

На правах рукописи



**СИНИЦИН ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО  
СОСТОЯНИЯ ФИЛЬТРА ТОНКОЙ ОЧИСТКИ ДВИГАТЕЛЕЙ  
МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность 05.20.03-Технологии и средства технического обслуживания  
в сельском хозяйстве

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Рязань 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

**Научный руководитель:** кандидат технических наук доцент  
**Кокорев Геннадий Дмитриевич**

**Официальные оппоненты:** **Загородских Борис Павлович,**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н.И.  
Вавилова», профессор кафедры  
«Технология машиностроения и  
конструкционные материалы»

**Кузнецов Вячеслав Викторович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева»,  
доцент кафедры «Механизация  
переработки сельскохозяйственной  
продукции»

**Ведущая организация:** ФГБНУ «Российский научно-  
исследовательский институт информации  
технико-экономических исследований по  
инженерно-техническому обеспечению  
агропромышленного комплекса»

Защита состоится « 03 » июля 2014 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.117.06 ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва» по адресу: 430904, г. Саранск, п. Ялга, ул. Российская, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. М.М. Бахтина ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарёва» и на сайте [http://mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT\\_ID=28951](http://mrsu.ru/ru/diss/diss.php?ELEMENT_ID=28951)

Автореферат разослан « 21 » мая 2014 г. и размещен на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ <http://vak2.ed.gov.ru> «29» апреля 2014 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Величко С.А.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Известно, что производство топлив для автотранспортной и сельскохозяйственной техники продолжает неуклонно расти. По данным Росстата в 2000-е годы производство автобензинов в России увеличилось на 32%, а дизельного топлива – на 42%. Прогнозы, проведенные специалистами различных организаций, свидетельствуют, что парк мобильной сельскохозяйственной техники, оснащенной дизельными двигателями также будет расти.

Ввиду ужесточения экологических норм выброса вредных веществ в атмосферу, а также потребностью в повышении мощностных характеристик двигателей внутреннего сгорания была разработана топливоподающая система Common Rail – ее характерным отличием от традиционных систем топливоподдачи является высокое давление подачи топлива в камеру сгорания и высокая степень очистки используемого топлива. Наиболее уязвимым звеном системы Common Rail является степень фильтрации, определяемая моментом наступления закупоривания пор фильтрующего элемента.

Существующие методы оценки ресурса фильтрующих элементов топливных фильтров достаточно сложны для реализации в условиях хозяйств, а предлагаемые технические решения по определению загрязненности фильтров имеют существенные недостатки, связанные со своевременностью принятия решения о проведении замены.

Поэтому исследования по совершенствованию способов фильтрации топлива, конструкций и устройств для повышения качества фильтрации топлива и оценке состояния фильтрующих элементов является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы.** Научными исследованиями по диагностированию фильтров тонкой очистки дизельного топлива занимались многие исследователи: Г.Ф. Большаков, Г.В. Борисова, Г.С. Бродский, Н.В. Бышов, В.И. Ванцов, В.И. Волков, В.А. Готовцева, М.А. Григорьев, Ю.И. Дмитриев, Н.С. Ждановский, Е.Н. Жулдыбин, В.П. Зезекало, В.А. Зорин, Г.Д. Исаенко, М.В. Калинина, А.П. Картошкин, В.П. Коваленко, Г.Д. Кокорев, Т.Н. Митусова, А.В. Николаенко, В.М. Пашенко, А.С. Поляков, А.И. Руденко, К.В. Рыбаков, А.П. Севостьянов, А.А. Симдянкин, А.В. Симоненко, Э.И. Удлер, Е.А. Улюкина, И.А. Успенский, З.Л. Финкельштейн и др.

Однако, не смотря на большое количество технико-технологических решений по повышению эффективности оценки состояния фильтра тонкой очистки дизельного топлива и его реализации, они далеко не исчерпаны.

**Цель исследований** – определить остаточный ресурс фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail на основании оценки состояния его фильтрующего элемента.

**Задачи исследований:**

1. Получить аналитические зависимости, основанные на применении метода электромеханических аналогий, позволяющие ранжировать влияние параметров топливоподдачи и состояния фильтрующего элемента на

характеристики фильтра тонкой очистки топлива;

2. Получить аналитические зависимости, позволяющие прогнозировать реальный ресурс фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, учитывающий состояние его фильтрующего элемента;

3. Определить конструктивно-технологические параметры устройств для реализации систем контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, позволяющих оценить фактическое состояние и его остаточный ресурс непосредственно в период эксплуатации транспортного средства;

4. Оценить работоспособность устройства для реализации систем контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail в производственных условиях и определить его технико-экономическую эффективность.

**Объект исследования** – характеристики фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail.

**Предмет исследования** – изменение характеристик фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail в процессе эксплуатации.

**Научная проблема** заключается в формировании подхода к оценке изменения характеристик фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail в процессе эксплуатации, и на ее основе – остаточного ресурса.

**Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:**

- аналитические зависимости, позволяющие оценить влияние параметров топливоподачи системы Common Rail и состояния фильтрующего элемента на характеристики фильтра;

- аналитические зависимости, позволяющие спрогнозировать реальный ресурс фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, учитывающие состояние его фильтрующего элемента;

- конструкции устройств для реализации систем контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, позволяющих оценить фактическое состояние и остаточный ресурс фильтра непосредственно в период эксплуатации транспортного средства;

- результаты исследований по оценке фактического состояния и остаточного ресурса фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail.

**Научную новизну работы представляют:**

- методика оценки изменения характеристик фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail;

- методика оценки ресурса фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, учитывающая состояние его фильтрующего элемента;

- аналитические зависимости, основанные на применении метода электромеханических аналогий, позволяющие ранжировать влияние параметров топливоподачи и состояния фильтрующего элемента на характеристики фильтра тонкой очистки топлива;

- конструктивно-технологические параметры устройств для реализации систем контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, позволяющих оценить фактическое состояние и его остаточный ресурс непосредственно в период эксплуатации транспортного средства.

**Практическую значимость работы представляют:**

-система контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания (патенты №120149, №113788)

-система оценки состояния фильтра, обеспечивающая контроль его характеристик в процессе эксплуатации и позволяющая использовать 23...27% фильтров после установленного пробега 10000 км повторно до достижения ими пробега 20000 км.

