно улучшающие эксплуатационные характеристики ДВС, которые могут быть использованы при создании новых образцов автомобильной техники и при модернизации эксплуатируемых автомобилей;

– обоснованы новые принципы функционирования управляющих систем, улучшены их технические, эксплуатационные, экономические и эргономические характеристики, отличающиеся учётом режимов работы ДВС, в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, позволяющие изменять время срабатывания форсунки.

**Достоверность** обеспечивается соответствием результатов теоретических и экспериментальных исследований, их уровнем и глубиной, адекватностью математической модели системы управления быстросрабатывающими электромагнитами для системы впрыскивания то-

плива автомобилей и экспериментальными данными, устройство защищено патентами РФ.

**Апробация результатов исследования:** результаты исследования опубликованы в 17 работах, в том числе в 1 монографии, в 5 работах их перечня ВАК для кандидатских и докторских диссертаций, 2 патентах Российской Федерации, результаты исследования апробированы на 2 внутривузовских, 1 всероссийской и 6 международных конференциях.

**Внедрение результатов исследования.** Результаты исследований внедрены в учебный процесс Рязанского высшего воздушно-десантного командного училища (военного института) и Негосударственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Современный технических институт», испытания адаптивной системы впрыскивания топлива проведено в обществе с ограниченной ответственностью «Элком» г. Москва. По результатам испытаний принято решение об использовании устройства управления форсунками на эксплуатируемых автомобилях, а также рекомендовано его серийное производство.

**Личный вклад автора** состоит в разработке принципов управления быстродействующими электромагнитами и научных основ построения системы впрыскивания топлива автомобилей, теоретическом обосновании необходимых для получения рациональных характеристик системы впрыскивания топлива автомобилей закономерностей изменения питающих напряжений, разработке и исследовании технических решений по применению адаптивных импульсных преобразователей параметров питающих напряжений, реализующих полученные закономерности, разработке эффективных электрических схем электропитания, улучшающих и стабилизирующих эксплуатационные характеристики системы впрыскивания топлива автомобилей, разработке технических решений и рекомендаций по применению систем электропитания в системы впрыскивания топлива автомобилей, подтвержденных патентами РФ.

**Структура и объем диссертации:** диссертация содержит 135 страниц основного текста и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 104 наименований и приложений.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** раскрывается актуальность темы, определяются объект, предмет, цель, проблемы и задачи исследования, характеризуется научная новизна исследований, их теоретическая и практическая значимость, представлены положения, выносимые на защиту.

**Первая глава** посвящена изучению видов систем управления

быстродействующих электромагнитов на примере электромагнитных форсунок. Главная задача электромагнитной форсунки – распылить топливо на мелкие частицы в нужном месте впускного воздушного тракта или непосредственно в цилиндрах двигателя. Стабильность показателей форсунки в значительной мере определяется быстродействием ее клапана. По этой причине при разработке быстродействующих электромагнитов уменьшение времени срабатывания и времени отпущения является первоочередной проблемой.

Сравнительные характеристики современных электромагнитных форсунок, устанавливаемые на двигатели автомобилей семейства ВАЗ и их аналогов приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительные характеристики электромагнитных форсунок

Тип форсунки	Время открытия tоткр, мс	Время закрытия tзакр, мс	Высота подъема клапана hкр, мкм
GM	1,6	0,8	0,50
Bosch EV 1.3	1,55	0,8	0,50
Siemens DK 1 D	1,5	0,8	0,30
Bosch EV 1.4	1,22	0,75	0,30
Bosch EV 1.4 с устройством управления	0,2	0,75	0,30

Важным моментом в работе форсунки является также необходимость обеспечения постоянства величины подачи топлива от цикла к циклу (стабильность работы). При этом суммарное время открытия и закрытия форсунки не должно превышать 5 мс. Выход за границы этого периода может привести к перегреву электромагнита и как следствие к нестабильной работе форсунки или же полной потери ее управляемости. Нарушения стабильности работы также могут возникать при недостатке смазки в трущихся парах. Как известно бензин, в отличие от дизельного топлива, не обладает столь хорошими смазывающими свойствами, что и обуславливает возможные проблемы в работе бензиновых форсунок. Для исключения подобных неисправностей необходимо тщательно прорабатывать конструкцию электромагнитного привода.

