

на правах рукописи



**ИСАЕНКО АЛЕКСЕЙ ВИКТОРОВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ  
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 ГОУВПО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ** - доктор технических наук,  
профессор  
Удлер Эдуард Исаакович

**ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ:** - доктор технических наук,  
профессор  
Суворов Дмитрий Григорьевич

- кандидат технических наук, доцент  
Щипунов Аркадий Николаевич

**ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ** – ЗАО «Томэкскавация» (г.Томск)

Защита диссертации состоится 26 декабря 2006г. в 14-00 часов 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 26 ноября 2006 г.

УЧЕНый СЕКРЕТАРЬ  
ДИССЕРТАЦИОННОГО  
СОВЕТА



Кравченко С.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Современные масштабы развития строительного производства неразрывно связаны с интенсивным использованием дорожных и строительных машин различного назначения. Опыт их эксплуатации свидетельствует о значительном количестве отказов топливных систем, приводящих к выходу из строя машин в целом.

Анализ существующих топливных систем машин показывает отсутствие в их структуре эффективных средств защиты топливных баков от попадания в них дорожной и строительной пыли и недостаточно эффективный традиционный двухступенчатый способ очистки магистрального топлива, включающий, как правило, фильтр грубой и тонкой очистки. В результате в топливных баках машин накапливается большое количество загрязнений, обладающих абразивными свойствами, которые вместе с топливом проникают в топливную аппаратуру и приводят ее в отказ, снижая тем самым надежность машины в целом.

В этой связи, исследования, направленные на повышение надежности машин путем совершенствования существующих и разработки новых эффективных средств очистки воздуха на входе в топливный бак и топлива в топливоподающей магистрали машины являются актуальными.

**Цель исследования.** Повышение надежности топливных систем дорожных и строительных машин посредством их конструктивного совершенствования

**Объект исследования.** Топливные системы дорожных и строительных машин.

**Предмет исследования.** Новые средства обеспечения чистоты дизельного топлива в топливных системах машин.

**Научная новизна.** На основе математического описания процесса накопления загрязнений в топливных баках машин обоснована целесообразность дополнительного применения в топливных системах машин средств предотвращения попадания загрязнений в топливные баки и дополнительных фильтров-сепараторов объемного типа.

Обоснована новая конструкция масляного пылеуловителя (МПУ), защищенная патентом на изобретение, предназначенного для защиты топливных баков.

Получены расчетные зависимости, оценивающие основные показатели эффективности МПУ по улавливанию механических примесей из атмосферы на входе воздуха в топливные баки.

Получено математическое описание и разработана методика выбора конструктивных параметров фильтра-сепаратора объемного типа (ФС) на основе деформируемых пористых фильтроматериалов, а также методы

расчета гидравлических свойств, эффективности и ресурса ФС в эксплуатации.

**Практическая ценность.** Предложенная конструкция масляного пылеуловителя применима к реализации в новых усовершенствованных топливных системах машин.

Расчетные зависимости, оценивающие полноту улавливания механических примесей и тонкость улавливания частиц из воздуха в МПУ, применимы при выборе его конструктивных параметров для топливных систем.

Разработанная методика выбора основных конструктивных параметров, гидравлического расчета, а также расчета эффективности и ресурса топливного фильтра-сепаратора (ФС) применимы в практике инженерного проектирования топливных фильтров на основе деформируемых пенополиуретанов.

**Личный вклад автора заключается в следующем:**

- в формулировании цели и общей идеи работы;
- в разработке методик лабораторных и эксплуатационных исследований топливных систем машин;
- в разработке теоретических предпосылок усовершенствования топливной системы;
- в разработке методик расчета предлагаемых средств очистки;
- в расчете параметров надежности сборочных единиц усовершенствованной топливной системы.

**Реализация результатов исследований.** Разработанные дополнительные средства очистки воздуха и топлива для топливных систем машин внедрены в ЗАО «Томэкскавация» и в Кожевниковском ДРСУ Томской области. При изучении топливных систем машин результаты исследований широко используются в учебном процессе при чтении курса «Техническая эксплуатация дорожных и строительных машин» для студентов, обучающихся по специальности 190205 «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, 2001 г.);
- международной научно-практической конференции «Проблемы эксплуатации транспортных систем в суровых условиях» (Тюмень, 2002 г.);
- III международной научно-технической конференции «Автомобиль и техносфера» (Казань, 2003 г.);

- на объединенных научных семинарах кафедр «Строительно-дорожные машины», «Автомобили и тракторы», «Машины, оборудование и технология деревообработки» ТГАСУ.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 5 научных трудах, в том числе в описании к патенту.

**Объем работы.** Диссертация изложена на 177 страницах и включает введение, пять глав, общие выводы, список литературы из 106 наименований. Содержит 40 рисунков, 8 фотографий, 39 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Введение.** Обоснована актуальность выбранного направления научного исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту.