**Методы исследования.** Для оценки ресурса топливного фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail, а также топливно-экономических и экологических показателей использовалась методика, изложенная в действующих государственных и отраслевых стандартах. С целью оценки изменения характеристик фильтрующего элемента топливного фильтра использовался метод электромеханических аналогий. Для определения технологических и конструктивных параметров устройств для реализации систем контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива, позволяющих оценить фактическое состояние и остаточный ресурс фильтра непосредственно во время эксплуатации транспортного средства, использовалось оборудование, прошедшее своевременную поверку.

**Достоверность** основных положений работы подтверждена сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований (расхождение не более 5%), и положительными результатами производственных испытаний.

**Реализация результатов исследования.** Разработанные системы контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail в составе двигателей Cummins ISF прошли производственную проверку в ООО «Павелецкий молочный завод» и при пробеге автомобилей КАМАЗ 43255 от 19024 км до 20891 км подтвердили выдвинутые теоретические предположения о возможности увеличения ресурса без ухудшения основных характеристик двигателя (мощности, расхода топлива, экологической безопасности).

**Личный вклад автора** состоит в формировании методик оценки ресурса топливного фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail непосредственно в процессе эксплуатации транспортного средства, определении технологических и конструктивных параметров устройств для реализации систем контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива, проведении лабораторных и производственных испытаний.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертации и результаты исследований доложены и одобрены на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов ФГБОУ ВПО РГАТУ (2010...2014 гг.); Международной научно-практической

конференции «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы» (г.Саранск, 2012 г.); в рамках конкурса «Молодой ученый года-2012» имени академика И.П. Павлова (г. Рязань, 2012 г.); победитель программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (2013 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ, в том числе 5 статей опубликовано в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получены 2 патента РФ на полезные модели. Общий объем публикаций составляет 5.7 п.л., из них автору принадлежит 4.1 п.л.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, общих выводов, списка использованной литературы из 101 наименований и приложений 7 с. Работа представлена на 135 с., содержит 61 рисунок и 22 таблицы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность научной проблемы; поставлена цель работы; выбран объект и предмет исследования; приведены научные положения и результаты, выносимые на защиту; раскрыты научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» произведен анализ состояния вопроса и сформулированы задачи исследования.

В процессе анализа выявлено, что наряду с процессом фильтрации топлива большое значение имеет информация о состоянии фильтрующего элемента топливного фильтра. Это связано с тем, что загрязнение топлива зависит и от его исходного состояния, и от условий эксплуатации. Создание систем контроля состояния фильтров дизельного топлива направлено на проведение замены фильтра, в первую очередь, в зависимости от степени загрязнения фильтрующего элемента, а не только от установленного производителем ресурса. При сильно загрязненном топливе фильтрующие элементы фильтра тонкой очистки топлива закупориваются уже до проведения плановых профилактических работ. В этом случае производится досрочная замена загрязненного фильтра тонкой очистки дизельного топлива. При использовании качественного топлива, фильтры тонкой очистки дизельного топлива заменяются преждевременно, в результате чего происходит замена еще работоспособного фильтра.

Выявлено, что существующие методы оценки ресурса фильтрующих элементов топливных фильтров достаточно сложны для реализации в условиях хозяйств, а предлагаемые технические решения по определению загрязненности фильтров имеют существенные недостатки, связанные со своевременностью принятия решения о проведении замены.

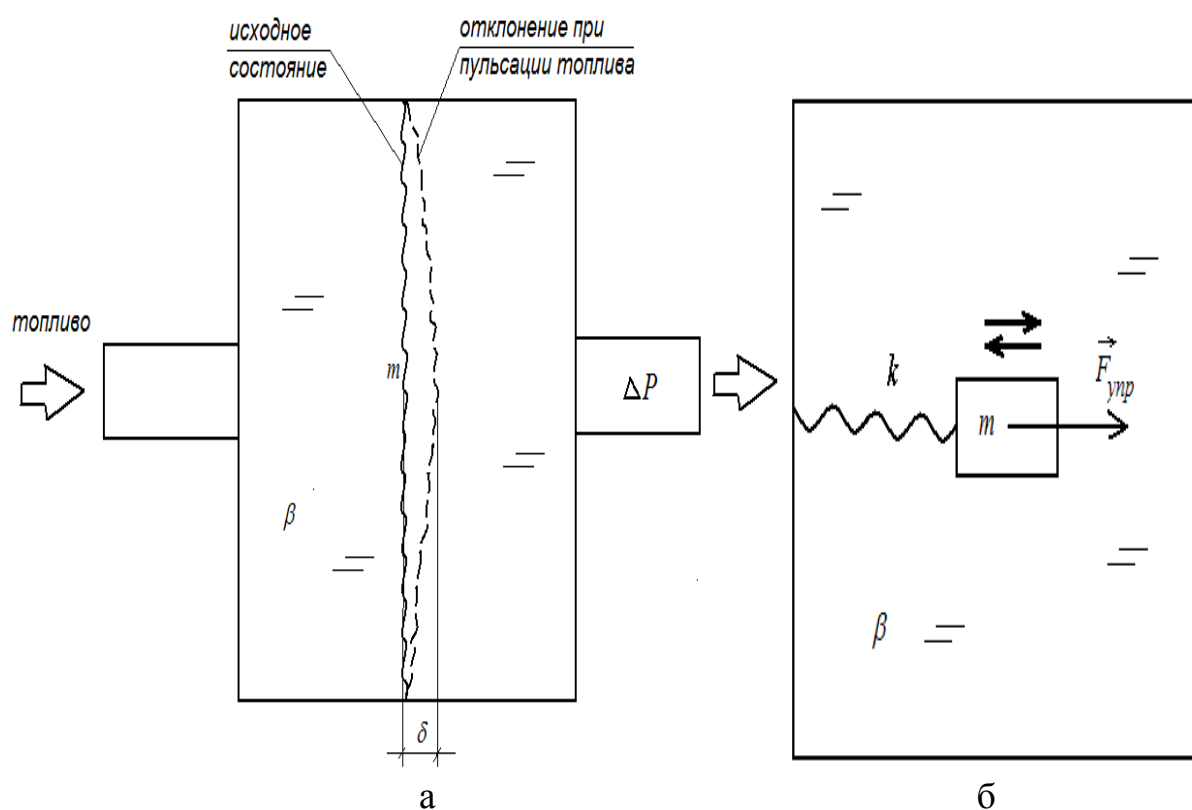
На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

**Во второй главе** «Теоретические основы оценки состояния фильтра в

процессе эксплуатации» рассмотрены теоретические предпосылки к повышению качества оценки фильтров тонкой очистки дизельного топлива.

