

На правах рукописи



ГАРМАШ ЮРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**Совершенствование систем электрооборудования автомобилей на основе
адаптивных преобразователей электрической энергии**

05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

Москва – 2017

Работа выполнена на кафедрах «Наземные транспортные средства» Московского политехнического университета и «Математических и естественнонаучных дисциплин» Рязанского высшего воздушно-десантного командного училища имени генерала армии В.Ф. Маргелова

Научный консультант:

доктор технических наук, профессор **Сарбаев Владимир Иванович**, профессор кафедры «Наземные транспортные средства» Московского политехнического университета (МАМИ).

Официальные оппоненты:

Артюхов Иван Иванович, доктор технических наук, профессор Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», профессор кафедры «Электроснабжение и электротехнология».

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»;

Горячев Олег Владимирович, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет» заведующий кафедрой «Системы автоматического управления»;

Ведущая организация:

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

Защита состоится «29» июня 2017 г. В 11.00 в ауд. 2505 на заседании диссертационного совета Д 218.005.02 по адресу Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9.

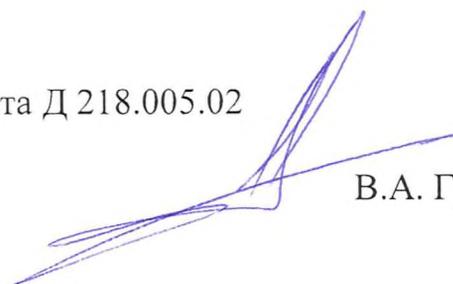
Отзывы на автореферат направлять в диссертационный совет Д 218.005.02 по адресу: 127994, Москва, ул. Образцова, д.9, стр.9, Бадёру Михаилу Петровичу.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке МГУПС (МИИТ)

Автореферат разослан и опубликован на сайте ВАК РФ

«16» марта 2017г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 218.005.02
доктор технических наук, профессор



В.А. Гречишников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения уровня работоспособности отечественной автомобильной техники (АТ).

Показателями уровня работоспособности являются: срок износа ДВС, влияние на экологию окружающей среды, время подготовки автомобиля к работе в экстремальных природно-климатических и температурных условиях.

Данные показатели в определяющей степени зависят от качества работы электрооборудования автомобильной техники. В настоящее время системы электрооборудования автомобилей построены таким образом, что все потребители соединены параллельно и подключены к бортовой сети. При подобном подключении системы электрооборудования оказывают взаимное влияние через общий источник питания, что не способствует высокой работоспособности. Так, при пуске двигателя внутреннего сгорания (ДВС) напряжение бортовой сети может снижаться до уровня 5,5 В (при 12В. бортовой сети), что не позволяет получить бесперебойного искрообразования, и делает невозможным пуск ДВС. Рационально выбранным напряжением для аккумуляторной батареи является уровень $13,9 \pm 0,1В$, при этом регулятор напряжения настроен на диапазон 13,2-14,4 В, а номинальное напряжение ламп накаливания – 12 В, изменение напряжения на лампах накаливания систем освещения и сигнализации на 10 - 15% изменяет их срок службы в несколько раз. При питании потребителей энергии никак не учитываются их особенности, режим работы двигателя внутреннего сгорания и внешние параметры окружающей среды. Так, система пуска определяет не только его надежность, но и влияет на износ двигателя; система зажигания определяет качество поджига рабочей смеси, влияет на динамику автомобиля, полноту сгорания топлива, топливную экономичность, и, следовательно, экологию окружающей среды. Система охлаждения ДВС должна поддерживать температуру двигателя в строго определенных пределах; отклонение температуры влияет как на токсичность отработавших газов, так и на ресурс работы двигателя, его топливную экономичность и тягово-скоростные свойства. Настройки системы электроснабжения оказывают влияние на срок службы аккумуляторной батареи, других потребителей электроэнергии, а также на пусковые качества ДВС. Системы отопления и вентиляции салона, стекло- и фарочистки, как показывают последние исследования, влияют на утомляемость водителя АТС и пассажиров, и, следовательно, на безопасность движения.

Устранение указанных недостатков в работе электрооборудования является актуальной задачей в решении проблемы повышения работоспособности АТ в целом.

Степень разработанности. Исследованию электрооборудования автомобилей посвящены работы Ерохова В.И., Набоких В.А., Опарина И.М., Бурячко В.Р., Ютта В.Е., Чижкова Ю.П., Данова Б.А., Квайта С.М., Полякова Н. А., Акимова С.В., Дасояна М. А., Грига А. Д., Эйдинова А. А., Nidall A. L. и ряда других авторов.

В известных работах решены отдельные вопросы совершенствования конструкции различных подсистем электрооборудования АТ, сделаны попытки создания комбинированных с конденсаторными накопителями энергии источников электропитания, проведены исследования систем зажигания с регулируемым временем накопления заряда, предложены варианты микропроцессорных систем управления зажиганием ДВС.

Недостатками известных работ являются разрозненность и противоречивость полученных результатов и невозможность приведения их к единой методике формирования и оценки новых принципов эффективного энергораспределения в электрооборудовании АТ.

Задача формирования и оценки новых принципов эффективного энергораспределения в электрооборудовании АТ носит комплексный характер, так как при этом должны быть учтены особенности работы не только электротехнического комплекса, но и обслуживаемого им большого разнообразия силовых и вспомогательных аппаратов и узлов в широком диапазоне режимов их работы.

Решением такой задачи может быть разработка комплексной системы отдельного (дифференцированного) энергоснабжения аппаратов и узлов АТ с применением адаптивных преобразователей параметров электрической энергии.

Цель исследования – разработка методов и средств дифференцированного электроснабжения систем электрооборудования автомобилей с применением адаптивных преобразователей параметров электрической энергии.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- выполнить анализ проблем электроснабжения бортовых потребителей электроэнергии автомобильной техники;

- разработать математическую модель процесса электрического пуска автомобильного двигателя в широком диапазоне питающих напряжений электродвигателя стартера;

- разработать численную модель функционирования системы зажигания бензинового двигателя для широкого диапазона подаваемых напряжений, теоретически обосновать устройство автоматического регулирования системы зажигания, обеспечивающее стабильную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению;

- провести теоретические исследования, выявить и сформулировать закономерности изменения эксплуатационных характеристик потребителей энергии в зависимости от величины подаваемых напряжений системы электроснабжения и на основе выявленных закономерностей исследовать возможности увеличения срока службы аккумуляторных батарей, установленных на автомобиле;

- исследовать зависимости эксплуатационных характеристик электроприводов вспомогательного оборудования систем вентиляции и отопления салона, охлаждения ДВС, стеклоочистителей, стеклоподъемников от питающих напряжений и теоретически доказать возможность автоматического регулирования изменения величины подаваемых напряжений;

- на основе предложенных теоретических положений, математических моделей, полученных экспериментальных зависимостей, разработать принципы построения бортового электрооборудования автомобилей, предусматривающих дифференцированное питание потребителей и плавное изменение подаваемых напряжений первичных источников на основе высокочастотного импульсного автоматического регулирования с помощью адаптивных преобразователей параметров электрической энергии при напряжениях больших и меньших напряжений основных источников питания с целью получения экономичных и рациональных характеристик электрооборудования;

- разработать эффективные электрические устройства для основных систем электрооборудования автомобильной техники с адаптивными преобразователями параметров электрической энергии, обеспечивающие улучшение пусковых свойств двигателя внутреннего сгорания, бесперебойное искрообразование системы зажигания, улучшение эксплуатационных характеристик системы электроснабжения с учетом режимов работы потребителей энергии, улучшение эргономических, скоростных,

температурных и прочих эксплуатационных характеристик, обеспечиваемых электроприводом;

- провести экспериментальные исследования усовершенствованных систем пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования с разработанными преобразователями параметров электрической энергии в автомобильной технике.

Научная новизна исследования заключается в разработке

- новых принципов построения электрооборудования и теоретических положений по улучшению эксплуатационных характеристик бортового электрооборудования автомобиля, заключающиеся в организации дифференцированного питания потребителей с помощью регулируемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников энергии;

- математической модели системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания с конденсаторным накопителем энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные, на основе которых разработаны электрические устройства, конструктивные и технологические решения, обеспечивающие повышение мощности системы пуска двигателя, с учетом температуры окружающей среды;

- математических моделей и предложенных на их основе устройств системы зажигания, содержащих для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот - понижающий преобразователь, напряжения которых обеспечивают постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению;

- технических решений системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающих, с учетом температурного режима повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи;

- технических решений по разделению прикладываемых к потребителям электрической энергии напряжений, формируемых источником вторичного электропитания, обеспечивающего напряжение на уровне номинального, не зависящее от напряжения аккумуляторной батареи;

- электроприводов вспомогательного оборудования, обеспечивающих плавное регулирование напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального.

Теоретические основы исследования. Диссертационное исследование проведено на основе анализа многочисленных трудов отечественных и зарубежных учёных путём формирования и научной аргументации новых научных положений и практических предложений в области улучшения эксплуатационных характеристик электрооборудования транспортной (в том числе автомобильной) техники. При выполнении работы использованы методы системного анализа, 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 автором алгоритмов и предложенных принципов построения электрооборудования.

Положения, выносимые на защиту:

- принципы построения электрооборудования и теоретические положения по улучшению эксплуатационных характеристик бортового электрооборудования автомобиля, заключающиеся в организации дифференцированного питания потребителей с помощью регулируемых по параметрам объекта регулирования импульсных адаптивных источников энергии;
- математическая модель системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания с конденсаторным накопителем энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные, на основе которых разработаны электрические устройства, конструктивные и технологические решения, обеспечивающие повышение мощности системы пуска двигателя;
- математические модели, и предложенные на их основе устройства системы зажигания, содержащие для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот - понижающий преобразователь, напряжения которых обеспечивают постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению в пределах 1,4-2;
- технические решения системы электроснабжения на основе широтно-импульсного регулятора, обеспечивающие с учетом температурного режима повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи;
- технические решения по разделению прикладываемых к потребителям электрической энергии напряжений, формируемых источником вторичного электропитания,

обеспечивающего напряжение на уровне номинального, не зависящее от напряжения аккумуляторной батареи;

- электроприводы вспомогательного оборудования, обеспечивающие плавное регулирование напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального.

Практическая значимость исследования. Теоретические и экспериментальные исследования были проведены на автомобилях марок КамАЗ (24В бортовая сеть, дизель), ЗиЛ-4334, ГАЗ, ВАЗ (бортовая сеть 12В, бензиновые двигатели внутреннего сгорания). Разработанные научные положения, предложенные устройства и технические решения значительно улучшают эксплуатационные характеристики автотранспортных средств и могут быть использованы при создании новых образцов автомобильной техники и при модернизации эксплуатируемых автомобилей, а также использованы в учебном процессе ряда ВУЗов.

Достоверность научных результатов обеспечивается уровнем и глубиной исследований, воспроизводимостью и удовлетворительным совпадением результатов теоретических и экспериментальных исследований, адекватностью математических моделей основных систем электрооборудования автомобиля: электрического пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования.

Апробация результатов исследования: результаты исследования апробированы на 18 международных, 6 всесоюзных и 6 межвузовских, 8 внутривузовских конференциях, опубликованы в 5 монографиях, 65 статьях, в том числе в 33 статьях в рецензируемых журналах, имеющих в перечне ВАК для докторских диссертаций, в том числе в статьях в журналах, входящих в систему цитирования «Скопус», по результатам исследований получено 38 патентов РФ.

Внедрение результатов исследования. Результаты исследования внедрены в серийное производство на Рязанском заводе металлокерамических приборов при производстве устройств управления микроклиматом салона автомобиля, в учебные процессы Рязанского военного автомобильного института, Современного технического института, Рязанского государственного радиотехнического университета, результаты исследований проверены на ряде предприятий (РЗ металлокерамических приборов, ФГУП Рязанский приборный завод), реализованы на X международном салоне инноваций и инвестиций, по результатам исследования автором выполнены научные про-

екты «Учебно-лабораторный комплекс «машины постоянного тока», «Автомобильный кондиционер для зимних условий эксплуатации», «Регулирование времени срабатывания электромагнитной форсунки» по заказу Министерства промышленности, инновационных и информационных технологий Рязанской области. Таким образом, можно констатировать, что данная диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основе анализа выполненных другими авторами исследований по данной проблеме и разработок автора сформулированы новые научно обоснованные технические и технологические решения в области совершенствования систем электрооборудования наземных транспортных средств, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие экономики страны.

Личный вклад автора состоит в разработке принципов построения и научных основ совершенствования систем электрооборудования транспортного средства (на примере автомобиля), теоретическом обосновании и исследовании закономерностей изменения прикладываемых напряжений, разработке технических решений по применению адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии, реализующих полученные закономерности, разработке энергоэффективных электрических устройств электропитания, улучшающих и стабилизирующих эксплуатационные характеристики электрооборудования автомобильной техники, разработке технических решений и рекомендаций по применению систем электропитания в электрооборудовании автомобилей, подтвержденных патентами РФ.

Структура и объем диссертации: диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 350 наименований и приложений. Текст диссертации содержит 302 страницы, 81 рисунок, из них 3 диаграммы, 9 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы, определяются объект, предмет, цель, проблема и задачи исследования, характеризуется научная новизна исследования, его теоретическая и практическая значимость, рассматриваются положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу эксплуатационных характеристик бортовых потребителей электроэнергии: систем пуска, зажигания, электроснабжения, электропривода вспомогательного оборудования в зависимости от потребляемой энергии и уровня подаваемых напряжений, особое внимание уделено проблемам низкотемпера-

турного пуска двигателей внутреннего сгорания.

С понижением температуры энергетические и мощностные затраты для обеспечения надежного пуска двигателя увеличиваются, в то время как энергетические и мощностные возможности системы электрического пуска с аккумуляторной батареей существенно снижаются. Кроме того, при низких температурах возникают проблемы пуска ДВС, связанные с работой систем зажигания и впрыска топлива при пониженном напряжении, обусловленным увеличением нагрузки на батарею при работе системы пуска.

