

на правах рукописи

ЛЫСУНЕЦ АЛЕКСАНДР ВАСИЛЬЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ И СРЕДСТВ
ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ
НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ И СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

05.05.04 – Дорожные, строительные и подъемно-
транспортные машины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск 2006

Работа выполнена в Томском государственном архитектурно-строительном университете

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Удлер Эдуард Исаакович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Абраменков Эдуард Александрович

кандидат технических наук, доцент
Щипунов Аркадий Николаевич

Ведущая организация ЗАО «Томэкскавация» (г. Томск)

Защита диссертации состоится 17 ноября 2006 в 14-00 на заседании диссертационного совета К.212.265.01 при Томском государственном архитектурно-строительном университете по адресу: 634003, Томск, пл. Соляная 2, корп. 4, конференц-зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского государственного архитектурно-строительного университета.

Автореферат разослан 17 октября 2006 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Кравченко С.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные технологии промышленного, жилищного и дорожного строительства, неразрывно связаны использованием различных видов дорожных и строительных машин. Надежность их работы в значительной степени зависит от качества и чистоты применяемых нефтепродуктов: дизельного топлива, масла, рабочей жидкости.

Анализ отказов машин, связанных с использованием нефтепродуктов показывает, что наибольшее число приходится на топливную систему, а одной из основных причин отказов является повышенная загрязненность дизельного топлива. Очистка топлива в топливных системах машин осуществляется двумя или тремя последовательно установленными фильтрами образующими систему очистки. Однако, как показывает практика эксплуатации машин, они имеют ограниченный ресурс, а системы в целом не обеспечивают требуемого качества очистки. Существующие средства и методы анализа чистоты дизельного топлива не позволяют осуществлять оперативный контроль его загрязненности и обводненности при техническом обслуживании машин с целью, при необходимости, принятия дополнительных мер по их снижению.

В связи с этим, исследования направленные на совершенствование топливных систем, с целью обеспечения чистоты дизельного топлива при эксплуатации и средств контроля его чистоты при техническом обслуживании машин является актуальными.

Цель исследований. Совершенствование топливных систем и средств их технического обслуживания с целью повышения надежности дорожных и строительных машин

Объект исследований. Топливные системы дорожных и строительных машин.

Предмет исследований. Системы обеспечения и средства контроля чистоты дизельного топлива при эксплуатации машин.

Научная новизна. Предложена методология анализа систем очистки дизельного топлива, основанная на системном подходе. Установлены системные закономерности формирования показателей эффективности очистки топлива системой состоящей из последовательно установленных фильтров и их влияние на износ прецизионной пары трения топливной аппаратуры. Получены расчетные зависимости, позволяющие прогнозировать эффективность очистки топлива системой очистки топлива и ресурс фильтрующих элементов каждой из ступеней очистки в условиях эксплуатации. Предложен метод расчета элементов очистки основанный на их равноресурсности. Предложен способ повышения ресурса, и конструкция фильтрующих элементов обладающих повышенным ресурсом.

Практическая ценность. Разработан метод оценки эффективности систем очистки дизельного топлива при проектировании топливных систем машин, позволяющий прогнозировать качество очистки топлива в условиях эксплуатации. Разработана новая конструкция фильтра для очистки дизельного топлива, имеющего повышенный ресурс.

Разработан метод оперативного контроля загрязненности дизельного топлива с использованием автоматических анализаторов, а также метод и прибор для оперативного контроля обводненности дизельного топлива позволяющие осуществлять контроль его чистоты при эксплуатации и техническом обслуживании машин.

Реализация результатов исследований. Фильтры для очистки дизельного топлива и средства для определения загрязненности и обводненности дизельного топлива при техническом обслуживании машин внедрены в ЗАО «Томэкскавация» и ОАО «Томсктранстстрой». Результаты исследований используются при чтении курса «Техническая эксплуатация дорожных и строительных машин» для студентов, обучающихся по специальности 19.02.05 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» в ТГАСУ.

Апробация работы. Основные положения работы доложены, обсуждены и одобрены на

– международной научно-технической конференции «Архитектура и строительство» (Томск, 2002 г.)

– Всероссийской научно-технической конференции «Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин» (Курган, 2003 г.)

– II Всероссийской научно-технической конференции «Транспортные системы Сибири» (Красноярск 2004 г.)

– III международной научно-технической конференции «Автомобиль и техносфера» (Казань, 2003 г.)

– IV международной научно-технической конференции «Автомобиль и техносфера» (Казань, 2005 г.)

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 9 научных трудах.

Объем работы. Диссертация изложена на 134 страницах и включает введение, пять глав, общие выводы, список литературы из 107 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Обоснована актуальность выбранного направления исследования, излагаются основные положения, выносимые на защиту.

Состояние вопроса. Цель и задачи исследований. Практика эксплуатации строительных и дорожных машин показывает, что одним из перспективных направлений повышения их надежности является обеспечение

чистоты применяемых нефтепродуктов. Этой проблеме посвящены работы Б.Ф. Большакова, К.В. Рыбакова, М.А. Григорьева, Э.И. Удлера и других исследователей. Во всех работах отмечается высокая загрязненность топлив, масел и рабочих жидкостей и необходимость разработки мер, по обеспечению их чистоты при эксплуатации машин.

Исследования отказов машин показывают, что до 30% отказов приходится на топливные системы, причем до половины из них прямо или косвенно связаны с повышенной загрязненностью дизельного топлива. Очистка топлива в топливных системах машин производится, преимущественно, двумя последовательно установленными фильтрами грубой (ФГО) и тонкой (ФТО) очистки, образующих систему очистки. В качестве первой ступени очистки (ФГО) используются фильтры-отстойники, второй ступени очистки (ФТО) – фильтрующие элементы, выполненные на основе фильтровальных бумаг. Эти системы имеют ограниченный ресурс элементов и не обеспечивают требуемого качества очистки топлива, а известные средства и методы контроля его чистоты не позволяют осуществлять оперативный анализ уровня его загрязненности и обводненности. Следовательно, одним из перспективных путей повышения надежности машин является совершенствование топливных систем и средств их технического обслуживания. При этом, одним из направлений совершенствования систем очистки при их проектировании является подбор характеристик материалов и конструктивных параметров фильтрующих элементов фильтров, обеспечивающих снижение износа трущихся деталей при повышении ресурса сменных фильтроэлементов.