Для оценки состояния фильтра в процессе эксплуатации и ранжирования влияния параметров топливоподачи и состояния фильтрующего элемента на характеристики фильтра тонкой очистки топлива был применен метод электромеханических аналогий.

Мембрана фильтра тонкой очистки была представлена эквивалентной механической системой (масса мембраны  $m$  сосредоточена в некотором теле находящемся в жидкости; защемление мембраны в корпусе фильтра представлено пружиной с коэффициентом жесткости  $k$ ; сила упругости формируется за счет перепада разряжения  $\Delta P$  в системе топливоподачи;  $\beta$  - вязкость жидкости) (рис. 1).



а) – фильтр; б) – эквивалентная схема

Рисунок 1 – Отклонение мембраны при пульсации давления

Механическая схема была представлена соответствующей электрической: она выглядит как колебательный контур, содержащий внешний источник переменного тока, закон изменения которого определяется законом пульсации топлива (рис. 2)

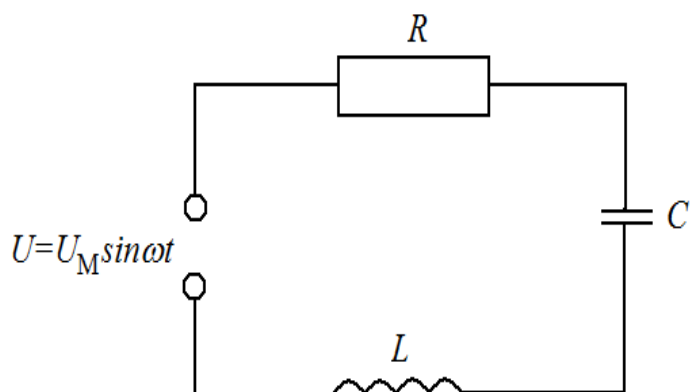


Рисунок 2 – Эквивалентная электрическая схема

Используем закон Ома для участка цепи для переменного тока и найдем максимальную силу тока:

$$I_M = \frac{U_M}{Z} = \frac{U_M}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}}, \quad (1)$$

где  $U_M$  – максимальное (амплитудное) значение напряжения, В;  $Z$  – полное сопротивление цепи, Ом;  $R$  – активное сопротивление, Ом;  $L$  – индуктивность, Гн;  $C$  – емкость, Ф;  $\omega$  – частота вынужденных колебаний,  $\text{с}^{-1}$ .

Установим соответствия характеристик механической и электрической схем:  $F \rightarrow U$ ;  $m \rightarrow L$ ;  $k \rightarrow 1/C$ ;  $\beta \rightarrow R$ . Тогда скорость отклонения мембраны будет прямопропорциональна силе упругости мембраны и обратно пропорциональна вязкости жидкости, массе мембраны и коэффициенту жесткости мембраны:

$$\vartheta \sim \frac{F}{\sqrt{\beta^2 + \left(\omega m - \frac{k}{\omega}\right)^2}}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – коэффициент вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $\omega$  – частота вынужденных колебаний,  $\text{с}^{-1}$ ;  $m$  – массы мембраны, кг;  $k$  – коэффициент жесткости; Н/м;  $F$  – сила возникающая при каждой пульсации давления в топливопроводе, Н;  $\vartheta$  – скорость отклонения мембраны, м/с.

Изменения коэффициента упругости (жесткости)  $k$  крепления мембраны к стенкам корпуса и массы  $m$  мембраны было определено экспериментально у нового фильтра и фильтра, выработавшего свой ресурс. Измерения показали, что к 10000 км пробега  $k$  уменьшается на 23%,  $m$  – увеличивается на 26,6%; к пробегу 20000 км  $k$  уменьшается на 37%,  $m$  – увеличивается на 39,5%.

Расчет по методу аналогий с использованием выражения (2) показал, что определяющим для скорости колебаний мембраны является ее состояние – растянутость фильтрующего элемента и его засоренность. При этом закон изменения скорости отклонения мембраны от состояния фильтрующего элемента в период его эксплуатации близок к линейному (рис.3).



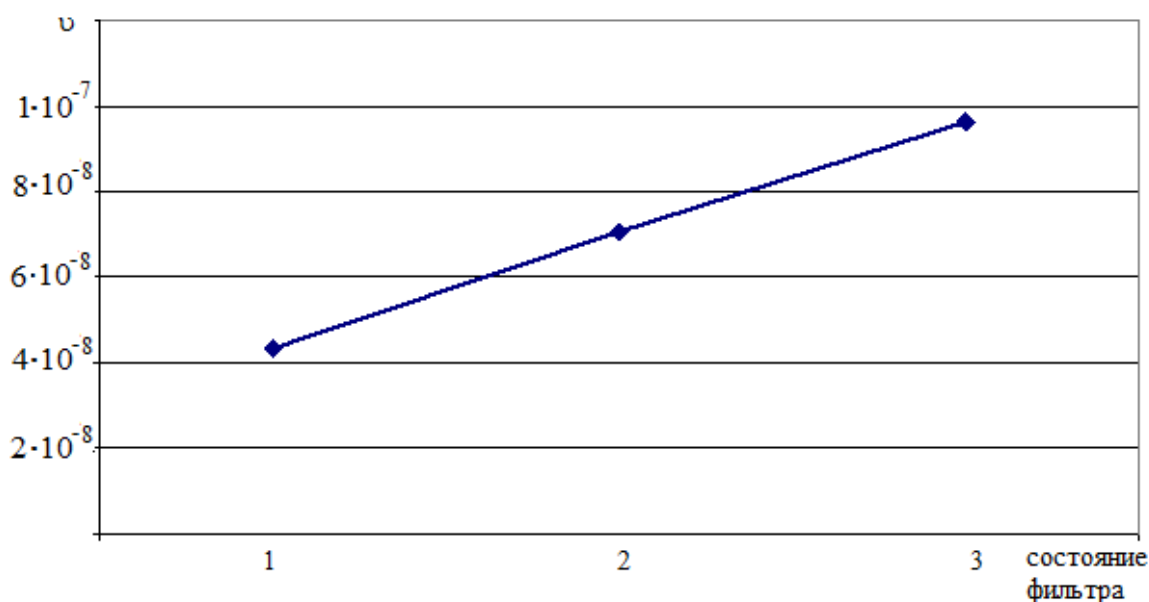


Рисунок 3 – Изменение скорости движения фильтрующего элемента (мембраны) в зависимости от пробега и изменения параметров  $k, \omega, m, \beta, F$