**Состояние вопроса. Цель и задачи исследования.** Опыт эксплуатации дорожных и строительных машин показал, что их надежность в значительной степени зависит от качества и чистоты применяемых горюче-смазочных материалов. Особую опасность представляют собой механические примеси, поступающие вместе с топливом в прецизионные пары топливной системы машин, вызывая их отказы. Проблемой защиты топливных систем от загрязнения занимались Большаков Б.Ф., Григорьев М.А., Борисова Г.В., Коваленко В.П., Рыбаков К.В., Удлер Э.И., Карпекина Т.П., Кадыров С.М., Архипов А.М., Путинцев В.А. и др., однако эта проблема до сих пор полностью не решена. Работы указанных и многих других исследователей отмечают высокую загрязненность, приобретаемую топливом в процессе транспортировки, хранения, заправки в топливные баки и эксплуатации машин.

Установлено, что до 10-15% отказов машин приходится на топливные системы, включающие последовательно установленные фильтр грубой (ФГО) и тонкой очистки (ФТО) топлива.

Конструктивные особенности ФГО не обеспечивают необходимую чистоту топлива, и перегружают ФТО, снижая его ресурс. При этом недоочищенное топливо поступает к прецизионным парам, изнашивая сопряженные поверхности. Отсутствие в топливных баках машин достаточно эффективных средств очистки атмосферного воздуха при «малом» и «большом дыхании» баков еще более обостряет проблему защиты деталей топливной системы от абразивного изнашивания.

Отсюда следует, что одним из перспективных направлений повышения надежности машин является совершенствование топливных систем путем разработки эффективных средств очистки воздуха на входе в бак и средств очистки топлива в топливных магистралях.

На основании анализа литературы, для реализации цели настоящего исследования поставлены следующие задачи:

- изучить процесс накопления загрязнений в топливных баках машин и определить направление конструктивного совершенствования топливных систем, повышающего чистоту топлива при эксплуатации машин;

- разработать новые конструкции очистителей атмосферного воздуха, приносящего загрязнения в топливные баки машин и топлива, проходящего по главной топливной магистрали;

- провести теоретические исследования по оценке эффективности, гидравлических свойств и ресурса работы новых конструкций очистителей воздуха и топлива;

- разработать методики экспериментального исследования свойств загрязненного топлива и свойств новых очистителей воздуха и топлива в лабораторных и стендовых условиях;

- разработать методы эксплуатационных испытаний топливных систем, а также методы оценки их надежности по стандартным традиционным показателям;

- провести необходимые лабораторные и стендовые испытания по экспериментальной проверке их эффективности и других свойств, а также экспериментальной проверке результатов теоретического исследования свойств новых очистителей воздуха и топлива;

- провести эксплуатационные испытания усовершенствованной топливной системы машин с целью оценки влияния и эффективности принятых конструктивных решений на показатели надежности топливных систем машин;

- разработать рекомендации по выбору параметров и методики гидравлического и других расчетов новых очистителей, включаемых в усовершенствованные топливные системы.

Теоретические предпосылки совершенствования средств обеспечения чистоты дизельного топлива в топливных системах машин. Накопление механических примесей в топливном баке  $G_B$  машины с существующей топливной системой количественно складывается из поступивших при заправке бака с топливом  $G_3$ , а также из атмосферы  $G_a$  в процессе эксплуатации, и может быть описано следующим дифференциальным уравнением материального баланса:

$$\rho_T (Q_B - q_T \cdot \tau) dc_3 = a_B \cdot dt - \rho_T i \cdot q_T \eta_0 \cdot c_3 dt, \quad (1)$$

где  $Q_6$  - объем бака,  $m^3$ ;  $q_T$  - расход топлива дизелем,  $m^3/c$ ;  $i$  - кратность циркуляции топлива в системе;  $c_3$  - текущая массовая концентрация загрязнений в баке;  $a_6$  - скорость поступления загрязнений в бак (кг/с);  $\eta_0$  - общий коэффициент очистки топлива в системе;  $\rho_T$  - плотность топлива в системе,  $кг/м^3$ .

После интегрирования и преобразования выражения (1) при

$q_T \cdot \tau = Q_T$  концентрацию загрязнений в баке машин  $c_6^\tau$  можно представить в виде

$$c_6^\tau = \frac{a'_6 \cdot (1 - \eta_{ул})}{\rho_T q_T \epsilon_\phi} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{Q_T}{Q_6} \right)^{\epsilon_\phi} \right] + c_3 \left( 1 - \frac{Q_T}{Q_6} \right)^{\epsilon_\phi}, \quad (2)$$

где  $a'_6$  - теоретическая скорость поступления загрязнений в незащищенный топливный бак;  $\eta_{ул}$  - эффективность средств предотвращения попадания частиц загрязнений (улавливания) с помощью специальных устройств;  $Q_T$  - объем топлива, прошедшего через бак;  $\epsilon_\phi = i \cdot \eta_0$  - параметр, учитывающий влияние комплексной очистки топлива на накопление загрязнений в баке машины в виде механических примесей при общем коэффициенте очистки -  $\eta_0$ .

Уравнение (2) показывает, что на загрязненность топлива в баках машин влияет чистота заправляемого топлива -  $c_3$ , эффективность комплексной очистки топлива -  $\epsilon_\phi$ , а также скорость поступления загрязнений в бак -  $a'_6$ .