Перспективным направлением повышения чистоты топлива при эксплуатации машин также является разработка средств оперативного контроля его загрязненности и обводненности при техническом обслуживании топливных систем. Это позволит, своевременно принимать дополнительные меры направленные на обеспечение его чистоты (например, дополнительную промывку топливного бака).

На основании проведенного анализа априорной информации, исходя из поставленной цели исследования, для ее достижения поставлены следующие задачи:

- выявить теоретические закономерности формирования эффективных показателей очистки топлива и их влияние на износ прецизионных деталей топливной аппаратуры;
- установить влияние условий эксплуатации машин на эффективность работы системы очистки и ресурс фильтров;
- разработать конструкцию средств очистки топлива обладающих повышенным ресурсом;
- разработать средства оперативного контроля чистоты дизельного топлива при техническом обслуживании машин;
- провести лабораторные исследования новых средств очистки и методов контроля чистоты дизельного топлива;

- провести эксплуатационные испытания модернизированной топливной системы с целью оценки ее влияния на безотказность машин;
- разработать методику расчета предложенных средств очистки топлива;
- оценить экономическую эффективность от внедрения модернизированной топливной системы.

Теоретические исследования системы очистки и средств контроля чистоты дизельного топлива. В современных строительных и дорожных машинах очистка топлива производится последовательно установленными фильтрами образующими систему очистки. В связи с этим для анализа эффективности работы системы очистки использовались показатели применяемые для оценки эффективности единичных фильтров. Такими показателями являются: коэффициент отфильтровывания j_x характеризующий относительную количественную долю частиц загрязнений размером x задержанных фильтром и коэффициент полноты фильтрации j_p характеризующий относительную массовую долю загрязнений задержанных фильтром.

Коэффициент отфильтровывания j_x частиц загрязнений для единичного фильтра составляет

$$j_x = \frac{n_{0x} - n_{1x}}{n_{0x}}, \quad (1)$$

где n_{0x} и n_{1x} - количество частиц загрязнений размером x на входе в фильтр и после фильтрации соответственно.

По условию обеспечения максимального ресурса элементов системы очистки тонкость фильтрации j_x каждого из них должна отвечать условию $j_{x1} > j_{x2} > j_{x3}$ и т.д.

Наиболее полное представление о работе технических систем может быть получено на основе системного подхода. В соответствии с ним, оценка эффективности очистки системы должна учитывать влияние элементов каждой из ступеней очистки – на последующие.

На рис. 1 приведена схема очистки топлива, состоящая из двух последовательно установленных фильтров.

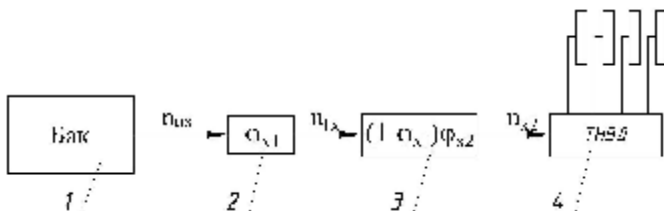


Рис. 1 Двухступенчатая схема очистки топлива

1 – емкость с топливом; 2 – фильтр первой ступени очистки; 3 – фильтр второй ступени очистки; 4 – пара трения

Коэффициент отфильтровывания j_{xc} для системы, состоящей из двух последовательно установленных фильтров, учитывая воздействия фильтра первой ступени на фильтр второй ступени будет

$$j_{xc} = j_{x1} + j_{x2} - j_{x1} j_{x2}. \quad (2)$$

На рис. 2 приведена схема очистки топлива, состоящая из трех последовательно установленных фильтров

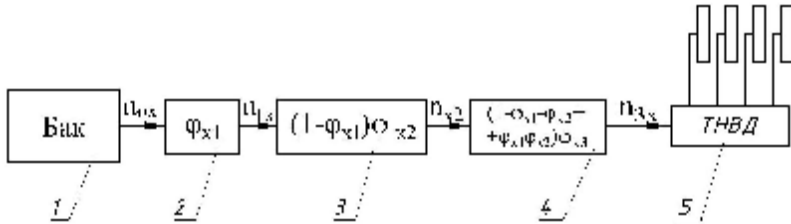


Рис. 2 Трехступенчатая схема очистки топлив

1 – топливный бак; 2 – фильтр первой ступени очистки; 3 – фильтр второй ступени очистки; 4 – фильтр третьей ступени очистки; 5 – пара трения

Для системы из трех фильтров коэффициент отфильтровывания j_{xc} будет

$$j_{xc} = j_{x1} + j_{x2} + j_{x3} - j_{x1} \cdot ((j_{x2} - j_{x3}) + j_{x2} \cdot j_{x3}) - j_{x2} \cdot j_{x3}. \quad (3)$$

В формулах (2) и (3) коэффициенты отфильтровывания частиц размером x для каждого из элементов системы могут быть определены по формуле

$$j_{xi} = 1 - (1 - b_i \cdot x) e^{-b_i \cdot x}, \quad (4)$$

где $b_i = 1,679/d_{0,5(i)}$, – параметры, определяемые через 50%-ю тонкость фильтрации фильтрующего материала, как размер частиц, 50% которых задерживается каждой из ступеней очистки.