Актуальность исследования определяется необходимостью поиска новых научно-технических решений, содержание которых составляют: система управления энергообеспечением объектов АТ с новыми элементами накопления энергии; создание новых систем энергообеспечения и их компонентов. Аккумуляторная батарея проявляет себя как источник ограниченной мощности из-за резкого увеличения ее внутреннего сопротивления с понижением температуры. Для снятия противоречия между возможностями аккумуляторной батареи и потребностями системы пуска следует увеличивать возможности источника по мощности и току. Это особенно актуально в первоначальный момент пуска (около 1-2 с.), пока масло в кривошипно-шатунном механизме обладает повышенной вязкостью и, кроме того, приходится осуществлять разгон инерционных масс. Аккумуляторные батареи имеют высокую удельную энергию (свыше 200 Дж/см³), но их удельная мощность низка. Запасенную энергию при температуре минус (20 - 30)°С можно, в лучшем случае, использовать на 5 – 10%, а если температура ниже, то используемая часть энергии может снизиться настолько, что пуск станет практически невозможным, особенно, если батарея заряжена не полностью. Отсюда следуют повышенные требования к степени заряженности аккумуляторной батареи при низких температурах. Степень заряженности определяется настройками системы электроснабжения. Следовательно, необходимо разработать адаптивную систему электрического питания, заряжающую накопитель энергии, который в момент пуска разряжается на стартер. Ток и отдаваемая при таком разряде энергия могут быть на порядок выше, чем в штатном режиме, и ограничены внутренним сопротивлением накопителя энергии, которое много меньше сопротивления батареи, и сопротивлением проводов стартерной цепи. Остаются

неясными вопросы, – до какого напряжения следует заряжать накопитель энергии, какой следует выбрать его емкость.

Батарея при пуске холодного ДВС, создает проблемы, связанные с системой зажигания. Ряд авторов указывает на влияние температурного режима двигателя внутреннего сгорания на пробивное напряжение в свечах зажигания. Наибольшим значение пробивного напряжения оказывается при разгоне и, особенно, при пуске холодного ДВС. Из-за уменьшения вторичного и увеличения пробивного напряжений коэффициент запаса падает настолько, что искрообразование становится практически невозможным. Для обеспечения пуска ДВС системы зажигания выполняют с избыточно большим запасом по вторичному напряжению, он необходим также и из-за значительного разброса параметров распределителей и катушек зажигания. Избыточный запас снижает надежность работы элементов системы зажигания (мощность искрового разряда в разных режимах может отличаться до 500 раз). Указанные противоречия можно разрешить с помощью адаптивной импульсной системы электропитания, включенной между бортовой сетью и системой зажигания и изменяющей напряжение на системе зажигания по закономерностям, которые обеспечивает бесперебойное искрообразование на всех режимах работы без существенных перегрузок аппаратов системы зажигания.

Часть проблем пуска ДВС связана с недостаточной степенью заряженности аккумуляторной батареи, которая обусловлена способом заряда батарей, эксплуатируемых на автомобиле, не обеспечивающим 100% их заряженности, что, кроме проблем, возникающих при холодном пуске ДВС, еще и снижает их срок службы. Для получения максимального срока службы напряжение бортовой сети следует поддерживать с точностью, которая не обеспечивается современными регуляторами напряжения ($13,9 \pm 0,1V$) для 12 В бортовой сети. Необходима разработка высокоточной системы электроснабжения, способной поддерживать напряжение на аккумуляторной батарее в указанных пределах. При разработке подобной системы необходимо учитывать температурный коэффициент напряжения (ТКН) аккумуляторной батареи.

Существует ряд проблем бортового электрооборудования и в нормальных условиях эксплуатации. Так, штатный регулятор напряжения поддерживает напряжение бортовой сети в пределах 1,2 - 1,3В на аккумулятор, а, как следует из литературных данных, изменение напряжения на лампах накаливания систем освещения и сигнали-

зации на 10 - 15% изменяет их срок службы в несколько раз; по этой причине необходима разработка системы электропитания для систем световой сигнализации и освещения с целью поддержания на лампах накаливания номинального напряжения. С помощью адаптивных систем электропитания можно существенно улучшить эксплуатационные характеристики электропривода вспомогательного оборудования систем: охлаждения двигателя внутреннего сгорания, стекло- и фарочистки, отопления и вентиляции. Применение управляемых преобразователей напряжения позволяет получить плавное регулирование частоты вращения якоря электродвигателя постоянного тока (ДПТ) при высоких значениях коэффициента полезного действия, что повышает эксплуатационные характеристики систем.

Исследования проводились на базе Рязанского военного автомобильного института, ФГУП Рязанский приборный завод, ОАО Рязанский завод металлокерамических приборов, ОАО «КамАЗ», а также использованы результаты исследований других авторов (Ю.П. Чижков - результаты исследования Московских таксопарков при определении срока службы аккумуляторных батарей). Возможные пути совершенствования систем электрооборудования представлены на рисунке 1..

выводы:

- готовность аккумуляторной батареи к пуску двигателя и срок ее службы в значительной мере определяются точностью регулирования степени ее заряда, следовательно, очевидна необходимость применения адаптивной системы электроснабжения, которую следует использовать для улучшения эксплуатационных характеристик батарей;

- существующие регуляторы напряжения не обеспечивают необходимой компенсации температурной зависимости ЭДС аккумуляторной батареи, с точки зрения ее максимального срока службы и готовности к пуску ДВС, аккумуляторная батарея имеет ограничения по низкотемпературному пуску двигателя;

- использование емкостных (конденсаторных) накопителей энергии для улучшения пусковых характеристик двигателей АТ при последовательном соединении с аккумуляторной батареей увеличивает пусковое напряжение в пределах, превышающих допустимые, а при параллельном соединении возможности накопителей энергии используются только частично;

- значительный диапазон изменений напряжения бортовой сети учитывается в существующих системах зажигания избыточным коэффициентом запаса по вторичному напряжению, что снижает надежность работы и ресурс аппаратов зажигания;

- электропривод вспомогательного оборудования имеет низкий коэффициент полезного действия и эргономические характеристики.

Вторая глава посвящена выявлению и формализации зависимостей эксплуатационных характеристик транспортных средств от параметров подаваемых напряжений для систем электрооборудования автомобилей.

Из выше изложенного следует, что стартер ДВС следует подключать на время пуска к заряженному до повышенного напряжения конденсаторному накопителю энергии.

Следовательно, необходимо разработать модель разряда накопителя энергии на стартерный электродвигатель в более широком диапазоне напряжений, чем диапазон напряжений бортовой сети. Для построения модели пуска необходимо рассчитать переходную характеристику стартерной цепи, и, с помощью интеграла Дюамеля провести расчет токов при поступлении на систему пуска импульса напряжения от накопителя энергии.

Предложена *математическая модель электромеханической системы стартер - коленчатый вал при пуске*. Известно, что момент на валу стартера определяется соотношением: $M = c i \Phi$, (1)

где c - конструктивная постоянная стартера; i – ток, потребляемый стартером, А; Φ – магнитный поток, Вб. Зависимости момента сил сопротивления вращению коленчатого вала от времени при различных установившихся частотах вращения установлены экспериментально (рисунок 2 - сплошные линии). С целью получения математической модели электропуска зависимости $M(t)$ необходимо аппроксимировать.

Как видно из рисунка 2, экспериментальные точки максимального и установившегося моментов лежат практически на прямой линии. Поэтому аппроксимирующую функциональную зависимость можно представить линейной регрессией $y=ax+v$. Коэффициенты a и v находим методом наименьших квадратов (рисунок 3). В случае аппроксимирующих зависимостей относительное среднеквадратичное отклонение не превышает 2%.

$$M_{уст} = 0,94 \sqrt{\omega_{уст}} + 2,5, \quad M_{макс} = 8 \sqrt{\omega_{уст}} \quad (2),$$



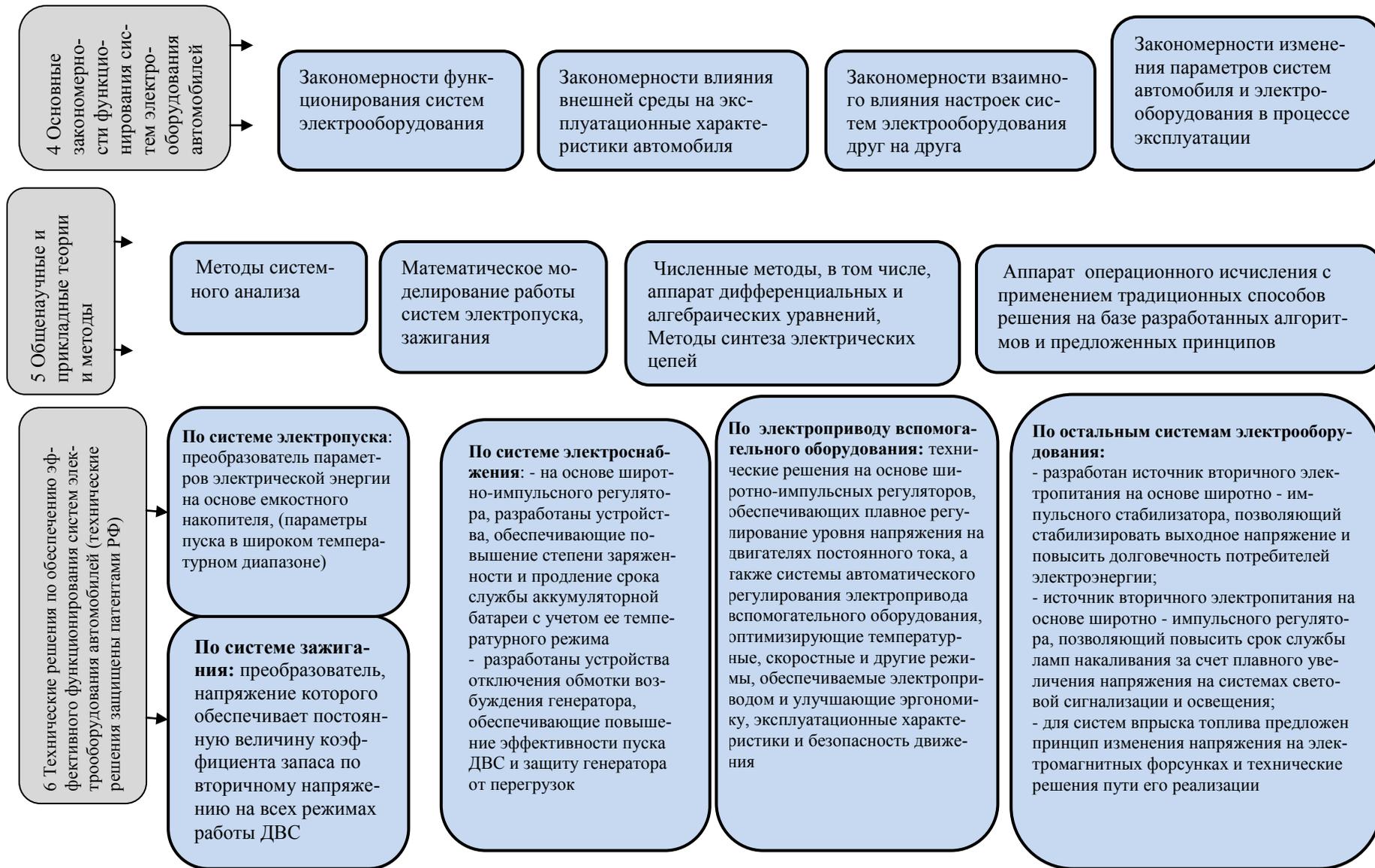


Рисунок 1 – Пути совершенствования электрооборудования автомобилей

Зависимости $M(t)$ могут быть аппроксимированы функциями вида

$$M(t) = (M_{\text{макс}} - M_{\text{уст}})e^{-\alpha t} + M_{\text{уст}}, \quad (3)$$

исходя из критерия постоянной площади под кривой $M(t)$. Поскольку ток, потребляемый стартерной цепью прямо пропорционален моменту при насыщенной магнитной цепи, то площадь под кривой пропорциональна заряду, потребленному стартером. Так, например, для верхней кривой справедливо уравнение $M(t) = 21e^{-1,5t} + 6, \text{ Нм}$ исходя из критерия постоянной площади под кривой с коэффициентом корреляции 0,97, что, в соответствии с критерием Чаддока соответствует практически полной корреляции.

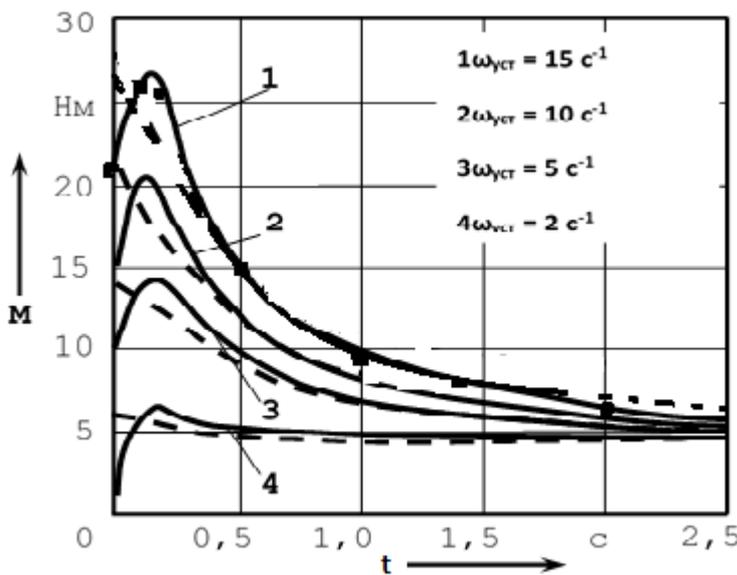


Рисунок 2 - Зависимости момента сопротивления вращению коленчатого вала ДВС от времени при различных установившихся частотах. Пунктиром показаны аппроксимированные зависимости.

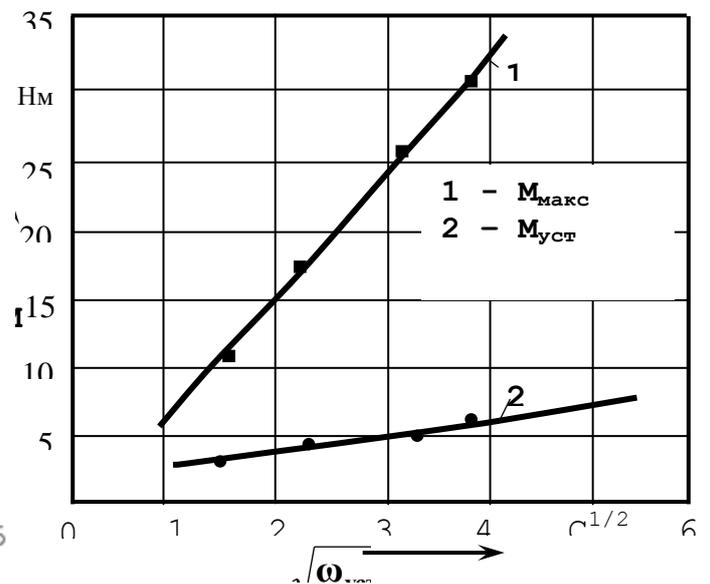


Рисунок 3 - Аппроксимация максимального и установившегося моментов

Используя данные уравнения и учитывая, что у большинства стартеров магнитная система входит в насыщение при напряжении на нем свыше половины номинального, Φ можно считать приблизительно постоянным, а $i(t)$ пропорционален моменту. Входное сопротивление цепи при данной аппроксимации:

$$Z(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{I(j\omega)} = \frac{(\alpha + j\omega)U}{j\omega i_{\text{макс}} + \alpha i_{\text{уст}}} = \frac{\alpha + j\omega}{j\omega \frac{i_{\text{макс}}}{U} + \alpha \frac{i_{\text{уст}}}{U}} = \frac{\alpha + j\omega}{j\omega g_{\text{макс}} + \alpha g_{\text{уст}}}, \quad (4)$$

где $g_{\text{макс}} = \frac{i_{\text{макс}}}{U}$ и $g_{\text{уст}} = \frac{i_{\text{уст}}}{U}$ - начальная и установившаяся проводимости цепи.