Неотъемлемой частью автомобильного электрооборудования является система электропитания, основное назначение которой состоит в преобразовании входных напряжений и токов, необходимых для работы различных устройств и вспомогательного оборудования. В процессе проектирования система электроснабжения не поддается изменениям, варьируются параметры её параметры и нагрузки.

Работа электромагнитных форсунок при больших оборотах двигателя не является достаточно стабильной, поэтому необходима кор-

рекция времени срабатывания электромагнитной форсунки по напряжению питания.

Вследствие вышеизложенного, целью дальнейшего исследования является разработка, теоретическое обоснование и экспериментальное исследование управляющей системы впрыскивания топлива двигателя внутреннего сгорания, включающей преобразователи параметров электрической энергии системы. В стандартную ЭСУД I (рисунок 1) дополнительно введён разработанный автором блок II, содержащий схему управления и повышающий преобразователь, которые позволяют регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки в зависимости от режимов работы ДВС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие взаимосвязанные задачи:

- 1) обосновать структуру управляющей системы впрыскивания топлива ДВС;

- 2) разработать адаптивный преобразователь параметров электрической энергии для системы впрыскивания топлива, изменяющий выходное напряжение в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС;

- 3) провести экспериментальное исследование преобразователя параметров электрической энергии для системы впрыскивания топлива.

**Вторая глава** посвящена теоретическому обоснованию и выбору структуры управляющей системы впрыскивания топлива ДВС, а также способов регулирования времени срабатывания быстродействующими электромагнитами. Указанная регулировка может быть достигнута включением в цепь питания форсунок повышающего преобразователя параметров электрической энергии, управляемого сигналом с датчика импульсов ДВС.

С целью оценки возможности регулирования времени срабатывания форсунки, рассмотрим возможность использования математической модели в виде последовательного контура  $RL$  – цепи (электромагнитной форсунки), подключенного к выходу преобразователя электрической энергии (конденсатору  $C$ ) (рисунок 2).

Следовательно, эквивалентная цепь, замещающая электромагнитную форсунку, подключенную к выходу преобразователя, представляет собой последовательный колебательный контур. Ключ, включённый в контур, представляет собой выходной каскад ЭСУД и замыкается по сигналу управления, формируемого ЭСУД. При замыкании ключа срабатывает электромагнитная форсунка, обеспечивая впрыск топлива.



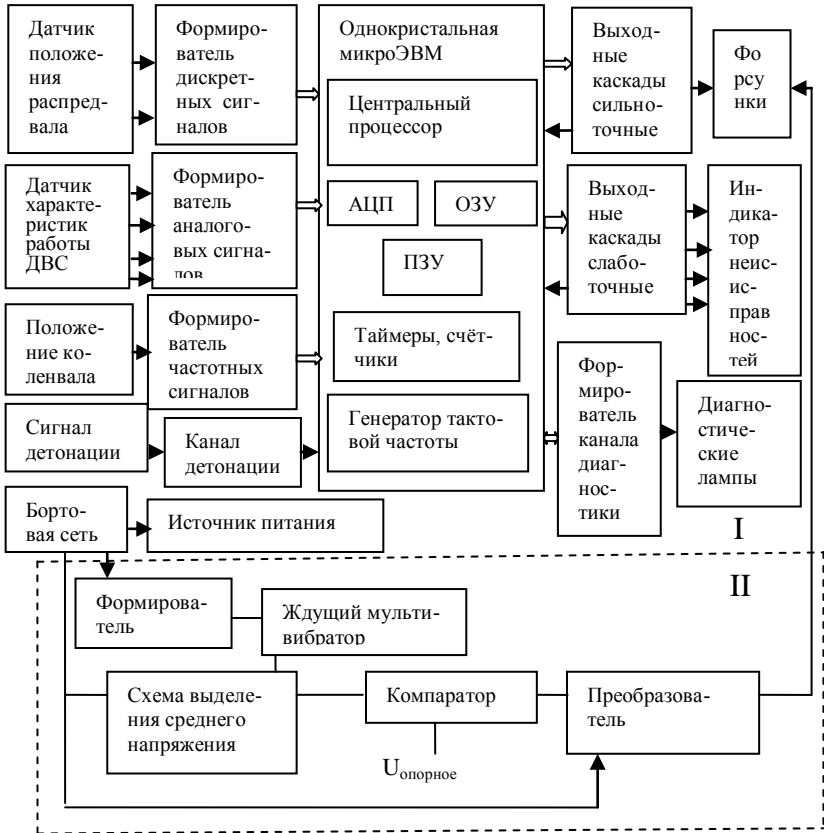


Рисунок 1 – Электронная схема системы управления двигателем: I - принципиальная схема электронной системы управления двигателем, II - Электрическая функциональная схема блока управления временем срабатывания.

