

На правах рукописи

ГРИЦЕНКО Александр Владимирович



**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ТЕСТОВОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМ ПИТАНИЯ И СМАЗКИ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ
РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ ДВС АВТОМОБИЛЕЙ)**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Челябинск – 2014

Работа выполнена на кафедре «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия».

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Плаксин Алексей Михайлович

Официальные оппоненты: **Адигамов Наиль Рашатович**,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технический сервис»
ФГБОУ ВПО «Казанский государственный
аграрный университет»

Соломкин Александр Прокопьевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Агроинженерия»
ФГБОУ ВПО «Омский государственный
аграрный университет имени П. А. Столыпина»

Храмцов Николай Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Строительное
производство, основания и фундаменты»
ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный
архитектурно-строительный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский
государственный университет»
(Национальный исследовательский университет)

Защита состоится «4» июля 2014 г., в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.069.01 на базе ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 75.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВПО «Челябинская государственная агроинженерная академия» <http://www.csa.ru>.

Автореферат разослан «25» апреля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного
совета



Плаксин
Алексей Михайлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Конструктивное совершенствование мобильных энергетических средств, в частности их основного агрегата – двигателя внутреннего сгорания, направлено на: обеспечение дифференциации величины параметров функционирования механизмов систем в зависимости от изменчивости условий и режимов эксплуатации машин; повышение технического ресурса при использовании машин по назначению в заданных условиях эксплуатации.

Прогрессивное повышение технического и технологического потенциала мобильных энергетических машин, их энергетических установок однозначно предопределено конструктивным усложнением механизмов, прецизионностью изготовления их деталей и параметров функционирования в предусмотренных нормативами режимах и условиях эксплуатации.

В настоящее время стало очевидным, что используемые средства функционального диагностирования механизмов систем, определяющих работоспособность ДВС, мобильных средств, в целом не позволяют с требуемой точностью, достоверностью устанавливать изменения технического состояния и правильность функционирования рабочих процессов ДВС. Поэтому при общем росте технической надежности ДВС лучших образцов автомобилей и тракторов увеличилось количество скрытых отказов сложных технических систем ДВС.

Несоответствие технологической способности методов и средств диагностирования относительно возросшей конструктивной сложности механизмов основных систем ДВС, прецизионности их функционирования при изменчивости режимов и условий эксплуатации автотракторной техники предопределяет снижение эффективности использования потенциала потребительских свойств машин.

Разрешение рассмотренного выше технического противоречия требует разработки новых методов и средств диагностирования, которые по своей технологической способности (точности, достоверности) соответствовали бы требованиям современной и перспективной техники.

Работа выполнена в соответствии со Стратегией машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 г., разработанной в соответствии с Федеральным законом

«О развитии сельского хозяйства» от 29.12.2006 г. № 264, Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008–2012 годы.

Работа выполнена при поддержке грантов Министерства экономического развития Челябинской области.

Цель работы. Повышение эффективности процесса диагностирования систем питания и смазки ДВС на основе реализации новых методов и средств их тестового диагностирования.

Объект исследования. Процессы диагностирования технического состояния механизмов основных систем автотракторных ДВС на тестовых режимах их функционирования.

Предмет исследования. Закономерности изменения параметров технического состояния механизмов систем питания, смазки и управления автотракторных ДВС на тестовых режимах диагностирования, их взаимосвязь с технологичностью средств диагностирования в процессах приема, обработки и использования диагностической информации.

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

1. На основе исследования процессов конструктивного совершенствования и функционирования ДВС мобильных энергетических машин, методов и средств диагностирования их технического состояния разработать концепцию совершенствования методов диагностирования систем питания, смазки и управления автотракторных двигателей, обеспечивающих выявление скрытых отказов при тестовом диагностировании работоспособности и правильности функционирования механизмов основных систем ДВС.

2. Разработать математические модели адекватно реальным процессам, описывающие взаимосвязи между параметрами технического состояния систем питания и смазки, их рабочих процессов с технологическими и техническими параметрами методов тестового диагностирования ДВС, технико-экономическими показателями при использовании и обеспечении работоспособности автотракторных средств.

3. Разработать тестовые методы, аппаратные и программные средства, режимы диагностирования технического состояния механизмов системы питания ДВС. Установить диагностические параметры технического состояния механизмов системы питания, их предельные значения.

4. Разработать тестовые методы, аппаратные и программные средства, режимы диагностирования технического состояния механизмов системы смазки ДВС. Установить диагностические параметры технического состояния механизмов системы смазки, их предельные значения.

5. Провести экспериментальные исследования, производственную проверку, оценку эффективности разработанных методов и средств диагностирования, дать рекомендации по их практической реализации.

Научная новизна основных положений, выносимых на защиту:

1. Закономерности развития методов, средств диагностирования и их взаимосвязь с параметрами конструктивного совершенствования мобильных энергетических средств. Концепция совершенствования методов диагностирования механизмов систем питания, смазки и управления рабочими процессами двигателей, определяющая первоочередность разработки и реализации процессов их диагностирования на тестовых режимах функционирования ДВС.

2. Методология формирования целевых функций: обеспечения работоспособности машин при использовании внешних и встроенных средств диагностирования; определения вида технического состояния; локализации неисправностей; определения потребности в регулировках; контроля качества технического обслуживания и текущего ремонта машин.

3. Модели: формирования целевой функции по обоснованию методов и средств диагностирования ДВС; эффективности использования данного модуля в диагностировании; частных функций цели и обоснования вида диагностирования; оценки технологичности средств диагностирования.

4. Новые способы и модели технологического процесса диагностирования системы топливоподачи и впуска, модели изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС от технического состояния датчиков массового расхода воздуха, электробензонасоса, фильтра и электромагнитной форсунки, методы и средства диагностирования, технологии и алгоритмы.

5. Новые способы и модели технологического процесса диагностирования системы смазки, модели изменения пульсаций давления в центральной масляной магистрали от технического состояния маслоприемника, насоса, фильтра, коренных и шатунных подшипников, методы и средства диагностирования, технологии и алгоритмы.

6. Результаты экспериментальных исследований, полученные применением новых методов и средств тестового диагностирования технического состояния основных систем двигателей, алгоритмы реализации процессов приема, обработки и использования диагностической информации.

Практическая ценность работы и реализация ее результатов. Результаты выполненных исследований могут быть использованы научно-исследовательскими институтами, конструкторскими бюро, другими научными и учебными заведениями. Разработанные технологические процессы, средства диагностирования и нормативно-техническая документация обеспечивают возможность полнее использовать потенциал, заложенный в конструкции МЭС, повысить надежность, сократить трудоемкость ремонтно-обслуживающих воздействий, улучшить технико-экономические показатели диагностирования (повысить точность, достоверность, экологичность, увеличить производительность, снизить себестоимость).

Практическое внедрение предложенных разработок осуществлено на СТО «Интервал», «Гарант-Мастер», ООО «Леонар Авто», ООО «Автотехнологии», ООО «Автотехснаб», ООО СВ-Центр, ООО «Автоцентр Керг», ООО «ЮРМА».

Результаты исследований используются в учебном процессе кафедр «Эксплуатация автотранспорта и производственное обучение», «Технологии и организация технического сервиса» и «Эксплуатация машинно-тракторного парка» ЧГАА. Работа выполнялась при поддержке грантов Министерства экономического развития Челябинской области.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены и одобрены на ежегодных научно-технических конференциях ЧГАА (Челябинск 2002–2014 гг.), III Международной научно-практической конференции «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса» (г. Новокузнецк, 2013 г.), XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика» (г. Пермь, ПНИПУ, 2013 г.), Международной научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы-2013» (г. Санкт-Петербург. Институт проблем транспорта РАН им. Н.С. Соломенко, 2013 г.), на совещании главных инженеров, специалистов РУСХ (г. Челябинск, 2013 г.), ГОСНИТИ (г. Москва, 2007, 2013 гг.), БГАУ (г. Уфа, 2009 г.); участие в 2002-м и 2006 годах

в выставках ВДНХ (г. Москва, 2002 г.; серебряная медаль ВВЦ за разработку: учебные стенды для подготовки операторов-диагностов), участие в IV межрегиональной агропромышленной выставке АГРО-2013 (г. Челябинск; диплом и серебряная медаль за разработку: приборы для комплексной и поэлементной диагностики ДВС техники АПК); участие в Российской агропромышленной выставке «Золотая осень-2013» (г. Москва, ВДНХ; диплом и золотая медаль за разработку: приборные средства для комплексного и поэлементного диагностирования систем ДВС).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 95 научных работ, в том числе 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, 15 информационных листков, 13 патентов на изобретение, 1 патент на полезную модель, технологические рекомендации, монография, 5 отчетов о НИР.

Структура и объем диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, библиографии из 432 наименований и приложений. Диссертационная работа изложена на 346 страницах основного текста и включает в себя 28 таблиц, 123 рисунка. Общий объем работы составляет 397 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** раскрыта прикладная и научная актуальность проблемы, определены направления исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту.

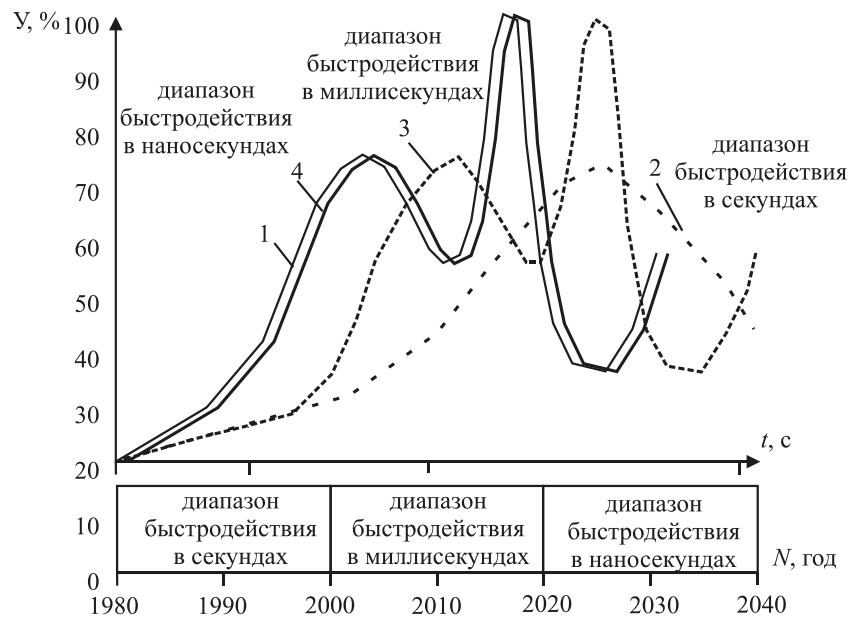
В **первой главе** «Состояние проблемы и задачи исследований» рассмотрены вопросы: роль мобильных энергетических средств в повышении эффективности реализации производственных процессов; анализ статистических данных числа отказов систем ДВС мобильных энергетических средств; направления и реализация конструктивного совершенствования систем и механизмов ДВС; анализ и синтез методов и средств диагностирования; уровень эффективности технического диагностирования и постановка проблемы.

Конструктивное совершенствование мобильных энергетических средств, в частности ДВС, направлено на повышение эффективности их функционирования при эксплуатации, что предопределило применение новых электрических, электронных и автотронных

систем. С одной стороны, они обеспечивают правильность функционирования основных систем мобильных энергетических средств (МЭС), их ДВС в пределах значимо малого диапазона допустимого изменения параметров технического состояния. С другой – электронные бортовые системы потенциально возможны для использования в качестве встроенных систем диагностирования, что требует разработки новых технологий, алгоритмов и дополнительных средств управления процессом диагностирования.

