

на правах рукописи

**СПИРИН ЕВГЕНИЙ НИКОЛАЕВИЧ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬ-  
НЫХ И ДОРОЖНЫХ МАШИН ПУТЕМ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СМА-  
ЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

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** кандидат технических наук, доцент  
**Аметов Винур Абдурафиевич**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор, академик АПК  
**Веригин Юрий Алексеевич**

Ведущая организация Сибирская автомобильно-дорожная академия (СибАДИ).

Защита диссертации состоится 17 ноября 2006 г. в 10-00 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

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Кравченко С.М.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Повышение надежности строительных и дорожных машин путем совершенствования их конструкции и эффективности использования в условиях эксплуатации, а также рационального применения смазочных материалов является задачей большого народнохозяйственного значения.

Большой вклад в решение проблемы надежности машин внесли работы многих отечественных и зарубежных ученых: Ф.Н. Авдонькина, Ю.К. Беляева, В.С. Бочарова, Д.П. Великанова, Д.П. Волкова, Н.Я. Говорущенко, В.А. Зорина, Е.С. Кузнецова, А.Д. Соловьева, А.И. Селиванова, К.П. Чудакова, Р. Барлоу, Л. Хунтера, Ф. Прошана, В. Радановича и др.

Как показывает практика, ресурс строительных и дорожных машин зачастую реализуется не более чем на 50%. Это обусловлено отсутствием эффективных методов управления надежностью агрегатов, позволяющих выявить неисправности на стадии развития и предотвратить их. Анализ прогрессивных методов показал, что для управления надежностью машин наиболее целесообразными являются диагностирование по параметрам работающего масла и улучшение его эксплуатационных свойств. В этой области наибольшую известность получили работы научных коллективов под руководством А.П. Болдина, С.К. Кюрегяна, Л.В. Мирошникова, А.И. Соколова, М.А. Сомова, В.В. Чанкина, Я.Б. Шора и др.

Улучшение эксплуатационных свойств масел ведется на стадии разработки и производства, а также в процессе их применения модифицированием как физическими методами (очистка, воздействия электромагнитным полем, ультразвуком и т.д.), так и химическими (введением присадок и добавок). Однако в практике эксплуатации строительно-дорожных машин последние методы пока не получили должного распространения. А комплексное комбинированное физико-химическое воздействие на смазочные материалы в условиях непрерывного контроля их состояния практически не изучалось.

**Целью настоящей работы** являлось повышение эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин путем модифицирования смазочных материалов.

### **Основные задачи исследования:**

- провести комплексные теоретические и экспериментальные исследования надежности строительных и дорожных машин на базе информации, заключенной в работающем масле;
- разработать способ подконтрольного физико-химического модифицирования смазочных материалов путем введения медьсодержащей присадки и воздействия магнитным полем;
- разработать магнитоактиватор для физического модифицирования смазочных материалов;
- выполнить технико-экономическую оценку способа модифицирования моторных масел;
- провести внедрение результатов работы в практику эксплуатации строительных и дорожных машин и учебный процесс.

**Методы исследования.** В работе использовались: теория трения изнашивания и смазки, теория вероятности и математической статистики, спектральный анализ проб масла и отложений.

### **Научная новизна:**

Разработана структурная модель обеспечения эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин, позволяющая выбрать наиболее эффективные пути ее повышения.

Разработана классификация способов физико-химического модифицирования смазочных материалов, позволяющих улучшить их эксплуатационные свойства.

Научно обоснован механизм модифицирования смазочных материалов.

Разработан новый способ повышения износостойкости пар трения и улучшения антифрикционных и противозадирных свойств смазочного масла за счет введения медьсодержащей присадки и воздействия магнитным полем. Предлагаемый способ защищен патентом РФ № 30867.

**Практическая ценность.** Практическая ценность заключается в усовершенствовании методов контроля и управления надежностью строительных и дорожных машин по параметрам работающего масла. С этой целью обоснован выбор и предложен ряд диагностических параметров, а так же метод высоковольтной диагностики работающего масла.

Разработан способ комплексного физико-химического модифицирования моторного масла введением присадки и воздействием магнитного поля непосредственно в условиях эксплуатации в течение всего его жизненного цикла, в том числе на борту машины.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе при чтении лекций и проведении практических занятий студентов специальности «Подъемно-транспортные и дорожно-строительные машины»

### **На защиту выносятся**

- Системный анализ методов повышения надежности строительных и дорожных машин, на основе которого создана и представлена их классификация, позволяющая наглядно и обзорно провести систематизацию средств и способов модифицирования смазочных материалов, а также путей повышения качества масел на основе практики известных исследований и проведенных автором натурных испытаний.
- Созданные и защищенные авторскими свидетельствами и патентами новые устройства и способы, позволяющие существенно повысить долговечность двигателей строительных и дорожных машин.
- Разработанные теоретические положения в области модифицирования смазочных материалов и диагностики по параметрам масла. Результаты эксплуатационных испытаний пневмоколесных фронтальных одноковшовых погрузчиков БелАЗ-7822.