В реальных условиях эксплуатации машин попадание загрязнений в топливные баки обусловлено, главным образом, их «малым дыханием» при колебаниях и снижении уровня топлива. Это явление особенно проявляется в условиях дорожно-строительных работ. Поэтому объектом настоящих исследований является система очистки, защищающая прецизионные пары топливной аппаратуры машин от абразивного изнашивания, состоящая из масляного пылеуловителя (МПУ), установленного на входе воздуха в бак, и

последовательно установленных в главной топливной магистрали ФГО, двухступенчатого фильтра-сепаратора (ФС) и ФТО (рис. 1).

В этом случае общая эффективность очистки топлива может быть оценена интегральным коэффициентом очистки:

$$\eta_0 = [1 - (1 - \eta_{ГО})(1 - \eta_{ФС})(1 - \eta_{ТО})], \quad (3)$$

где  $\eta_{ГО}$ ,  $\eta_{ФС}$ ,  $\eta_{ТО}$  - коэффициенты эффективности ФГО, ФС и ФТО.

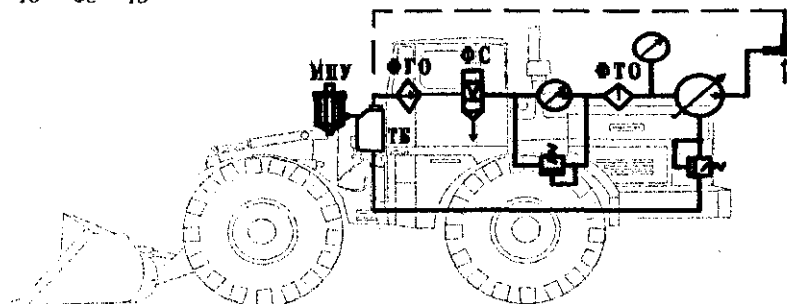


Рис. 1 Схема усовершенствованной топливной системы дорожных и строительных машин: ФГО – фильтр грубой очистки; ФТО – фильтр тонкой очистки; ТБ – топливный бак; МПУ – масляный пылеуловитель; ФС – фильтр-сепаратор

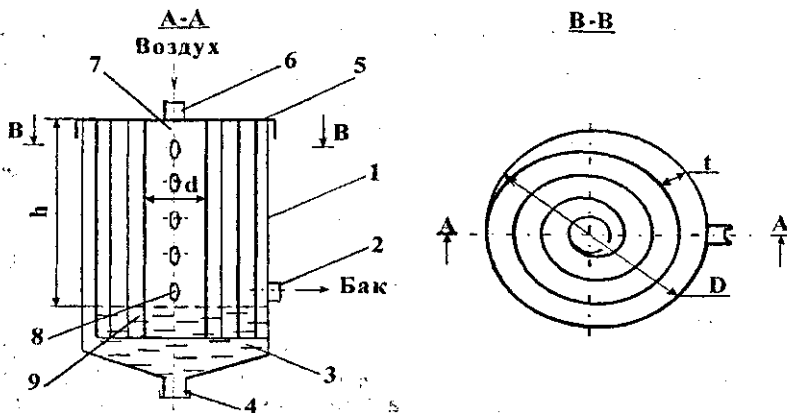


Рис. 2 Расчетная схема масляного пылеуловителя (патент № 2257487)



Масляный пылеуловитель (МПУ) работает следующим образом (рис. 2):

во время эксплуатации машины воздух из атмосферы, перед поступлением в топливный бак, проходит через входной патрубок 6 МПУ, попадая в центральную трубку 7 для подвода воздуха. При выходе из трубки 7 через сквозные отверстия 8 частицы пыли, находящиеся в воздухе, проходят по спиральному каналу 9. За счет гравитационного эффекта частицы загрязнений осаждаются на поверхности масляной ванны 3. Очищенный, таким образом, от частиц пыли воздух попадает через выходной патрубок 2 в топливный бак машины.

На основе анализа процесса гравитационного осаждения частиц пыли в спиральном канале МПУ получена формула (4), связывающая основные конструктивные параметры масляного пылеуловителя с размером осаждаемых частиц  $d_{\text{ч}}$ , расходом воздуха через МПУ  $q_{\text{в}}$ , плотностью материала частиц (кварц)  $\rho_{\text{ч}}$  и воздуха  $\rho_{\text{в}}$ , при минимальной вязкости воздуха  $\gamma$  (рис. 2):

$$\frac{h}{D} = \sqrt{\left(\frac{18\gamma_{\text{в}}q_{\text{в}}}{gD(\rho_{\text{ч}}/\rho_{\text{в}}) \cdot d_{\text{ч}}^2 \cdot t}\right)^2 - \pi^2 \left(\frac{D}{4t} - \frac{d}{D}\right)^2}, \quad (4)$$