Непрерывное совершенствование элементов микропроцессорной системы управления двигателем (МСУД) в направлении прецизионности коррекции параметров работы ДВС и их дифференцированности предопределяет увеличение разрядности применяемых процессоров обработки данных, число датчиков и исполнительных устройств МСУД.

Быстродействие и уменьшение времени реакции исполнительных элементов МСУД обусловлено изменением режимных и скоростных параметров функционирования ДВС (рисунок 1).



- 1 – кривая изменения режимных условий работы ДВС;
 2 – кривая корректирующих действий карбюраторных ДВС;
 3 – кривая корректирующих действий ДВС, оборудованных электронной системой управления; 4 – кривая корректирующих действий ДВС, оборудованных микропроцессорными системами управления

Рисунок 1 – Зависимость времени корректирующих действий t , с, от изменяющихся режимных условий работы ДВС Y , %

Разработка новых методов и средств диагностирования системы питания, а также системы смазки, включая КШМ, должна быть направлена на обеспечение дифференциации величин параметров функционирования механизмов и на повышение технического ресурса в зависимости от изменчивости условий и режимов эксплуатации машин, стабильности величин технических параметров в пространстве.

Разработкам методов и средств диагностирования мобильных энергетических средств посвящены работы В. В. Альта, В. М. Михлина, А. П. Соломкина, Н. В. Храмцова, Г. С. Игнатьева, А. В. Неговоры, Ю. А. Васильева, Н. Р. Адигамова, А. С. Денисова, А. И. Колчина, Н. С. Ждановского, Е. С. Кузнецова, В. Н. Хабардина, А. М. Плаксина, В. Н. Козловского, Ю. К. Бобкова и др.

Вопросам проектирования систем диагностирования посвящены работы Л. П. Глазунова, А. Н. Смирнова, И. А. Биргера, А. В. Мозгалевского, А. Н. Койды, П. С. Давыдова, В. В. Карибского, В. Г. Воробьева, С. В. Елесина, Т. М. Башты, С. Н. Никифорова, Л. В. Мирошникова, А. П. Болдина, А. Г. Сергеева и др.

При анализе критериев эффективности ТО и диагностирования выявлено: не учитываются вероятностные и точностные параметры средств диагностирования, их технологическая эффективность во взаимосвязи с выходными диагностическими параметрами систем ДВС; не рассматривается общая эффективность, достигаемая за счет комплексного одновременного применения внешних и встроенных средств диагностирования; не рассматривается экономия затрат на ТО и ТР машин в зависимости от оснащенности мобильных энергетических средств средствами встроенного диагностирования.

Научная проблема заключается в необходимости установления закономерности изменения параметров технического состояния механизмов, систем питания, смазки и управления автотракторных ДВС, их влияния на правильность функционирования при изменчивости режимов и условий эксплуатации мобильных энергетических средств, взаимосвязей диагностических параметров с методами и средствами диагностирования при тестовых режимах функционирования ДВС, а также внутренних взаимосвязей в процессах приема, обработки и использования диагностической информации.

Во второй главе *«Взаимосвязь параметров процесса диагностирования и функционирования основных систем ДВС, технико-экономические показатели использования мобильных энергетических*

средств» рассматривались следующие вопросы: концепция совершенствования методов и средств технического диагностирования основных систем ДВС; модель формирования целевой функции обеспечения работоспособности машин при использовании внешних и встроенных средств диагностирования; модель формирования целевой функции по обоснованию методов и средств диагностирования автотракторных ДВС; определение эффективности использования СТД с учетом их универсальности и многоканальности; расчет эффективности от внедрения встроенного СТД.

Процесс диагностирования является сложным технологическим процессом, в котором одни параметры являются заданными, вторые – управляющими, третьи представляют собой случайные факторы (рисунок 2).

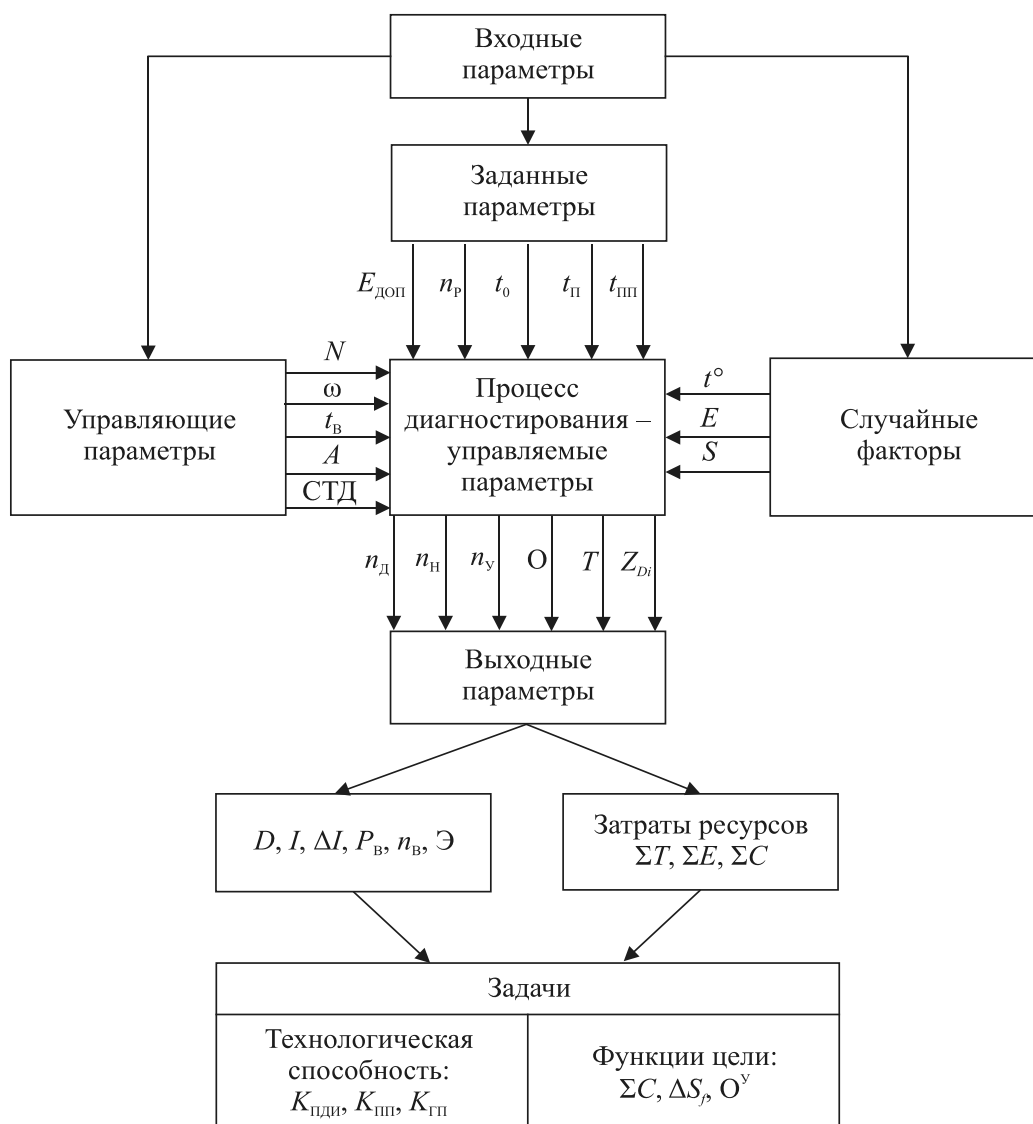


Рисунок 2 – Структурная схема процесса диагностирования

К числу заданных параметров относятся: $E_{\text{доп}}$ – допустимое отклонение диагностических параметров ДП (по ТУ); n_p – количество диагностических параметров, t_0 – min действий при обработке диагностической информации; $t_{\text{п}}$ – быстрота подсоединения СТД; $t_{\text{пп}}$ – время подготовки и разогрева СТД.

Управляющими параметрами являются: ω – режим работы ДВС (частота вращения); N – нагрузочный режим работы ДВС; A – алгоритм диагностирования; СТД – средство технического диагностирования; t_B – время тестового воздействия.

Изменением этих параметров в определенных пределах можно обеспечить необходимые оптимумы по точностным показателям при диагностировании.

К случайным возмущениям относятся: t° – температура окружающей среды; E – уровень электромагнитных помех; S – степень влияния на результат диагностирования технического состояния других узлов и механизмов ДВС.

К управляемым параметрам относят: n_d – количество диагностических операций; n_n – дополнительное число диагностических параметров нового СТД; n_y – число узлов, механизмов, диагностируемых данным СТД; T – трудоемкость диагностирования; O – ошибки оценки технического состояния; Z_{Di} – структура диагностических операций.

Качество технологической системы определяют выходные параметры: D – достоверность диагноза; I – информационная емкость; ΔI – потери информации в процессе передачи, приема и обработки; P_B – вероятность выявления неисправностей; n_B – число выявленных неисправностей; Ξ – качественный показатель концентрации выхлопа, а также затраты ресурсов: ΣT – затраты труда, чел.-ч; ΣE – затраты энергии, МДж; ΣC – затраты денежных средств, руб.

Критерием обоснования эффективности процесса диагностирования является отыскание таких управляющих параметров для каждой системы автотракторных средств, которые обеспечили бы требуемую достоверность диагностирования при минимально возможных количестве измерений и затратах труда.

Таким образом, можно записать:

$$F_1 = f(\Xi, \Delta I, \Sigma T, \Sigma E, \Sigma C) \rightarrow \min, \quad (1)$$

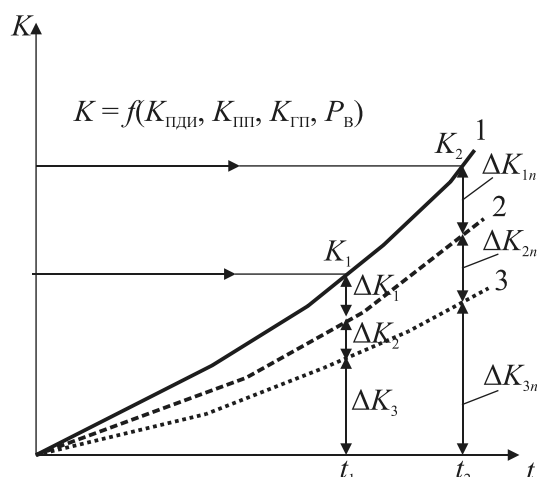
$$F_2 = f(D, I, P_B, n_B) \rightarrow \max. \quad (2)$$

Выходные параметры Δ , D , I , ΔI , P_B , n_B , ΣT , ΣC , ΣE не могут быть равны нулю. Следовательно, на эти выходные параметры накладываются ограничения, которые в обобщенном виде будут выражаться функциями вида

$$F = f(\Delta, \Delta I, \Sigma T, \Sigma E, \Sigma C, D, I, P_B, n_B) > 0. \quad (3)$$

Управляющие параметры должны иметь пределы, значения которых рекомендуются специальными исследованиями и рекомендациями, конструктивными особенностями СТД, обеспечивающими наряду с необходимостью достижения поставленной цели эксплуатационную надежность и долговечность СТД, т.е. на управляющие параметры также накладываются ограничения. Выходной задачей является определение показателей технологической способности и функций цели.

Современный уровень конструктивного совершенствования систем ДВС идет со значительным опережением по отношению к конструктивному совершенствованию СТД (рисунок 3).