Известно, что ресурс фильтрующих элементов рассматривается в период изменения разрежения от некоторого начального  $\Delta P_0$  до конечного  $\Delta P_\kappa$  за время  $\tau_{фэ}$ :

$$\tau_{фэ} = \frac{1}{m_q} \left[ 1 - \left( \frac{\Delta P_\kappa}{\Delta P_0} \right)^{-0,5} \right], \quad (3)$$

где  $\tau_{фэ}$  – ресурс фильтрующего элемента, м;  $m_q$  – коэффициент связывающий параметры: эмпирические коэффициенты ресурсных испытаний, эксплуатационный коэффициент очистки топлива, массовая концентрация загрязнений на входе в фильтрующий элемент, номинальный расход топлива, плотность топлива;  $\Delta P_\kappa$  - период изменения разрежения конечный, МБар;  $\Delta P_0$  - период изменения разрежения начальный, МБар

$$m_q = \frac{\lambda_q \eta c_0 V_H \rho_T}{Q_\phi \psi_{cp} \rho_z}, \quad (4)$$

где  $\lambda_q$  – эмпирические коэффициенты ресурсных испытаний, м<sup>3</sup>/г;  $\eta$  – эксплуатационный коэффициент очистки топлива, м<sup>3</sup>/г;  $c_0$  – массовая концентрация загрязнений на входе в фильтрующий элемент, г/м<sup>3</sup>;  $V_H$  – номинальный расход топлива, г/м;  $\rho_T$  – плотность топлива, г/м<sup>3</sup>;  $Q_\phi$  – объем пористой структуры фильтрующего элемента, м<sup>3</sup>;  $\psi_{cp}$  – средняя по объему пористость фильтрующего элемента, %;  $\rho_z$  – коэффициент засорения, г.

Известно, что ресурс фильтрующих элементов рассматривается в период изменения разрежения от некоторого начального  $\Delta P_0$  до конечного  $\Delta P_\kappa$  за время  $\tau_{фэ}$ .

Как видно из вышеприведенных формул, для оценки состояния фильтрующего элемента необходимо учесть очень большое количество

факторов. Найдем решение, упрощающее эту оценку, для чего определим  $\Delta P_0$ ,  $\Delta P_\kappa$  и  $\tau_{фэ}$  для фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail путем проведения замеров разряжения в топливопроводе. По результатам замеров были построены зависимости, представленные на рис. 4.

Зависимости могут быть описаны следующими уравнениями:

- для холостого хода:  $\Delta P = 8,4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,7 \cdot 10^{-3} L + 50,5$ ; (5)

- при 1400 мин-1:  $\Delta P = 7,2 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,935 \cdot 10^{-3} L + 51,5$ ; (6)

- 2000 мин-1:  $\Delta P = 6,65 \cdot 10^{-8} L^2 + 2,03 \cdot 10^{-3} L + 52$ . (7)

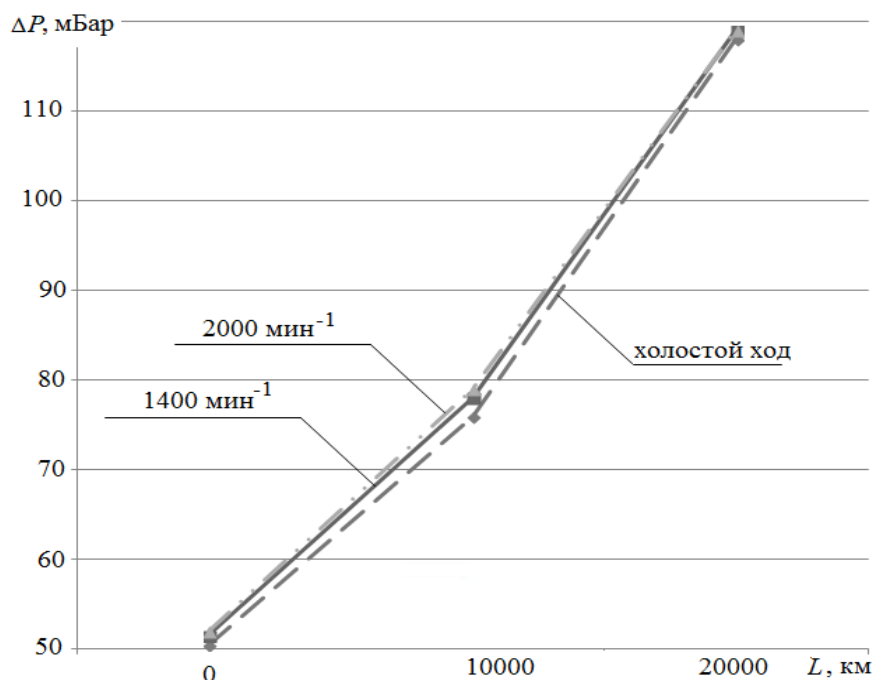


Рисунок 4 – Зависимость разряжения  $\Delta P$  в топливопроводе от пробега  $L$  автомобиля

Найдем начальные значения разрежения  $\Delta P_0$  для режима холостого хода, для чего перенесем  $\Delta P$  в формулу (5) правую часть и сгруппируем со свободным членом:

$$8,4 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,7 \cdot 10^{-3} L + (50,5 - \Delta P) = 0. \quad (8)$$

Определим дискриминант уравнения:

$$D = (1,7 \cdot 10^{-3})^2 - 4 \cdot 8,4 \cdot 10^{-8} \cdot (50,5 - \Delta P) \geq 0,$$

откуда  $\Delta P \geq 42$  мБар, что несколько ниже данных производителя системы Common Rail (48-49 мБар).