Коэффициент полноты фильтрации j_p для единичного фильтра может быть определен по формуле

$$j_p = \frac{c_o - c'}{c_o} = \int_0^{\infty} j_x \cdot dF(x), \quad (5)$$

где $dF(x) = a_m^2 \cdot x \cdot e^{-a_m \cdot x} dx$ – дифференциальная функция массового распределения частиц загрязнений по размерам; c_o и c' – массовая концентрация загрязнений до и после фильтра соответственно.

Для системы состоящей из двух последовательно установленных фильтров получаем

$$j_p = \int_0^{\infty} (j_{x1} + j_{x2} - j_{x1} \cdot j_{x2}) \cdot a_m^2 \cdot x \cdot e^{-a_m \cdot x} dx, \quad (6)$$

где $a_m = 1.679/x_{0.5m}$ – параметр массового распределения частиц загрязнений по размерам включающий размер частиц $x_{0.5m}$ делящий интегральную функцию $F(x)$ пополам (медиана распределения).

Для системы состоящей из трех последовательно установленных фильтров j_p может быть определен путем подстановки в уравнение (5) значения j_{xc} полученного из уравнения (3). Результирующие формулы решения интеграла (6) ввиду их громоздкости в автореферате не приводятся.

Теоретическая оценка влияния эффективных показателей системы очистки на надежность топливной аппаратуры оценивалась методом математического моделирования процесса абразивного износа плунжерных пар ТНВД. В основу положен вероятностный подход, в соответствии с ним полная вероятность износа пары трения с зазором d может быть определена произведением двух вероятностей: вероятности попадания частицы размером x в зазор и вероятностью абразивного контакта частицы с поверхностью трения. Элементарный износ принимался пропорциональным элементарной массе частиц поступающих на пару трения. Мерой оценки влияния качества очистки топлива на износ пары трения предложена характеристика безразмерной интенсивности изнашивания \bar{I} которая имеет вид:

$$\bar{I} = \left(\frac{d\bar{U}}{dt} \right)_{t=0} = I \cdot \left[\frac{2 \cdot a \cdot a_m^2}{(a + a_m + b_1 + b_2)^3} + \frac{6 \cdot a \cdot a_m^2 \cdot (b_1 + b_2)}{(a + a_m + b_1 + b_2)^4} + \frac{24 \cdot a \cdot a_m^2 \cdot b_1 \cdot b_2}{(a + a_m + b_1 + b_2)^5} \right], \quad (7)$$

где $\bar{U} = U/U_{max} - U$ и U_{max} параметры характеризующие максимальную и текущую скорость изнашивания соответственно $a_m = 1.679/x_{0.5m}$ – параметр, выраженный через $x_{0.5m}$ – размер частицы по которому масса совокупности частиц делится пополам (медиана распределения); $\alpha = 1/d \cdot k_\phi$; $I = 2.72$ – основание натурального логарифма; $k_\phi = (1.6 - 1.8)$ – коэффициент, учитывающий форму частиц загрязнений; t – единица времени.

На рис. 3 приведена номограмма безразмерной интенсивности изнашивания плунжерной пары ТНВД, для системы очистки, состоящей из двух последовательно установленных фильтров, позволяющая оценивать интенсивность износа пар в зависимости от выбранной комбинации фильтров грубой (ФГО) и тонкой (ФТО) очистки.

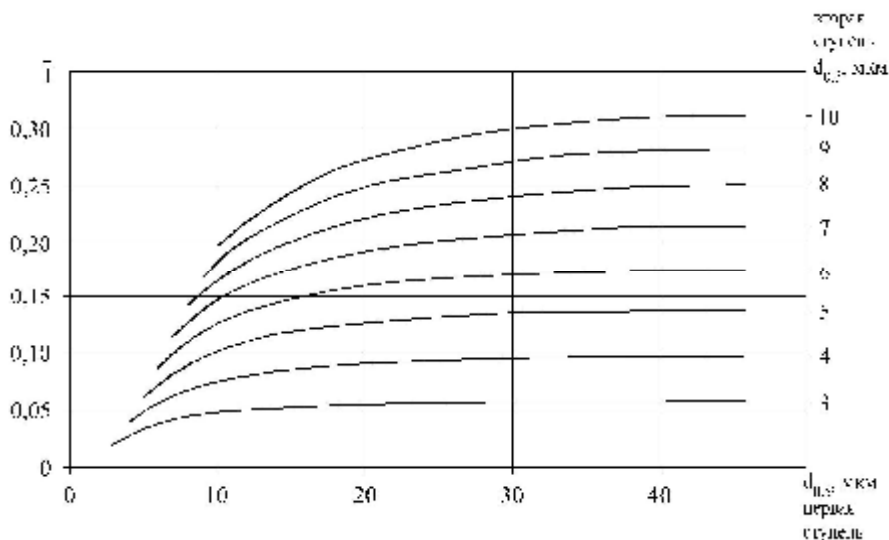


Рис. 3 Номограмма безразмерной интенсивности износа в зависимости от тонкости фильтрации

В практике оценки эффективности работы средств очистки в условиях эксплуатации, в качестве оценочного показателя ее эффективности используется интегральный коэффициент очистки h_b , характеризующий относительную долю эксплуатационных (атмосферных, износных, инкреторных и др.) загрязнений, задержанных каждым фильтром

$$h_i = \frac{c_0 - c_i}{c_0}, \quad (8)$$

где c_0 и c_i — массовая концентрация загрязнений до и после очистки топлива соответственно.

Оценка эффективности системы очистки (рис. 2) в условиях эксплуатации производилась на основе анализа уравнения материального баланса, которое для этой системы имеет вид:

$$Q \cdot c_0 = Q \cdot c_0 \cdot h_{n1} + Q \cdot c_1 \cdot h_{n2} + Q \cdot c_2 \cdot h_{n3} + Q \cdot c_f, \quad (9)$$

где Q — объем нефтепродукта прошедшего через систему очистки; c_0, c_1, c_2, c_f — концентрация загрязнений в нефтепродукте после его очистки фильтрами n_1, n_2, n_3 и в фильтрате после очистки соответственно.