1, 2, 3 – показатели конструктивного совершенствования систем ДВС, перспективных СТД, традиционных СТД; ΔK_1 , ΔK_{1n} – превышение конструктивного уровня совершенствования систем ДВС над уровнем конструктивного совершенствования перспективных СТД в момент времени t_1 и t_2 ; ΔK_2 , ΔK_{2n} – превышение конструктивного уровня совершенствования перспективных СТД над уровнем конструктивного совершенствования традиционных СТД в момент времени t_1 и t_2 ; ΔK_3 , ΔK_{3n} – уровень конструктивного совершенствования традиционных СТД в момент времени t_1 и t_2

Рисунок 3 – Зависимость конструктивного совершенствования систем ДВС и средств технического диагностирования K от времени t , лет

На рисунке 3 видно, что к моменту временного интервала t_1 показатель конструктивного совершенствования систем ДВС достигнет уровня K_1 , а к моменту времени $t_2 - K_2$. Причем если использовать методы и средства диагностирования традиционные (кривая 3), то показатели $K_{\text{ПДИ}}$, $K_{\text{ПП}}$, $K_{\text{ГП}}$ и вероятность выявления неисправностей $P_{\text{В}}$ будут на низком уровне. Использование же перспективных методов и средств диагностирования (кривая 2) позволяет повысить показатели контролепригодности и вероятность выявления неисправностей.

Вероятность выявления неисправностей в случае регулярного процесса:

$$P_{\text{В}} = (1 - \delta) \cdot \alpha \cdot T_{\text{Д}}, \quad (4)$$

где $\alpha = 1 / (T_{\text{до}} + T_{\text{д}})$ – коэффициент пропорциональности, определяющий суммарную трудоемкость диагностирования при использовании существующей и новой технологий, 1/чел.-ч;

$T_{\text{до}}$ – трудоемкость диагностирования, включая поэлементную, новыми методами и средствами, чел.-ч;

$T_{\text{д}}$ – трудоемкость диагностирования по существующей технологии, чел.-ч.

Технологическую эффективность методов и средств диагностирования можно выразить коэффициентом технологической эффективности:

$$\mathcal{E}_{\text{ТС}} = K_{\text{ПДИ}} \cdot K_{\text{ПП}} \cdot K_{\text{ГП}}, \quad (5)$$

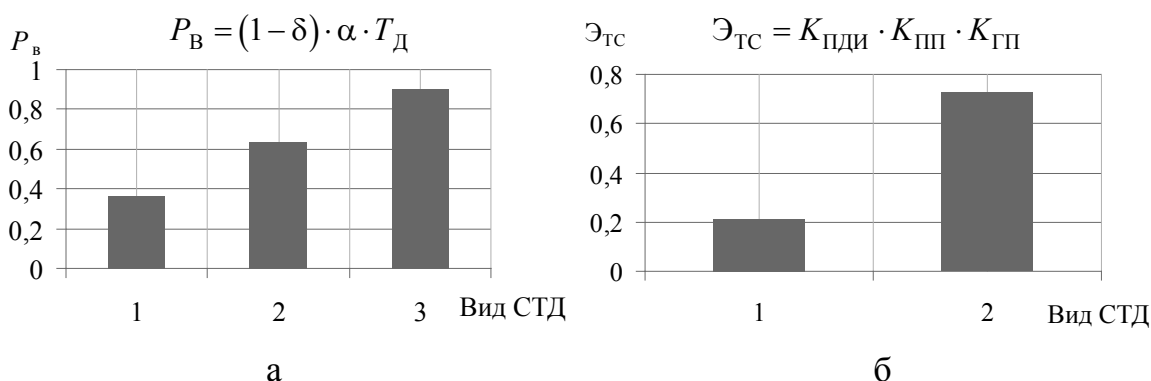
где $K_{\text{ПДИ}}$ – коэффициент полноты диагностической информации;

$K_{\text{ПП}}$ – коэффициент полноты проверки;

$K_{\text{ГП}}$ – коэффициент глубины проверки.

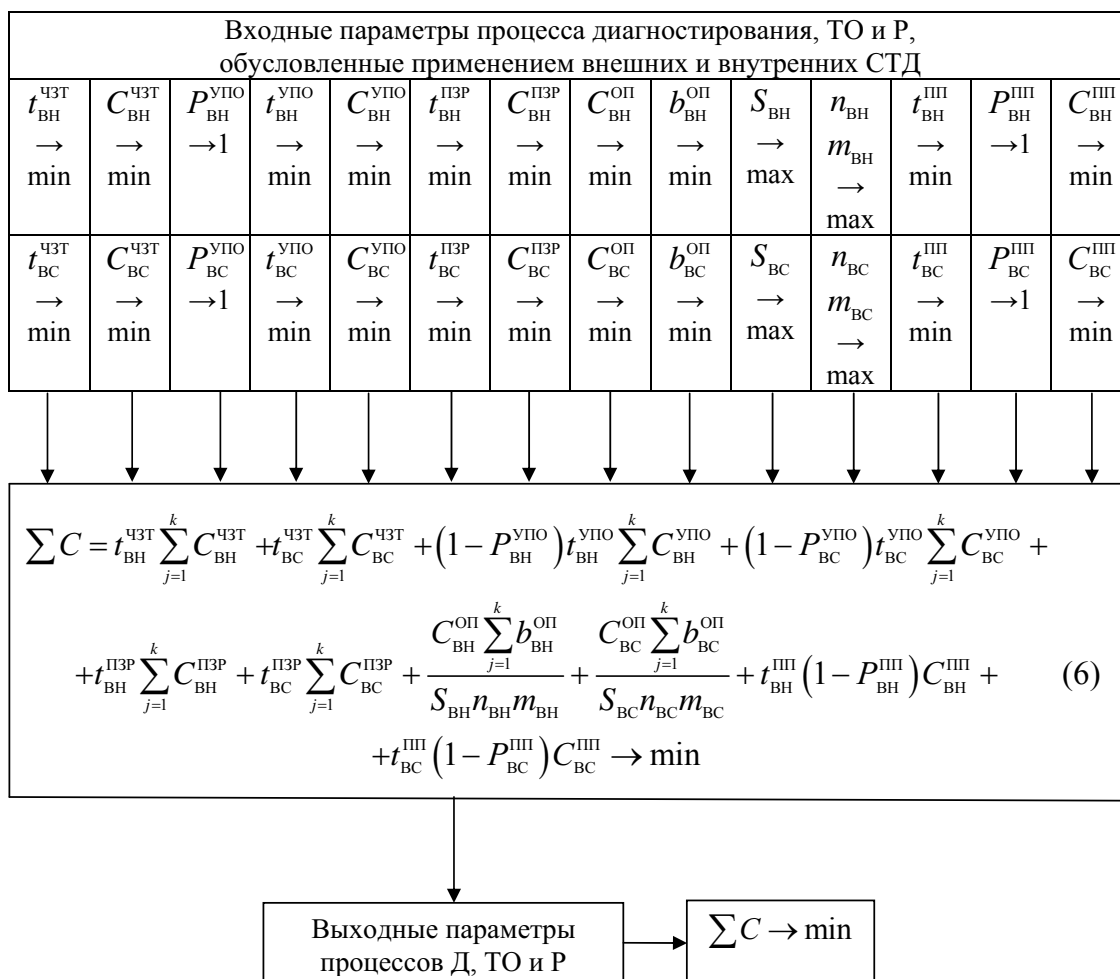
Подставляя данные для различных СТД в выражения (4) и (5), построим графики зависимостей (рисунок 4).

Для оптимизации процесса диагностирования найдем математическое описание затрат на приобретение, установку и эксплуатацию внешних и встроенных СТД, а также по параметрам, учитывающим неправильное применение СТД. В совокупности это суммарные заводские затраты ресурсов (при эксплуатации мобильных энергетических средств): ΣC , чел.-ч·руб. (рисунок 5).



1 – манометр и имитатор ЭМФ; 2 – догрузатель с ручным режимом проведения тестовых воздействий; 3 – догрузатель автоматический

Рисунок 4 – Зависимости вероятности выявления неисправностей системы топливоподачи P_B от вида СТД (а) и коэффициента технологической эффективности методов и средств диагностирования системы топливоподачи $\mathcal{E}_{ТС}$ от вида СТД (б)



$t_{ВН}^{ЧЗТ}$ – трудоемкость применения внешних СТД, чел.-ч; $C_{ВН}^{ЧЗТ}$ – затраты при применении внешних СТД по j -параметру на i -операции, руб.;
 $t_{ВС}^{ЧЗТ}$ – трудоемкость диагностирования при использовании встроенных СТД, чел.-ч; $C_{ВС}^{ЧЗТ}$ – затраты, складывающиеся из стоимости встроенных СТД и их установки, руб.; $P_{ВН}^{УПО}$, $t_{ВН}^{УПО}$ – вероятность безотказной работы и средняя трудоемкость устранения последствий отказов, обнаруженных внешними СТД, чел.-ч; $C_{ВН}^{УПО}$ – затраты при устранении последствий отказов, обнаруженных внешними СТД, руб.; $P_{ВС}^{УПО}$ – вероятность безотказной работы элементов ДВС при использовании встроенных СТД; $t_{ВС}^{УПО}$ – трудоемкость устранения последствий отказов при использовании встроенных СТД, чел.-ч; $C_{ВС}^{УПО}$ – затраты при использовании встроенных СТД, руб.; $C_{ВН}^{ПЗР}$ – затраты на подготовительно-заключительные ручные работы по ТО при использовании внешних СТД, руб.; $t_{ВН}^{ПЗР}$ – трудоемкость подготовительно-заключительных работ при использовании внешних СТД, чел.-ч; $C_{ВС}^{ПЗР}$ – затраты по подготовительно-заключительным ручным работам ТО при использовании встроенных СТД, руб.; $t_{ВС}^{ПЗР}$ – трудоемкость подготовительно-заключительных работ ТО при использовании встроенных СТД, чел.-ч; $C_{ВН}^{ОП}$ – суммарные затраты по каждому обобщенному l -параметру при использовании внешних СТД, руб.; $b_{ВН}^{ОП}$ – трудоемкость по каждому обобщенному l -параметру при использовании внешних СТД, чел.-ч; $S_{ВН}$ – срок службы внешних СТД, лет; $n_{ВН}$ – суммарное число подсистем машин, которым выполняют i -операции внешними СТД, шт.; $m_{ВН}$ – среднее число i -операций за год, выполняемых внешними СТД, шт.; $C_{ВС}^{ОП}$ – суммарные затраты по каждому обобщенному l -параметру при использовании встроенных СТД, руб.; $b_{ВС}^{ОП}$ – трудоемкость по каждому обобщенному l -параметру при использовании встроенных СТД, чел.-ч; $S_{ВС}$ – срок службы встроенных СТД, лет; $n_{ВС}$ – суммарное число подсистем машин, которым выполняют i -операции встроенными СТД, шт.; $m_{ВС}$ – среднее число i -операций, выполняемых встроенными СТД за год, шт.; $t_{ВН}^{ПП}$ – трудоемкость устранения последствий отказов при использовании внешних СТД, чел.-ч; $P_{ВН}^{ПП}$ – вероятность правильного применения внешних СТД; $C_{ВН}^{ПП}$ – средние издержки при неправильном применении внешних СТД, руб.; $t_{ВН}^{ПП}$ – трудоемкость устранения последствий отказов при использовании встроенных СТД, чел.-ч; $P_{ВС}^{ПП}$ – вероятность правильного применения встроенных СТД; $C_{ВС}^{ПП}$ – средние издержки при неправильном применении встроенных СТД, руб.

Рисунок 5 – Модель формирования целевой функции обеспечения работоспособности машин при использовании внешних и встроенных средств диагностирования

Другой комплексной целевой функцией, позволяющей учесть достоверность и точность процесса диагностирования, а также экономические показатели, является функция снижения удельных затрат на ТО и Р по отдельным функциям диагностики (7).