Учтем, что интеграл прямого и обратного преобразования Фурье соответствует прямому и обратному преобразованию Лапласа. Заменяя $j\omega$ на p , получим:

$$Z(p) = \frac{p + \alpha}{pg_{\max} + \alpha g_{уст}} = \frac{N(p)}{M(p)}, \quad (5)$$

где $N(p) = p + \alpha$, $M(p) = pg_{\max} + \alpha g_{уст}$ – полиномы числителя и знаменателя.

Как известно из теории синтеза электрических цепей, выражение $Z(p)$ может быть представлено в виде цепной дроби:

$$Z(p) = Z_1(p) + \frac{1}{G_2(p) + \frac{1}{Z_3(p) + \frac{1}{G_4(p) + \dots}}}, \quad (6)$$

где $Z_k(p)$ и $G_k(p)$ являются изображением элементов схемы и определяются по промежуточным результатам деления числителя на знаменатель (метод синтеза Кауэра).

Эквивалентная схема замещения системы стартер – коленчатый вал ДВС при этом принимает вид, показанный на рисунке 4.

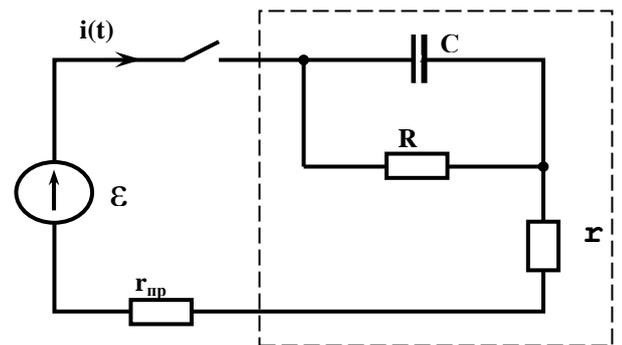


Рисунок 4 - Эквивалентная схема замещения электромеханической системы стартер - коленчатый вал

При анализе будем считать, что в случае пуска стартера от аккумуляторной батареи напряжение на стартерной цепи в процессе пуска изменяется слабо. Это позволяет получить зависимость переходной проводимости цепи от времени $g(t)$, т. е. зависимость тока в цепи от времени при единичной ступеньке напряжения, поданной на её вход. Реакция цепи на единичную функцию Хевисайда (переходная проводимость) в операторной форме записи $G(p)$ с использованием преобразования Лапласа записывается следующим образом:

$$G(p) = \frac{1}{p \left(r_{np} + r + \frac{R + \frac{1}{pC}}{R + \frac{1}{pC}} \right)} = \frac{1 + pRC}{p[r_{np} + r + R + pCR(r + r_{np})]} = \frac{N(p)}{M(p)}, \quad (7)$$

в соответствии с формулой разложения находим переходную проводимость как функцию времени:

$$g(t) = \frac{N(0)}{M'(0)} + \frac{N(P_1)}{M'(P_1)} \cdot e^{P_1 t} = \frac{1}{r_{np} + r + R} \left[1 + \frac{R}{r_{np} + r} e^{-\alpha t} \right], \quad (8)$$

где
$$\alpha = \frac{r_{np} + r + R}{(r_{np} + r)RC}. \quad (9)$$

С учетом зависимости r , R и C от подаваемого напряжения (установившейся частоты $\omega_{уст}$) формулы (8) – (9) позволяют найти ток в эквивалентной схеме замещения при постоянном напряжении, подаваемом на стартер (не обязательно равном напряжению аккумуляторной батареи).

Если напряжение на эквивалентную схему замещения подается от заряженного конденсатора (емкостного накопителя энергии), то оно изменяется во времени и процесс существенно отличается от рассмотренного ранее.

Рассмотрим подключение стартера к емкостному накопителю энергии, заряженному до исходного напряжения $U_n(0)$. Здесь и далее введены обозначения $I(p)$ - изображение тока $i(t)$, $G(p)$ - изображение переходной проводимости $g(t)$. Поскольку напряжение на стартерной цепи в данном случае из-за разряда накопительной емкости C_n снижается, выражение для тока $i(t)$ может быть записано в виде интеграла Дюамеля:

$$i(t) = U_n(0) \cdot g(t) + \int_0^t u'(\tau) g(t - \tau) d\tau, \quad (10)$$

Производная $u'(\tau)$, по очевидным причинам, может быть определена следующим образом:

$$u'_n(t) = \frac{du_n(t)}{dt} = -\frac{i}{C_n} \quad (11)$$

Это позволяет записать интеграл свертки в виде

$$\int_0^t u'(\tau) g(t - \tau) d\tau = -\frac{1}{C_n} \int_0^t i(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau = -\frac{1}{C_n} I(p)G(p) \quad (12)$$

Тогда интеграл Дюамеля в операторной форме:

$$I(p) = U_n(0) \cdot G(p) - \frac{1}{C_n} I(p) \cdot G(p), \quad (13)$$

отсюда
$$I(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n \cdot G(p)}{C_n + G(p)} \quad (14),$$
 напряжение на накопителе энергии

уменьшается по закону:

$$u_n(t) = U_n(0) - \frac{1}{C_n} \int_0^t i(t) dt. \quad (15)$$

Тогда изображение напряжения на накопителе:

$$U_n(p) = \frac{U_n(0)}{p} - \frac{1}{pC_n} I(p), \quad (16)$$

где $\frac{U_n(0)}{p}$ - изображение постоянной, а $\frac{I(p)}{p}$ - изображение интеграла в правой части.

Учитывая (14), получим:

$$U_n(p) = \frac{U_n(0)}{p} - \frac{1}{p} \cdot \frac{U_n(0) \cdot G(p)}{C_n + G(p)} = \frac{U_n(0)}{p} \left[1 - \frac{G(p)}{C_n + G(p)} \right] = \frac{U_n(0)}{p} \cdot \frac{C_n}{C_n + G(p)} \quad (17)$$

Используя уравнения (17), (14), можно определить ток стартера и напряжение на накопителе энергии для *любой зависимости* $M(t)$ и, соответственно, любой зависимости $g(t)$. Для рассматриваемого режима (с насыщающейся магнитной системой стартера) подставим (7) в (14) и (17). В результате получим:

$$I(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n (1 + pRC)}{p^2 (r + r_{np}) \cdot RCC_n + p [RC + (r + r_{np}) \cdot C_n + RC_n] + 1} = \frac{N_1(p)}{M_1(p)}, \quad (18)$$

$$U(p) = \frac{U_n(0) \cdot C_n [r + r_{np} + R + p(r_{np} + r) \cdot RC]}{p^2 (r + r_{np}) \cdot RCC_n + p [RC + (r + r_{np}) \cdot C_n + RC_n] + 1} = \frac{N_2(p)}{M_1(p)} \quad (19)$$

Как следует из рисунка 2, постоянная времени эквивалентной схемы независимо от установившейся частоты прокручивания коленчатого вала должна составлять $\sim 0,5$ с. В то же время, в соответствии с требованиями, предъявляемыми к пуску ДВС, время прокручивания коленчатого вала карбюраторного ДВС около 10 с, а дизельного – 15 с. В течение этого времени накопитель должен поддерживать частоту прокручивания коленчатого вала не ниже пусковой, то есть напряжение на нем должно убывать достаточно медленно. Постоянная времени разряда накопителя должна быть много больше постоянной времени эквивалентной схемы замещения, и потому режим разряда накопительного конденсатора C_n можно считать квазиустановившимся.

Применяя теорему вычетов и опуская промежуточные вычисления получим

$$i(t) = \frac{U_n(0)}{r_{np} + r + R} \left[e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{R}{r_{np} + r} e^{-\alpha t} \right], \quad (20)$$

$$u_n(t) = U_n(0) e^{-\frac{t}{\tau}}. \quad (21)$$

Затем «сшивая» механические и электрические характеристики системы пуска можно получить в неявном виде

$$\left(r_{np} + \frac{m^2 M_{\text{ПТ}}^2 \omega_{\text{УСТ}}}{\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2 (0,94 \sqrt{\omega_{\text{УСТ}}} + 2,5)} \right) \cdot C_n \cdot \ln \frac{\eta i_{\text{ПТ}} U_n(0) M_{\text{ПТ}} m}{\xi \eta i_{\text{ПТ}}^2 (0,94 \sqrt{\omega_{\text{УСТ}}} + 2,5) + m^2 M_{\text{ПТ}}^2 \omega_{\text{УСТ}}} = t \quad (22)$$

Отметим, что в знаменателе находится выражение $(0,94 \sqrt{\omega_{\text{УСТ}}} + 2,5)$, что соответствует установившемуся моменту по (2). Действительно, поскольку мы считаем процесс квазистационарным, то максимальное значение момента (рисунок 2) не играет заметной роли. Это обусловлено тем, что процесс убывания момента от максимального до установившегося занимает очень небольшую часть времени, отводимого на пуск ДВС. В силу этого, после прохождения максимального момента за время примерно 1с стартер работает практически в режиме установившегося момента на его валу и уравнение (22) позволяет рассчитать процесс прокручивания именно для этого квазиустановившегося режима. .

С целью улучшения эксплуатационных характеристик *системы зажигания* - оценено влияние на процесс искрообразования внешних факторов и параметров системы зажигания на вторичное напряжение U_{2M} . Известно, что наибольшее влияние на U_{2M} и, соответственно, на коэффициент запаса k_z , оказывают напряжение питания U_B и сопротивление первичной цепи $R_{1\Sigma}$. Поскольку в существующих системах зажигания $U_B = const$, то изменяют сопротивление первичной цепи $R_{1\Sigma}$, замыкая добавочное сопротивление, входящее в $R_{1\Sigma}$. Это частично компенсирует уменьшение U_{2M} . Было бы гораздо эффективней изменять напряжение питания, что можно осуществить, применяя, в соответствии с концепцией настоящей работы, такой адаптивный преобразователь напряжения, который вместе с системой зажигания был бы включен в общую систему автоматического регулирования. Подобное решение обладает и недостатком - в области пусковых частот добавочный резистор замкнут, а выходное напряжение преобразователя оказывается повышенным. Следовательно, бесперебойное искрообразование обеспечивается

ценой токовой перегрузки первичной цепи, что приводит к снижению надежности работы катушки зажигания и коммутатора. Это ставит вопрос об оптимизации характеристик преобразователя, его выходное напряжение можно регулировать, но нужно найти необходимую зависимость выходного напряжения преобразователя от скорости вращения коленчатого вала. Следует также учитывать, что при смене режимов работы ДВС изменяется не только напряжение бортовой сети, но и пробивное напряжение. Коэффициент запаса, равный отношению напряжения, которое может развить система зажигания к про по напряжению также изменяется в широких пределах, что отрицательно сказывается на работе системы зажигания и двигателя в целом. Величины, характеризующие катушку зажигания и двигатель внутреннего сгорания, постоянны для данной конкретной системы зажигания, оптимальная зависимость вторичного напряжения U_{2M} от частоты вращения коленчатого вала двигателя определяется законом изменения напряжения питания системы зажигания $U_B = f(n)$. Если в уравнение для вторичного напряжения подставить выражение для тока разрыва и выразить необходимое напряжение на входе системы зажигания, то получим:

$$U_B = \frac{R_{1\Sigma} U_{\text{пр}} k_3}{\left[1 - \exp\left(-\frac{R_{1\Sigma} \tau_3 120}{L_1 n z}\right) \right] \varepsilon_1 \left(\frac{w_2}{w_1}\right) \sqrt{\frac{L_1}{C_1 + C_2 \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2} \eta}} \quad (23)$$

Это уравнение и является основой *численной модели регулирования напряжения* и определяет рациональное его значение для питания системы зажигания при разных частотах вращения коленчатого вала двигателя с позиций постоянства коэффициента запаса k_3 . Что касается входящего в уравнение напряжения пробоя искрового промежутка $U_{\text{пр}}$, то оно может быть взято, например, из диссертации Шеховцова В.И. При обработке зависимостей и числовых значений величин, входящих в уравнение, получена зависимость минимально необходимого напряжения питания от частоты вращения коленчатого вала двигателя, представленная точками на рисунке 5.

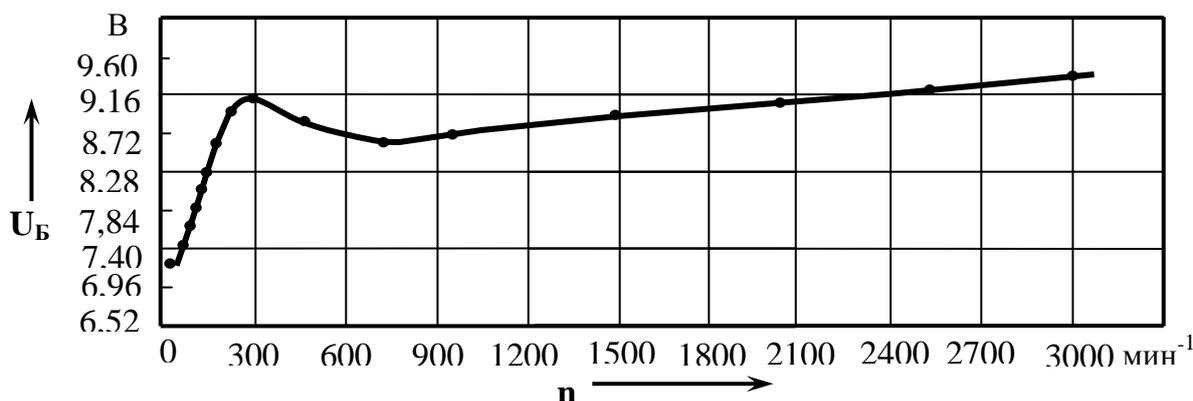


Рисунок 5 - Влияние частоты вращения коленчатого вала на минимально необходимое напряжение на клеммах стартера

К зависимости мы подобрали следующие аппроксимирующие функции (показаны сплошными линиями):

$$U_B = \frac{-226}{n} + 10,04, \quad \text{для } n \text{ от } 50 \text{ до } 300 \text{ мин}^{-1}, \quad (24)$$

$$U_B = \frac{1}{\frac{22,6}{n} + 1,127 \cdot 10^{-4} n}, \quad \text{для } n \text{ от } 301 \text{ до } 750 \text{ мин}^{-1}, \quad (25)$$

$$U_B = 2,449 \cdot 10^{-4} n + 8,516, \quad \text{для } n \text{ от } 751 \text{ до } 3200 \text{ мин}^{-1}. \quad (26)$$

В диапазоне частот вращения коленчатого вала 50-150 мин⁻¹ пуск двигателя может быть осуществлен и при меньшем напряжении, но при частотах от 150 до 300 мин⁻¹ 8В не обеспечивают бесперебойного искрообразования, следовательно, преобразователь напряжения должен управляться сигналом от датчика частоты вращения коленчатого вала.