откуда формула расчета минимального размера частиц загрязнений, полностью осаждаемых в МПУ, может быть представлена в виде:

$$d_{\text{ч min}} = \left(\frac{18\gamma_{\text{в}}q_{\text{в}}}{g(\rho_{\text{ч}}/\rho_{\text{в}}) \cdot D \cdot t}\right)^{0,5} \cdot \left[\left(\frac{h}{D}\right)^2 + \pi^2 \left(\frac{D}{4t} - \frac{d}{D}\right)^2\right]^{-0,25}. \quad (5)$$

Используя известную функцию распределения порошков и естественных пылей  $F(d_{\text{ч}})$  Удлера Э.И., эффективность МПУ, как относительную массу задержанных загрязнений из воздуха, можно оценить

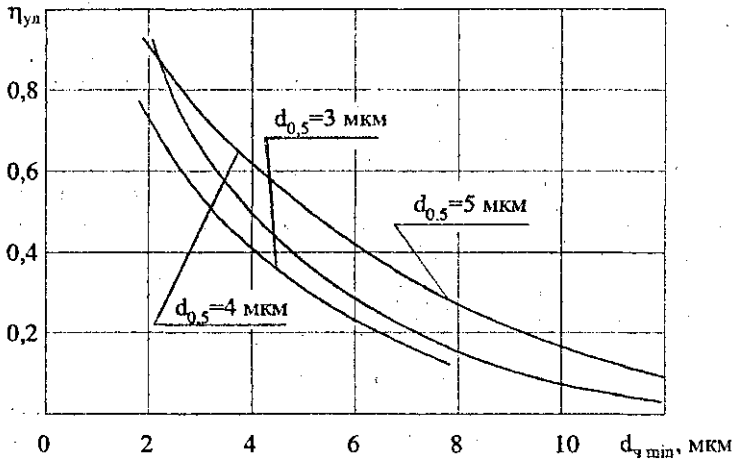


Рис. 3 Зависимость коэффициента улавливания от минимального размера частиц дорожной пыли

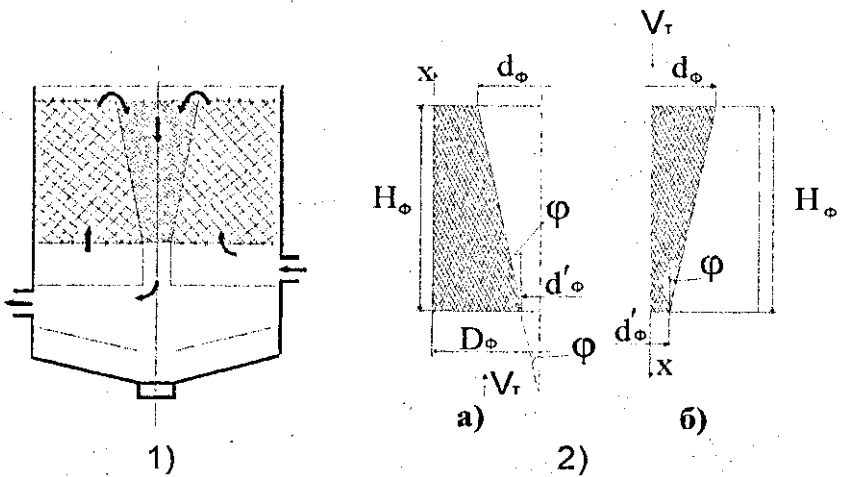


Рис. 4 Общая 1) и гидравлическая 2) схемы двухступенчатого фильтра-сепаратора объемного типа: а) – первая ступень, б) – вторая ступень

по выражению:

$$\eta_{ул} = 1 - F(d_ч) = \left( 1 + 1,679 \frac{d_{ч\min}}{d_{0,5}} \right) \cdot e^{-1,679 \frac{d_{ч\min}}{d_{0,5}}}, \quad (6)$$

где  $d_{0,5}$  = (3-6) мкм – медиана массового распределения, как средний размер частиц воздушной пыли при  $d_ч = d_{ч\min}$ .

Формулы (4), (5) и (6) позволяют анализировать влияние конструктивных параметров МПУ на его эффективность.

В качестве примера на рис. 3 показана рассчитанная по формуле (6) зависимость коэффициента улавливания пыли  $\eta_{ул}$  от размера частиц, полностью осаждаемых в МПУ для пылей с разной дисперсностью, определяемой параметром  $d_{0,5}$ .

Расчет проведен для МПУ, имеющего размеры:  $D = 92 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $d = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $t = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ,  $h = 92 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  при физических свойствах воздуха и загрязнений (пыли):  $\gamma_s = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ ,  $\rho_s = 2600 \text{ кг} / \text{м}^3$ ,  $\rho_a = 1,2 \text{ кг} / \text{м}^3$ ,  $g = 9,8 \text{ м} / \text{с}^2$ ,  $q_s = 9,53 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}$ ,  $d_{0,5} = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ .

Предлагаемый фильтр-сепаратор (ФС), дополнительно включаемый в топливную систему (рис. 1), представляет собой двухступенчатую конструкцию (рис. 4). Каждая ступень выполнена из деформируемого пористого пенополиуретана, имеет форму усеченного конуса, пористость которого уменьшается в направлении потока фильтруемого топлива. Это обеспечивает процесс более глубокого фильтрования.