Целевая функция суммируется из четырех составляющих (функций):

$$\Delta S_f = \Delta S_{\text{вид}} + \Delta S_{\text{лок}} + \Delta S_{\text{рег}} + \Delta S_{\text{отк}}, \quad (7)$$

где $\Delta S_{\text{вид}}$ – снижение удельных суммарных затрат на ТО и ТР за счет определения вида технического состояния автомобиля, чел.-ч·руб.;

$\Delta S_{\text{лок}}$ – снижение удельных суммарных затрат на ТО и ТР за счет уточнения неисправностей, чел.-ч·руб.;

$\Delta S_{\text{рег}}$ – снижение удельных суммарных затрат на ТО и ТР за счет определения потребности в регулировке, чел.-ч·руб.;

$\Delta S_{\text{отк}}$ – снижение удельных суммарных затрат на ТО и ТР за счет контроля качества выполненных работ по ТО и ТР, чел.-ч·руб.

В частности целевую функцию в развернутом виде можно записать:

$$\begin{aligned} \Delta S_f = & \eta \cdot D \cdot \left(t_p + t_{\text{чит}} + \sum_{i=1}^n t_i \right) \cdot \lambda_j \cdot \sum_{j=1}^m P_j + \eta \sum_{j=1}^m \lambda_j \times \\ & \times \left(t_{\text{чит}} + \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{k=1}^l t_k \right) \cdot (1 - P_H) \cdot D + \eta \cdot \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot (T_j^{\text{РЕМ}} - T_j^{\text{РЕГ}}) \times \\ & \times \beta_j \cdot P_j \cdot D + \eta \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot \left(t_y + \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{k=1}^l t_k \right) \cdot \alpha_j \cdot P_j \cdot D, \quad (8) \end{aligned}$$

где η – тарифная ставка, руб.;

D – достоверность диагностирования;

$t_p, t_{\text{чит}}, t_i$ – трудоемкость регламентного обслуживания, на считывание и расшифровку неисправностей и общего диагностирования, чел.-ч;

λ_j – интенсивность потока отказов, шт.;

P_j, P_H – вероятность возникновения неисправностей и суммарная вероятность появления нераспознаваемых данным СТД неисправностей объекта;

t_k – трудоемкость поэлементного диагностирования, чел.-ч;

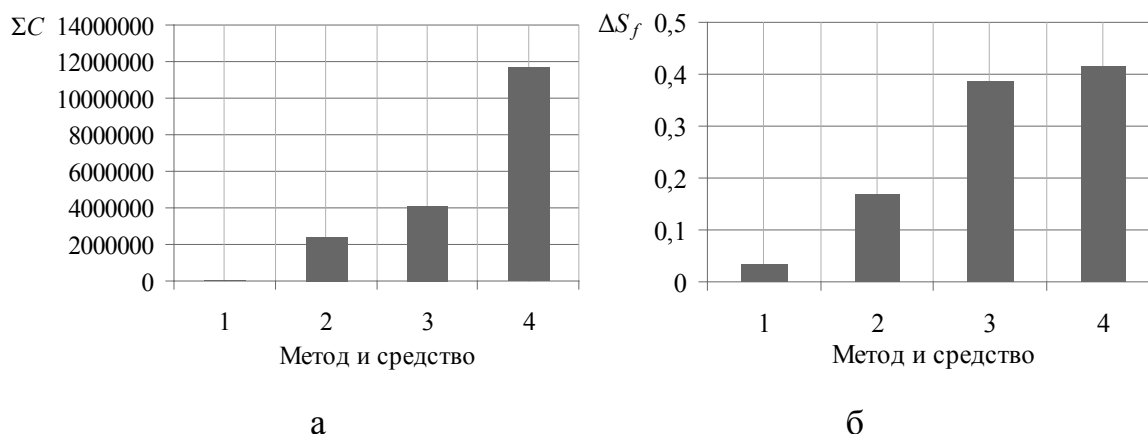
$T_j^{\text{РЕМ}}, T_j^{\text{РЕГ}}$ – трудоемкость ремонта и регулировки, чел.-ч;

β_j – вероятность устранения j -й неисправности путем регулировки на СТД;

t_y – трудоемкость операции по устранению неисправности, чел.-ч;

α_j – вероятность некачественного устранения j -й неисправности.

По результатам расчета моделей (6) и (8) для следующих СТД: проливочный стенд «Форсаж», манометр и имитатор ЭМФ, догрузатель с ручным режимом проведения тестовых воздействий, догрузатель автоматический – получены следующие графики (рисунок 6 а, б).



1 – догрузатель автоматический; 2 – догрузатель с ручным режимом проведения тестовых воздействий; 3 – манометр и имитатор ЭМФ;
4 – проливочный стенд «Форсаж»

Рисунок 6 – Зависимости а – суммарных затрат ΣC , чел.-ч·руб., рассчитанных по модели (6) для различных СТД системы топливоподдачи;
б – затрат ΔS_f , чел.-ч·руб., рассчитанных по модели (8)

Из графиков (см. рисунок 6 а, б) следует, что наименьшие затраты характерны для автоматических средств либо средств с полуавтоматической реализацией процесса диагностирования.

Определение комплексной эффективности универсального средства диагностирования затруднено в силу неравномерности использования его отдельных модулей. При этом эффективность использования каждого модуля СТД различна и зависит от числа отказов данной системы, частоты диагностирования данным модулем, стоимости услуги диагностирования, трудоемкости диагностирования. Таким образом, эффективность использования каждого i -го модуля данного универсального СТД определяется по формуле, руб./руб.·чел.-ч:

$$O^y = \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_i^y}{T_{И}^{y\beta} \cdot C_{ч}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Pi_i^y}{C_{ч} \cdot A \cdot \left(\sum_{i=1}^n d_i \right) \cdot P \cdot \left(\sum_{i=1}^n \beta_i \cdot \gamma_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n t_i \right)}, \quad (9)$$

где Π_i^y – стоимость отдельных модулей данного диагностического средства, руб.;

$C_{ч}$ – стоимость часа работ по диагностированию, руб.;

A – количество МЭС, заезжающих для проведения диагностических работ, шт.;

d_i – процент отказа данной системы или узла МЭС, %;

P – количество заездов МЭС в год с отказом данной системы или узла, шт.;

β_i, γ_i – повторность измерения данных диагностических параметров: для универсального диагностического средства и при уточнении диагноза другими СТД аналогичного назначения, шт.;

t_i – трудоемкость диагностирования данной системы или элемента универсальным СТД, чел.-ч.

Наибольшую эффективность будет иметь СТД, максимально универсализированное и автоматизированное.

В третьей главе «Разработка тестовых методов и средств диагностирования системы питания ДВС» представлены: алгоритм разработки тестовых методов и средств диагностирования системы питания автотракторных ДВС; методика и результаты экспериментальных исследований способов и средств диагностирования системы питания ДВС.

Процесс топливоподачи и воздухоподачи рассматривался последовательно прохождению топлива и воздуха через отдельные элементы систем.

Для системы топливоподачи (СТ) получена расчетная математическая модель, позволяющая исследовать взаимосвязь n_{\max} от изменения технического состояния отдельных элементов СТ:

$$n_{\max} = \frac{\left(\mu_{\Phi} \cdot f_{\Phi} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho_T} (P_0 - P_K)} \right) \cdot 10^9 \cdot t_P}{8,3 \cdot t_3 \cdot K \cdot i \cdot Q_{Ц\max} \cdot \frac{\tau_{\max}}{T_{\min}}} - \frac{1}{10^{-3} \cdot i \cdot Q_{Ц\max} \cdot \frac{\tau_{\max}}{T_{\min}}}, \quad (10)$$

где K – коэффициент запаса производительности;

i – число цилиндров двигателя, шт.;

$Q_{Ц\max}$ – максимальная цикловая подача при максимальной частоте вращения двигателя, см³;

τ_{\max} – длительность импульса при максимальной цикловой подаче, с;

T_{\min} – минимальный период следования цикловых подач, с;

n_{\max} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹;

30 л/ч – минимальный расход через редукционный клапан, при котором устойчиво поддерживается постоянное давление топлива в системе;

V – объем рампы и топливопроводов, заполненный топливом, которое находится под давлением, л;

μ_{ϕ} – коэффициент расхода форсунки;

f_{ϕ} – выходное сечение форсунки, м²;

P_K – противодействие впрыску, МПа;

P_0 – давление в топливной рампе, МПа;

t_p – время выработки топлива форсунками, с;

t_3 – время заполнения топлива ЭБН, с.

Полученная математическая модель (10) позволяет установить взаимосвязь максимально возможной частоты вращения на одном цилиндре с техническим состоянием отдельных элементов СТ.

Изменение пропускной способности ЭМФ μf бензинового ДВС во времени t , с, под действием электромагнитного импульса U , В, на всех трех этапах работы ЭМФ представлено на рисунке 7.

Движение иглы вверх при открытии ЭМФ происходит под действием ряда сил: тяговой силы электромагнита $F_{тэ}$, силы предварительного сжатия пружины $F_{прс}$, силы давления топлива на иглу $F_{д}$, силы тяжести mg и силы трения $F_{тр}$.

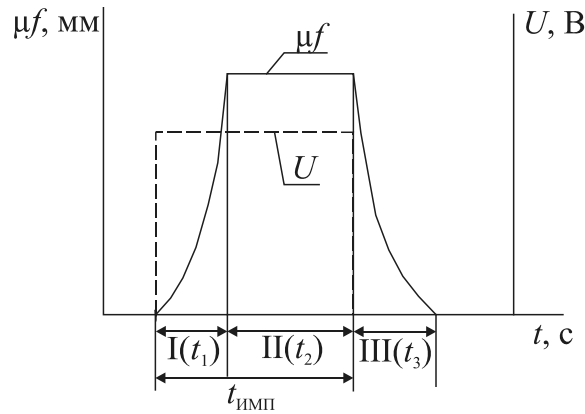
Равнодействующая всех сил, действующих на иглу ЭМФ, описывается уравнением:

$$F = F_{тэ} - (F_{прс} + kx) - SP - F_{тр} - mg, \quad (11)$$

где $F_{тэ} = \frac{0,5}{\mu_0} B^2 S$ – тяговая сила электромагнита, Н;

μ_0 – магнитная проницаемость в вакууме;

B – магнитная индукция, Тл;
 S – площадь поперечного сечения запорной иглы, м²;
 $F_{\text{прс}}$ – сила предварительного сжатия пружины, Н;
 k – коэффициент жесткости пружины, Н/м;
 x – перемещение иглы ЭМФ, м;
 P – давление топлива в рампе, Па;
 $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н;
 m – масса иглы, кг;
 g – ускорение свободного падения, м/с².



t_1 – время открытия иглы ЭМФ, с; $t_{\text{имп}}$ – время действия электромагнитного импульса, с; t_2 – время полного открытия иглы ЭМФ, с; t_3 – время закрытия (опускания) иглы ЭМФ, с; I этап – увеличения пропускной способности ЭМФ; II этап – постоянства пропускной способности ЭМФ; III этап – уменьшения пропускной способности ЭМФ

Рисунок 7 – Изменение пропускной способности ЭМФ μf бензинового ДВС во времени t , с, под действием электромагнитного импульса U , В

После преобразования (11) на первом и третьем этапах получим:

$$x_1 = \frac{F_{\text{тр}} - F_{\text{прс}} - SP - F_{\text{тр}} - mg}{\frac{2 \cdot m}{t_1^2} + k}, \quad x_3 = \frac{F_{\text{прс}} + SP - F_{\text{тр}} - mg}{\frac{2 \cdot m}{t_3^2} + k}, \quad (12)$$

где t_1 – время открытия ЭМФ, с;

t_3 – время закрытия ЭМФ, с.