При замыкании ключа в цепи, изображённой на рисунке 2, возникают затухающие колебания, при которых сила тока меняется по закону:

$$i(t) = I_m e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi), \quad (1)$$

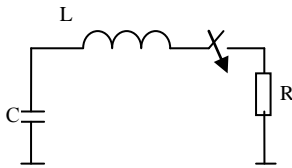


Рисунок 2 - Эквивалентная схема замещения электромагнитной форсунки при подключении к заряженной ёмкости

электромагнитной форсунки при её питании от заряженного конденсатора. Введем новые обозначения:  $a=3A\beta^2/(A\beta^3+\omega^3)$ ,  $b=6(A\beta-\omega)/(A\beta^3+\omega^3)$ ,  $c=6A/(A\beta^3+\omega^3)$ ,

$$A = \frac{I \sqrt{L/C}}{U_C(0)} : y = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}},$$

где  $p = -a^2/3 + b$ ,  $q = 2a^2/27 - ab/3 + c$ .

Если система питается от источника постоянного напряжения, то зависимость силы тока от времени будет иметь вид:

$$i(t) = \frac{E}{R_k} (1 - \exp(-t/\tau_k)) = I_{mp}, \text{ где } \tau_k = R/L.$$

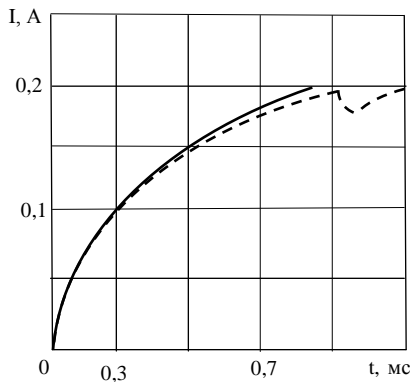


Рисунок 3 – Зависимость силы тока от времени

где  $\beta=R/2L$  – коэффициент затухания,  $\omega = 1/\sqrt{LC}$  – циклическая частота.

Решая уравнение (1) и учитывая следующие начальные условия:

- 1)  $t = 0, i(0) = 0$ ;
- 2)  $t = 0, U_c(0) = \text{const}$  - начальное напряжение на конденсаторе, возможно оценить время срабатывания

Решение данного уравнения имеет вид:

$$t = \tau_k \cdot \ln(E/(E - I_{tr}R_k)), \text{ где } E - \text{напряжение бортовой сети } E = 12 \text{ В, } R_k - \text{активное сопротивление катушки.}$$

Оценим время срабатывания в обоих случаях.

На рисунке 3 сплошной линией

показана теоретическая зависимость нарастания тока в электромагнитной форсунке от времени, а пунктирной - экспериментальная зависимость при том же значении напряжения. Из анализа рисунка 3 следует, что отличие теоретической зависимости от экспериментальной составляет менее 5 %, что доказывает адекватность математической модели.

Таким образом обосновано первое положение, выносимое на защиту.

**В третьей главе** на основании полученных результатов теоретических исследований предложены конкретные технические решения по разработке устройства управления электромагнитными форсунками, что подтверждается патентами РФ. При увеличении скорости вращения коленчатого вала двигателя внутреннего сгорания уменьшается интервал времени, в течение которого должен быть произведён впрыск топлива. Для времени срабатывания в первом приближении, должно выполняться соотношение:

$$t_{\text{ср}} = k \cdot 60/n,$$

где  $n$  - частота вращения коленчатого вала, об/мин;  $k$  - коэффициент пропорциональности.