По системе электроснабжения. С точки зрения улучшения эксплуатационных характеристик - обеспечения пуска ДВС, следует иметь близкую к 100 % степень заряженности аккумуляторной батареи. Этого же требует условие ее максимального срока службы. Для поддержания максимальной заряженности аккумуляторной батареи необходимо поддерживать с высокой степенью точности напряжение бортовой сети, например, используя широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) и учитывая температурный коэффициент напряжения (ТКН) заряженной батареи. Отметим, что и в этом случае возникает явное противоречие между значением напряжения бортовой сети, необходимым для продления срока службы аккумуляторной батареи, и напряжением, оптимальным для питания других

потребителей электрической энергии. При разработке электрооборудования автомобиля по стандартной схеме обычно приходится идти на компромисс при выборе напряжения бортовой сети, что приводит к снижению сроков службы, как аккумуляторной батареи, так и других потребителей. Выходом из сложившейся ситуации может стать применение вторичного источника электропитания, такой источник преобразует напряжение, поступающее от генератора для заряда батарей, в напряжение, оптимальное для питания других потребителей. Недостатком применяемых в настоящее время регуляторов напряжения является применение параметрического стабилизатора в качестве источника опорного напряжения, что приводит к температурной погрешности регулирования. Приведено решение поставленной задачи компенсации температурной зависимости ЭДС полностью заряженной аккумуляторной батареи - использование температурной зависимости падения напряжения на прямосмещенных диодах с различной шириной запрещенной зоны, что позволяет плавно изменять ТКН опорного напряжения, компенсируя ТКН батареи.

Для улучшения эксплуатационных характеристик электропривода вспомогательного оборудования рассмотрено применение адаптируемых импульсных преобразователей параметров электрической энергии, позволяющее реализовать плавную регулирование режимов, вместо существующих дискретных, с помощью широтно - импульсной модуляции (ШИМ).

Применение устройств с ШИМ возможно в системах электропривода: отопления и вентиляции салона, стеклоочистки, системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания и т.д.

Выводы по главе:

- разработаны принципы совершенствования систем электрооборудования, теоретические основы применения импульсных адаптируемых преобразователей параметров электроэнергии для систем электрооборудования автомобильной техники, способных подстраивается под установленные закономерности изменения параметров электроснабжения систем бортового электрооборудования автомобильной техники для получения их рациональных эксплуатационных характеристик;

- на основе принципов совершенствования систем электрооборудования автомобильной техники:

- разработана математическая модель процесса пуска двигателя внутреннего сгорания для широкого диапазона подаваемых на систему пуска напряжений емкостного накопителя энергии;

- разработан метод регулирования вторичного напряжения системы зажигания бензинового ДВС за счет применения импульсного преобразователя параметров электрической энергии;

- разработана численная модель процесса работы системы зажигания двигателя внутреннего сгорания для широкого диапазона напряжений;

- предложен метод широтно – импульсного регулирования выходного напряжения автомобильного генератора, позволяющий продлить срок службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима;

- предложен метод разделения напряжения, поступающего от генератора для заряда аккумуляторной батареи и напряжения остальных потребителей электрической энергии;

- предложен метод широтно – импульсного регулирования уровня выходного напряжения для электропривода вспомогательного оборудования.

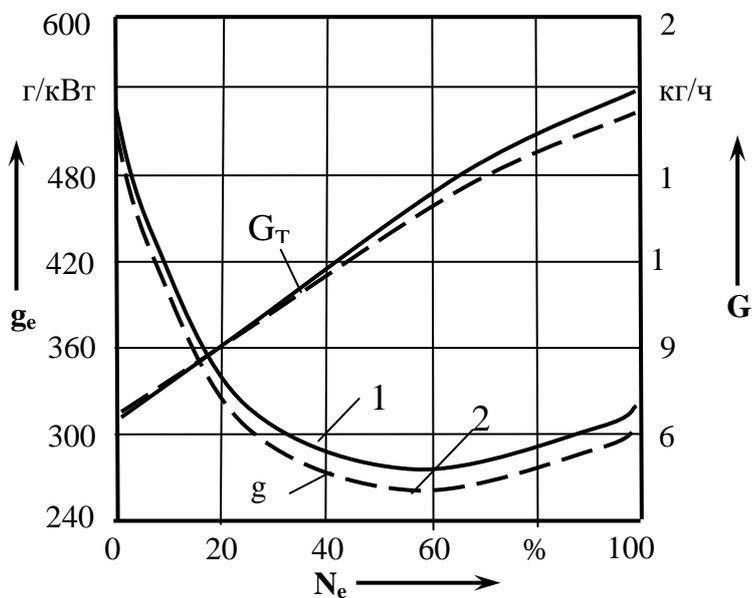
В третьей главе на основании рассмотренных требований, полученных результатах теоретических исследований предложены конкретные технические решения по их реализации, улучшающие эксплуатационные характеристики автомобилей.

По системе электропуска решена задача разработки схемы контроллера, обеспечивающего управление силовыми транзисторами импульсного преобразователя напряжения, заряжающего емкостной накопитель энергии. В схему контроллера введен монитор максимального напряжения, который работает совместно с термозависимым делителем напряжения. До достижения напряжения на накопителе, равного сумме напряжения пробоя стабилитрона и порогового напряжения микросхемы, коэффициент деления термозависимого делителя возрастает с уменьшением температуры терморезистора, что приводит к увеличению напряжения срабатывания монитора и появлению температурной зависимости выходного напряжения в зависимости от температуры масла в картере. Однако при достижении выходным напряжением преобразователя 15 – 17В (для 12В сети), с целью исключения поломки ДВС, монитор максимального напряжения срабатывает, запрещая прохождение тактовых импульсов

управления силовыми ключами. Окончание заряда индицируется светодиодом, после включения которого можно осуществлять пуск ДВС.

Отметим, что расчет максимального напряжения, до которого следует зарядить накопитель энергии, на практике крайне затруднен тем, что как максимальный, так и средний моменты сопротивления прокручиванию определяются не только температурой окружающей среды и маркой ДВС, но и его степенью изношенности, вязкостью залитого масла. Следовательно, необходимо устройство, которое самостоятельно определяло бы: до какого напряжения следует заряжать накопитель энергии, и при какой температуре масла возможен пуск. Непосредственно перед пуском емкостной накопитель энергии заряжается через адаптивный преобразователь напряжения, параллельно с зарядом накопителя производится прогрев двигателя от предпускового подогревателя и, как только температура масла в картере двигателя достигнет определенной величины, разомкнутся контакты биметаллического датчика температуры, пуск ДВС производится автоматически. Преимуществом данного импульсного преобразователя является приближенный автоматический учет зависимости момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала ДВС от температуры.

Эксплуатационные характеристики системы зажигания улучшаются при использовании разработанных преобразователей параметров электрической энергии – адаптивного повышающего преобразователя для режима пуска ДВС и адаптивного преобразователя, поддерживающего постоянный коэффициент запаса на всех режимах работы ДВС.



1 - штатная система зажигания,
2 - экспериментальная система зажигания

Рисунок 6 – Нагрузочные характеристики бензинового двигателя

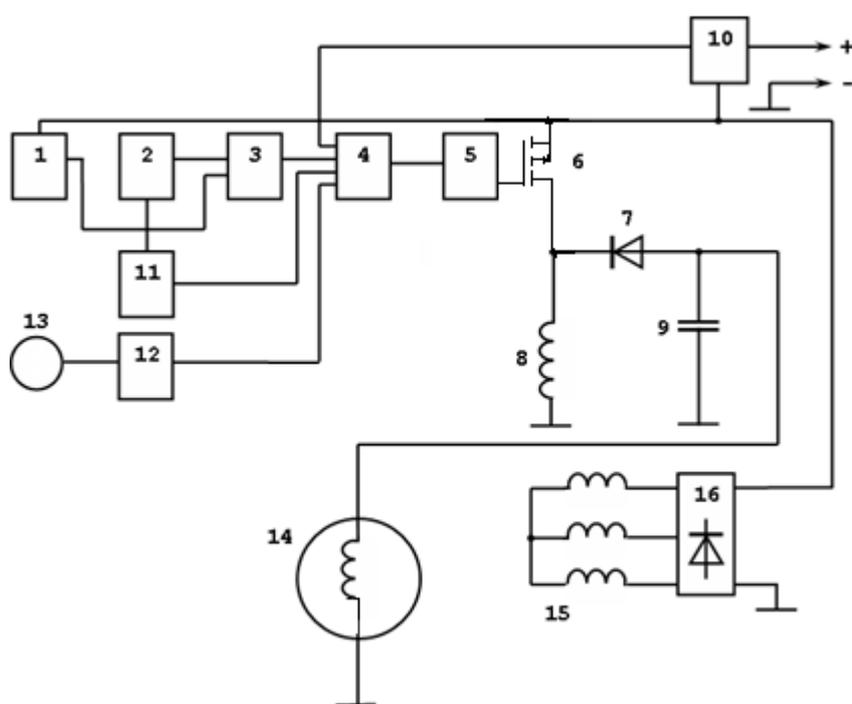
пользовании разработанных преобразователей параметров электрической энергии – адаптивного повышающего преобразователя для режима пуска ДВС и адаптивного преобразователя, поддерживающего постоянный коэффициент запаса на всех режимах работы ДВС.

Повышающий преобразователь. Для обеспечения бесперебойного искрообразования во время пуска для любой системы зажигания следует изменять напряжение питания (рисунок 4). При превыше-

нии выходным напряжением преобразователя уровня около 10В (для 12В бортовой сети) преобразователь следует отключить для исключения перегрузки аппаратов системы зажигания, с этой целью включен стабилитрон, после пробоя которого система зажигания напрямую питается от бортовой сети. На основании проведенных теоретических исследований внесены принципиально новые технические решения по совершенствованию системы зажигания на основе *постоянного значения коэффициента запаса* по вторичному напряжению. Для получения заданного коэффициента запаса достаточно измерять пробивное напряжение, сравнивать его с вторичным напряжением и поддерживать их отношение постоянным. Такая задача решается, если ввести в систему зажигания датчики вторичного и пробивного напряжений, схему сравнения напряжений датчиков и регулируемый преобразователь напряжения. Датчик пробивного напряжения состоит из делителя напряжения, подключенного к первичной цепи катушки зажигания и первого пикового детектора. При прерывании тока в первичной цепи возникает импульс напряжения, амплитуда которого в коэффициент трансформации раз меньше, чем во вторичной цепи. С другой стороны, амплитуда импульса во вторичной цепи определяется моментом, когда нарастание вторичного напряжения прерывается пробоем. Напряжение на выходе пикового детектора оказывается прямо пропорциональным напряжению пробоя межэлектродного промежутка свечи зажигания. Датчик максимального вторичного напряжения содержит датчик тока первичной цепи и пиковый детектор. Максимальное вторичное напряжение пропорционально току разрыва, протекающему в первичной цепи. Сравнение напряжений пиковых детекторов происходит в схеме сравнения, сигнал которой и управляет работой преобразователя напряжения. Подобное построение позволяет автоматически поддерживать необходимый коэффициент запаса за счет регулирования выходного напряжения преобразователя, питающего первичную цепь штатной системы зажигания, что автоматически компенсирует неконтролируемый уход параметров системы зажигания за счет смены режимов работы двигателя, износа свечей зажигания, временного и температурного дрейфа параметров системы зажигания и других переменных величин. Нагрузочные характеристики двигателя представлены на рисунке 6. Виден одинаковый характер изменения удельного g_e и часового G_t , расхода топлива на двигателе, оснащенном как разработанной, так и штатной системами зажигания.

Отметим особенность разработанного устройства – если пуск ДВС осуществлять от емкостного накопителя энергии то, поскольку питание систем пуска и зажигания оказывается разделенным, нагрузка на аккумуляторную батарею снижается, и в схеме зажигания оказывается возможным использовать только понижающий преобразователь напряжения, обеспечивающий постоянный коэффициент запаса.

По системе электроснабжения. Для повышения коэффициента полезного действия и точности регулирования напряжения заряда аккумуляторной батареи в пределах $13,9 \pm 0,1\text{В}$ (для бортовой сети 12 В) необходимо использовать импульсное регулирование. Необходимо также учитывать ТКН батареи. Решение можно найти в применении схем ШИМ, которые могут обеспечить точность регулирования не меньшую, чем точность аналоговых систем, но на 1 - 2 порядка снижают мощность рассеивания на ключевых транзисторах (рисунок 7).



1 - измерительное звено, 2 - источник опорного напряжения, 3 - схема сравнения, 4 - логический блок, 5 - мультивибратор, 6 - мощный силовой ключ, 7 - диод, 8 - катушка, 9 - конденсатор, 10 - датчик тока нагрузки, 11 - компаратор напряжения, 12 - частотный компаратор, 13 - датчик частоты вращения коленчатого вала ДВС; 14 - обмотка возбуждения; 15 - обмотка статора; 16 - выпрямитель;

Рисунок 7 - Высокоточный регулятор напряжения бортовой сети автомобиля

В основе высокоточного регулирования напряжения бортовой сети лежит применение мощного силового ключа 6, катушки индуктивности 8, диода 7 и конденсатора 9. Измерительное звено 1 представляет собой делитель напряжения бортовой сети на двух последовательно включенных сопротивлениях. Схема сравнения 3 -

разностный усилитель на операционном усилителе. Управление ключом производится высокочастотным мультивибратором 5, который включается от схемы сравнения опорного напряжения и

напряжения бортовой сети. Мощный силовой ключ 6 на время импульса мультивибратора 5 открывается и через катушку индуктивности 8 течет ток.