Находя далее корни уравнения (8), можно заметить, что только один из них будет положительным:

$$L = \frac{-17 + \sqrt{33,6 \cdot \Delta P - 1407,8}}{16,8} \cdot 10^4.$$

Искомая зависимость  $L=f(\Delta P)$ , фактически представляет собой зависимость ресурса фильтрующего элемента топливного фильтра тонкой

очистки от разряжения в топливопроводе  $\tau_{фэ}=f(\Delta P)$  (рис. 5). Аналогично можно найти зависимости  $\tau_{фэ}=f(\Delta P)$  для всех режимов работы дизеля.

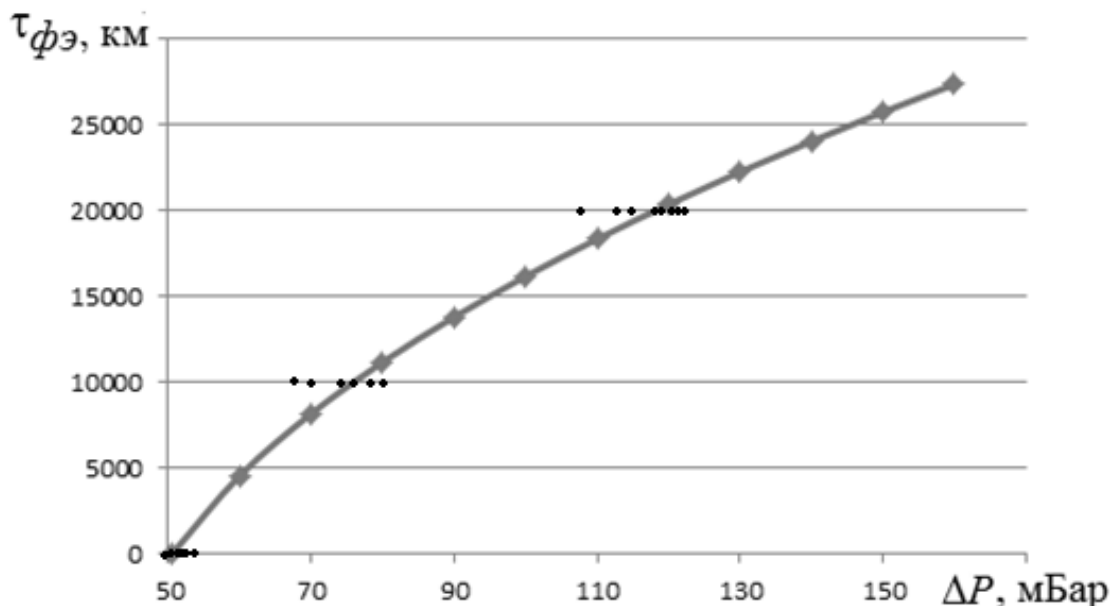


Рисунок 5 – Зависимость ресурса топливного фильтра тонкой очистки топлива от разряжения  $\Delta P$  в топливопроводе системы Common Rail (точками показаны экспериментальные данные)

**В третьей главе** «Программа и методика экспериментальных исследований» представлена программа, приведены методики экспериментальных исследований, охарактеризованы научно-исследовательское оборудование и средства измерений.

Программа исследований включала:

- выбор конструкций устройств для оценки загрязненности фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива, встраиваемых непосредственно в систему Common Rail, с возможностью оперативного получения информации о его техническом состоянии;
- исследование основных параметров устройств для оценки загрязненности фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива в составе системы Common Rail;
- исследование характеристик топлива до и после его прохождения через фильтры, имеющие различную наработку (плотность, динамическая вязкость, температура);
- эксплуатационные исследования автомобилей Камаз 43255 с дизелями штатного и экспериментального (с устройством для оценки загрязненности фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива).

Двигатель Cummins ISF-дизельный, 4-тактный, с турбонаддувом, охлаждением наддувочного воздуха, жидкостного. Данный тип дизельных двигателей устанавливается на КАМАЗ 43255.

Методика проведения замеров упругости мембран фильтров и их веса состояла в следующем: мембраны (фильтрующие элементы) фильтров тонкой очистки топлива с различным пробегом (0 км, 10000 км, 20000 км) извлекались из фильтров, после чего на весах Samsung производилось их взвешивание с погрешность весов  $\pm 1$  г. Далее использовалась методика определения коэффициентов упругости мембран, состоящая в следующем. Мембрана одним концом жестко закреплялась на стойке микроскопа, а второй ее конец прикреплялся к динамометру. Прикладывая различные усилия, определялось удлинение мембраны  $\Delta l_1 = l_1 - l_0$ ,  $\Delta l_2 = l_2 - l_0$ ,  $\Delta l_3 = l_3 - l_0$ , силу упругости в зависимости от смещения пружины определялась по формуле:

$$F_{\text{упр}} = -k\Delta l,$$

где  $\Delta l$  – смещение,  $k$  – коэффициент упругости.

Для определения вязкости дизельного топлива до и после обработки применялся плотномер вибрационный «ВИП-2М». Для измерения динамической вязкости использовался набор оборудования фирмы Хааке, предназначенный для замера вязкости некоторых ньютоновских жидкостей, являющихся прозрачными и имеющих невысокое ее значение.

Для измерения температуры топлива был применен радиационный пирометр CENTER 350. При проведении измерений лазерный луч с расстояния не более 1 м направлялся на топливопровод непосредственно после фильтра тонкой очистки топлива и по истечении 1...3 с снимались показания с жидкокристаллического индикатора пирометра.

С целью оценки работоспособности фильтра тонкой очистки топлива двигателя внутреннего сгорания тестировался топливный насос высокого давления системы Common Rail, марка Denso HP3 (артикул 2940000370), включающий топливоподкачивающий насос Feederpump. Для регистрации результатов использовался калибратор давления "Метран" в комплекте с модулями давления М 0.16 МПа №972, М 1 МПа №735, М -100 МПа №049. Измеряемое давление, созданное источником давления, подается непосредственно на модуль давления и через соединительный шланг – на поверяемый датчик давления (при необходимости используются переходные штуцеры). Электрический сигнал прецизионного сенсора модуля давления преобразуется в цифровой код с учетом коэффициентов преобразования характеристики сенсора, учитывающих нелинейность и влияние температуры. Выходной цифровой код модуля, пропорциональный значению измеряемого давления, через входной разъем электронного блока поступает в микропроцессор калибратора и после обработки выводится на ЖКИ электронного блока как действительное значение давления, созданное источником давления в рабочей полости поверяемого датчика давления.