Поскольку на высоких оборотах ДВС следует уменьшать время срабатывания электромагнитной форсунки, то очевидно преобразователь параметров электрической энергии должен быть повышающим. С целью регулирования времени срабатывания электромагнитной форсунки следует ввести управление преобразователем в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС. Функциональная схема

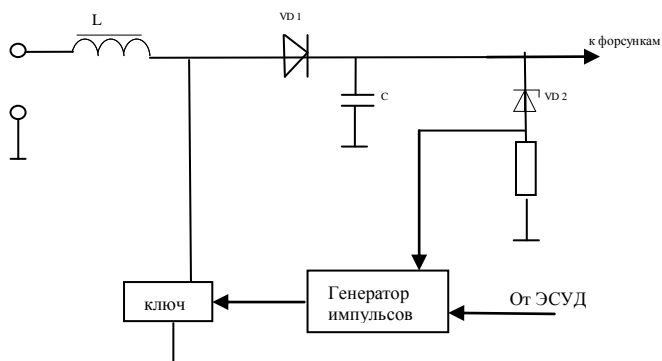


Рисунок 4 – Функциональная схема адаптивного преобразователя параметров электрической энергии

адаптивного преобразователя параметром электрической энергии показана на рисунке 4.

На генератор прямоугольных импульсов поступает сигнал от электронной системы управления двигателем, разрешающий генерирование, периодически открывается ключ и, при открытом ключе, в индуктивности запасается энергия.

При закрывании ключа ток индуктивности протекает через диод VD1 и заряжает конденсатор С.

Процесс повторяется, и напряжение на конденсаторе возрастает. Диод VD1 не дает разрядиться конденсатору С на бортовую сеть. Напряжение возрастает до тех пор, пока не пробьётся стабилитрон VD2 и генерация срывается, при этом напряжение на выходе генератора станет равным нулю. Заряд конденсатора С прекращается. Таким способом осуществляется защита от перенапряжения.

Управление напряжением, до которого следует заряжать конденсатор С в рабочем режиме осуществляется по сигналу от ЭСУД и зависит от режима работы двигателя. Таким способом реализуется необходимая зависимость времени срабатывания форсунки от частоты вращения коленчатого вала ДВС, что снижает расход топлива на 4-6%.

Таким образом обосновывается второе положение, выносимое на защиту.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований по оценке эксплуатационных характеристик устройства управления быстродействующими электромагнитами с адаптивными системами электрооборудования и обосновано третье положение, выносимое на защиту.

На рисунке 5 представлена функциональная схема блока управления временем срабатывания. В блоке управления, представленном на рисунке 5, реализована линейная зависимость времени срабатывания от частоты вращения коленчатого вала. Возможны случаи, когда потребуются другой вид этой зависимости. Схема, представленная на рисунке 5, позволяет реализовать любую зависимость времени срабатывания электромагнитной форсунки от скорости вращения коленчатого вала, если в схеме выделения среднего значения напряжения использовать нелинейные элементы. Нелинейная зависимость времени срабатывания от скорости вращения коленчатого вала может потребоваться, например, для снижения выбросов токсичных веществ в атмосферу (что определяется среди прочих параметров и качеством и типом топлива).

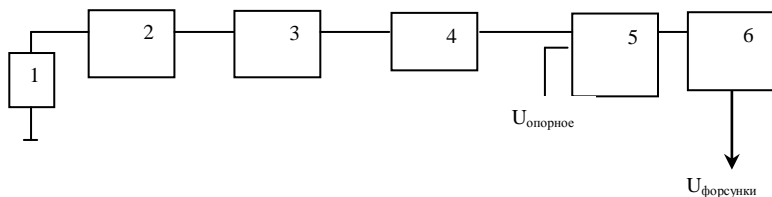


Рисунок 5 – Функциональная схема блока управления временем срабатывания: 1- датчик импульсов, 2 - формирователь, 3 - ждущий мультивибратор, 4 - схема выделения среднего напряжения, 5 - компаратор, 6 - преобразователь.

С целью подтверждения возможности регулирования времени срабатывания электромагнитной форсунки были проведены экспериментальные исследования времени срабатывания от параметров форсунки и приложенного напряжения.

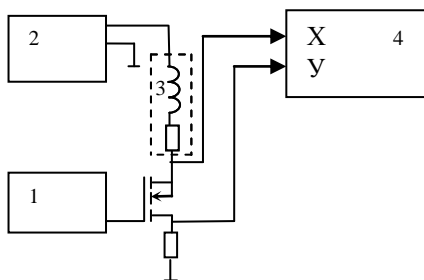


Рисунок 6 – Схема экспериментальной установки: 1 – источник, 2 – генератор, 3 – электромагнитная форсунка, 4 – осциллограф.