После запираания ключа 6 ток через катушку 8 продолжает протекать в том же направлении и через диод 7 заряжает фильтрующий конденсатор 9, напряжение с которого и подается на обмотку возбуждения генератора 14. Обмотка возбуждения генератора и конденсатор 9 являются хорошими фильтрами низких частот. Обмотка возбуждения питается практически постоянным средним током, пропорциональным разности между опорным напряжением и напряжением, снимаемым с измерительного звена.

Расчет показывает, что у батареи, содержащей 6 аккумуляторов, при изменении температуры в подкапотном пространстве от -40°C до 80°C возможное изменение ЭДС полностью заряженной батареи составляет $\sim 0,15\text{ В}$, следовательно, необходима разработка источника опорного напряжения, учитывающего ее ТКН. Разработанные устройства источников опорного напряжения позволяют выработать сигнал управления ШИМ - регулятором. Конструктивно разработанный регулятор следует размещать не на генераторе, как это делают в настоящее время, а в специальном кармане, состыкованном с аккумуляторной батареей, с целью получения температуры датчиков, близкой к температуре электролита.

Кроме того, на время пуска ДВС ток в цепи возбуждения отключается за счет включения в разработанное устройство регулятора напряжения датчика 13 частоты вращения коленчатого вала и частотного компаратора 12. Если частота вращения коленчатого вала ниже максимальной пусковой частоты, на выходе компаратора появляется уровень логического нуля. При этом логический блок 4 регулятора запрещает протекание тока по обмотке возбуждения. Кроме того, если температура электролита аккумуляторной батареи превышает 45°C , то она перестает воспринимать заряд. Поэтому с целью уменьшения потерь энергии при температуре выше 45°C зарядный ток батареи следует отключать, и компаратор напряжения 11 отключает ток в цепи обмотки возбуждения генератора при данных условиях.

Для реализации *метода разделения* напряжений, подаваемых от генератора для заряда аккумуляторной батареи и напряжений остальных потребителей электрической энергии разработан высокоточный источник вторичного электропитания. В зависимости от соотношения между опорным напряжением и напряжением сети фор-

мируется выходное напряжение компаратора, управляющее силовым МОП транзистором. Разработано устройство для надежного включения n-канального МОП транзистора с индуцированным каналом, который экономически выгодно использовать в качестве ключа. Схема задержки включения преобразователя, выполненная на компараторе, обеспечивает паузу около 0,1 с, необходимую для первоначального заряда конденсатора фильтра.

Система *охлаждения двигателя внутреннего сгорания* с применением адаптивного преобразователя напряжения позволяет плавно вывести ДВС на рабочую температуру, что влияет на процесс смесеобразования в его цилиндрах, на коэффициент полезного действия и ресурс работы, токсичность отработавших газов, расход топлива и тягово-скоростные характеристики. Для повышения точности поддержания температуры охлаждающей жидкости применен регулируемый ШИМ преобразователь, который позволяет включать вентилятор с небольшой частотой вращения еще до достижения двигателем рабочей температуры и плавно увеличивать скорость его вращения по мере прогрева ДВС.

С целью повышения комфорта и безопасности движения разработана *система вентиляции и отопления салона* с применением адаптивной системы электропитания на основе управляемого преобразователя. Схема такого устройства реализована с использованием интегрального таймера NE/SE 555.

Разработана схема *автоматизации электронной регулировки воздушных потоков* в салоне и поддержание температуры радиатора отопителя салона. По мере прогрева охлаждающей жидкости, циркулирующей по радиатору отопителя, частота вращения вентилятора возрастает. При приближении температуры воздуха в салоне к установленной задающим устройством, частота вращения вентилятора уменьшаться. Для реализации этого алгоритма необходимо устройство, задающее температуру в салоне, и два датчика: температуры: воздуха, поступающего из отопителя, и реальной температуры воздуха в салоне, а также два разностных усилителя и формирователь ШИМ-сигнала, управляющий мощным ключом на МОП – транзисторе.

Разработан также автоматический регулятор *температуры радиатора отопителя* при электронном управлении краном отопителя: для этого механический кран заменен электромагнитным клапаном управления потоком охлаждающей жидкости. Устройство сравнивает напряжения от датчика температуры воздуха, поступающего

по трубопроводу от вентилятора отопителя, и задающего устройства и управляет работой электромагнитного клапана.

выводы:

- разработана система электроснабжения с импульсным адаптивным преобразователем параметров электрической энергии аккумуляторной батареи и емкостным накопителем энергии, учитывающая как характеристики двигателя, так и внешние условия пуска;

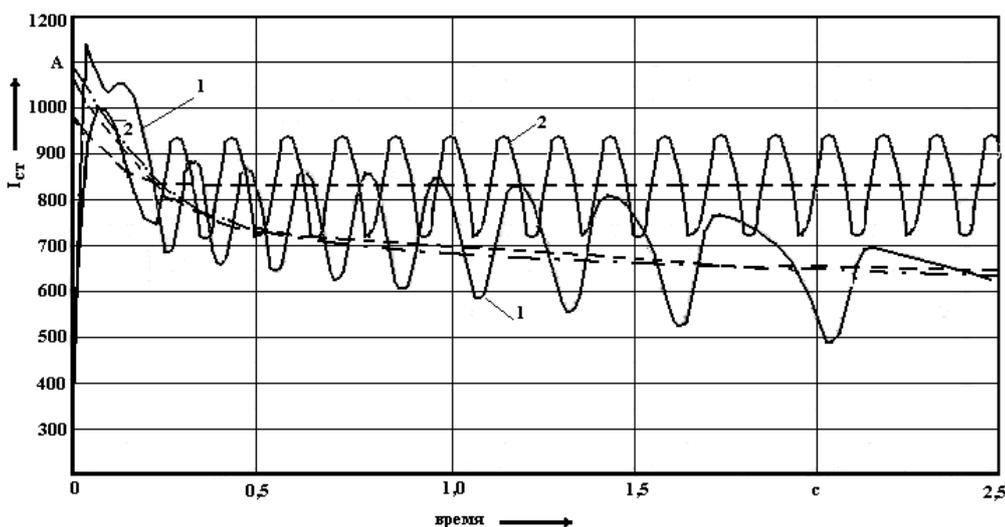
- разработаны системы электроснабжения системы зажигания, содержащие адаптивные преобразователи параметров электрической энергии для области пусковых частот - повышающий, а для области рабочих частот – понижающий, обеспечивающий постоянный коэффициент запаса по вторичному напряжению;

- разработана система электроснабжения на основе ШИМ регулятора, обеспечивающая повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима;

- разработаны системы электроснабжения на основе ШИМ регуляторов для электропривода вспомогательного оборудования, обеспечивающие плавное регулирование среднего напряжения на двигателях постоянного тока и улучшающие эрго-

номику, эксплуатационные характеристики и безопасность движения;

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований эксплуатационных характеристик автомобиля с адаптируемыми системами



Температура минус 25°С, вязкость масла $\nu = 0,48 \frac{м^2}{с}$, начальное напряжение на накопителе энергии МНЭ-100/28Б $U_H = 24 В$, сопротивление цепи $R_d = 0,003 Ом$, внутренне сопротивление накопителя энергии $R_{HЭ} = 0,01 Ом$.

Рисунок 8 - Результаты процесса прокрутки двигателя КамАЗ-740 стартером СТ-142Б от накопителя энергии емкостью 100Ф (1) и штатных аккумуляторных батарей (2)

электрооборудования.

Исследования проводились на ФГУП Рязанский приборный завод, в Рязанском военном автомобильном институте, Рязанском заводе металлокерамических приборов. Токи и напряжения измерялись с помощью USB-осциллографа (применялись токовые клещи для измерения тока). Исследованы автомобили КамАЗ и ЗиЛ. По системе электропуска получены экспериментальные данные процесса прокрутки двигателя КамАЗ-740 стартером СТ-142Б от накопителя энергии емкостью 100Ф (1) и штатных аккумуляторных батарей (2) (рисунок 8), подтверждающие предложенную во второй главе математическую модель пуска ДВС. При пуске двигателя от накопителя энергии можно заметить отличия от пуска того же двигателя от аккумуляторных батарей: отсутствие этапа прокручивания с постоянной средней частотой вращения.

Обычно предполагают, что большую часть времени прокручивание происходит с практически постоянным средним моментом сопротивления. В результате, в процессе вращения двигателя среднее значение тока стартера должно оставаться почти неизменным в течение всего периода вращения. При этом напряжение, как на стартере, так и источнике энергии, линейно падает в функции времени. Действительно, при прокручивании ДВС от аккумуляторных батарей средний ток стартера, за исключением начального участка - около 0,2с, остается практически постоянным, однако, при прокручивании от накопителя энергии этого не наблюдается (ток стартера и его момент пропорциональны друг другу). Из рисунка 2 следует, что при изменении средней установившейся частоты от 11 до 4 рад/с установившийся момент на один цилиндр двигателя должен изменяться от 5,6 до 4,4 Нм, т.е. в 1,3 раза. С другой стороны, средний ток стартера, снижается от 800 до 590А (рисунок 8), т.е. в 1,4 раза, что говорит о лучшем соответствии эксперименту разработанной модели, чем модели, в которой средний ток стартера и момент сопротивления прокручиванию постоянны. Экспериментальные результаты позволяют сделать вывод об эффективности предложенной схемы замещения для расчета пусковых характеристик систем пуска ДВС при использовании адаптивной системы электропитания с конденсаторным (емкостным) накопителем энергии и преобразователем параметров электрической энергии, а также наметить пути совершенствования систем пуска ДВС с применением адаптивных систем электропуска.

С целью оценки влияния на эксплуатационные характеристики автомобиля системы зажигания с адаптируемыми преобразователями параметров электрической энергии исследованы схемы с повышающими и понижающими преобразователями.

Повышающие преобразователи. Экспериментальная система зажигания восстанавливает напряжение бортовой сети при снижении напряжения аккумуляторной батареи.

При напряжении бортовой сети 5В выходное напряжение преобразователя, питающего систему зажигания, составляло 7,5В, что позволило получить бесперебойное искрообразование в диапазоне частот вращения коленчатого вала ДВС от 50 до 75 оборотов в минуту. При

увеличении частоты

вращения ≥ 75 мин-

1, наблюдались перебои в искрообразовании. Если входное напряжение преобразователя

превышало 5,5В, его выходное напряжение было выше 8,3

В. и во всем диапазоне пусковых частот вращения коленчатого вала n

ДВС наблюдалось бесперебойное искрообразование.

Исследован и преобразователь, реализующей зависимость $U_{\text{б}}$ от n для области пусковых

частот вращения коленчатого вала n

ДВС наблюдалось бесперебойное искрообразование.

Исследован и преобразователь, реализующей зависимость $U_{\text{б}}$ от n для области пусковых

частот вращения коленчатого вала n

ДВС наблюдалось бесперебойное искрообразование.

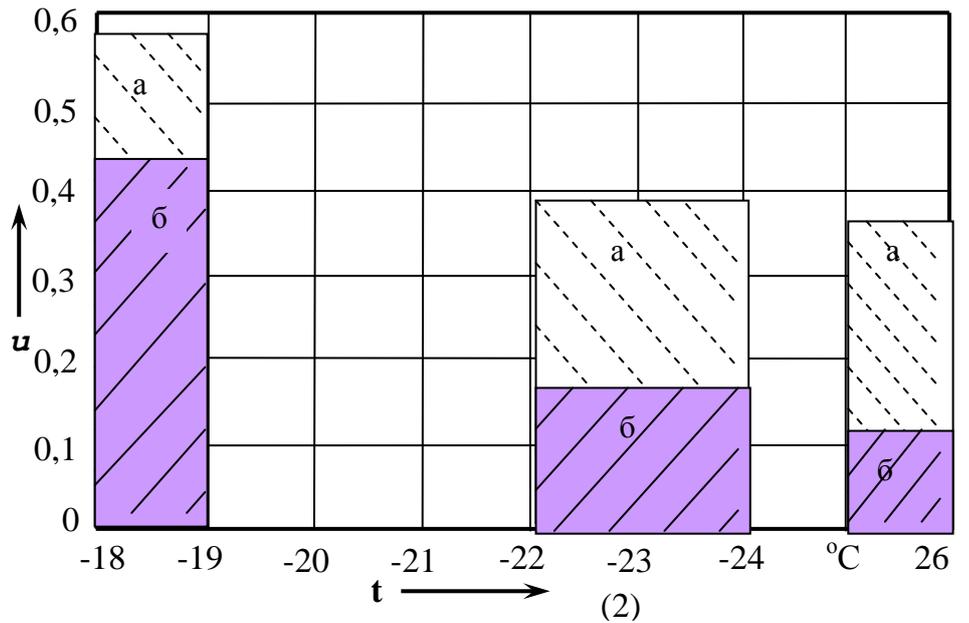
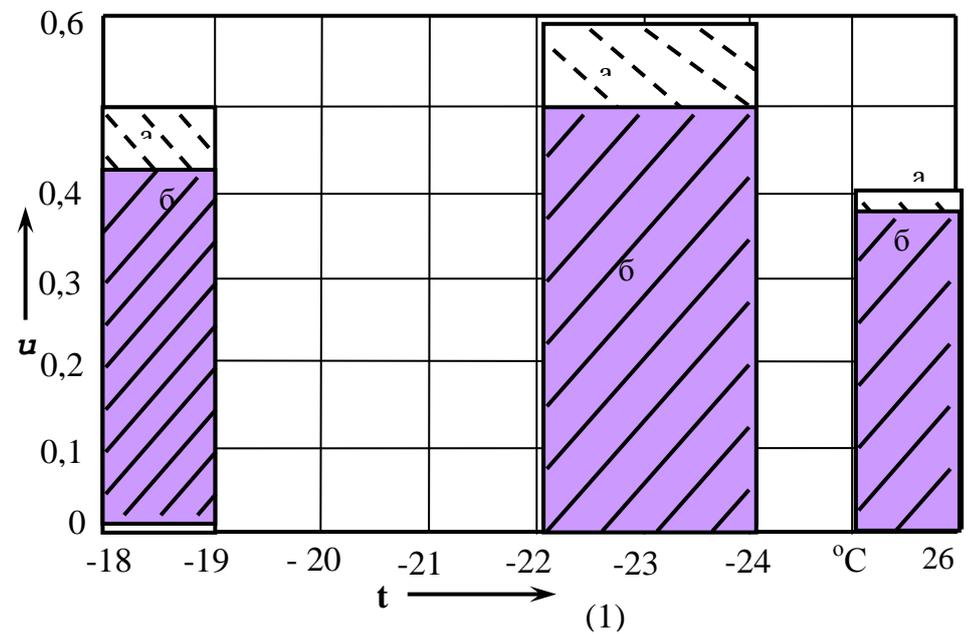