Уравнение (9) позволяет оценить уровень загрязненности топлива после его очистки. Концентрация загрязнений в топливе после очистки будет

$$c_{\phi} = c_0 \cdot [1 - h_{n1} - (h_{n2} - h_{n1}) - (h_{n3} - h_{n2})]. \quad (10)$$

Формула (10) может быть использована для прогнозной оценки эффективности системы очистки топлива в условиях эксплуатации.

Показано, что оценка ресурса фильтра до его замены (или регенерации) с учетом реальных условий эксплуатации может быть определена по формуле

$$Q = c_{\Sigma} \cdot S_i = \frac{S_i \cdot Y_i \cdot b_{\text{ум}} \cdot r_3}{K_3 \cdot h_i \cdot c_0 \cdot r_{\text{жс}}} \cdot \ln \frac{\Delta p}{\Delta p_0}, \quad (11)$$

где K_3 – эксплуатационный коэффициент; Y_i – пористость материала фильтрующего элемента; $b_{\text{ум}}$ – толщина фильтрующей шторы; $r_{\text{жс}}$, r_3 – удельная плотность очищаемого топлива и загрязнений соответственно.

Ресурс элементов системы очистки (рис. 2) с учетом уравнения материального баланса (9) будет:

– фильтр 1-ой степени очистки

$$Q_{n1} = \frac{S_{n1} \cdot Y_{n1} \cdot b_{\text{ум}1} \cdot r_3}{K_3 \cdot h_{n1} \cdot c_0 \cdot r_{\text{жс}}} \cdot \ln \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)_{n1}; \quad (12)$$

– фильтр 2-ой степени очистки

$$Q_{n2} = \frac{S_{n2} \cdot Y_{n2} \cdot b_{\text{ум}2} \cdot r_3}{K_3 \cdot h_{n2} \cdot (1 - h_{n1}) \cdot c_0 \cdot r_{\text{жс}}} \cdot \ln \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)_{n2}; \quad (13)$$

– фильтр 3-ей степени очистки

$$Q_{n2} = \frac{S_{n2} \cdot Y_{n2} \cdot b_{\text{ум}2} \cdot r_3}{K_3 \cdot h_{n2} \cdot (1 - h_{n1}) \cdot (h_{n3} - h_{n2}) \cdot c_0 \cdot r_{\text{жс}}} \cdot \ln \left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0} \right)_{n2}. \quad (14)$$

Формулы (12), (13), (14) могут быть использованы для оценки ресурса средств очистки на стадии их проектирования. Определение фактического значения параметра K_3 требует специальных экспериментальных исследований.

Метод определения массовой концентрации загрязнений в дизельном топливе основан на определении количества частиц загрязнений (счетной концентрации) в единице его объема с использованием автоматического анализатора жидкости и последующем пересчете в соответствии с установленной зависимостью.

На основе анализа результатов исследований нефтепродуктов (в том числе дизельного топлива) установлено, что массовая концентрация находящихся в них загрязнений, в зависимости от условий эксплуатации машин и

применяемых средств очистки, а также ряда других факторов может колебаться в широких пределах. При этом дисперсный состав загрязнений, характеризующий относительное распределение частиц загрязнений по размерам – стабилен. Таким образом массовая концентрация загрязнений c в основном определяется их счетной концентрацией (количеством) n_q в единице объема анализируемого нефтепродукта

$$c_0 = n_q \cdot \left(\frac{r_3}{r_{жс}} \right) \cdot \frac{\rho \cdot x^3}{6} \cdot \int_0^{\infty} f(x) dx, \quad (15)$$

где $n_q = \text{шт}/\text{мл} = \text{шт}/(\text{см}^3 \cdot 10^6)$ – штучная (счетная) концентрация микрочастиц механических примесей в одном мл (см^3) дизельного топлива; r_3 – плотность материала частиц; $r_{жс}$ – плотность топлива; x – диаметр условно шарообразной частицы; $f(x)$ – дифференциальная функция распределения частиц по размерам.

Решение уравнения (15) показывает, что между c_0 и n_q должна существовать линейная зависимость, устанавливаемая экспериментально.

Метод определения концентрации воды в дизельном топливе основан на его прокачивании через слой пористого водопоглощающего материала обладающего диэлектрическими свойствами и подключения его к электрической цепи. Теоретическим обоснованием метода является закон Ома. При насыщении материала водой, материал, приобретает свойство электропроводности. При этом в зависимости от поглощенной воды изменение величины тока, в соответствии с законом Ома, обратно пропорционально сопротивлению в электрической цепи.

Методы экспериментальных исследований. Лабораторные испытания средств очистки топлива проводились на стенде для исследования фильтров. В процессе исследований определялась гидравлическая характеристика, условный ресурс и показатели эффективности очистки, как единичных фильтров так и систем состоящих из двух последовательно установленных фильтров. Гидравлическая характеристика определялась в виде зависимости $Dp=f(V)$, ресурсная характеристика в виде зависимости $Dp=f(t)$ с использованием в качестве искусственного загрязнителя кварцевой пыли $560 \text{ см}^2/\text{кг}$.

Дисперсный состав загрязнений и определение тонкости фильтрации проводился методом микроскопии. Определение массовой концентрации загрязнений проводилось по ГОСТ 10577-78 «Нефтепродукты светлые метод определения механических примесей» метод А. Счетная концентрация определялась с использованием автоматического анализатора жидкости ФС-112/3. Определение концентрации воды в пробах дизельного топлива производилось по ГОСТ 2477-89 «Нефть и нефтепродукты». Методы определения содержания воды». Эксплуатационные испытания систем очистки топлива проводились на бульдозерах и экскаваторах обслуживающих объекты промышленного и гражданского строительства. Эксплуатационные испытания

средств контроля загрязненности и обводненности дизельного топлива проводились при техническом обслуживании машин.