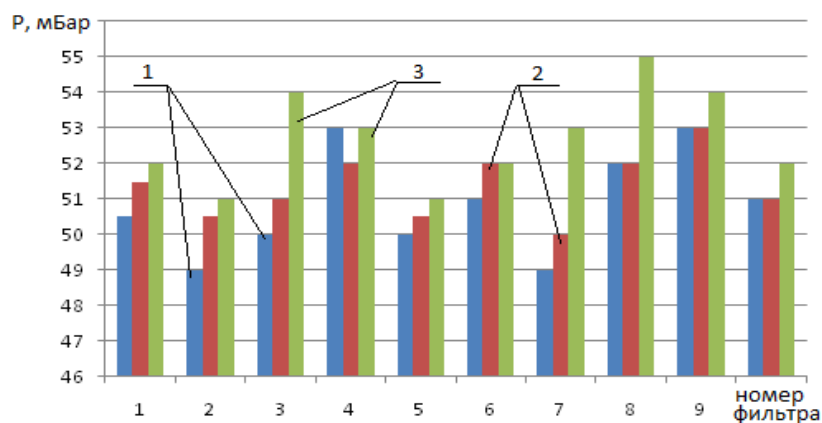
Для оценки дымности использовался дымомер ИНФРАКАР Д, предназначенный для измерения дымности отработавших газов дизельных двигателей автомобилей, а также для измерения частоты вращения

коленчатого вала автомобилей и температуры масла двигателя.

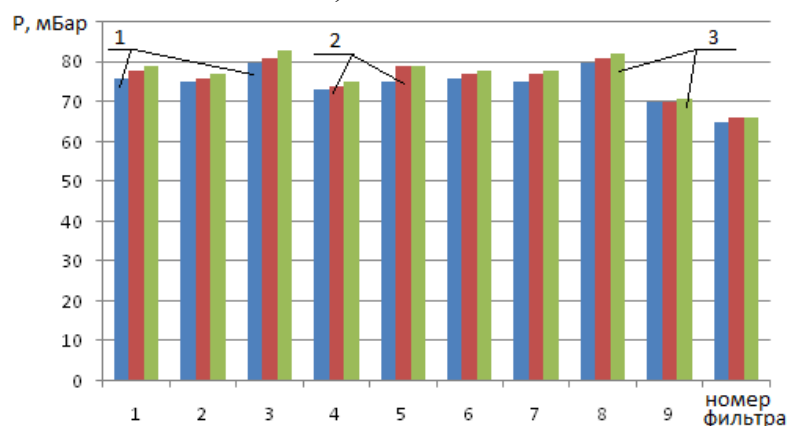
Для обработки полученных экспериментальных данных на ПЭВМ использовались QBasic и приложения Microsoft Office.

**В четвертой главе** «Результаты испытаний устройств для контроля состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail» приведены результаты экспериментальных исследований.

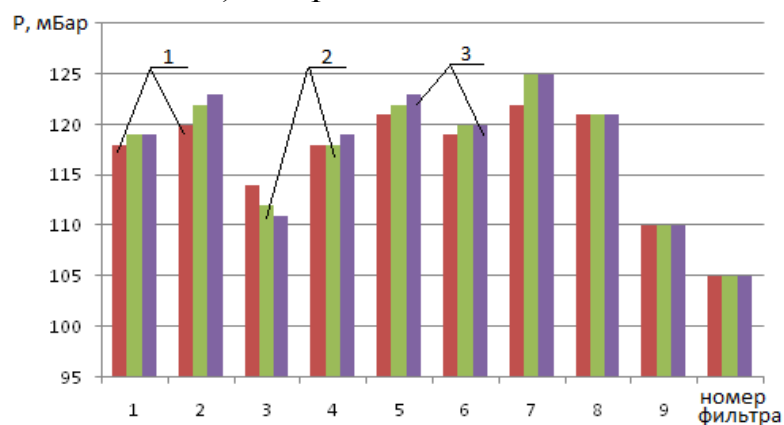
Исследования разряжения в системе топливоподачи с использованием калибратора давления "Метран" показали, что 75% фильтров при пробеге 10000 км сохранили свой ресурс (разряжение не превышает 120 мБар) (рис. 6, приняты обозначения: 1 – холостой ход; 2 – 1400 мин<sup>-1</sup>; 3 – при 2000 мин<sup>-1</sup>).



а) - нового



б) - с пробегом 10000 км



в) - с пробегом 20000 км

Рисунок 6 – Изменение разряжения на выходе фильтра

Выявлено, что в процессе эксплуатации единая группа фильтров распадается на две подгруппы (рис. 7). Первая – фильтры, быстро теряющие упругость фильтрующего элемента и, следовательно, быстро приближающиеся к максимально допустимым значениям разряжения на выходе (количество фильтров при пробеге 10000 км – 22 шт. или 73%, при пробеге 20000 км – 23 шт. или 77%). И вторая – «умеренно» приближающаяся к максимально допустимым значениям разряжения на выходе (количество фильтров при пробеге 10000 км – 8 шт. или 27%, при пробеге 20000 км – 7 шт. или 23%). Построим зависимости изменения разряжений отдельно для этих двух подгрупп. На рисунке приведены линии аппроксимирующих зависимостей давления и величины достоверности аппроксимации  $R^2$ .