Рисунок 9 - Гистограммы холодного пуска для экспериментальной (а) и штатной (б) систем зажигания при аккумуляторной батарее, заряженной (1) -на 100 % и при (2) – на 75 %

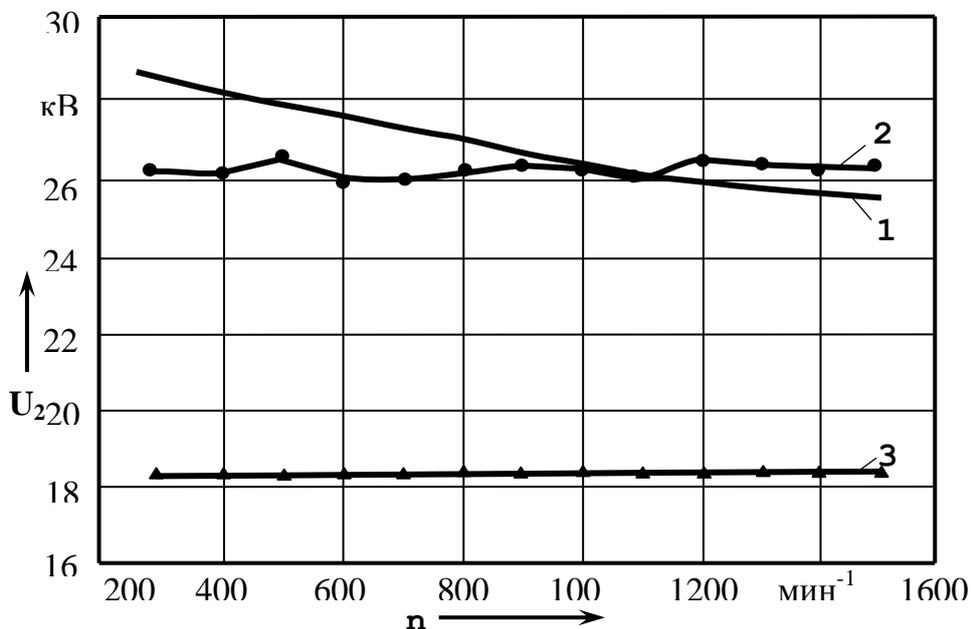
частот. Получена зависимость выходного напряжения преобразователя от скорости вращения коленчатого вала ДВС.

Из сопоставления с теоретической зависимостью (рисунок 5) следует полная идентичность этих зависимостей. Были проведены исследования рассмотренной выше системы зажигания при холодном пуске ДВС в парко - гаражных условиях. За время испытаний произведено 35 пусков двигателя при разных отрицательных температурах среды при 100 % заряженности аккумуляторной батареи и при аккумуляторной батарее, заряженной на 75%. Для оценки эффективности функционирования системы зажигания предложен коэффициент μ равный отношению удачных пусков ДВС к количеству попыток его пуска. Чем ближе к единице этот коэффициент, тем лучше пусковые свойства двигателя. Из статистически обработанных (χ^2) экспериментальных данных можно сделать вывод, что вероятность пуска при использовании экспериментальной системы зажигания выше, чем при использовании серийной для батарей, заряженных на 75 % (рисунок 9).

Что касается случаев с полностью заряженной батареей, то применение экспериментальной системы зажигания обладает тем преимуществом, что позволяет исключить избыточные перегрузки коммутаторов, катушек зажигания, распределителей.

Понижающий преобразователь с постоянным коэффициентом запаса по вторичному напряжению.

В области рабочих частот (рисунок 5) напряжение также зависит от частоты вращения коленчатого вала ДВС. Зависимость коэффи-



1 – вторичное напряжение, развиваемое штатной системой зажигания; 2 – вторичное напряжение, развиваемое экспериментальной системой зажигания; 3 – пробивное напряжение.

Рисунок 10 - Зависимости вторичного и пробивного напряжений от частоты вращения коленчатого вала ДВС в области рабочих частот при зазоре между электродами разрядника 7 мм.

циента запаса от пробивного напряжения и напряжения питания системы зажигания определялась одновременно для двух систем зажигания – штатной и экспериментальной (рисунок 10). При этом пробивное напряжение изменялось за счет изменения величины искрового промежутка трехэлектродного игольчатого разрядника стенда СПЗ - 12. При зазоре между его электродами 7 мм пробивное напряжение составляет ~18,3 кВ, а вторичное напряжение экспериментальной системы зажигания, как видно из рисунка 10, остается практически постоянным и составляет ~ 26 кВ.

Что касается вторичного напряжения штатной системы зажигания, то оно изменяется от 28,8 кВ при $n = 300$ об/мин до 25 кВ при 1600 об/мин (рисунок 10). Как и следовало ожидать, оно не зависит от пробивного напряжения искрового промежутка разрядника, но зависит от частоты. При этом коэффициент запаса уменьшается от 1,6 до 1,36, поскольку при увеличении частоты время накопления энергии в первичной цепи снижается из-за уменьшения времени, приходящегося на один оборот распределительного вала.

выводы:

- экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о справедливости предложенной математической модели и схемы замещения системы источник напряжения – стартер – двигатель внутреннего сгорания на ее основе, а также применимости предложенной модели для расчета пусковых характеристик систем пуска ДВС при использовании импульсных адаптивных систем электроснабжения с емкостным накопителем энергии и преобразователем параметров электрической энергии;

- разработанные схемы импульсных адаптивных преобразователей параметров электрической энергии для работы на емкостные накопители энергии позволяют осуществлять надежный пуск двигателя внутреннего сгорания автомобильной техники в широком диапазоне температур;

- исследованы схемы систем зажигания с разработанными системами электроснабжения, содержащими для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот – понижающий преобразователь, напряжение которого обеспечивает постоянный коэффициент запаса по вторичному напряжению;

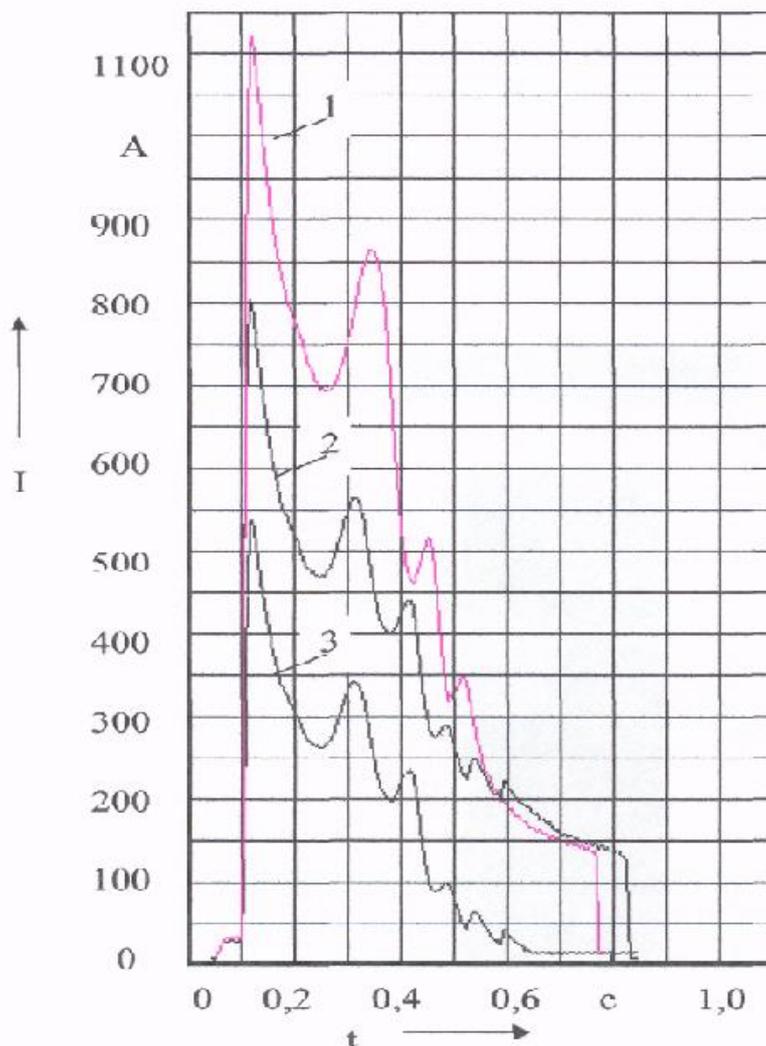
- испытания при низких температурах окружающей среды показали, что замена штатной системы зажигания экспериментальной обеспечивает повышение надежности пуска бензинового двигателя;

- результаты лабораторных и эксплуатационных испытаний в области рабочих частот показали, что, несмотря на пониженное напряжение питания экспериментальной системы зажигания, способствующее повышению ее надежности и долговечности, ее применение не приводит к сбоям в работе бензинового двигателя;

- в соответствии с поставленными задачами проведено исследование температурной зависимости прямого падения напряжения на диоде, изготовленном на основе широкозонного полупроводника (*GaP*), и подтверждена экспериментально линейность этой зависимости.

В пятой главе проведена техническая и экономическая оценка эффективности применения адаптивных импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электрооборудовании автомобильной техники, проведен расчет предполагаемой экономии материалов, экономического и другого эффекта, получаемого от применения разработанных устройств, а также оценена безотказность их работы.

Эффективность функционирования системы электропуска автомобилей с адаптируемым преобразователем параметров электрической энергии обусловлена снижением времени пуска, возможно-



1 – штатные аккумуляторные батареи; комбинированный источник, содержащий аккумуляторные батареи (2 - ток батарей), и емкостной накопитель энергии (3 - ток емкостного накопителя)

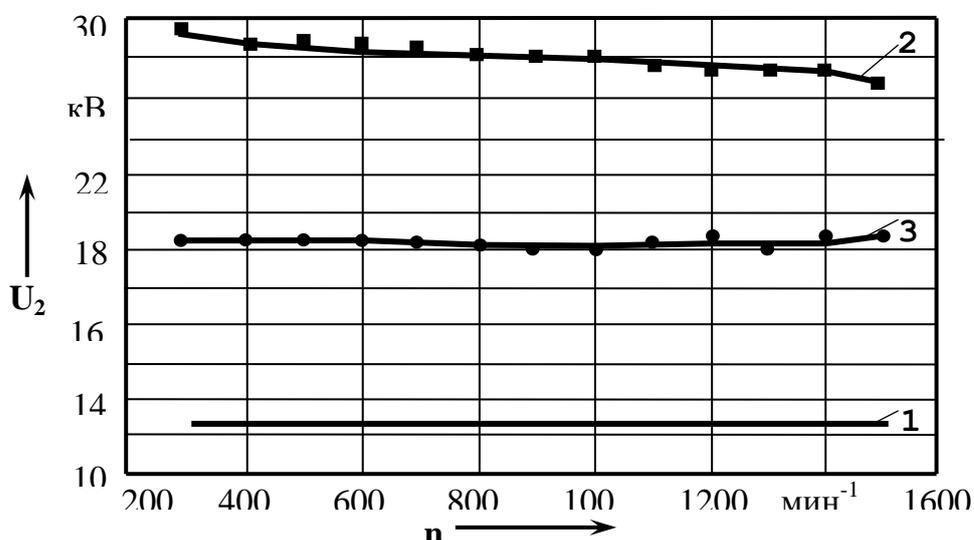
Рисунок 11 - Токи при пусках двигателя КамАЗ 740 (Температура минус 3°С, вязкость масла $\nu = 0,48 \frac{м^2}{с}$, начальное напряжение на накопителе энергии МНЭ-100/28Б $U_H = 24 В$, сопротивление цепи $R_{ц} = 0,003 Ом$, внутренне сопротивление накопителя энергии $R_{НЭ} = 0,01 Ом$.)

стью пуска при более низких температурах и снижением нагрузки на аккумуляторную батарею (рисунок 11), что ведет к увеличению ее срока службы.

Эффективность функционирования системы зажигания автомобилей с адаптируемыми импульсными преобразователями параметров электрической энергии обусловлена снижением перегрузок аппаратов зажигания за счет поддержания постоянного коэффициента запаса (рисунок 12).

Как видим, пробивное напряжение по сравнению с рисунком 9 заметно снизилось, а вторичное напряжение штатной системы зажигания никак на это не реагирует, что и ожидалось. Более того, оно даже несколько повысилось. Поэтому коэффициент запаса заметно вырос и составил уже 2,24. В то же время вторичное напряжение экспериментальной системы зажигания снизилось пропорционально уменьшению пробивного напряжения, сохранив прежний коэффициент запаса 1,4, что наглядно иллюстрирует преимущества разработанной системы зажигания.

Показано, что, кроме рассмотренных в выше областях применения адаптивных систем электропитания с импульсными преобразователями параметров электрической энергии, можно указать их возможные применения и в других системах электрооб-



1 – пробивное напряжение; 2 – вторичное напряжение, развиваемое штатной системой зажигания; 3 – вторичное напряжение, развиваемое экспериментальной системой зажигания.

Рисунок 12 - Зависимости вторичного и пробивного напряжений от частоты вращения коленчатого вала ДВС в области рабочих частот при зазоре между электродами разрядника 5 мм.

рудования автомобилей: в системах впрыскивания топлива, информационно-измерительной системе и проведен оценочный расчет показателей надежности систем электрооборудования с импульсными преобразователями параметров электрической энергии на примере системы зажигания, показывающий повышение их безотказности.

При разработке

преобразователей для системы *впрыскивания топлива* следует учитывать, что напряжение на форсунке должно быть максимальным непосредственно в момент поступления импульса управления – это позволит обеспечить наибольшую скорость нарастания тока, и, соответственно, уменьшить время срабатывания форсунки. После завершения срабатывания форсунки нет нужды в повышенном напряжении – оно должно быть таким, чтобы обеспечить удержание электромагнита до момента окончания управляющего импульса, кроме того, напряжение на форсунке следует регулировать в зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания, то есть, преобразователь напряжения должен быть управляемым. В результате проведенного анализа можно сделать вывод о необходимости стабилизации напряжения на *информационно-измерительной системе*. Источник вторичного электропитания может быть построен по системе, рассмотренной для питания ламп накаливания.

Надежность систем электрооборудования с импульсными преобразователями параметров электрической энергии существенно выше, чем для систем, построенных по стандартной структуре, что показано на примере системы зажигания и подтверждается как расчетами, так и эксплуатационными испытаниями. Возможный вариант построения инновационной системы электрооборудования с использованием современных компьютерных систем показан на рисунке 13.

Следует учесть, что рассмотренными примерами не исчерпываются возможности совершенствования электрооборудования автомобильной техники, возможно применение предложенных принципов и к другим его видам.