На основании теоретического исследования процессов очистки топлива в фильтре-сепараторе предложенной конструкции (рис. 4) получены расчетные характеристики ФС, описывающие его гидравлические свойства, эффективность и ресурс.

Общее гидравлическое сопротивление ФС при последовательном прохождении топлива через две ступени находится в виде суммы

$$\Delta p_{\phi_0} = \Delta p_n + \Delta p_s. \quad (7)$$

На основании решения уравнения Дарси для процесса фильтрации топлива в ФС, получены следующие формулы для оценки гидравлического сопротивления первой ступени ФС (рис. 4 а):

$$\Delta p_n = \frac{\gamma_T \cdot V_T \cdot \rho_T \cdot (R_\phi^2 - r_\phi'^2)}{K_o \cdot \pi \text{tg}^4 \varphi} \left[ \frac{H_\phi}{2a^2 (a^2 - H_\phi^2)} + \frac{1}{4a^3} \cdot \ln \left| \frac{(a + H_\phi)}{(a - H_\phi)} \right| \right], \quad (8)$$

а также второй ступени (рис. 4 б):

$$\Delta p_n = \frac{\gamma_T \cdot V_T \cdot \rho_T \cdot r_\phi'^2}{K_o \cdot \pi \text{tg}^4 \varphi} \cdot \left[ 1 - \frac{H_\phi^2}{r_\phi'^2} \cdot \text{tg}^2 \varphi \right]^{-1} \cdot \left[ \frac{H_\phi}{2a^2 (a^2 - H_\phi^2)} + \frac{1}{4a^3} \cdot \ln \left| \frac{(a + H_\phi)}{(a - H_\phi)} \right| \right]. \quad (9)$$

где  $\gamma_T$  - кинематическая вязкость;  $V_T$  - скорость фильтрации топлива;  $\rho_T$  - плотность;  $K_o$  - коэффициент проницаемости деформируемого пористого материала.

Номинальная тонкость очистки топлива для двухступенчатого ФС оценена для материала ППУ-ЭО-130 по формуле:

$$d_{0,95} = 79,43 \cdot \left[ \left( \frac{R_\phi}{r_\phi'} \right)^2 - 1 \right]^{-1,466} \cdot 10^{-6}, \text{ мкм}, \quad (10)$$

где  $n = \left[ \left( \frac{R_\phi}{r_\phi'} \right)^2 - 1 \right]$  - степень обжатия пенополиуретана.

Ресурс работы ФС определяется законом роста его гидравлического сопротивления в процессе забивки пор фильтрационного материала загрязнениями. В нашем случае процесс фильтрования топлива описывается следующим уравнением динамики фильтрования, как для процесса с постепенным закупориванием пор:

$$\Delta p_{\phi} = \Delta p_{\phi 0} \cdot \left( 1 - \frac{\lambda_{\Sigma} \cdot \eta^* \cdot C_0 \cdot V_T \cdot \tau}{\psi_{cp} \cdot Q_{\phi}} \right)^{-2}, \quad (11)$$

где  $\Delta p_{\phi}$  - текущий перепад давления на ФС.

Из формулы (11) получается формула для расчета ресурса ФС, т.е. работы его до критического перепада давления  $\Delta p_{\phi kp}$ :

$$\tau = \frac{\psi_{cp} \cdot Q_{\phi}}{\lambda_{\Sigma} \cdot \eta^* \cdot C_0 \cdot V_T} \left( 1 - \sqrt{\frac{\Delta p_{\phi 0}}{\Delta p_{\phi kp}}} \right), \quad (12)$$

где  $\psi_{cp}$  - средняя пористость фильтроматериала,  $Q_{\phi}$  - объем пористого фильтроэлемента,  $\lambda_{\Sigma}$  - эмпирический коэффициент, получаемый опытным путем на основе эксплуатационных испытаний опытных образцов фильтра,  $\eta^*$  - коэффициент очистки топлива, определяемый по формуле:

$$\eta^* = 1,712 d_{0,95}^{-0,53}. \quad (13)$$

Представленные расчетные зависимости, после экспериментальной проверки, могут служить основой для проектирования и оптимизации ФС.

**Методы экспериментальных исследований.** Экспериментальные исследования выполнены на специальной установке и стенде с использованием стандартных и разработанных методов оценки эффективности усовершенствованной топливной системы (УТС).

Определение массового содержания загрязнений в пробах дизельного топлива проводилось по ГОСТ 10577-78 «Нефтепродукты светлые. Методы определения механических примесей». Дисперсный состав загрязнений изучался методом микроскопии, а методика определения счетной концентрации разработана с применением автоматического анализатора жидкости ФС-112/3. Пористость фильтрующего материала ФС определялась с помощью специального прибора и ГОСТа 12432-77, а проницаемость – по ГОСТ 25283.

Номинальная тонкость очистки топлива средствами очистки определялась на основе дисперсного анализа искусственного загрязнителя (кварцевой пыли 5600 см<sup>2</sup>/г). Содержание воды в топливе определялось гидридкальциевым методом по ГОСТ 8287 «Нефтепродукты светлые. Количественное определение содержания воды».