Функциональная электрическая схема установки для исследования времени срабатывания форсунки показана на рисунке 6. От генератора поступают импульсы прямоугольной формы на затвор полевого транзистора. При положительном напряжении на затворе транзистор открывается, подключая форсунку к выходу преобразователя. Напряжение, прямо пропорциональное току форсунки, поступает с сопротивления в цепи истока полевого транзистора на вход У осциллографа в первом положении переключателя. Запуск развертки осциллографа происходит фронтом импульса, поступающего на вход Х. Напряжение источника устанавливается равным напряжению бортовой сети (13,5 В), и его величина считывается с выходного индикатора источника питания.

Выходное напряжение преобразователя параметров электрической энергии контролируется с помощью осциллографа во втором положении переключателя. В ходе эксперимента использовались раз-

личные электромагнитные форсунки, сопротивление которых лежат в диапазоне 12 – 16 Ом. Проводилась серия экспериментов, в ходе которых последовательно с форсункой с сопротивлением  $R$  подключались различные дополнительные сопротивления. Исследовалась зависимость времени срабатывания  $t$  от величины  $U/R_{\text{общ}}$ . В ходе эксперимента последовательно с форсунками подключались поочерёдно сопротивления разного номинала. На рисунках 7-10 представлены экспериментально полученные результаты, где  $\circ$  - экспериментально полученные результаты. Кривые 1 получены без добавочных сопротивлений, кривые 2 и 3 получены при подключении к форсункам добавочных сопротивлений различного номинала.

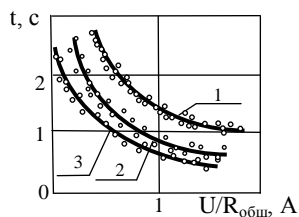


Рисунок 7 – Зависимость времени срабатывания форсунки с сопротивлением 12,6 Ом

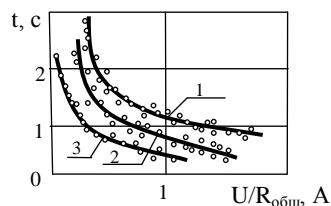


Рисунок 8 – Зависимость времени срабатывания форсунки с сопротивлением 14,9 Ом

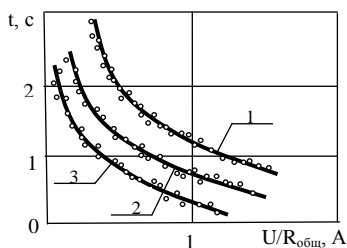


Рисунок 9 – Зависимость времени срабатывания форсунки с сопротивлением 16,2 Ом

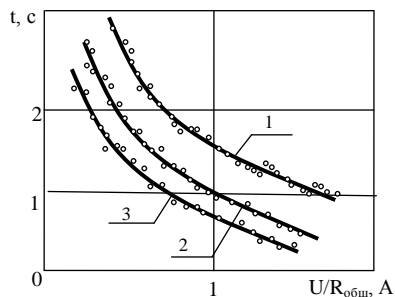


Рисунок 10 – Зависимость времени срабатывания форсунки с сопротивлением 12,7 Ом

Результаты экспериментальных исследований полностью подтверждают предположения о зависимости времени срабатывания быстросрабатывающего магнита – электромагнитной форсунки от напря-

жения, до которого заряжен выходной конденсатор преобразователя параметров электрической энергии. Изменяя напряжение на выходе преобразователя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС можно регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки от 0,2 до 1 мс.

Предложенный преобразователь позволяет уменьшить время срабатывания форсунки примерно в 5 раз (с  $\sim 1,5$  мс до  $\sim 0,2$  мс), что подтверждается осциллограммами, показанными на рисунке 11.

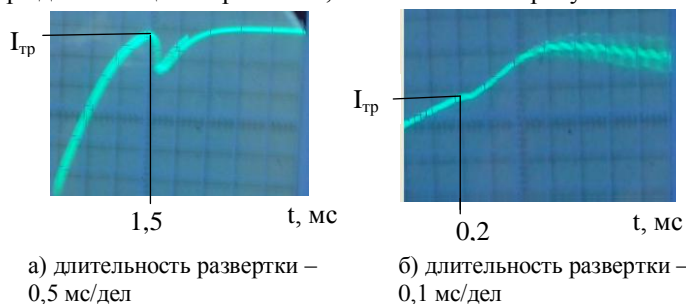


Рисунок 11 – Осциллограмма тока форсунки при ее питании от 12 В (а), и с выхода преобразователя напряжения (б)

На осциллограмме (а) процесс установления тока через 2 мс после включения форсунки связан с «дребезгом» при движении якорька форсунки, а на осциллограмме (б) появление высокочастотной составляющей обусловлено работой преобразователя напряжения.