Результаты экспериментальных исследований. Экспериментальные исследования средств и систем очистки топлива проводились с целью проверки теоретических методов оценки их эффективности в лабораторных условиях. В процессе исследований испытывались единичные образцы фильтров выполненных на основе фильтровальных бумаг БТ-3П, БТ-5П, БТ-10П и БТ-15П и системы очистки образованной из этих фильтров. Перечень средств и систем фильтрующих элементов приведен в табл. 1. Площадь фильтрующего материала моделей фильтрующих элементов с использованием бумаг БТ-3П и БТ-5П определялись с учетом их совместной работы с моделями выполненными на основе бумаг БТ-10П и БТ-15П. Здесь и далее нумерация элементов в таблице и нумерация кривых на графиках идентичны.

Таблица 1

Средства и системы очистки

№ п/п	Единичные фильтры из бумаг	№ п/п	Системы очистки из комбинаций бумаг
1	БТ-3П	5	БТ-10П+БТ-3П
2	БТ-5П	6	БТ-10П+БТ-5П
3	БТ-10П	7	БТ-15П+БТ-3П
4	БТ-15П	8	БТ-15П+БТ-5П

Исследования эффективности очистки топлива проводились путем анализа дисперсного состава загрязнений и массовой концентрации до, и после фильтрации топлива через единичный фильтр и системы очистки. В процессе испытаний определялись коэффициенты отфильтровывания частиц загрязнений для каждой размерной группы и коэффициенты полноты фильтрации.

На рис. 4 приведен дисперсный состав загрязнений после очистки топлива единичным фильтром, на рис. 5 после очистки топлива системой из двух фильтров.

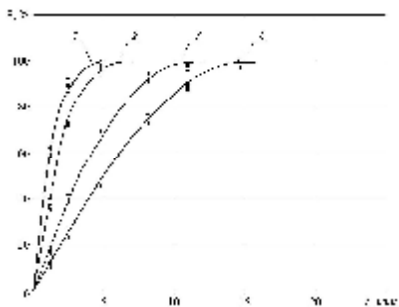


Рис. 4. Дисперсный состав загрязнений после единичной очистки

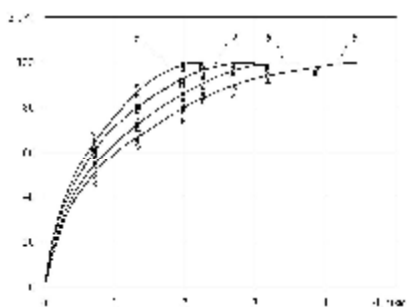


Рис. 5. Дисперсный состав загрязнений после двухступенчатой очистки

На рис. 6 приведены график коэффициентов отфильтровывания единичных фильтров, на рис. 7 – тоже для системы очистки.

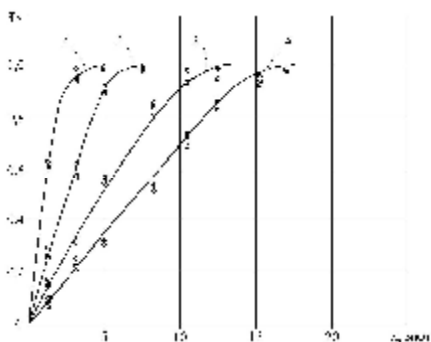


Рис. 6. Коэффициенты отфильтровывания фильтрующих элементов

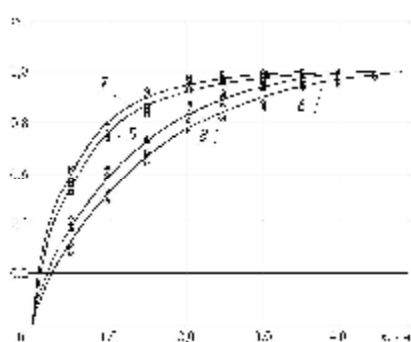


Рис. 7. Коэффициенты отфильтровывания систем очистки

Эффективные показатели качества очистки топлива приведены в табл. 2.

Таблица 2

Эффективные показатели качества очистки

№ п/п	Объект исследования (фильтрующий элемент, система)	Показатели	
		Номинальная (50%-я) тонкость фильтрации $d_{0,5}$, мкм	Коэффициент полноты фильтрации j
1	БТ-3П	0,92	0,870
2	БТ-5П	1,28	0,680
3	БТ-10П	2,92	0,310
4	БТ-15П	3,42	0,221
5	БТ-10П+БТ-3П	0,79	0,910
6	БТ-10П+БТ-5П	1,07	0,740
7	БТ-15П+БТ-3П	0,73	0,900
8	БТ-15П+БТ-5П	1,06	0,720

Результаты исследования эффективности очистки топлива показали, что система очистки состоящая из двух последовательно установленных фильтров позволяет обеспечить более высокую тонкость фильтрации по сравнению с единственным фильтром имеющим характеристику, аналогичную фильтру второй ступени очистки.

Лабораторные исследования средств и систем очистки топлива на условный ресурс проводились с целью определения влияния дополнительной ступени очистки на ресурс единичного фильтра. График ресурсных испытаний приведен на рис. 8.