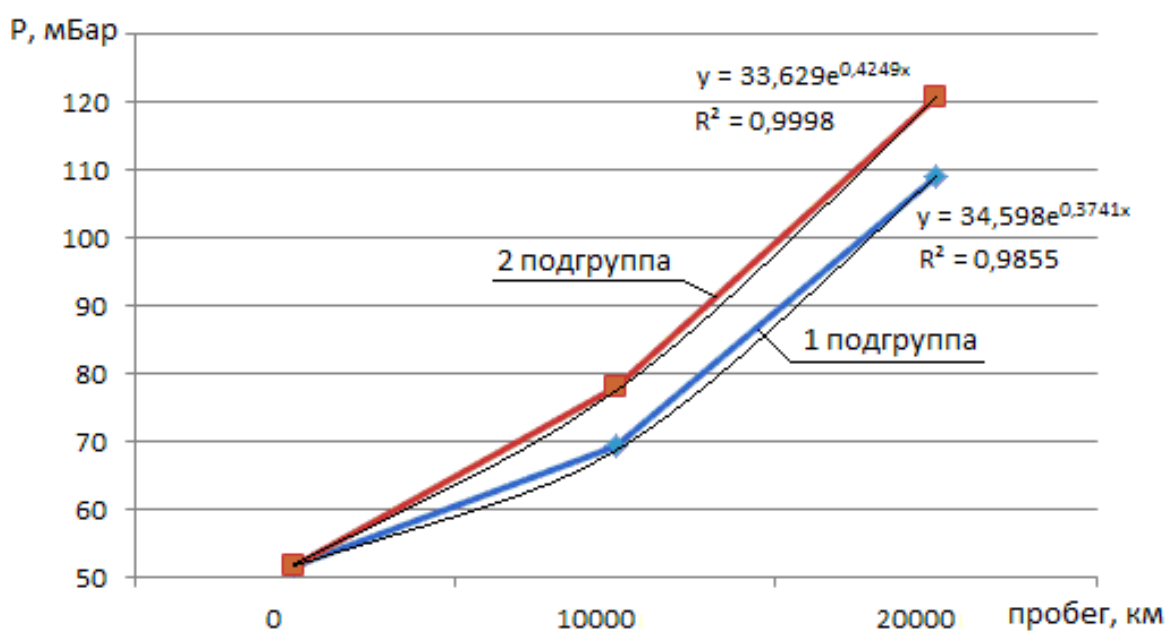
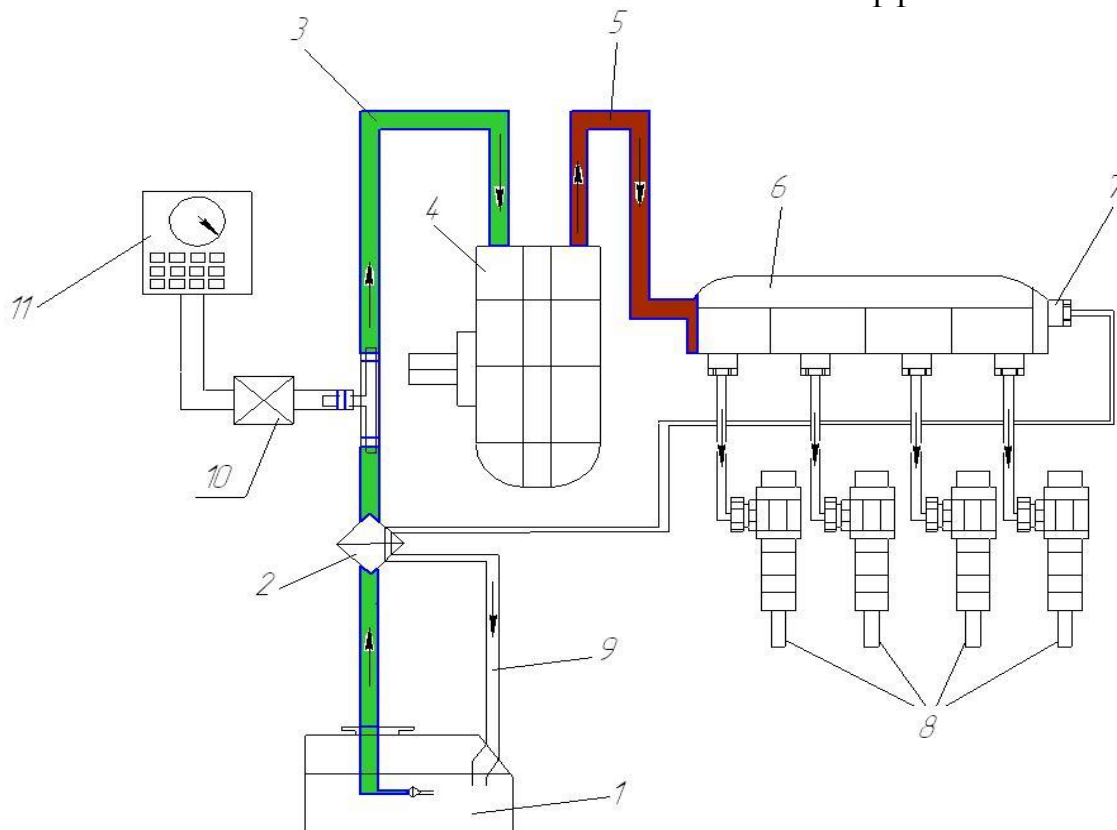


Рисунок 7 – Изменение средних значений разряжения на выходе фильтров для двух подгрупп в зависимости от пробега

Анализ приведенных зависимостей показывает, что существует возможность продления срока эксплуатации части фильтров (23...27% от общего количества) после установленного производителем срока их замены (10000 км) вплоть до 20000 км.

Основываясь на результатах исследований, было предложено устройство для контроля состояния фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива непосредственно из кабины транспортного средства (рис. 7, патент №113788). Устройство позволяет водителю транспортного средства, находясь в его кабине, контролировать остаточный ресурс фильтра тонкой очистки топлива, прогнозировать вероятность его отказа и дать рекомендации по замене фильтра непосредственно по показаниям калибратора давления "Метран".

**Пятая глава «Экономическая эффективность использования устройств оценки состояния фильтра тонкой очистки топлива системы Common Rail»** посвящена разработке усовершенствованной технологии оценки состояния фильтра тонкой очистки дизельного топлива при техническом обслуживании мобильной техники в АПК и ее технико-экономической эффективности.



1 – топливный бак, 2 – фильтр тонкой очистки дизельного топлива; 3 – магистраль низкого давления, 4 – топливный насос высокого давления; 5 – магистраль высокого давления; 6 – топливная рампа; 7 – клапана контроля потока топлива; 8 – инжекторы; 9 – магистрали обратного потока топлива; 10 – электромагнитный клапан; 11 – калибратора давления "Метран"

Рисунок 8 – Устройство для контроля состояния фильтрующего элемента

Основываясь на положении о продлении срока эксплуатации части фильтров (23...27% от общего количества) после установленного производителем срока их замены (10000 км) вплоть до 20000 км, был произведен расчет экономического эффекта от внедрения технологии в производство. При пробеге 20 единицами мобильной техники, оборудованных системой топливоподачи Common Rail, 20000 км экономический эффект составит 12510 руб.

Устройство для контроля состояния фильтрующего элемента прошло производственную проверку в условиях ООО "Павелецкий молочный завод" (Рязанская область, Скопинского района с.Павелец, ООО «Автотех»).