**В пятой главе** проведена техническая и экономическая оценка эффективности применения адаптивных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобильной техники. Предусмотрены нормативы на выпускаемые автомобили. В России и европейских странах приняты стандарты ЕВРО, задающие как токсичность, так и количественные показатели, например по Евро-3 выбросы СН до 0,2 г/км, СО до 2,3 г/км и  $\text{NO}_x$  до 0,15 г/км, по Евро-4 выбросы: СН до 0,1 г/км, СО до 1,0 г/км и  $\text{NO}_x$  до 0,08 г/км.

По результатам эксплуатационных испытаний с использованием промышленных расходомеров и газоанализаторов установлено, что на автомобилях марки "Форд фокус" и "Рено логан" с адаптивной системой впрыска топлива снизился средний расход топлива по сравнению с работой автомобиля со стандартной системой в пределах 4-6 %, а также значительно повысилась надёжность работы двигателя на высоких оборотах, наблюдалось снижение токсичности отработавших газов на 5-7 % относительно исходной величины. Экономия топлива при

работе автомобиля с адаптивной системой впрыска топлива составляет в среднем порядка 4500 руб. на один автомобиль в месяц.

Электронная схема системы управления двигателем с использованием электрической функциональной схемы блока управления временем срабатывания приобретает вид, показанный на рисунке 1.

Таким образом, поставленная цель получения рациональных характеристик систем электрооборудования автомобилей за счет разработки и применения адаптивных преобразователей параметров электрической энергии, достигнута.

#### **Основные результаты и выводы:**

- разработаны теоретические положения по улучшению управляющей системы впрыскивания топлива двигателя внутреннего сгорания с помощью регулируемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников питания;

- разработаны теоретические положения и обоснована математическая модель управляющей системы впрыскивания топлива двигателя внутреннего сгорания в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные в 2 раза;

- разработана принципиально новая электрическая схема, предложены конструктивные и технологические решения по применению управляемого повышающего преобразователя и схемы управления им;

- разработано устройство управления электромагнитными форсунками позволяющее регулировать выходное напряжение в зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС с помощью адаптивного повышающего преобразователя напряжения, что снижает расход топлива на 4-6%;

- разработаны научные положения и предложены на их основе новые технические решения для управляющей системы впрыска топлива автомобилей, позволяющие регулировать время срабатывания электромагнитной форсунки в диапазоне 0,2-1 мс;

- использование устройства управления электромагнитными форсунками приводит к снижению токсичности отработавших газов на 5-7 %, что подтверждается актом эксплуатационных испытаний.

Разработанные научные положения, предложенные электрические схемы и технические решения улучшают эксплуатационные характеристики автотранспортных средств и могут быть использованы при создании новых образцов автомобильной техники и при модернизации эксплуатируемых автомобилей.

#### **Основные положения диссертации опубликованы:**

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК России

1. Валова, Т.С. Элементы управляющей системы впрыска топлива двигателя



внутреннего сгорания [Текст]:/ Т.С. Валова // Вестник РГРТУ № 3, 2017. – С. 158-163.

2. **Валова, Т.С.** Математическая модель построения управляющей системы впрыска топлива двигателя внутреннего сгорания [Текст]:/ Т.С. Валова, Ю.В. Гармаш // Вестник РГРТУ № 3, 2017. – С. 152-157.

3. **Сарбаев, В.И.** Физические основы регулирования времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]: / В.И. Сарбаев., Ю.В. Гармаш, **Т.С. Валова** // Электроника и электрооборудование транспорта № 4, 2014. – С. 2-5

4. **Сарбаев, В.И.** Импульсный преобразователь параметров электрической энергии для системы впрыскивания топлива [Текст]: / В.И. Сарбаев., Ю.В. Гармаш, **Т.С. Валова** // Автомобильная промышленность №3, 2014. – С. 18-20.