Гидравлическая характеристика ФС определялась в виде зависимости  $\Delta p_{\phi} = f(V)$ , снималась на лабораторном стенде, ресурсная характеристика – в виде зависимости  $\Delta p_{\phi} = f(\tau)$  на основе результатов эксплуатационных испытаний.

Эксплуатационные испытания топливных систем с использованием методов планирования эксперимента проводились на автогрейдерх и автопогрузчиках, выполняющих строительные и транспортные работы.

Интегральная оценка эффективности усовершенствованной топливной системы машин проводилась путем сравнения стандартных параметров надежности прецизионных пар топливной аппаратуры, рассчитанных по общепринятым методикам.

**Результаты экспериментальных исследований.** Экспериментальные исследования средств очистки атмосферного воздуха и топлива выполнялись в лабораторных условиях с целью проверки адекватности полученных теоретических и экспериментальных данных, а также в реальных условиях эксплуатации с целью проверки их эффективности по снижению безотказности машин.

В лабораторных условиях эффективность пылеулавливания МПУ по коэффициенту улавливания оценивалась путем пропускания загрязненной кварцевой пыли воздуха, через опытный образец МПУ. В опытах  $\eta_{ул}$  оценивался как относительная масса кварцевой пыли, задержанной в МПУ. В таблице 1 представлены результаты испытаний, показывающие удовлетворительную сходимость с расчетом.

Коэффициент полноты отсева загрязнений воздуха в МПУ

Таблица 1

Режим испытания	Масса введенной пыли, $G_o$ , гр	Масса пыли в отстое, $G_{отс}$ , гр	Коэффициент улавливания $\eta_{ул}$ , %
1	245,6	239,355	97,55
2	239,4	239,480	98,38
3	244,3	239,509	98,98
4	295,7	230,317	97,75
5	244,9	239,321	97,73

Лабораторные испытания фильтра-сепаратора (ФС), выполнены на опытных образцах с разной степенью обжатия фильтрационного материала

ППУ-ЭО-130. Степень обжарки определяется соотношением  $n = (R_\phi / r'_\phi)^2$ . На рис. 5 представлены расчетные и экспериментальные гидравлические характеристики ФС, имеющего следующие базовые размеры:  $D = 100$  мм,  $d_\phi = 20$  мм,  $H_\phi = 120$  мм. Сравнение с расчетом по формулам (7), (8), (9) и экспериментом показывает хорошую сходимость.

В результате проведенных испытаний установлено, что номинальная тонкость очистки топлива в ФС, определенная экспериментально, удовлетворительно описывается формулой (10) (табл. 2).

### Результаты оценки качества очистки топлива в ФС

Таблица 2

№ п/п	Опытный образец	Расчетное значение $d_{0,95}$ , мкм	Экспериментальное значение $d_{0,95}$ , мкм
1	$n = 1,2$	60,8	56
2	$n = 1,5$	43,8	47
3	$n = 2,2$	25,0	22
4	$n = 3,0$	15,9	17
5	$n = 4,2$	9,7	9

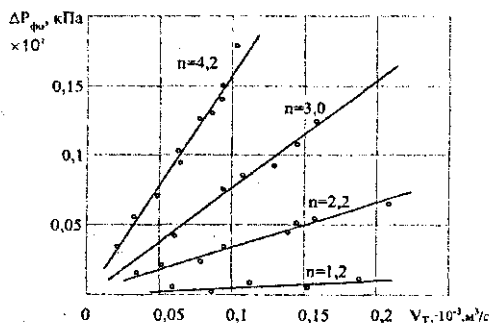


Рис. 5 Экспериментальная гидравлическая характеристика опытных образцов ФС

Результаты эксплуатационных испытаний. В задачу эксплуатационных испытаний машин входила сравнительная оценка

эффективности усовершенствованной топливной системы (УТС) по показателям качества топлива, а также по результатам изнашивания и стандартным показателям надежности топливоподающей аппаратуры в реальных условиях эксплуатации автогрейдеров и автопогрузчиков.

В ходе эксплуатационных испытаний было установлено, что в отдельных случаях загрязненность дизельного топлива в баках машин может достигать 0,5 % (масс), тогда как в большинстве своем среднее значение загрязненности в серийной системе (СТС) составляет 0,0072 % (масс), а в УТС – 0,0025 % (масс). При этом суммарное содержание «плавающих» частиц размером до 30 мкм включительно в баках с СТС составляет в среднем 28950 шт./мл, в УТС – лишь 12100 шт./мл.

Об эффективности УТС свидетельствует рис. 6. Видно, что применение МПУ снижает загрязненность топлива в 2-3 раза в топливном баке, тогда как ФС снижает их еще на выходе из топливоподкачивающего насоса, обеспечивая общее содержание загрязнений до 0,00115% и удельную концентрацию частиц на 1 мл топлива до 5170, т.е. более чем в 4 раза. При этом 90% частиц, «плавающих» в топливе, имеют размер 8-1 мкм. Частицы размером более 40 мкм в УТС вообще отсутствуют. Все они в основном удерживаются пылеуловителем. Установлено, что МПУ и ФС, принимая на себя основные функции по очистке топлива от загрязнений, значительно снижают нагрузку на ФТО, увеличивая его ресурс.