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. С использованием метода электромеханических аналогий получена зависимость изменения скорости реагирования мембраны от параметров топливоподачи (силы, действующей на мембрану при создании разрежения; частоты пульсаций топлива в топливопроводе), вязкости топлива и засоренности фильтрующего элемента (изменения коэффициента упругости; изменения массы мембраны). При этом показано, что определяющим для скорости колебаний мембраны является ее засоренность, а полученная закономерность изменения скорости колебаний от состояния фильтрующего элемента в период эксплуатации двигателя близка к линейной.

2. Получены аналитические зависимости, позволяющие оценить разрежение в системе топливоподачи в зависимости от пробега транспортного средства на трех режимах: холостой ход, частота вращения коленчатого вала  $1400 \text{ мин}^{-1}$  и  $2000 \text{ мин}^{-1}$ , а также аналитические зависимости ресурса фильтрующего элемента топливного фильтра тонкой очистки от разряжения в топливопроводе.

3. Для оперативного получения информации о техническом состоянии фильтрующего элемента, а также с целью регистрации точных результатов, разработана система контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания с использованием калибратора давления «Метран». В процессе применения разработанной системы контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания было установлено, что:

- при установленном фирмой-изготовителем пробеге (10000 км) значения разряжений на выходе фильтра выравниваются и не существенно зависят от частоты вращения коленчатого вала;

- при превышении установленного пробега проявляются существенные отклонения в значениях разряжения для различных фильтров;

- у части фильтров существует запас пробега и он составляет – у фильтров, разряжение которых находится в зоне 105...108,3 мБар – 11%; в зоне 108,3...111,7 мБар – 8,3%; в зоне 111,7...115 мБар – 5,5%; в зоне 115...118,3 мБар – 2,8%; в зоне 118,3...120 мБар – 0,7%;

- существует возможность продления срока эксплуатации части фильтров (23...27% от общего количества) после установленного производителем срока их замены (10000 км).

4. В результате проведения эксплуатационных испытаний установлено, что объем пропускаемого топлива через фильтр с увеличением пробега падает на 18...20%; разница в показателях дымности дизеля в зависимости от использования фильтра с тем или иным пробегом отсутствует; значения разряжения на выходе фильтров с пробегом от 19024 км до 20891 км, предварительно отобранных после пробега 10000 км с величинами разряжения  $\leq 70-71$  мБар, не выходят за пределы установленной нормы (120 мБар). При этом, расчетная разница в эксплуатационных затратах на систему очистки топлива для парка из 20 транспортных средств, укомплектованных системой Common Rail, при годовом пробеге 20000 км составляет 12510 руб.



Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

***Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ***

1. Диагностирование мобильной сельскохозяйственной техники с использованием прибора фирмы "SAMTEC" / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №04(078). - С. 487 – 497. – IDA [article ID]: 0781204042. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/42.pdf>.

2. Кокорев, Г. Д. Методика диагностирования мобильной сельскохозяйственной техники с использованием прибора фирмы "Samtec" [Текст] / Г. Д. Кокорев [и др.] // Техника и оборудование для села. - 2012. - № 7. – С. 44 – 47.

3. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники / Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, П.С. Сеницин [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – №07(081). С. 480 – 490. – IDA [article ID]: 0811207036. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2012/07/pdf/36.pdf>

4. Бышов, Н. В. Инновационные технологии оценки ресурса фильтров тонкой очистки топлива системы CommonRail [Текст] / Н.В. Бышов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2014. - № 2 (200). – С. 9 – 12.

5. Симдянкин, А. А. Методика оценки загрязненности фильтра тонкой очистки дизельного топлива / А. А. Симдянкин, И. А. Успенский, П. С. Сеницин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 01(095). - С. 614 – 626. – IDA [article ID]: 0951401031. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/01/pdf/31.pdf>

***Статьи в других изданиях***

6. Эксплуатация мобильной техники в условиях низких температур (на примере автомобильного транспорта) [Текст] : монография / Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, П.С.Сеницин, Г.Д. Кокорев и др. - Рязань : РГАТУ, 2011. - 152 с. - ISBN 978-5-98660-061-1

7. Сеницин, П. С. Система диагностирования и технического обслуживания фильтров тонкой очистки дизельного топлива [Текст] / П. С. Сеницин // II Региональный итоговый конкурс «Умник» - 2011 : Тезисы докладов. Рязань, 17 ноября 2011 г. – Рязань, 2011. – С.107 – 109.

8. Сеницин, П. С. Диагностирование и техническое обслуживание фильтров тонкой очистки дизельного топлива [Текст] / П. С. Сеницин // II Региональный итоговый конкурс «Умник» - 2013 : Тезисы докладов. Рязань, 3 апреля 2013 г. – Рязань, 2013. – С.94 – 97.

9. Сеницин, П. С. Основные принципы диагностирования МСХТ с

использованием современного диагностического оборудования [Текст] / П. С. Сеницин, Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский // Сборник научных работ студентов РГАТУ : материалы науч.-практич. конф. 2011 г. - Том 1. – Рязань : Изд-во ФГОУ ВПО РГАТУ, 2011. - С. 263-269.

10. Сеницин, П. С. Усовершенствованная технология и средство диагностирования фильтров тонкой очистки дизельного топлива системы топливо подачи «COMMON RAIL» [Текст] / П. С. Сеницин, Г. Д. Кокорев, И. А. Успенский, К. А. Жуков // Сборник научных работ студентов Рязанского ГАТУ : материалы научно-практической конференции 2012 г. – Рязань : Изд-во ФГБОУ ВПО РГАТУ, 2012. - С. 44-49

#### ***Патенты***

11. Пат. 113788 Российская Федерация, МПК F02M. Система контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Бышов Н. В., Борычев С. Н Сеницин П.С., Успенский И. А. ; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (RU). - № 2011129082/06 ; заявл. 14.07.2011 ; опубл. 27.02.2012, Бюл. № 6.

12. Пат. 120149 Российская Федерация, МПК F02M. Система контроля состояния фильтра двигателя внутреннего сгорания [Текст] / Бышов Н. В., Борычев С. Н Сеницин П. С., Успенский И. А. ; заявитель и патентообладатель Рязанский гос. агротехнологический университет имени П. А. Костычева» (RU). - № 2012116803/28 ; заявл. 25.04.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25.