5. **Сарбаев, В.И.** Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системе впрыска топлива [Текст]: / В.И. Сарбаев., Ю.В. Гармаш, **Т.С. Валова** // Мир транспорта и технологических машин № 2(45), 2014. – С. 26-32.

#### Монографии

6. **Гармаш, Ю.В., Валова Т.С.** Применение адаптивных преобразователей параметров электрической энергии для регулирования времени срабатывания электромагнитных форсунок. Монография. ISBN 978-5-4331-0113-5 [Текст]/ Ю.В. Гармаш., Т.С. Валова – Рязань: РВВДКУ, 2016. – 102 с.

#### Патенты

7. Устройство управления электромагнитными форсунками [Текст]: Пат. № 2365776 Российская Федерация С1 F02D 41/20 / Белов А.Б., Гармаш Ю.В., Ухов А.В. **Валова Т.С.**; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; заявл. 04.05.2008; опубл. 04.05.2008, Бюл. 24.

8. Устройство управления электромагнитными форсунками [Текст]: Пат. № 2545119 Российская Федерация С2 F02D 41/20 / Сарбаев В.И., Гармаш Ю.В., Ширяев А.Г. **Валова Т.С.**; Заявитель и патентообладатель Современный технический институт; заявл. 10,07,2013; опубл. 20,01,2015, Бюл. 2.

#### Материалы конференций и статьи

9. **Валова Т.С.** Управляющая система впрыском топлива двигателя внутреннего сгорания [Текст] / **Валова Т.С.** // Международная научно-техническая и научно-методическая конференция «Современные технологии в науке и образовании». Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017. – С. 84-88.

10. **Валова Т.С.** Адаптивный преобразователь параметров электрической энергии [Текст] / **Валова Т.С.** // Международная научно-практическая конференция «Наука и образование XXI века». – Рязань, 2015. – С. 17-21.

11. Гармаш Ю.В. О регулировании времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст] / Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.** // Международная научно-практическая конференция «Наука и образование XXI века». – Рязань, 2007. – С. 238-243.

12. Гармаш Ю.В. К профессиональной ориентации темы «Электромагнитная индукция» [Текст] / Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.**, Пономарёва И.В. // Рязанский военный автомобильный институт. Тез. Докл. XXXVIII научно-методической конференции – Рязань: РВАИ, 2008. – С. 137-139.

13. Сарбаев В.И. About speed of electromagnetic atomizers in systems of injection of fuel [Текст] / Сарбаев В.И. Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.** // Materialy IX mezinárodní vědecko-praktická conference moderní vymoženosti vědy - Praha. Publishing House "Education and Science" s.r.o. – 2013. 7.01.2013-05.02.2013. – С. 53-57.
14. Гармаш Ю.В. Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системах впрыскивания топлива [Текст] / Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.**, Кобозева М.Д., Евсина Ю.Р. // Материалы V международной студенческой научно-практической конференции «Студенческий научный поиск - науке и образованию XXI века» Рязань, СТИ. 2013. – С. 54-59
15. Гармаш Ю.В. Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в системах впрыскивания топлива [Текст] / Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.**, Кобозева М.Д., Евсина Ю.Р. // Основные направления, формы и способы научных исследований в военном вузе. – Научная конференция. Рязань: РВВДКУ, 2013. – С. 205-212.
16. Сарбаев В.И. Модернизация системы впрыскивания топлива [Текст] / Сарбаев В.И., Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.** // Наука и образование XXI века: Материалы VII-й Международной научно-практической конференции (25 октября 2013 г., СТИ, г. Рязань). – С. 131 – 136.
17. Гармаш Ю.В. Теоретические предпосылки уменьшения времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст] / Гармаш Ю.В., **Валова Т.С.**, Усачёв Ю.В. // Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств: Материалы XVI Международной научно-практической конференции (20-21 ноября 2014, г. Владимир). – С. 357-361.

Валова Татьяна Сергеевна

МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА УПРАВЛЯЮЩЕЙ  
СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО  
СГОРАНИЯ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 15.01.2018. Формат бумаги 60X84 1/16.  
Бумага писчая. Печать трафаретная. Усл. печ. л. 2,0.  
Тираж 100 экз.  
Типография «Коперник». 390000, г. Рязань, ул. Ленина, 51/21