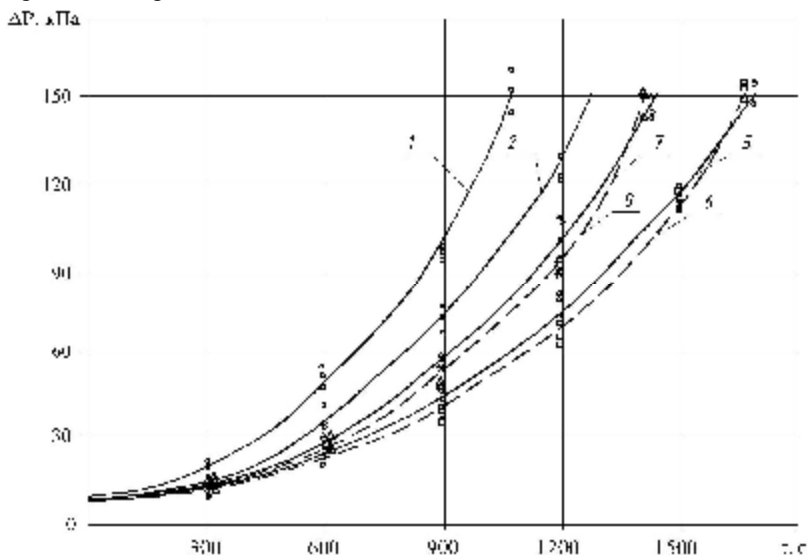


Рис. 8. Ресурсные характеристики фильтров тонкой очистки

На графиках рис. 8 видно, что дополнительная очистка топлива позволяет повысить ресурс работы фильтра тонкой очистки на 25...30%. Однако ресурс системы в целом в основном определяется показателями эффективности фильтра предварительной очистки.

По результатам совместных исследований разработаны конструкции фильтрующих элементов, имеющих две ступени очистки, позволяющие повысить качество очистки и ресурс фильтров.

Фильтрующий элемент выполненный по схеме рис. 9 состоит из перфорированного каркаса 1 вокруг которого установлены две фильтрующие шторы 2 и 3. Внешняя штора 2 выполняет функцию ФГО, внутренняя 3 — ФТО.

Фильтрующий элемент выполненный по схеме рис. 10 состоит из перфорированного каркаса вокруг которого расположены две фильтрующие шторы 2 и 3 имеющие одинаковую эффективность очистки. Внешняя штора

имеет клеевой шов. На первом этапе работы задержка загрязнений производится только внешней шторой. По мере ее забивки гидравлическое сопротивление шторы возрастает и при достижении предельного значения происходит разрыв клевого шва, после чего начинает работать внутренняя фильтрующая штора. Данная конструкция фильтрующего элемента имеет повышенный ресурс работы и признана изобретением.

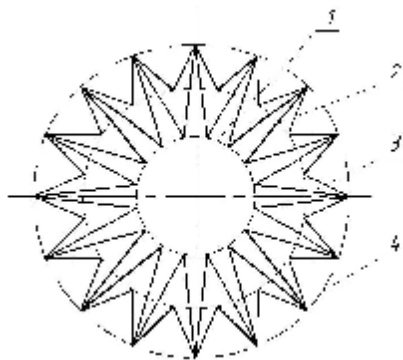


Рис. 9. Двухступенчатый фильтрующий элемент

1 – перфорированный каркас; 2 – фильтрующая штора первой ступени очистки; 3 – фильтрующая штора второй ступени очистки; 4 – обечайка

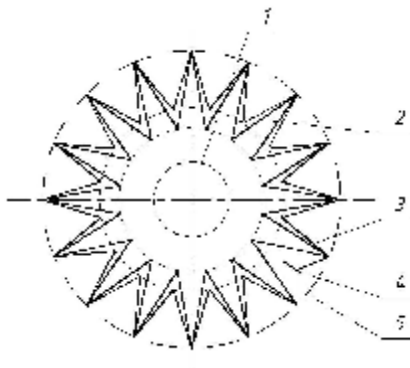


Рис. 10. Фильтрующий элемент с резервной ступенью очистки

1 – перфорированный каркас; 2 – фильтрующая штора (внутренняя); 3 – фильтрующая штора (внешняя); 4 – контрольный шов; 5 – обечайка

Лабораторные исследования средств экспресс-контроля загрязненности дизельного топлива проводились с применением анализатора механических примесей ФС-112/3. В процессе исследований установлено, что между счетной концентрацией частиц размером от 5 до 500 мкм и массовой концентрацией загрязнений имеется корреляционная линейная зависимость вида

$$c = 0,146 \cdot 10^2 \cdot n_{\Sigma} + 0,402 \cdot 10^2 . \quad (16)$$

Разработка метода экспресс контроля обводненности дизельного топлива проводилась с использованием пористого водопоглощающего материала пенополивинилформаль. Материал в сухом виде является диэлектриком, а при насыщении водой приобретает электропроводящие свойства. Результаты исследований показывают, что между количеством поглощенной из пробы топлива воды, и величиной тока, при подключении пенополивинилформаль к электрической цепи, имеется корреляционная связь вида

$$c_e = 0,0011 \cdot I + 0,023 . \quad (17)$$

Зависимости (16) и (17) могут быть использованы для разработки средств экспресс-контроля чистоты дизельного топлива.

Эксплуатационные испытания топливных систем и средств контроля чистоты топлив. Эксплуатационные испытания средств и систем очистки топлива проводились с целью определения ресурса фильтров в условиях эксплуатации и оценки влияния двухступенчатой очистки топлива на надежность машин. Эксплуатационные испытания средств контроля чистоты топлива проводились с целью определения его загрязненности и обводненности в полевых условиях и при техническом обслуживании машин.

Характеристика фильтров использованных для оценки их эксплуатационного ресурса приведена в табл. 3.