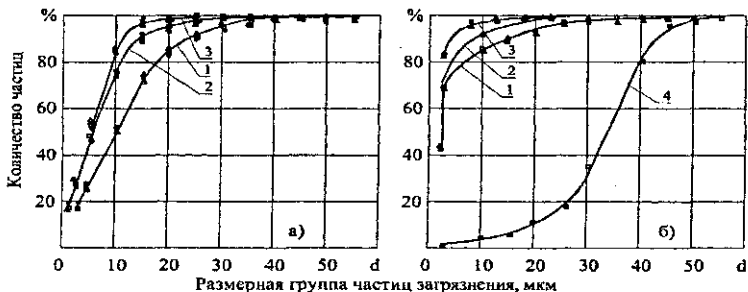


Рис. 6 Распределение частиц загрязнения топлива машин с серийной (а) и усовершенствованной (б) топливными системами: 1-в топливном баке; 2-на выходе из ФГО и ФС (соответственно); 3-на выходе из ФТО; 4-в отстойе масляной ванны МПУ.

В таблице 3 представлены характер и причины отказов деталей топливной системы автогрейдеров и автопогрузчиков при их испытании в течение двух лет. Плотность распределения отказов подчиняется нормальному закону.



На рис. 7 представлена статистическая оценка надежности элементов ТС дорожно-строительных машин.

Распределение частоты отказов СТС и УТС дизельных двигателей  
дорожных и строительных машин

Таблица 3

Характерные отказы элементов топливной системы дизелей	Причины и следствия отказов	Частота отказов $\lambda$ , отк./100 маш.-дн.		Кратность снижения отказов
		Серийная топливная система	Усовершенствованная топливная система	
1. Засорен топливозаборник в баке	Попадание в трубопровод загрязнений	0,308	0,133	2,31
2. Отказ ФТО	Загрязнение фильтроэлементов мех.примесями и водой	1,388	0,466	5,69
3. Нарушена работоспособность подкачивающего насоса	Зависание поршня, клапанов	0,894	0,199	3,48
	Износ сопряжений трущихся пар	0,463	0,267	1,73
4. Нарушена работоспособность ТНВД	Зависание и износ клапана и седла	4,321	1,27	6,86
	Износ плунжерных пар	2,315	0,533	4,34
	Коррозия плунжерных пар	0,385	0,266	1,45
5. Нарушена работоспособность форсунок	Закосовывание отверстий распылителя нагарами	2,083	1,40	1,48
	Засадание иглы распылителя	1,697	1,267	4,09
	Течь топлива по запорному конусу иглы	0,309	-	-
6. Затруднено перемещение рейки ТНВД	Зависание плунжеров	1,60	0,210	6,61

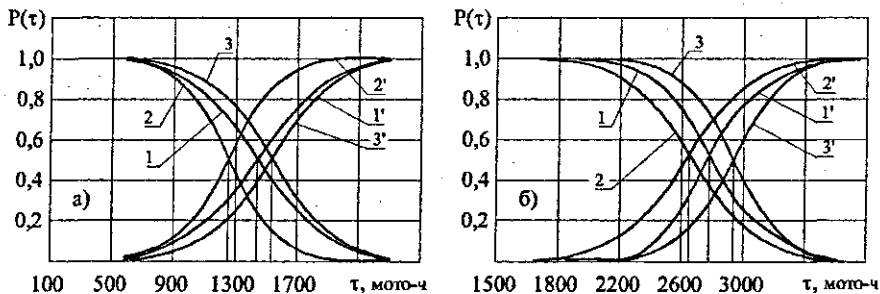


Рис. 7 Функции отказа и безотказной работы: 1, 1' - плунжерных пар, 2, 2' - нагнетательных пар, 3, 3' - распылителей соответственно в серийной и усовершенствованной топливных системах машин

Ресурсные испытания опытного образца фильтров-сепараторов показали (рис. 8), что средняя наработка ФС до критического перепада давления, полученная экспериментальным путем, составляет 1700-1800 м/ч. При этом ресурсная характеристика опытного образца ФС в эксплуатации подчиняется закономерности (12).