В результате проведенных испытаний получены следующие результаты:

- в связи с сокращением массы системы пуска с адаптивной системой электропитания облегчаются условия труда водителей и ремонтных рабочих, уменьшаются затраты материальных и денежных средств на эксплуатацию и техническое обслуживание системы электростартерного пуска.

- предельная минимальная температура надежного пуска холодного двигателя значительно снижена (на $\sim 10 - 20^{\circ}\text{C}$) за счет применения адаптивных систем питания систем электроснабжения, пуска и зажигания (для бензиновых двигателей);

- увеличен срок службы аккумуляторных батарей за счет повышения их средней степени заряженности с учетом температурного режима и облегчения режима эксплуатации за счет снижения стартерных токов в 1,2 - 1,4 раза;

- увеличивается срок службы остальных потребителей электрической энергии за счет применения автоматического регулирования электропривода и достижения рациональных режимов их работы (для ламп накаливания ~ в 2 раза).

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

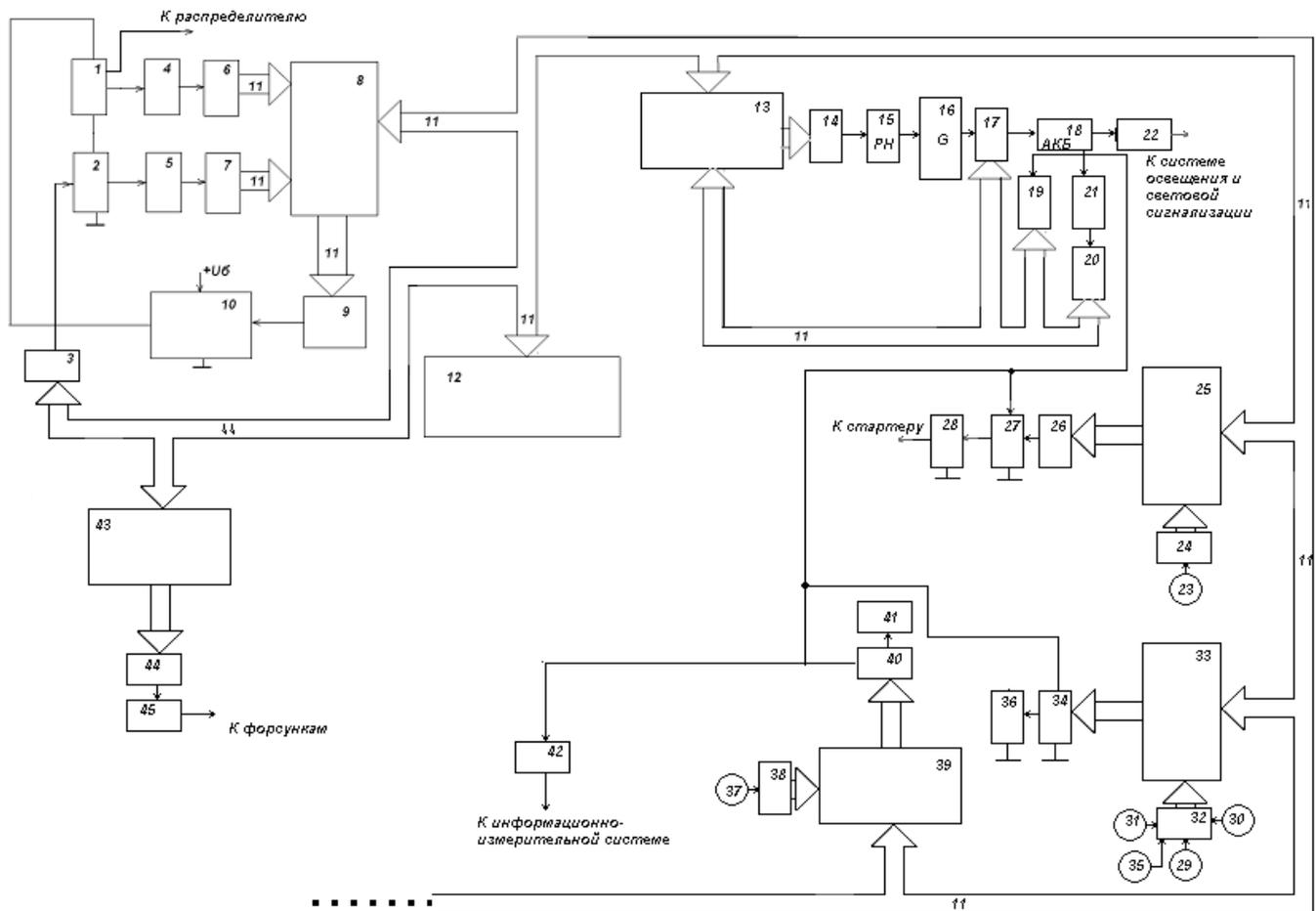
1. На основании разработанных принципов построения и развития адаптивной системы электрооборудования автомобиля, как единой системы с обратными связями, предложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, комплекс инновационных устройств и конструкторских разработок, значительно повышающих эксплуатационные характеристики и надежность систем электрооборудования автомобилей, особенно в экстремальных низкотемпературных условиях эксплуатации, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие автомобильного транспорта России.

2. По системе электрического пуска двигателя внутреннего сгорания:

- разработана математическая модель системы электрического пуска двигателя внутреннего сгорания при ее питании от емкостного накопителя энергии в широком диапазоне напряжений, превышающих номинальные;

- произведен синтез методом Кауэра эквивалентной электрической схемы замещения системы пуска ДВС;

- предложены устройства и технические решения по совершенствованию системы электропуска автомобильных двигателей с помощью преобразователя параметров электрической энергии на основе емкостного накопителя энергии, обеспечивающие соответствующие необходимым требованиям пуска выходные параметры системы электропуска двигателей автомобильной техники в широком температурном диапазоне (технические решения защищены патентами РФ);



- 1 – катушка зажигания; 2- коммутатор; 3 - ЭСУД 4- пиковый детектор пробивного напряжения; 5 - пиковый детектор тока разрыва; 6,7, 19, 20, 24, 32, 38 - АЦП; 8 - микроконтроллер системы зажигания; 9, 14, 26, 44 - ЦАП; 10 - преобразователь; 11 - шина; 12 - центральный бортовой компьютер; 13 - микропроцессор системы электроснабжения; 15 - регулятор напряжения, 16 - генератор; 17 - датчик тока генератора; 18 - аккумуляторная батарея; 21 - источник опорного напряжения; 22 - источник вторичного электропитания; 23 - датчик температуры масла в картере; 25 - микроконтроллер системы пуска; 27 - преобразователь; 28 - емкостной накопитель энергии; 29, 30, 31 - датчики температуры салона, воздуха отопителя, датчика температуры соответственно; 33 - микроконтроллер системы отопления салона; 34 - каскад ШИМ; 35 - датчик принудительного включения вентилятора; 36 - вентилятор отопителя; 37 - датчик температуры охлаждающей жидкости; 39 - микроконтроллер системы охлаждения ДВС; 40 - каскад ШИМ; 41 - вентилятор; 42 - источник вторичного электропитания; 43 - микроконтроллер системы впрыска; 45 - управляемый преобразователь

Рисунок 13 - Инновационная система электрооборудования автомобиля

- экспериментальные исследования предложенных технических решений подтвердили адекватность математической модели системы электропуска ДВС исследуемым процессам и эффективность предложенных схем и технических решений.

3. По системе зажигания:

- получена теоретическая модель необходимого напряжения системы зажигания при пуске и в рабочем режиме в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- разработаны эффективные устройства и технические решения для системы зажигания, содержащие для области пусковых частот повышающий преобразователь, а для области рабочих частот – понижающий преобразователь, напряжение которого обеспечивает постоянную величину коэффициента запаса по вторичному напряжению на всех режимах работы ДВС (технические решения защищены патентами РФ) ;
- испытания предложенных разработок при низких температурах окружающей среды показали, что замена штатной системы зажигания предложенной обеспечивает повышение надежности пуска бензинового двигателя;

4. По системе электроснабжения:

- в соответствии с предложенным принципом построения системы электроснабжения, разработаны инновационные устройства и конструкторские решения, обеспечивающие повышение степени заряженности и продление срока службы аккумуляторной батареи с учетом ее температурного режима в 1,2 – 1,4 раза;
- разработаны новые устройства отключения обмотки возбуждения генератора, обеспечивающие повышение эффективности пуска ДВС и защиту генератора от перегрузок;

5. По электроприводу вспомогательного оборудования:

- предложены принципы построения и технические решения адаптивных систем электропитания на основе широтно-импульсных регуляторов для электропривода вспомогательного оборудования, обеспечивающие плавное регулирование уровня напряжения на двигателях постоянного тока в пределах от нуля до номинального, а также системы автоматического регулирования электропривода вспомогательного оборудования, оптимизирующие температурные, скоростные и другие режимы, обеспечиваемые электроприводом и улучшающие эргономику, эксплуатационные характеристики и безопасность движения;

6. По остальным системам электрооборудования автомобильной техники:

- разработан источник вторичного электропитания на основе широтно - импульсного стабилизатора, позволяющий стабилизировать выходное напряжение с погрешностью до 0,5% и повысить долговечность потребителей электроэнергии;
- в соответствии с предложенными принципами разработан источник вторичного электропитания на основе широтно - импульсного регулятора, позволяющий повысить срок службы ламп накаливания за счет плавного увеличения напряжения на системах световой сигнализации и освещения в пределах, допускаемых техническими условиями;
- с целью улучшения эксплуатационных характеристик систем впрыска топлива предложен принцип изменения напряжения на электромагнитных форсунках и технические решения пути его реализации;

7. На основе предложенных принципов, теоретических положений и математических моделей разработаны устройства и технические решения, на которые получены 38 патентов Российской Федерации. В частности, запатентованы системы электрического пуска, импульсные регуляторы напряжения, источники опорного напряжения для адаптивных преобразователей систем электропитания, системы отопления и вентиляции салона, стеклоочистки, охлаждения ДВС. Аналитические и экспериментальные исследования предложенных теоретических положений и технических решений подтвердили их высокую эффективность.

8. Обоснованность теоретических положений, технических решений и полученных результатов работы, их научная, практическая и экономическая значимость подтверждается внедрением в серийное производство на Рязанском заводе металлокерамических приборов, в учебные процессы Рязанского военного автомобильного института имени генерала армии В.П. Дубынина, Современного технического института, Московского государственного открытого университета, Рязанского государственного радиотехнического университета, результаты исследований проверены на ряде предприятий (РЗ металлокерамических приборов, ФГУП Рязанский приборный завод, Воронежский НИИ связи), реализованы на X международном салоне инноваций и инвестиций, по результатам исследования автором выполнены научные проекты «Учебно-лабораторный комплекс «машины постоянного тока», «Автомобильный кондиционер для зимних условий эксплуатации», «Регулирование времени срабатывания электро-

магнитной форсунки» по заказу Министерства промышленности, инновационных и информационных технологий Рязанской области.

Основные положения диссертации опубликованы:

Статьи в журналах, входящих в международные системы цитирования и рекомендованные ВАК России для опубликования результатов кандидатских и докторских диссертаций

1 **Айзензон, А.Е.** Модель работы системы электропуска ДВС [Текст]/ А.Е. Айзензон, **Ю.В. Гармаш**, Е.В.Латахина //Автомобильная промышленность. – 2004. - № 5. - С. 16-18.

2 **Гармаш, Ю.В.** Система зажигания с регулируемым напряжением питания [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Е.И.Титов, А.В. Латахин //Автомобильная промышленность. – 2000. - № 5. - С. 26-27.

3 **Айзензон, А.Е.** Регулятор скорости вращения вентилятора отопителя [Текст]/А.Е.Айзензон, **Ю.В.Гармаш**, И.И. Пономарева, В.И. Ясевич// Автомобильная промышленность. – 2004. - № 11. - С. 21 – 22.

4 **Айзензон, А.Е.** Многорежимное устройство управления стеклоочистителем [Текст]/ А.Е. Айзензон, **Ю.В. Гармаш**, Н.П. Шевченко // Автомобильная промышленность. - № 12. – 2005. - с.23-24.

5 **Айзензон, А.Е.** Регулятор напряжения с импульсным стабилизатором [Текст]/ А.Е. Айзензон, **Ю.В. Гармаш**, Л.Е.Михневич, О.В. Герасев // Автомобильная промышленность. - 2005. - № 8. - С. 21-22.

6 **Гармаш, Ю.В.** Новый автомобильный регулятор напряжения в бортовой сети АТС [Текст]/Ю.В. Гармаш, Н.П. Шевченко, Л.Е. Михневич //Автомобильная промышленность. - 2006. - № 9. - С. 16 - 17.

7 **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.

8 **Sarbaev, V. I.** Recuperative Shock Absorber [Текст]/ Sarbaev V. I., Garmach Yu.V., Blinnikova L.G./ Russian engineering research/ - v.36. - №11. 2016. – p. 920-922.

9 **Сарбаев, В.И.** Устройство управления магнитным генератором-амортизатором для автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, В.Г. Сидельников, Л.Г. Блинникова// Вестник машиностроения. – 2016., - №8 - с. 52-54.

10 **Титов, Е.И.** Зарядное устройство для накопителей энергии [Текст]/ Е.И. Титов, **Ю.В. Гармаш**, С.А. Лебедев //Грузовик. - 2001. - №7. - С.10-11.

11 **Лебедев, С.А.** Анализ технического уровня свинцовых стартерных аккумуляторных батарей, применяемых на образцах вооружения и военной техники [Текст]/С.А. Лебедев, М.А. Молчанов, Е.И. Титов, **Ю.В. Гармаш** //Грузовик. - 2001. - №7. - С. 31-34.

12 **Гармаш, Ю.В.** Моделирование системы пуска ДВС при ее питании от емкостного накопителя энергии [Текст]/ Ю.В. Гармаш//Грузовик. - 2007. - № 11. - С.19-22.

13 **Титов, Е.И.** Унифицированный источник электроэнергии для систем электрического пуска ВВТ. Батарея-модуль [Текст]/ Е.И. Титов, Ю.В. Гармаш, С.А. Лебедев //Грузовик. - 2001. - №9. - С.7-8.

14 **Гармаш, Ю.В.** Системы бортового электрооборудования с ограниченной мощностью первичного источника [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Грузовик. - 2007. - № 8. - С.10-11.

15 **Гармаш, Ю.В.** Система зажигания с регулируемым напряжением питания для бензинового двигателя [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Е.И.Титов, А.В. Латахин //Грузовик. - 2001. - №1. - С. 19-20.

16 **Гармаш, Ю.В.** Системы бортового электрооборудования с ограниченной мощностью первичного источника [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Изв. Вузов. Машиностроение. – 2011. - №3. - С.33-35.