Таблица 3

Характеристика топливных фильтров

№ модели	Тип	Фильтровальный материал	Характеристика материала			Поверхность $S, м^2$.
			Пористость y	Толщина $b \cdot 10^{-3}, м$	Тонкость фильтрации $d_{0,5}, мкм$	
1	Одноступенчатый	БТ-3П	0,55	0,46	0,94	0,2
2		БТ-5П	0,62	0,42	1,31	0,2
3		БТ-10П	0,65	0,38	2,8	0,2
4		БТ-15П	0,72	0,53	3,45	0,2
	Опытный (с резервной шторой)	БТ-10П/ БТ-10П	0,65	0,38	2,8	0,2/0,16

Результаты ресурсных испытаний фильтров обрабатывались в виде зависимости $Dp=f(Q)$. Кроме того для определения влияния условий эксплуатации на ресурс, получения обобщенной ресурсной характеристики единичных фильтров и определения численного значения параметра k_3 – анализ результатов проводился по уравнению

$$\ln \frac{\Delta p}{\Delta p_0} = K_3 \cdot \frac{Q_i \cdot h_i \cdot c_0 \cdot r_{жк}}{S_i \cdot b_{ui} \cdot y_i \cdot r_3}, \quad (18)$$

где Dp_0 и Dp – начальное и текущее гидравлическое сопротивление фильтра соответственно; K_3 – коэффициент учитывающий характер взаимодействия загрязнений с фильтрующим материалом.

Ресурсные характеристики единичных фильтров приведены на рис. 11.

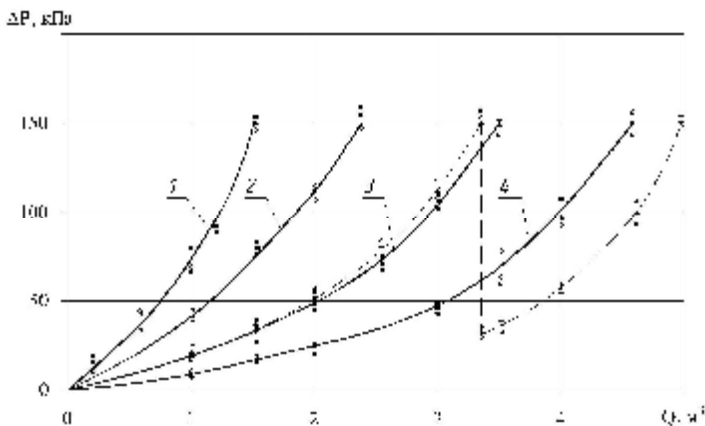


Рис. 11 Ресурс единичных фильтров
 ----- опытный

Обработкой результатов испытаний установлено, что обобщенные ресурсные характеристики фильтрующих элементов удовлетворительно описываются уравнением вида

$$\frac{\Delta p}{\Delta p_0} = \exp\left(2,742 \cdot \frac{Q_i \cdot h_i \cdot c_0 \cdot r_{жс}}{S_i \cdot b_{ui} \cdot y_i \cdot r_3}\right). \quad (19)$$

Уравнение ресурса фильтрующих элементов в общем виде с учетом (19) будет

$$Q_i = \frac{S_i \cdot y_i \cdot b_{ui} \cdot r_3}{2,742 \cdot h_i \cdot c_0 \cdot r_{жс}} \cdot \ln \frac{\Delta p}{\Delta p_0}. \quad (20)$$

Отбор проб и оценка загрязненности топлива в ходе эксплуатационных испытаний проводились по ГОСТ 10577-78 и с использованием анализатора ФС-112/3 показали удовлетворительную сходимость. Уравнения корреляции между анализируемыми параметрами применительно к естественным загрязнениям топлива имеют вид

$$c_{\Sigma} = 0,142 \cdot 10^2 \cdot n_{\Sigma} + 0,387 \cdot 10^2. \quad (21)$$

Оценка обводненности топлива проводилась по ГОСТ 2477-83 и с использованием водопоглощающего материала – пенополивинилформаль. Обработка результатов по уравнению корреляции (17) показала, что оба метода также имеют хорошую сходимость и разработанный метод может быть использован для оценки обводненности топлива в полевых условиях или при технической эксплуатации машин.

Эксплуатационные испытания систем очистки проводились на строительных объектах города Томска. Целью испытаний являлась оценка эксплуатационного ресурса и эффективности очистки топлива двухступенчатой системой очистки, и их влияние на надежность машин.

Двухступенчатая очистка топлива производилась фильтром, фильтрующий элемент в котором содержал две фильтрующие шторы. Испытания проводились на двух типах элементов: выполненных на основе фильтровальной бумаги БТ-10П (первая ступень очистки) и БТ-3П (вторая ступень очистки) – первый вариант; БТ-15П и БТ-5П – второй вариант.

На рис. 12 представлен график ресурсной характеристики фильтров, в табл. 4 эффективные показатели очистки топлива.

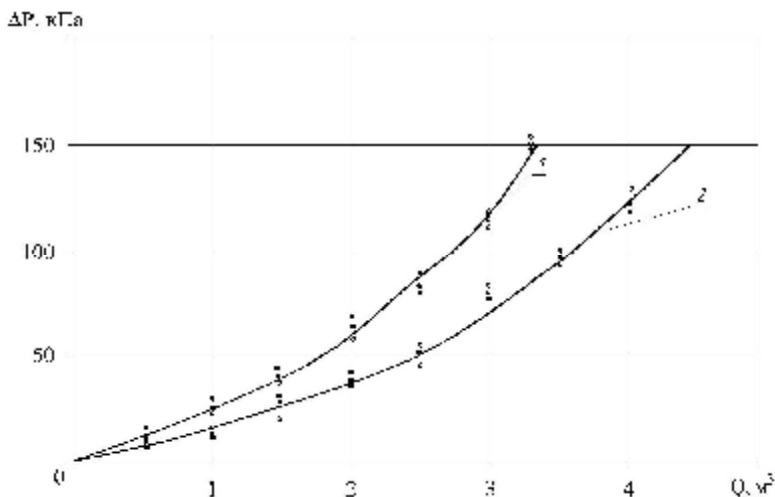


Рис. 12 Ресурсные характеристики фильтров

Таблица 4

Эффективные показатели систем очистки топлива

№ фильтро-элемента	Характеристика фильтроэлемента	Номинальная тонкость фильтрации $d_{0,95}$		Коэффициент очистки h
		теоретическая	фактическая	
1	БТ-10П+ БТ-3П	2,32	2,56	0,724
2	БТ-15П+ БТ-5П	3,64	3,82	0,462

Испытания модернизированных топливных систем, с целью оценки их влияния на надежность машин, проводились на экскаваторах ЭО 4233 и бульдозерах на базе трактора Т-130, которые были разбиты на четыре группы. В процессе испытаний оценивалась загрязненность топлива в баках машин и фиксировались отказы топливной аппаратуры связанные с загрязненностью топлива. Результаты испытаний приведены в табл. 5.