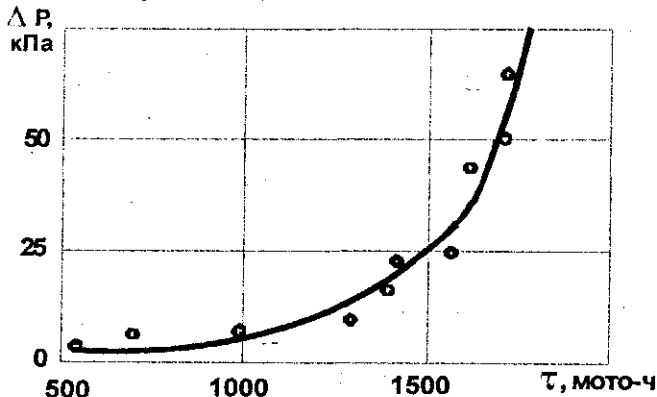


Рис. 8 Эксплуатационная зависимость перепада давления в ФС от

наработке: 
$$\tau_{кр} = 2 \cdot 10^3 \left( 1 - \sqrt{\frac{1,5}{\Delta P_{фкр}}} \right)$$

**Вопросы проектирования средств повышения чистоты топлива.** Проектирование предлагаемых дополнительных средств повышения чистоты топлива для топливных систем машин связано с выбором их основных конструктивных параметров, а также с проведением необходимых гидравлических расчетов.

Основные конструктивные параметры масляного пылеуловителя (МПУ) выбираются на основе расчетов по формулам (4), (5), (6), исходя из требуемой эффективности пылеулавливания:  $\eta_{\text{м}} = (0,97 - 0,99)$ , методом подбора.

Выбор основных конструктивных параметров фильтра-сепаратора основан на формуле (10). По ней определяются параметры  $R_{\phi} = D_{\phi}/2$  и  $r'_{\phi} = d'_{\phi}/2$ , обеспечивающие требуемую 95% тонкость очистки топлива  $d_{0,95} = (20 - 25)$  мкм. Остальные геометрические параметры ФС выбираются, соотносясь с отраслевыми стандартами на топливные фильтры машин с дизельными двигателями.

Предлагаемые методики гидравлических расчетов построены на известных инженерных методах. Гидравлический расчет фильтровальной набивки ФС осуществляется по формулам (7), (8), (9).

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Дальнейшее повышение надежности топливных систем дорожных и строительных машин возможно на основе их конструктивного совершенствования, связанного с их оснащением дополнительными, более эффективными, средствами обеспечения чистоты применяемого дизельного топлива.

2. Теоретически обоснована целесообразность оснащения топливных систем и предложены новые средства предотвращения попадания загрязнений в топливные баки машин, а также комбинированный фильтр-сепаратор объемного типа, обладающий комбинированным эффектом задержки механических примесей и воды.

3. Предложены новые конструкции масляного пылеуловителя (МПУ), защищающего топливный бак машины от загрязнений из окружающей среды, и объемного фильтра-сепаратора (ФС) на основе деформируемого пористого пенополиуретана, используемого в качестве фильтра грубой дополнительной очистки от механической примеси и воды.

4. Получены расчетные зависимости, адекватно описывающие эффективность и гидравлические свойства предлагаемых дополнительных средств защиты топлива от загрязнений.

5. Лабораторные испытания МПУ показали его высокую эффективность, достигающую до 98% задержки механических примесей из воздуха. Установлена достаточная для ФГО номинальная тонкость очистки топлива фильтром-сепаратором (ФС), достигающая до 20 мкм при удовлетворительных гидравлических свойствах.

6. Сравнительными эксплуатационными испытаниями серийных и усовершенствованных топливных систем показано, что предлагаемая модернизация топливных систем дорожных и строительных машин позволяет повысить их надежность по показателю безотказности в 1,7-2 раза.

7. Предложена методика выбора основных конструктивных параметров и расчета масляного пылеуловителя и топливного фильтра-сепаратора.

**Основные положения диссертационной работы отражены в следующих публикациях:**

1. Исаенко А.В. Совершенствование системы очистки топлива при эксплуатации строительных и дорожных машин / Г.Г. Петров, П.В. Шевченко, А.В. Исаенко, Д.Е. Пивнев // Материалы международной научно-практической конференции «Проблемы эксплуатации транспортных систем в суровых условиях». - Тюмень, 2002 – 5 с.

2. Исаенко А.В. Анализ технического состояния топливоподающей системы автотракторных дизелей при эксплуатации в условиях угольного разреза / Э.И. Удлер, В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко // Сб. науч. трудов Лесотехнического института ТГАСУ, вып. 2, Томск, 2003 – 7 с.

3. Исаенко А.В. Масляный пылеуловитель для топливных резервуаров: пат. №2257487 Рос. Федерации / Э.И. Удлер, С.А. Зыков, А.В. Исаенко // опубл. 27.07.2005, Бюл. № 21. – 7 с.: ил.

4. Исаенко А.В. Пылеуловитель для топливных систем дизелей строительных и дорожных машин / Э.И. Удлер, С.А. Зыков, В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко // «Вестник» ТГАСУ, № 1, Томск 2006.-5 с.

5. Исаенко А.В. Повышение эксплуатационной надежности топливных систем дорожных и строительных машин / Э.И. Удлер, В.Д. Исаенко, А.В. Исаенко // Ж. «Механизация строительства», № 9, Москва 2006. – 2,5 с.



Изд. лиц. №021253 от 31.10.97. Подписано в печать *24.11.06.*  
Формат 60х90/16. Бумага офсет. Гарнитура Таймс,  
печать офсет.

Уч.-изд. л. 2. Тираж 100 экз. Заказ № *384*

Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.  
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ.  
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.