17 **Гармаш, Ю.В.** Об оптимизации системы очистки стекла транспортного средства [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Изв. Вузов. Машиностроение. – 2011. - №1. - С.23 -26.

18 **Гармаш, Ю.В.** Системы бортового электрооборудования с ограниченной мощностью первичного источника [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Изв. ВУЗов. Машиностроение № 3, 2011, С. 33-35.

19 **Гармаш, Ю.В.** Об оптимизации системы очистки стекла транспортного средства [Текст]/ Ю.В. Гармаш // Изв. ВУЗов. Машиностроение № 1, 2011, С. 23- 26.

20 **Сарбаев, В.И.** Управление электроприводом постоянного тока автотранспортных средств [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И.Пономарева // Мир транспорта и технологических машин./ - Орел, Госуниверситет-УНПК, - № 1 (36) - 2012. - с. 59-64.

21 **Сарбаев, В.И.** Способ кондиционирования салона автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И.Пономарева // Мир транспорта и технологических машин./ - Орел, Госуниверситет-УНПК, - № 4 (39) - 2012. - с. 37-42.

22 **Сарбаев, В. И.**, Импульсные преобразователи энергии в электрооборудовании автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И.Пономарева // Транспорт: наука, техника, управление . №12, 2012, с. 47-49.

23 **Сарбаев, В.И.** Эффективная схема управления системой охлаждения автомобильного двигателя [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш** // Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 2 2013. С. 11-13.

24 **Сарбаев, В.И.** Импульсные преобразователи энергии в системе электроснабжения автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.В Волков //Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 3 2014. С. 2--6.

25 **Сарбаев, В.И.** Физические основы регулирования времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, Т.С. Валова //Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 4 2014. С. 2-5.

26 **Сарбаев, В.И.** Исследование ламп накаливания в системе освещения и сигнализации автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.Г. Волков //Автотранспортное предприятие № 8, 2014, С. 46-49.

27 **Сарбаев, В.И.** Эффективность системы зажигания с адаптируемым преобразователем энергии [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш** //Мир транспорта. 2014. № 3. С.42-45.

28 **Сарбаев, В.И.** Перспективы развития кондиционеров [Текст]// В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, И.И.Пономарева //Транспорт: наука, техника, управление // № 5, 2014, стр. 28-31.

29 **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./ - Орел, Госуниверситет-УНПК, - № 2 (45) - 2014. - с. 26 – 32.

30 **Сарбаев, В.И.** Система зажигания двигателя внутреннего сгорания с повышающим преобразователем напряжения [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**//Справочник. Инженерный журнал ./ - № 2 - 2015. - с. 18 – 25.

31 **Сарбаев, В.И.** Устройство управления магнитным генератором-амортизатором для автомобиля [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, В.Г. Сидельников, Л.Г. Блинникова// Электроника и электрооборудование транспорта. ISSN 1812-6782/ № 1 2015. С. 7-10.

32 **Сарбаев, В.И.** Плавный пуск автомобильных ламп накаливания. [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.Г. Волков // Электроника и электрооборудование транспорта, ISSN 1812-6782/- № 2 -2015

33 **Сарбаев, В.И.** Системы освещения и сигнализации автомобилей, основанные на микроконтроллере. [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш**, С.Г. Волков // Мир транспорта и технологических машин/ Орел, Госуниверситет-УНПК, - № 1 (52) - 2016. - с. 42-44.

Монографии

34 **Айзензон, А.Е.** Вторичные источники питания электрооборудования автомобильной техники. Монография. ISBN 5-989-42-001-3 [Текст]/ А.Е. Айзензон, **Ю.В. Гармаш.** - Рязань: РВАИ. – 2005. - 226 с.

35 **Гармаш, Ю.В.** Анализ применения импульсных преобразователей напряжения в электроприводе вспомогательного оборудования автомобильной техники. Монография. ISBN 978-98942-013-1 [Текст]/ Ю.В. Гармаш. – Рязань: РВАИ. - 2007. – 99 с.

36 **Гармаш, Ю.В.** Применение импульсных преобразователей параметров электрической энергии в электроприводе вспомогательного оборудования автомобильной и строительной техники. ISBN 978-5-904221-03-4 [Текст]: монография / Ю.В. Гармаш. – Рязань: СТИ. -2008. – 89 с.

37 **Гармаш, Ю.В.** Управление электроприводом постоянного тока. ISBN: 978-3-659-15763-9. [Текст]: монография /Ю.В. Гармаш, В.И. Сарбаев.- LAP - GmbH. Saarbrücken, Germany. - 2012. -132 с.

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

Патенты

39 Устройство для локального разогрева масла в подшипниках силовой установки транспортного средства [Текст]: Пат. 2178829 Российская федерация, МПК7 F 02 N 17/04; F 01 M 5/02 /**Гармаш Ю.В.**, Титов Е.И., Лебедев С.А.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2000100156; заявл. 05.01.2000; опубл. 27.01.2002, Бюл. 3.

40 Система электростартерного пуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2187013 Российская федерация: МПК7 F 02 N 11/08. / **Гармаш Ю.В.**, Титов Е.И., Лебедев С.А.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2000108954; заявл. 10.04.2000; опубл. 10.08.2002, Бюл. 22.

41 Устройство для заряда накопителей энергии для системы конденсаторного электростартерного пуска двигателя внутреннего сгорания. [Текст]: Пат. 2217623 Российская федерация: МПК7 F 02 N 11/08. /**Гармаш Ю.В.**, Карабанов С.М., Ясевич В.И.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2001135784; заявл. 26.12.2001. опубл. 27.11.2003, Бюл. 33.

42 Система пуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2247036 Российская федерация: МПК7 В 60 К 11/02 , F 01 P 3/20/ Ясевич В.И., **Гармаш Ю.В.**, Карабанов С.М., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю., Латахина Е.В.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2003118956; заявл. 24.06.2003. опубл. 27.02.2005, Бюл. 6.

43 Система пуска двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2247858 Российская федерация: МПК7 В 60 К 11/02 , F 01 P 3/20/ **Гармаш Ю.В.**, Ясевич В.И., Карабанов С.М., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю., Латахина Е.В.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов».; № 2003118955; заявл. 24.06.2003. опубл.10.03.2005, Бюл. 7.

44 Система зажигания для двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2127826 Российская федерация, МПК7 F 02 P 15/12. /**Гармаш Ю.В.**, Латахин А.В., Титов Е.И., Рогачев В.Д.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 97100578/06; заявл. 14.01.1997; опубл. 20.03.1999, Бюл. 8.

45 Анализатор работы систем двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2292024 Российская федерация, МПК7 G 01 M 15/06/ Рогачев В.Д., **Гармаш Ю.В.**, Нечаев В.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2004111893; заявл. 19.04.2004; опубл. 20.01.2007, Бюл 2.

46 Система зажигания карбюраторного двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2293874 Российская федерация, МПК7 F 02 P 3/05, F 02 P 15/12. / **Гармаш Ю.В.**; Заявитель и

патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2005110537; заявл. 11.04.2005; опубл. 27.01.2007, Бюл 3.

47 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2277748 Российская федерация, МПК7 Н 02 Р 9/30, Н 02 J 7/14. / Карабанов С.М., **Гармаш Ю.В.**, Ясевич В.И., Белов А.Б., Голиков А.Н.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов». № 2004115011; заявл. 17.05.2004; опубл. 10.06.2006, Бюл. 16.

48 Импульсный регулятор напряжения [Текст]: Пат. 2292628 Российская федерация, МПК7 Н 02 Р 9/30, Н 02 J 7/14 / Белов А.Б., **Гармаш Ю.В.**, Михневич Л.Е., Голиков А.Н.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2005110537; заявл. 11.04.2005; опубл. 27.01.2007, Бюл. 3.

49 Устройство для компенсации саморазряда аккумуляторных батарей [Текст]: Пат. 2088018 Российская федерация, МПК7 Н 02 J 7/10, Н 01 М 10/42. /Рогачев В.Д., **Гармаш Ю.В.**, Калошин А.Н.; Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 95121186/07; заявл. 14.12.1995; опубл. 20.08.1997, Бюл. 23.

50 Источник опорного напряжения [Текст]: Пат. 2119212 Российская федерация, МПК7 Н 01 L 23/58, Н 03 F 1/30. /**Гармаш Ю.В.**, Карабанов С.М.; Заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью «Гелион»; №96117919; заявл. 4.09.1996; опубл. 20.09.1998, Бюл. 26.

51 Измеритель температуры [Текст]: Пат. 2165600 Российская федерация, МПК7 G 01 K 7/16, 7/00.. /Карабанов С.М., **Гармаш Ю.В.**; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 99111389; заявл. 26.05.1999. опубл. 27.03.2001, Бюл. 11.

52 Система отопления и вентиляции салона автомобиля [Текст]: Пат. 2236956 Российская федерация, МПК7 В 60 Н 1/06. /**Гармаш Ю.В.**, Ясевич В.И., Карабанов С.М., Соломенко А.Н., Андрук М.Ю., Сажин Б.Н.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов». № 2003117255/11; заявл.09.06.2003; опубл. 27.09.2004, Бюл. 27.

53 Система вентиляции и отопления салона автомобиля [Текст]: Пат. 2304525 Российская федерация, МПК7 В 60 Н 1/06 / Карабанов С.М., Невдах М.А., Айзенцон А.Е., **Гармаш Ю.В.**, Ясевич В.И.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2005104058; заявл. 15.02.2005; опубл. 20.08.2007, Бюл. 23.

54 Система отопления и вентиляции салона автомобиля [Текст]: Пат. 2270104 Российская федерация, МПК7 В 60 Н 1/04. /Карабанов С.М., Ясевич В.И., **Гармаш Ю.В.**, Пономарева И.И.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2004115012 заявл. 17.05.2004; опубл. 20.02.2006, Бюл. 8.

55 Система отопления и вентиляции салона автомобиля [Текст]: Пат. 2332313 Российская федерация, МПК7 В 60 Н 1/06, Н 02 Р 7/29. /Герасимов А.Н., Айзенцон А.Е., **Гармаш Ю.В.**; Заявитель и патентообладатель Герасимов А.Н., Айзенцон А.Е., Гармаш Ю.В.; № 2007105635 заявл. 14.02.2007; опубл. 27.08.2008, Бюл. 24.

56 Система управления электровентилятором охлаждения двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Пат. 2247036 Российская федерация, МПК7 В 60 К 11/02 , F 01 Р 3/20 / Ясевич В.И., Карабанов С.М., **Гармаш Ю.В.**, Соломенко А.Н., Андрук М.Ю.; Заявитель и патентообладатель открытое акционерное общество «Рязанский завод металлокерамических приборов»; № 2003118956; заявл. 14.06.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. 6.

57 Система очистки стекла транспортного средства [Текст]: Пат. 2127676 Российская федерация, МПК7 В 60 S 1/46. / Рогачев В.Д., **Гармаш Ю.В.**, Дмитриев В.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. № 96111123/28; заявл. 30.05.1996; опубл. 20.03.1999, Бюл. 8.

58 Устройство диагностирования электромеханических форсунок [Текст]: Пат. на полезную модель 65980 Российская федерация, МПК7 F 01 N 11/08/ Патрин А.Н., Меркушов Ю.Н., Белов А.Б., **Гармаш Ю.В.**, Ухов А.В., Агошков А.В.; Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2006144960; заявл.18.12.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. 24.

59 Термоэлектрический кондиционер [Текст]: Пат. 2336184 Российская федерация, МПК7 В 60 Н 1/03 / **Гармаш Ю.В.**; Пономарева И.И., Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т.; № 2007117272; заявл. 08.05.2007; опубл. 20.10.2008, Бюл. 29.

60 Система отопления, вентиляции и кондиционирования салона автомобиля [Текст]: Пат. 2472642 Российская федерация, МПК7 В 60 Н 1/08 / Сарбаев В.И., **Гармаш Ю.В.**; Пономарева И.И., Заявитель и патентообладатель НОУ ВПО Современный технический Ин-т.; № 2011132457; заявл. 01.08.2011; опубл. 20.01.2013, Бюл. 2.

Материалы конференций и статьи

61 **Сарбаев, В.И.** Система зажигания двигателя внутреннего сгорания с повышающим преобразователем напряжения [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш** // -М.: Известия МГИУ- № 3(23). - 2011,- С. 16-21

62 **Лебедев, С.А.** Зарядное устройство для экологически чистых накопителей энергии [Текст]/С.А. Лебедев, В.С. Антипенко, **Ю.В. Гармаш**//Труды международной конференции «Протек – 2006» (производство, технология, экология). - М.: МГТУ «Станкин», сб. научных трудов. – 2006. - № 9. - С. 77-79.

63 **Гармаш, Ю.В.** Источник опорного напряжения для регулятора напряжения синхронного генератора [Текст]/ Ю.В. Гармаш, А.Е. Айзензон// IX Международная конференция «Современные тенденции развития транспортного машиностроения и материалов». Сб. статей. – Пенза: - 2004. - С.5 - 8.

64 **Гармаш, Ю.В.** Система охлаждения двигателя внутреннего сгорания с прямо пропорциональным управлением [Текст]/ **Ю.В. Гармаш**, Д.А. Панов// 16-я междунар. научно-техническая конференция. Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций. - Материалы конференции - Рязань, 2010. С. 201-203.

65 **Гармаш, Ю.В.** Улучшение эксплуатационных характеристик системы электроснабжения автомобиля[Текст]/ Ю.В. Гармаш// Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы 16 Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2011. С. 267.

66 **Сарбаев, В.И** Экспериментальное исследование системы зажигания с адаптируемыми параметрами электрической энергии [Текст]/ В.И. Сарбаев, **Ю.В. Гармаш** // Материалы XV Международной научно-практической конференции. «Актуальные проблемы эксплуатации автотранспортных средств» 20-22 ноября 2013 Владимир ISBN 978-5- 9984-0436-8 ВлГУ , 2013 с. 104-107.

67 **Sarbaev, V.I.** Current and voltage of a starter at a feed of system of start-up of the engine from the store of energy [Текст]/ V.I. Sarbaev, **Y.V.Garmash**// Nauka i studia. - NR 10 (41) - 2011. - p.85-89.

68 **Sarbaev, V.I.** Experimental research of electric start-up system of the internal combustion engine with the capacitor store of energy[Текст]/ V.I. Sarbaev, **Y.V.Garmash**// Nauka i studia. - N11 (56) - 2012. -p.50-53.

Гармаш Юрий Владимирович

Совершенствование систем электрооборудования автомобилей на основе адаптивных преобразователей электрической энергии

Автореферат

диссертации на соискание учёной степени

доктора технических наук