Время открытия ЭМФ включает в себя время трогания иглы $t_{\text{т}}$, измеряемое от момента подачи напряжения на обмотку до момента начала движения иглы и время движения иглы $t_{\text{д}}$. Следовательно, время открытия форсунки описывается уравнением:

$$t_1 = t_{\text{т}} + t_{\text{д}} = \frac{\omega \cdot B \cdot S}{I \cdot R} \ln \frac{1}{1 - I_{\text{т}}/I_{\text{у}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot x_1 \cdot m}{\left(\frac{I \cdot \omega}{4 \cdot \pi \cdot r}\right) - (F_{\text{прс}} + k \cdot x_1) - S \cdot P - F_{\text{тр}} - mg}}, \quad (13)$$

где ω – число витков, шт.;

I – сила тока в обмотке, А;

R – активное сопротивление обмотки электромагнита, Ом;

$I_{\text{т}}$ – ток трогания подвижной системы, А;

$I_{\text{у}}$ – установившееся значение тока в обмотке, А;

r – средний радиус катушки, м.

Второй этап работы электромагнитной форсунки характеризуется неизменной пропускной способностью во времени. Время полного открытия форсунки описывается уравнением:

$$t_2 = t_{\text{ИМП}} - t_1. \quad (14)$$

Время закрытия форсунки при отключении обмотки от источника питания складывается из времени спадания магнитного потока $t_{\text{сп}}$, отсчитываемого от момента разрыва цепи обмотки до момента трогания запорной иглы, и времени возвратного движения запорной иглы $t_{\text{вд}}$:

$$t_3 = t_{\text{сп}} + t_{\text{вд}} = \int_{\Psi_{\text{т}}}^{\Psi_{\text{у}}} \frac{d\Psi}{i \cdot R_{\text{дп}}} + \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot x_3}{F_{\text{прс}} + k \cdot x + S \cdot P - F_{\text{мп}} - mg}}, \quad (15)$$

где $\Psi_{\text{у}}$ – потокосцепление обмотки при установившемся токе, Вб;

$\Psi_{\text{т}}$ – потокосцепление, соответствующее току трогания при отпуске, Вб;

$R_{\text{дп}}$ – сопротивление короткозамкнутой обмотки, Ом.

Общий расход топлива за цикл работы форсунки на трех этапах ее работы определяется:

$$Q_{\text{общ}} = \left[\mu_1 \cdot f_{\text{ср1}} \cdot t_1 + \mu_2 \cdot f_2 \cdot (t_{\text{ИМП}} - t_1) + \mu_3 \cdot f_{\text{ср3}} \cdot t_3 \right] \cdot \sqrt{2\Delta P/\rho}, \quad (16)$$

где μ_1, μ_2, μ_3 – коэффициенты расхода ЭМФ на трех этапах;

$f_{\text{ср1}}, f_2, f_{\text{ср3}}$ – средняя площадь сечения распылителя ЭМФ на трех этапах, м²;

ΔP – разность давления топлива в рампе и впускном коллекторе, Н/м²;

ρ – плотность топлива, кг/м³.

Техническое состояние ЭБН предлагается определять по отношению частот вращения нового ДВС и реального (диагностируемого), данное отношение позволяет определить степень уменьшения подачи диагностируемого насоса, а в конечном итоге износ диагностируемого насоса. Другим чувствительным диагностическим параметром к определению технического состояния ЭБН является снижение максимально возможной частоты вращения коленчатого вала ДВС из-за выработки топлива при проверке работы ЭБН с меньшим напряжением питания.

Диагностирование пропускной способности ЭМФ необходимо вести как минимум на двух режимах работы двигателя при малых и больших подачах топлива: при 25 % открытия дроссельной заслонки для оценки изменений пропускной способности, вызванных изменением времени (открытия, закрытия) ЭМФ; при 70 % открытия дроссельной заслонки для определения изменения пропускной способности ЭМФ при полном поднятии иглы.

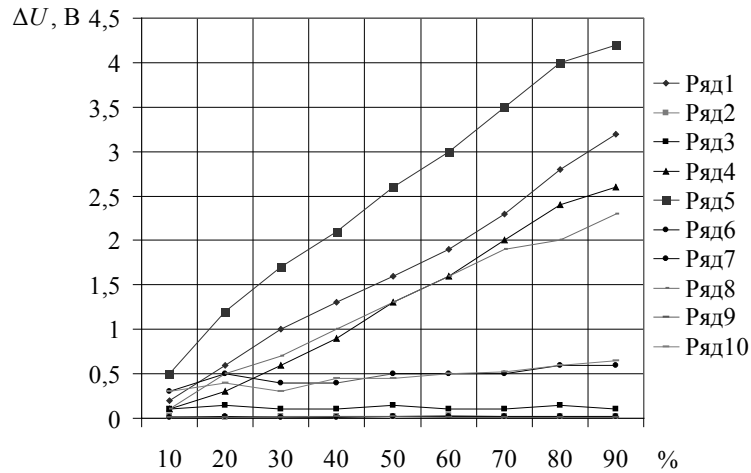
Для проведения экспериментальных исследований по диагностированию механизмов системы питания и смазки был разработан комплекс диагностических средств: установка и устройство для диагностирования датчиков массового расхода воздуха на автомобиле. Отключатель электромагнитных форсунок содержит компьютерное устройство, на которое установлен интерфейс диагностической программы.

Проведенные испытания датчиков показали, что семь датчиков из общей выборки являются неисправными. По результатам испытаний построена зависимость разности выходного напряжения с эталонного и диагностируемого датчиков ΔU , В, от процента поворота дроссельной заслонки, % (рисунок 8).

Как видно из рисунка 8, практически все неисправные ДМРВ при испытаниях показали значительный рост величины относительного напряжения. При этом в практике эксплуатации достаточно провести оценку ДМРВ в нескольких контрольных точках (достаточно двух-трех), чтобы сделать вывод о техническом состоянии ДМРВ.

Экспериментальное исследование изменения пропускной способности ЭМФ проводилось при условиях: диагностический режим при частоте вращения коленчатого вала ДВС $n = 2200$ и $n = 2900$ мин⁻¹; загрузка одного работающего цилиндра осуществлялась мощностью механических потерь трех других (2, 3, 4 цилиндры выключены); первый цилиндр работает при открытии дроссельной заслонки на 25 и 70 %.

По полученным экспериментальным данным были построены зависимости изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} , от пропускной способности ЭМФ μf , %, на режиме открытия дроссельной заслонки 25 и 70% (рисунок 9 а, б).



Ряды 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 — номера испытуемых датчиков

Рисунок 8 — Зависимость разности выходного напряжения с эталонного и диагностируемого датчиков ΔU , В, от процента поворота дроссельной заслонки, %

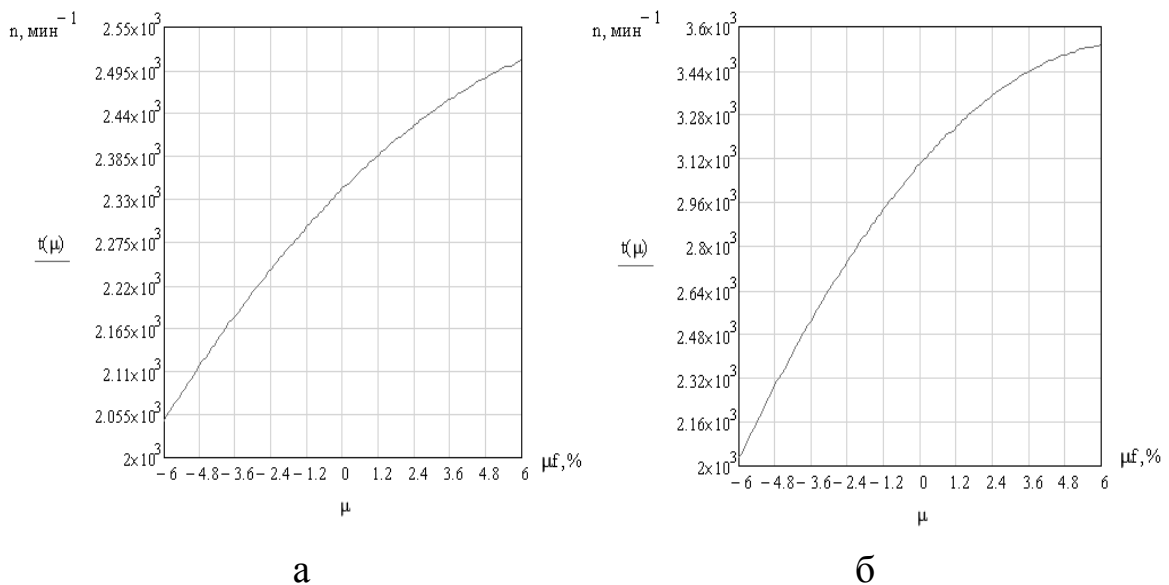
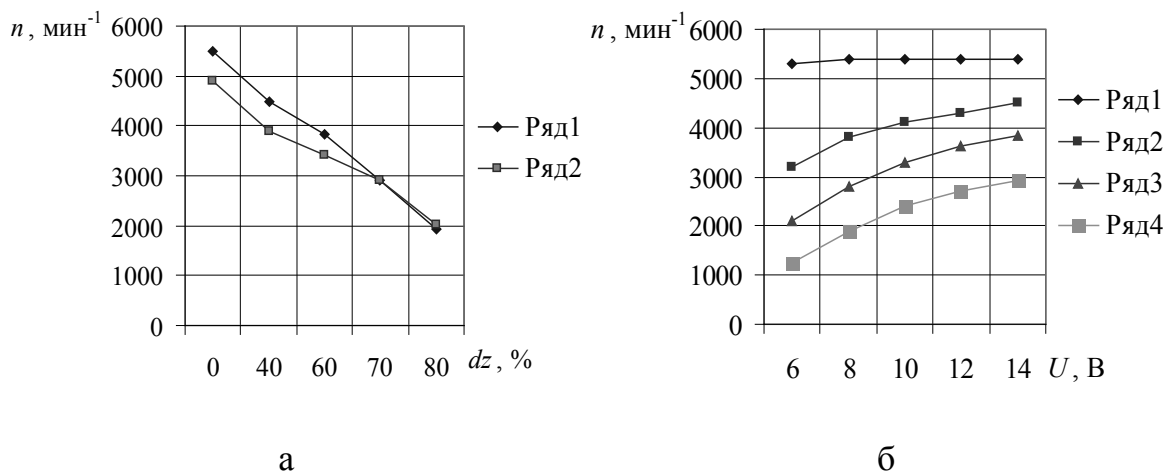


Рисунок 9 — Зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} , от пропускной способности ЭМФ μf , %, на режиме открытия дроссельной заслонки: а — 25%; б — 70%

Для испытания электробензонасоса (на определение пониженной подачи топлива) производилось выключение: 1) топливоподачи; 2) искрообразования полностью во все цилиндры, кроме одного, и при максимальной подаче топлива. При этом записывалась частота вращения коленчатого вала ДВС (рисунок 10 а).



Ряд 1 – при отключении искрообразования; ряд 2 – при отключении топливоподачи

Ряд 1 – технически исправный ЭБН; ряд 2 – на 40% сниженная производительность ЭБН; ряд 3 – на 50% сниженная производительность ЭБН; ряд 4 – на 70% сниженная производительность ЭБН

Рисунок 10 – Экспериментальные зависимости максимально развиваемой частоты вращения ДВС n , мин⁻¹, от степени износа ЭБН dz , % (данные при напряжении питания ЭБН $U=14$ В) (а) и максимально развиваемой частоты вращения ДВС n , мин⁻¹, от напряжения питания ЭБН U , В (б)

Для исправного ЭБН значение частоты вращения коленчатого вала ДВС при выключении подачи топлива всегда меньше, чем для случая выключения искрообразования.