Таблица 5

Результаты экспериментальных исследований эффективности опытной топливной системы машин

Объект исследования	Загрязненность дизельного топлива	Количество отказов топливной системы	Сравнительный анализ
1-я группа (4 экскаватора ЭО 4233)	0,0065...0,012	16	Снижение числа отказов в 1,78 раза
2-я группа (4 экскаватора ЭО 4233)	0,0052...0,015	9	
3-я группа (4 бульдозера на базе трактора Т-130)	0,0068...0,016	22	Снижение числа отказов в 1,57 раза
4-я группа (4 бульдозера на базе трактора Т-130)	0,0056...0,014	14	

Анализ проведенных эксплуатационных испытаний показывает, что применение двухступенчатой очистки топлива при эксплуатации машин позволяет снизить количество отказов топливной аппаратуры в 1,6...1,8 раза.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. На основании результатов исследования актуальной проблемы – повышение надежности топливных систем дорожных и строительных машин предложен комплекс конструктивных решений направленных на совершенствование средств очистки топлива при эксплуатации машин и средств и методов оперативного контроля чистоты топлива при техническом обслуживании топливных систем машин.

2. На основании системного подхода установлены теоретические закономерности формирования эффективных показателей очистки топлива системами состоящими из ряда последовательно установленных фильтров, установлена закономерность влияния качества очистки топлива на износ прецизионных деталей топливной аппаратуры и предложен метод подбора элемен-

тов системы очистки топлива основанный на взаимосвязи качества очистки топлива и износом.

3. Теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены методы оценки качества очистки топлива системами, состоящими из последовательно установленных фильтров и ресурса их фильтрующих элементов в условиях эксплуатации.

4. На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований предложены новые конструкции фильтрующих элементов для очистки топлива имеющие повышенный ресурс: двухступенчатый фильтрующий элемент, подбор характеристик материалов ступеней осуществляется в соответствии с выявленными системными закономерностями и двухступенчатый фильтрующий элемент с резервной ступенью очистки.

5. Теоретически обоснован и экспериментально подтвержден метод оценки загрязненности дизельного топлива с использованием автоматических анализаторов жидкостей и метод оценки содержания воды в топливе, основанный на использовании гидрофобных синтетических материалов. Эксплуатационные испытания показали, что предложенные методы могут быть использованы для оценки чистоты дизельного топлива при техническом обслуживании машин.

6. Эксплуатационные испытания модернизированных топливных систем показали, что использование предложенных конструкций средств очистки топлива имеют повышенный ресурс и обеспечивают повышенное качество очистки топлива и позволяют в 1,6...1,8 раза повысить безотказность машин.

Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях

1. Удлер, Э.И. Математическое моделирование абразивного изнашивания возвратно-поступательно движущихся пар трения механизмов машин / Э.И. Удлер, Г.Г. Петров, Д.Е. Пивнев, *А.В. Лысунец* // Вестник ТГАСУ. 2002.– С. 162-170.

2. Удлер, Э.И. Метод оценки эффективности систем очистки дизельного топлива двигателей/ Э.И. Удлер, Г.Г. Петров, Д.Е. Пивнев, *А.В. Лысунец* // Сб. науч. тр. Лесотехн. ин-та/ ТГАСУ, Лесотехн. ин-т. – Томск, 2003. – Вып. 2. – С. 101-110.

3. Петров, Г.Г. Системные закономерности очистки топлива в двигателях дорожных машин/ Г.Г. Петров, *А.В. Лысунец* // Автомобиль и техносфера: Труды III Международной научно-практической конференции – Казань: 2003. – С. 308-316

4. Удлер, Э.И. Оценка эффективности системы очистки дизельного топлива двигателей дорожных машин/ Э.И. Удлер, Г.Г. Петров, Д.Е. Пивнев, *А.В. Лысунец* // Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: тезисы доклада Всероссийской научно-технической конференции – Курган, 2003 – С. 3

5. Петров, Г.Г. Влияние качества очистки топлива на надежность двигателей дорожных машин/ Г.Г. Петров, В.А.Доценко, А.В. Лысунец // Сб. науч. тр. ТПУ / ТПУ – Томск, 2005. – С. 108-110.

6. Петров, Г.Г. Совершенствование топливных систем дорожных и строительных машин / Г.Г. Петров, А.В. Лысунец, Медведев В.В., Халтурин Д.В. // Автомобиль и техносфера: тезисы докладов Международной научно-практической конференции – Казань, 2005. – С. 2

7. Удлер, Э.И. Системные закономерности очистки топлива в дизельных двигателях / Э.И. Удлер, Г.Г. Петров, А.В. Лысунец // Транспортные системы Сибири: Материалы II Всероссийской научно-технической конференции – Красноярск, 2004. – С. 149-151

8. *Фильтрующий элемент*: пат. на полезную модель № 23788 Рос. Федерация: МПК⁷ В 01 D 27/06 / Э.И.Удлер, Д.Е. Пивнев, А.В. Лысунец; опубл. 20.07.2002 Бюл. №20. – 2 с.: ил.

9. Петров, Г.Г. Методы экспресс-анализа чистоты нефтепродуктов / Г.Г. Петров, А.В. Лысунец, О.Ю. Обоянцев // Проблемы эксплуатации, качества и надежности транспортных и технологических машин: Межвузовский сборник научных трудов / Под ред. А.П. Улашкина. – Хабаровск: ТОГУ, 2005. – С. 130-135