Далее проводили испытания ЭБН при различных значениях напряжения питания электробензонасоса в пределах 4–14 В (рисунок 10 б).

Эти исследования послужили основой для разработки методов и средств диагностирования элементов системы питания ДВС № 2009123798, № 2012109956, № 2011139078, № 2011139288, № 2010144757.

В четвертой главе «Разработка тестовых методов и средств диагностирования системы смазки двигателей внутреннего сгорания» рассматривались следующие вопросы: алгоритм разработки тестовых методов и средств диагностирования системы смазки авто-тракторных ДВС; методика и результаты экспериментальных исследований способов и средств диагностирования системы смазки ДВС.

Отдельные элементы системы смазки рассматривались последовательно процессу прохождения через них масла.

Заданный уровень нагрузки на двигатель обеспечивался путем отключения трех цилиндров и загрузки оставшегося в работе одного цилиндра отключением каждого второго импульса форсунки или свечи зажигания при полностью открытой дроссельной заслонке на минимально возможной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

Основным прибором, обеспечивающим режимы нагружения подшипников КШМ, является отключатель электромагнитных форсунок (догрузатель двигателя). Для измерения пульсаций давления использовался датчик Д06М-3(У2), имеющий рабочий диапазон измерений 0,06–0,6 МПа, с цифровым тензоусилителем с коэффициентом усиления 1000. В центральной масляной магистрали при помощи приборных средств измеряли осциллограмму давления.

При экспериментальных исследованиях коренных подшипников (на ДВС ЗМЗ-4062) была получена зависимость разности минимальных амплитуд давления $A_2 - A_1$, МПа, двух соседних циклов при работе первого цилиндра (2, 3, 4-й отключены) через цикл, с нагрузкой и без нагрузки от технического состояния первого коренного подшипника (величины зазора Z_K , мм) при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 880 \text{ мин}^{-1}$, которая описывается полиномом:

$$Z_K = 1,961 \cdot 10^5 \cdot (A_2 - A_1)^3 - 7,725 \cdot 10^3 \times \\ \times (A_2 - A_1)^2 + 97,548 \cdot (A_2 - A_1) - 0,28, \quad (17)$$

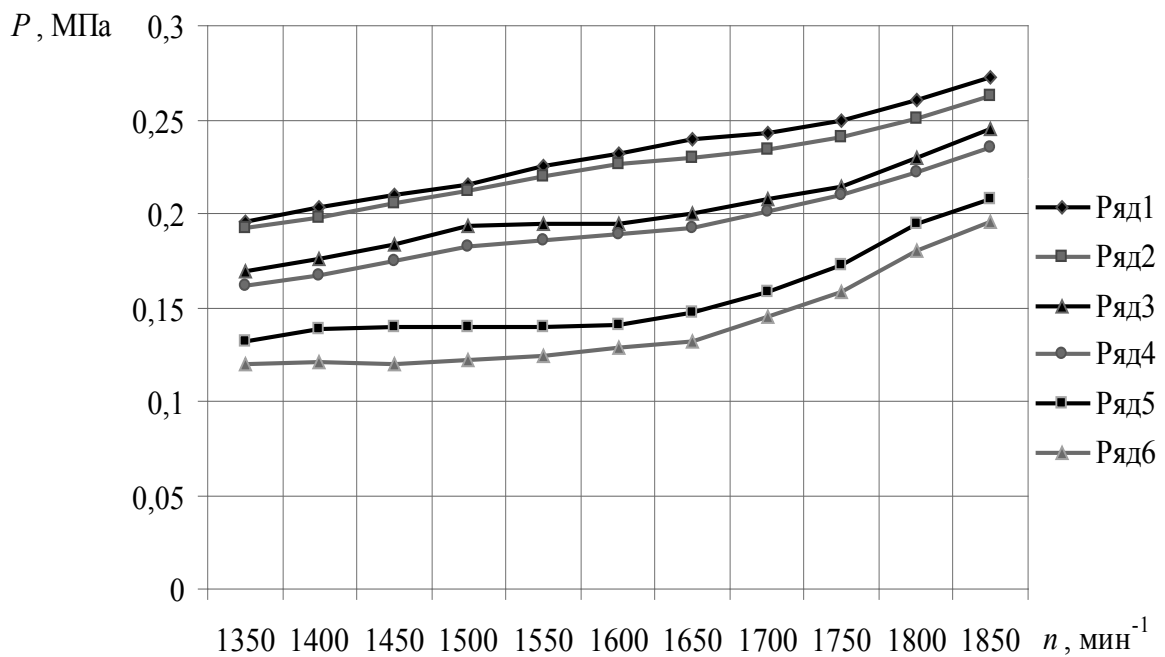
где $A_2 - A_1$ – разность минимальных амплитуд давления двух соседних циклов при работе первого цилиндра (2, 3, 4-й цилиндры отключены) через цикл, с нагрузкой и без нагрузки, МПа;

Z_K – зазор в коренной шейке, мм.

Проведенные экспериментальные исследования по другим подшипникам показали адекватность применимости выражения (17) к любым коренным подшипникам данного двигателя.

При проведении экспериментальных исследований по определению связи технического состояния шатунных подшипников с величиной сигнала давления было выявлено, что наиболее чувствительным режимом, на котором влияние технического состояния шатунных подшипников максимально, является режим при частотах вращения коленчатого вала для двигателя ЗМЗ-4062 $n = 1300\text{--}1950$ мин⁻¹ и нагрузке для первого цилиндра – 2, 3, 4-й цилиндры выключены, первый цилиндр работает при загрузке мощностью механических потерь трех других цилиндров. При этом оценочным показателем принималась минимальная амплитуда давления в момент такта сгорания при работе цилиндра под максимальной нагрузкой.

По данным многофакторного эксперимента были построены зависимости минимальной амплитуды давления в момент такта сгорания от технического состояния коренного и шатунного подшипников на выбранных режимах диагностирования, представленные на рисунке 11.



Ряд 1 при $Z_{\text{ш}} = 0,05$ мм и $Z_{\text{к}} = 0,09$ мм; ряд 2 при $Z_{\text{ш}} = 0,10$ мм и $Z_{\text{к}} = 0,09$ мм; ряд 3 при $Z_{\text{ш}} = 0,05$ мм и $Z_{\text{к}} = 0,12$ мм; ряд 4 при $Z_{\text{ш}} = 0,10$ мм и $Z_{\text{к}} = 0,12$ мм; ряд 5 при $Z_{\text{ш}} = 0,05$ мм и $Z_{\text{к}} = 0,15$ мм; ряд 6 при $Z_{\text{ш}} = 0,10$ мм и $Z_{\text{к}} = 0,15$ мм

Рисунок 11 – Зависимость минимальной амплитуды давления P , МПа, от частоты вращения коленчатого вала двигателя n , мин⁻¹

При анализе полученных зависимостей на рисунке 11 установлено, что суммарное влияние технического состояния коренной и шатунной шейки характеризуется нарушением линейности роста давления. Причем с ростом зазоров в коренной и шатунной шейке при их взаимном влиянии увеличивается диапазон нелинейности давления.

По данным многофакторного эксперимента было получено общее уравнение регрессии, связывающее максимум нелинейности с величиной зазора в коренной и шатунной шейке:

$$Z_{\text{Ш}} = (243,889 \cdot Z_{\text{К}}^2 - 68,217 \cdot Z_{\text{К}} + 4,97) \cdot \Delta P - (34,898 \cdot Z_{\text{К}}^2 - 8,076 \cdot Z_{\text{К}} + 0,467), \quad (18)$$

где ΔP – максимум нелинейности давления, МПа;

$Z_{\text{К}}$ – зазор в коренной шейке, мм;

$Z_{\text{Ш}}$ – зазор в шатунной шейке, мм.

Проведенные теоретические, лабораторные и эксплуатационные испытания позволили разработать новые средства, методики и алгоритмы диагностирования бензиновых и дизельных ДВС по параметрам пульсации давления в центральной масляной магистрали, которые защищены патентами № 2007115357, № 2008146428, № 2009113226, № 2009123745, № 2009123720, № 2010124493, № 2011141374.

В пятой главе «Эффективность реализации тестовых методов и средств диагностирования ДВС» представлены: алгоритмы и технологии тестовых методов диагностирования основных систем ДВС; эффективность реализации разработанных тестовых методов и средств диагностирования; экономическая эффективность реализации разработанных методов тестового диагностирования системы питания; экономическая эффективность реализации разработанных методов тестового диагностирования системы смазки.

Анализ показателей оценки существующих и разработанных способов и средств диагностирования базировался на моделях, разработанных во второй главе. Результаты расчета показателей оценки существующих и разработанных способов и средств диагностирования системы топливоподачи представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели оценки существующих и разработанных способов и средств диагностирования системы топливоподдачи

| Название и марка СТД | Стоимость СТД | Диагностируемые системы | ΣC , ΣC_{BC} , ΣC_{BH} чел.-ч руб. | ΔS_p чел.-ч руб. | D | T_{BP} , T, ч | $K_{ПДИ}$ $K_{ПП}$ | $K_{ГП}$ | $K_{ИС}$ |
|--|---------------|-------------------------|---|-----------------------------|-----------|--------------------|-----------------------|----------|----------|
| 1. Стенд «Форсаж» | 50 000 | Только ЭМФ | $\Sigma C_{BC} = 0$, $\Sigma C_{BH} = 1,169 \cdot 10^7$ | $\Delta S_{л} = 0,416$ | $D = 0,9$ | 0,2, 1,25 | 0,6, 0,6 | 0,6 | 1,0 |
| 2. Манометр и имитатор форсунок | 15 500 | Система топливоподдачи | $\Sigma C_{BC} = 0$, $\Sigma C_{BH} = 4,13 \cdot 10^6$ | $\Delta S_{л} = 0,387$ | $D = 0,7$ | 0,2, 1,10 | 0,6, 0,6 | 0,6 | 1,0 |
| 3. Отключатель ЭМФ и СЗ встроенный | 25 000 | Система топливоподдачи | $\Sigma C_{BH} = 0$, $\Sigma C_{BC} = 2,43 \cdot 10^6$ | $\Delta S_{л} = 0,169$ | $D = 0,9$ | 0,05, 0,5 | 0,9, 0,9 | 0,9 | – |
| 4. Отключатель ЭМФ и СЗ с автоматическим тестированием, встроенный | 35 000 | Система топливоподдачи | $\Sigma C_{BH} = 0$, $\Sigma C_{BC} = 3,947 \cdot 10^4$ | $\Delta S_{л} = 0,035$ | $D = 0,9$ | авто | 0,9, 0,9 | 0,9 | – |

Аналогичные высокие показатели технологической способности разработанных способов и средств получены для ДМРВ, системы смазки. В среднем разработанные диагностические средства позволяют повысить показатели контролепригодности: время поиска неисправностей T уменьшить в 1,2...5 раз; время подготовки МЭС к диагностированию заданным числом специалистов T_B уменьшить в 1,2...7 раз; коэффициент полноты диагностической информации $K_{пди}$, коэффициент полноты проверки исправности $K_{пв}$ и коэффициент глубины поиска дефекта $K_{гп}$ увеличить на 10...60%; коэффициент использования специальных средств диагностирования $K_{ис}$ снизить за счет использования разработанных специальных СТД на 20...30%.

Разработанные способы и средства тестового диагностирования при реализации в производственных условиях подтвердили высокую технологическую способность при определении технического состояния механизмов систем питания, смазки и управления, а также при практической реализации результатов исследования подтвердили преимущество, оценивая технико-экономическими показателями, разработанных методов и средств диагностирования по сравнению с существующими.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Конструктивное совершенствование автотракторных ДВС направлено на обеспечение дифференциации величины параметров функционирования механизмов систем питания и смазки в зависимости от изменения режимов и условий эксплуатации, что обусловило повышение прецизионности изготовления деталей, уменьшение допусков на отклонение параметров рабочих процессов и применение микропроцессорных систем управления. Однако современные методы и средства диагностирования технического состояния механизмов и систем, определяющих работоспособность и правильное функционирование рабочих процессов ДВС, не позволяют с требуемой точностью, достоверностью устанавливать их ухудшение, что увеличивает количество скрытых отказов (ГОСТ Р 53480-2009), снижает эффективность использования мобильных энергетических средств.

2. Определяющим направлением развития методов диагностирования систем новых и перспективных моделей ДВС является

разработка и реализация дифференцированных тестовых режимов их диагностирования, обеспечивающих высокую технологическую способность средств диагностирования технического состояния механизмов и точность функционирования процессов в системах ДВС.

Тестовое воздействие заключается в изменении нагрузочного режима работы ДВС путем частичного и полного прекращения подачи топлива или искрообразования в цилиндрах ДВС. Возникающие при этом отклонения параметров рабочих процессов от номинальных значений (частота вращения коленчатого вала, разница амплитуд давления, разница напряжений и др.) приняты в качестве диагностических параметров, которые однозначно с высокой чувствительностью отражают техническое состояние элементов систем ДВС (структурные параметры).

3. Методологической основой обоснования и реализации тестовых процессов, аппаратных и программных средств диагностирования технического состояния и правильного функционирования автотракторных ДВС являются математические модели, описывающие взаимосвязи между параметрами технического состояния механизмов систем питания и смазки, их рабочих процессов с технологическими, техническими параметрами методов и средств тестового диагностирования ДВС, технико-экономическими показателями при использовании и обеспечении работоспособности машин. В частности, дано аналитическое описание:

- затрат на приобретение, установку и эксплуатацию внешних и встроенных СТД с учетом их совместного использования, позволяющих обосновать структурную модель оснащения процессов диагностирования автотракторных двигателей внешними и встроенными средствами диагностирования;

- взаимосвязи методов и средств тестового диагностирования с вероятностью выявления скрытых отказов, алгоритмом и параметрами правильного функционирования систем ДВС на основе показателей технологичности процесса диагностирования ($K_{\text{пди}}$, $K_{\text{пп}}$, $K_{\text{гп}}$);

- комплексной целевой функции на основе критерия минимума удельных суммарных затрат, позволяющей с учетом достоверности и точности диагностирования, универсальности и многоканальности СТД оценить эффективность его основных функций: определения вида технического состояния; локализации неисправностей; потребности в ТО и ТР; функции оценки качества работ по ТО и ТР, выполненных по результатам диагностирования.

4. Установлены тестовые режимы, разработаны аппаратные и программные средства диагностирования механизмов систем питания ДВС, диагностические параметры их технического состояния, обеспечивающие высокую точность и достоверность процесса диагностирования.

Датчики массового расхода воздуха:

– диагностический режим обеспечивается полной подачей воздуха при отключении трех цилиндров и дозагрузкой работающего цилиндра пропусками циклов топливоподачи и искрообразования на установке с последовательной подачей воздуха;

– диагностическим параметром технического состояния ДМРВ является разность величины напряжения, снимаемого с диагностируемого и эталонного ДМРВ. Разности величин напряжения определяются при подсоединении выводов ДМРВ в мостовую схему и мгновенном измерении диагностического параметра. Предельным значением диагностического параметра является разность напряжений в пределах $\Delta U = \pm 0,26$ В.

Электрические бензонасосы:

– режимом диагностирования является работа двигателя на одном цилиндре (4-цилиндровый ДВС) путем прекращения подачи топлива или искрообразования в три цилиндра отключателем электромагнитных форсунок при максимально возможной подаче топлива в работающий цилиндр;

– диагностическим параметром является разность величин частоты вращения коленчатого вала ДВС при отключении топливоподачи или искрообразования. Предельной величиной диагностического параметра является $\Delta n = 600$ мин⁻¹ (при 40%-ном износе ЭБН коэффициент запаса ЭБН снижается на 1,4).

Топливный фильтр:

– режим диагностирования обеспечивается работой ДВС при максимальной подаче топлива и номинальной частоте вращения коленчатого вала ДВС;

– диагностическим параметром технического состояния топливного фильтра является перепад давления на фильтре величиной $\Delta P = 0,1$ МПа, что предопределяет изменение тока питания ЭБН (ДВС ЗМЗ-4062 от 5,5 до 6,5 А). Предельное значение диагностического параметра – превышение на 25–30% величины тока питания ЭБН.

Электромагнитные форсунки:

– режим диагностирования обеспечивается 25 и 70% открытием дроссельной заслонки, отключением трех цилиндров и установкой максимально возможной подачи топлива в работающий цилиндр;

– диагностическим параметром является разность частоты вращения коленчатого вала ДВС $\Delta n = n_{\text{ном}} - n_{\text{т}}$. Установлено: работа цилиндра при впрыске ЭМФ с номинальной пропускной способностью (μf) осуществляется с $n_{\text{н1}} = 2360 \text{ мин}^{-1}$ (при $\alpha = 1,17$ для 25% открытия дроссельной заслонки). При предельном изменении пропускной способности форсунок $\mu f = -6\% \dots +6\%$ изменение частоты вращения коленчатого вала составляет $\Delta n = 420 \text{ мин}^{-1}$; при $\mu f = 0 \dots -6\%$ частота вращения коленчатого вала снижается на величину $\Delta n = 260 \text{ мин}^{-1}$; при $\mu f = 0 \dots +6\%$ частота вращения коленчатого вала повышается на величину $\Delta n = 160 \text{ мин}^{-1}$;

– работа цилиндра при впрыске ЭМФ с номинальной пропускной способностью и 70% открытия дроссельной заслонки осуществляется с $n_{\text{н2}} = 2900 \text{ мин}^{-1}$ (при $\alpha = 0,95$). При предельном изменении пропускной способности форсунок $\mu f = -6\% \dots +6\%$ изменение частоты вращения коленчатого вала составляет $\Delta n = 1440 \text{ мин}^{-1}$: при $\mu f = 0 \dots -6\%$ частота вращения коленчатого вала снижается на величину $\Delta n = 800 \text{ мин}^{-1}$; при $\mu f = 0 \dots +6\%$ частота вращения коленчатого вала повышается на величину $\Delta n = 640 \text{ мин}^{-1}$.

5. Установлены тестовые режимы, разработаны аппаратные и программные средства диагностирования механизмов систем смазки ДВС, диагностические параметры их технического состояния, обеспечивающие высокую точность и достоверность процесса диагностирования:

Маслоприемник:

– диагностирование осуществляется при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 2700 \text{ мин}^{-1}$ и использовании комплекса для диагностирования КШМ и механизмов системы смазки;

– диагностическим параметром является давление в центральной масляной магистрали при заданной тестовой частоте вращения коленчатого вала двигателя. В частности, при $n = 2700 \text{ мин}^{-1}$ $P \leq 0,3 \text{ МПа}$, что соответствует предельной величине давления масла, определяемой разрывом масляной пленки.

Масляный фильтр:

– режим диагностирования задается частотой вращения коленчатого вала, при которой обеспечивается постоянный перепад давления масла $\Delta P = 0,01-0,15 \text{ МПа}$ на фильтре; мгновенно и кратко-

временно ($t < 0,8-1,0$ с) перекрывается сечение маслопровода после фильтра; формируется гидравлический удар. Измеренная величина перепада давления, его изменение на фильтроэлементе, его знак характеризуют степень загрязнения фильтроэлемента;

– диагностическим параметром является величина перепада давления, измеренная на фильтроэлементе в момент формирования гидроудара при кратковременном перекрытии масляной магистрали после фильтра. Предельным значением загрязнения фильтроэлемента является $\Delta P = 0$ при ($t > 0,4$ с).

Коренные подшипники:

– диагностирование осуществляется при частоте вращения коленчатого вала двигателя $n = 880$ мин⁻¹ при использовании комплекса для диагностирования КШМ и механизмов системы смазки;

– диагностическим параметром является разность минимальных амплитуд давлений при работе подшипника через цикл, с нагрузкой и без нагрузки. Предельное значение диагностического параметра для выбраковки коренного подшипника двигателей: ЗМЗ-4062 и КАМАЗ-740.11(EURO) составляет 0,02 МПа.

Шатунные подшипники:

– диагностирование осуществляется в диапазоне частоты вращения коленчатого вала: для двигателя ЗМЗ-406 $n = 1200...1900$ мин⁻¹; для КАМАЗ-740.11(EURO) $n = 1400...2900$ мин⁻¹ при использовании комплекса для диагностирования КШМ и механизмов системы смазки;

– диагностическим параметром является снижение линейности роста давления в центральной масляной магистрали. Предельное значение максимума нелинейности давления масла для двигателей: ЗМЗ-4062 и КАМАЗ-740.11(EURO) составляет 0,063 МПа.

6. Экспериментально доказано, что разработанные методы и средства тестового диагностирования автотракторных двигателей позволяют: повысить коэффициенты полноты диагностической информации $K_{\text{ПДИ}}$ и проверки исправности $K_{\text{ПИ}}$, глубины поиска дефекта $K_{\text{ГП}}$ на 10...60%; снизить коэффициент использования специальных средств диагностирования $K_{\text{ИС}}$ на 20...30%, время поиска неисправностей – в 1,2...5 раз.

7. Практическая реализация разработанных методов и средств тестового диагностирования систем питания и смазки позволяет: сократить трудоемкость диагностирования ДВС при Д-1 на 20–30%, при Д-2 – на 35–40%; при заявочном диагностировании за счет

сокращения продолжительности выявления неисправностей, проверки алгоритма и параметров правильности функционирования рабочих процессов, трудоемкость сокращается в 2–5 раз.

Техническое обслуживание и восстановление работоспособности ДВС по результатам тестового диагностирования позволяет: в производственных условиях эксплуатации автотракторных средств сократить расход топлива на 10–15 %, затраты на текущий ремонт – на 15–20 %; обеспечить нормативные показатели норм CO, CH, NO в производственных условиях, т.е. повысить экологичность при использовании автотранспортных средств в 1,5–2 раза.

8. Создание и внедрение методов и средств тестового диагностирования элементов системы питания и смазки позволяют получить годовую экономию средств на один диагностический пост в год в пределах 115 000–190 000 рублей.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Гриценко, А. В. Взаимосвязь зазора в коренных подшипниках двигателя внутреннего сгорания с давлением масла [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 12. – С. 18–20.

2. Гриценко, А. В. Диагностирование автомобильных генераторов по осциллограммам напряжения [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 2. – С. 13–15.

3. Гриценко, А. В. Диагностирование датчиков массового расхода воздуха легковых автомобилей [Текст] / А. В. Гриценко, О. Н. Ларин, К. В. Глемба // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – Сер. : Машиностроение. – 2013. – Т. 13. – № 2. – С. 113–118.

4. Гриценко, А. В. Диагностирование двигателей внутреннего сгорания по давлению масла [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 1. – С. 22–24.

5. Гриценко, А. В. Диагностирование системы питания ДВС [Текст] / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – № 1. – С. 24–26.

6. Гриценко, А. В. Диагностирование электрических бензонасосов автомобилей [Текст] / А. В. Гриценко, К. А. Цыганов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2013. – № 4. – С. 22–23.

7. Гриценко, А. В. К выбору режимов диагностирования и диагностических параметров при определении технического состояния подшипников двигателя внутреннего сгорания по пульсациям давления в центральной масляной магистрали [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков // Труды ГОСНИТИ. – М., 2008. – Т. 101. С. 92–94.

8. Гриценко, А. В. Разработка средств и методов диагностирования с частично параллельным резервированием элементов, а также с устранением лишних диагностических операций и диагностических параметров [Текст] / А. В. Гриценко // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 7. – С. 120–125.

9. Гриценко, А. В. Результаты экспериментальных исследований пропускной способности электромагнитных форсунок [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 12. – С. 120–127.

10. Гриценко, А. В. Результаты экспериментальных исследований пропускной способности электромагнитных форсунок бензиновых двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В. П. Горячкина. – 2012. – № 5(56). – С. 40–42.

11. Гриценко, А. В. Теоретическое исследование работы электромагнитной форсунки и ее влияние на процесс топливоподачи [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В. П. Горячкина. – 2012. – № 3(54). – С. 40–41.

12. Гриценко, А. В. Экспериментальные исследования взаимосвязи технического состояния коренных и шатунных подшипников кривошипно-шатунного механизма с параметрами давления в центральной масляной магистрали [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 1. – С. 118–124.

13. Куков, С. С. Диагностирование коренных подшипников кривошипно-шатунного механизма по параметрам давления в центральной масляной магистрали [Текст] / С. С. Куков, А. В. Гриценко // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 3. – С. 143–147.

14. Куков, С. С. Диагностирование коренных подшипников кривошипно-шатунного механизма по параметрам давления в центральной масляной магистрали [Текст] / С. С. Куков, А. В. Гриценко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 3. – С. 34–35.

15. Куков, С. С. Диагностирование системы смазки двигателя внутреннего сгорания [Текст] / С. С. Куков, А. В. Гриценко // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 1. – С. 33–34.

16. Плаксин, А. М. Взаимосвязь конструктивного совершенствования мобильных энергетических средств с методами диагностирования их технического состояния [Текст] / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – Ч. 15. – С. 3373–3377.

17. Плаксин, А. М. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин [Текст] / А. М. Плаксин, А. В. Гриценко // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12. – С. 185–193.

18. Соловьев, Р. Ю. Эксплуатационные испытания двигателей ЗМЗ-4062 при добавлении в моторное масло нанопрепарата фирмы «Wagner» Universal – Micro-CeramicOil [Текст] / Р. Ю. Соловьев, А. К. Ольховацкий, А. В. Гриценко [и др.] // Труды ГОСНИТИ. – М., 2013. – Т. 112. – С. 119–126.

Публикации в других изданиях

19. Бакайкин, Д. Д. Техническое обслуживание элементов системы топливоподачи бензинового двигателя с электронной системой управления [Текст] / Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков, А. В. Гриценко // Вестник ЧГАУ. – 2006. – Т. 47. – С. 10–13.

20. Гриценко, А. В. Алгоритм, информационные характеристики процесса технического диагностирования, методики проектирования и оптимизации устройств диагностирования [Текст] / А. В. Гриценко // Вестник ЧГАА. – 2013. – Т. 63. – С. 38–41.

21. Гриценко, А. В. Анализ способов диагностирования кривошипно-шатунного механизма по пульсациям давления в центральной масляной магистрали ДВС [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков // Материалы XLVII междунар. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству», посвящ. 100-летию со дня рожд. И. Е. Ульмана. – Челябинск : ЧГАУ, 2008. – Ч. 2. – С. 6–12.

22. Гриценко, А. В. Взаимосвязь величины зазоров в шатунных подшипниках кривошипно-шатунного механизма с параметрами давления в центральной масляной магистрали двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАУ. – 2009. – Т. 55. – С. 42–47.

23. Гриценко, А. В. Диагностирование подшипников кривошипно-шатунного механизма двигателя внутреннего сгорания по параме-

трам пульсации давления в центральной масляной магистрали [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / А. В. Гриценко. – Челябинск : ЧГАУ, 2009.

24. Гриценко, А. В. Диагностирование подшипников кривошипно-шатунного механизма по параметрам давления в центральной масляной магистрали [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Материалы XLVIII междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАУ, 2009. – Ч. 2. – С. 9–15.

25. Гриценко, А. В. Диагностирование пропускной способности электромагнитных форсунок [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков [и др.] // Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса : матер. III Междунар. науч.-практ. конф., г. Новокузнецк, 28–30 ноября 2013 г. / отв. ред. канд. техн. наук А. А. Баканов ; ред. кол. Ю. Е. Воронов [и др.]. – Новокузнецк : Филиал КузГТУ в г. Новокузнецке, 2013. – С. 91–96.

26. Гриценко, А. В. Диагностирование систем двигателя внутреннего сгорания бестормозным методом с перераспределением цилиндрических нагрузок [Текст] / А. В. Гриценко // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 108–110.

27. Гриценко, А. В. Диагностирование электрических бензонасосов системы питания автомобилей с микропроцессорной системой управления двигателем [Текст] / А. В. Гриценко, К. А. Цыганов // Материалы LI междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2013. – Ч. III. – С. 49–55.

28. Гриценко, А. В. Концепция развития методов и средств диагностирования автомобилей [Текст] / А. В. Гриценко // Материалы LI междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2013. – Ч. III. – С. 42–49.

29. Гриценко, А. В. Метод диагностирования систем ДВС по тестовому контролю правильности функционирования систем [Текст] / А. В. Гриценко // Экономика и производство : сб. науч. трудов / под ред. В. В. Ерофеева. – Челябинск : ЧРО РАЕН, 2012. – С. 113–121.

30. Гриценко, А. В. Метод и средство определения технического состояния масляных фильтроэлементов [Текст] / А. В. Гриценко // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 60. – С. 40–44.

31. Гриценко, А. В. Методические приемы повышения точности диагностирования подшипников коленчатого вала [Текст] / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2010. – Т. 57. – С. 51–56.

32. Гриценко, А. В. Обзор методов диагностирования бензинового двигателя внутреннего сгорания по параметрам пульсации давления

[Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2010. – Т. 56. – С. 43–47.

33. Гриценко, А. В. Обзор методов диагностирования подшипников кривошипно-шатунного механизма и элементов системы смазки двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Материалы XLIX междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2010. – Ч. 1. – С. 355–360.

34. Гриценко, А. В. Обоснование и разработка средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Материалы L междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2011. – С. 6–11.

35. Гриценко, А. В. Обоснование и разработка эффективных систем диагностирования двигателей внутреннего сгорания мобильных сельскохозяйственных машин [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Материалы LI междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». – Челябинск : ЧГАА, 2012. – Ч. III. – С. 20–25.

36. Гриценко, А. В. Обоснование трудоемкости диагностирования систем ДВС на тестовых статических режимах [Текст] / А. В. Гриценко // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 62. – С. 35–38.

37. Гриценко, А. В. Определение эффективности использования средств технического диагностирования с учетом частоты отказов систем ДВС [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2012. – Т. 60. – С. 45–48.

38. Гриценко, А. В. Оптимизация процесса диагностирования автотракторной техники минимизацией затрат [Текст] / А. В. Гриценко, А. М. Плаксин // Вестник ЧГАА. – 2013. – Т. 63. – С. 42–46.

39. Гриценко, А. В. Перспективные направления применения нанопрепаратов для повышения экологических и технико-экономических показателей автомобильных двигателей [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин [и др.] // Сборник науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. «Транспорт России: проблемы и перспективы – 2013». – СПб. : Институт проблем транспорта РАН им. Н. С. Соломенко, 2013. – С. 144–151.

40. Гриценко, А. В. Пути повышения и метод диагностирования экологических характеристик и эксплуатационной надежности автомобильных двигателей с применением антифрикционных наноматериалов

[Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков [и др.] // Сборник науч. трудов : «XI Всерос. науч.-практ. конф. студ., аспирантов и молодых ученых «Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика». – Пермь : ПНИПУ, 2013. – Ноябрь. – С. 137–142.

41. Гриценко, А. В. Разработка эффективных средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 58. – С. 111–117.

42. Гриценко, А. В. Способ безразборной диагностики степени износа подшипников двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 59. – С. 26–29.

43. Гриценко, А. В. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателей внутреннего сгорания легковых автомобилей [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник ЧГАА. – 2011. – Т. 59. – С. 30–32.

44. Соловьев, Р. Ю. Методы и средства тестового диагностирования системы питания двигателей внутреннего сгорания автомобилей. Технологические рекомендации [Текст] / Р. Ю. Соловьев, А. В. Гриценко, С. С. Куков [и др.]. – М. : ГОСНИТИ, 2013. – 40 с.

45. Черноиванов, В. И. Формирование инвестиционного механизма в сфере технического сервиса в сельском хозяйстве [Текст] : монография / В. И. Черноиванов, В. П. Лялякин, Л. А. Солодкина [и др.] ; под общ. ред. В. И. Черноиванова. – М. : ГОСНИТИ, 2013. – 298 с.

Авторские свидетельства, патенты

46. Пат. 2344400 Российская Федерация, RU G 01 M 15/09. Способ безразборной диагностики степени износа подшипников двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков. – № 2007115357 ; заявл. 10.04.07 ; опубл. 20.01.09, Бюл. № 2.

47. Пат. 2390746 Российская Федерация, RU G 01 M 15/00. Способ безразборной диагностики степени износа шатунных подшипников двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков. – № 2008146428 ; заявл. 24.11.08 ; опубл. 27.05.10, Бюл. № 15.

48. Пат. 2398200 Российская Федерация, RU G 01 M 15/00. Способ безразборной диагностики степени износа подшипников двигателя внутреннего сгорания и фильтроэлементов [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков. – № 2009123745 ; заявл. 22.06.09 ; опубл. 27.08.10, Бюл. № 24.

49. Пат. 2399897 Российская Федерация, RU G 01 M 15/09. Способ диагностики степени засоренности маслоприемника системы смазки

двигателя внутреннего сгорания [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков. – № 2009113226 ; заявл. 08.04.09 ; опубл. 20.09.10, Бюл. № 26.

50. Пат. 2418190 Российская Федерация, RU F 02 М 65/00. Способ диагностирования системы топливоподачи двигателя [Текст] / А. В. Гриценко, Д. Д. Бакайкин, С. С. Куков. – № 2009123798 ; заявл. 22.06.09 ; опубл. 10.05.11, Бюл. № 13.

51. Пат. 2449142 Российская Федерация, RU G 01 М 15/04. Способ обкатки двигателей внутреннего сгорания и стенд для его осуществления [Текст] / А. В. Гриценко, В. А. Рожнев, С. С. Куков. – № 2010144757 ; заявл. 01.11.10 ; опубл. 27.04.12, Бюл. № 12.

52. Пат. 2474715 Российская Федерация, RU G 01 М 15/00. Способ определения технического состояния двигателя внутреннего сгорания и электронное устройство для его осуществления [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов. – № 2011141374 ; заявл. 12.10.11 ; опубл. 10.02.13, Бюл. № 4.

53. Пат. 2476848 Российская Федерация, RU G 01 М 15/04. Способ диагностирования датчиков массового расхода воздуха на автомобиле и устройство для его осуществления [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов. – № 2011147026 ; заявл. 18.11.11 ; опубл. 10.02.13, Бюл. № 4.

54. Пат. 2477384 Российская Федерация, RU F 02 М 65/00. Способ диагностирования электробензонасосов системы топливоподачи автомобиля [Текст] / А. В. Гриценко, С. С. Куков, К. А. Цыганов, А. В. Горбунов. – № 2012109956 ; заявл. 14.03.12 ; опубл. 10.03.13, Бюл. № 7.

Подписано в печать 31.03.2014. Формат 60×84/16
Гарнитура Times. Печ. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ № 67

Отпечатано в ИПЦ ФГБОУ ВПО ЧГАА
454080, г. Челябинск, ул. Энгельса, 83