**Реализация работы.** В результате выполненной работы разработаны и внедрены:

- технология физико-химического модифицирования моторного масла фронтальных погрузчиков БелАЗ-7822 в ЗАО «Стройсервис» (г. Белово);
- диагностика строительных и дорожных машин по параметрам работающего масла в ОАО «Соколовская автобаза» (г. Киселевск).

**Апробация работы.** Основные результаты доложены и обсуждены на научно-технической конференции «Архитектура и строительство. Наука, образование, технологии, рынок» (г. Томск, 2002), Всероссийской научно-технической конференции «Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем

транспортных машин» (г. Курган, 2003), Всероссийской научной конференции молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации» (г. Новосибирск, 2003). Кроме того, материалы диссертации обсуждались на научно-методических семинарах кафедр «Автомобили и тракторы» и «Строительные и дорожные машины» Томского государственного архитектурно-строительного университета (2001–2006).

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 2 патента РФ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, приложения и изложена на 134 страницах, из которых 116 страниц текста. Диссертация содержит 28 рисунков, 20 таблиц и список литературы из 129 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, новизна и практическая ценность.

**В первой главе** проведен обзор опубликованных работ, выполнен анализ теоретических и экспериментальных методов исследования надежности строительных и дорожных машин, определен предмет и поставлены цель и задачи исследований.

При рассмотрении надежности машины в целом необходимо учитывать надежность ее отдельных элементов. С этой точки зрения любую машину можно представить как сложную систему. Элементы этой системы не резервируются, то есть выход из строя любого элемента системы приведет к отказу машины в целом. Поэтому для повышения надежности машины необходимо выявить самый ненадежный элемент. Так, по данным ЗАО «Стройсервис» простой СДМ в текущем ремонте по причине неисправности двигателя составляют 10,5%, трансмиссии – 42,4%. Таким образом, на устранение неисправностей силовых установок приходится 52,9% простоев всех эксплуатирующихся СДМ. Это связано с неустановившимся режимом работы и значительной перегрузкой при выполнении технологического цикла. На этот процесс оказывает влияние неоднородность разрабатываемых грунтов и материалов, изменение рельефа рабочего участка, субъективные качества машиниста, техническое состояние машины, погодные условия и т.д.

Традиционно долговечность трущихся деталей повышается за счет улучшения антифрикционных, противоизносных, противозадирных, реологических и других свойств поверхностей трения, приводящих к повышению их износостойкости, химической стойкости и т.п. Глубокие исследования М.М. Хрущева, Б.Н. Костецкого, Б.И. Дерягина, И.В. Крагельского и многих других исследователей позволили разработать фундаментальные положения о формировании триботехнических свойств соединений. На этой базе разработаны новые перспективные способы восстановления и упрочнения деталей трибосопряжений и усовершенствованы известные.

Наиболее перспективным способом повышения долговечности и, соответственно, надежности агрегатов машин с замкнутой системой смазки является модифицирование смазочных материалов. Эта технология позволяет повысить износостойкость трущихся деталей с наименьшими затратами. Наиболее эффективными

способами модифицирования являются воздействие магнитным полем и введение присадок и добавок. Как показали многочисленные исследования на различных жидкостях, в том числе смазочных материалах, максимальный эффект воздействия может быть достигнут приложением неоднородного асимметричного магнитного поля.

**Во второй главе** проведен теоретический анализ основных факторов, влияющих на долговечность силовых установок.

В основу оценки долговечности агрегатов механических систем исследуемых машин положена информация, заключенная в работающем масле и пробах отложений. Количественные параметры получены эмиссионным спектральным анализом. Долговечность двигателей оценивалась по прогнозируемому остаточному ресурсу. В настоящее время для математического описания процессов накопления продуктов износа в масле и отложениях целесообразно использовать уравнение баланса. По балансу поступления продуктов износа строится линия износа, и получаются аналитические зависимости вида  $G = f(T)$  или  $G = f(l)$ . Дифференцируя эти уравнения, можно определить скорость изнашивания и, соответственно, остаточный ресурс.

В общем виде уравнение баланса продуктов износа, поступающих в масляную систему агрегата с системой очистки, можно представить следующей формулой:

$$G = G_m + G_y + G_\phi + G_{oc}, \quad (1)$$

где:  $G$  – общее количество металла,  $G_m$  – количество металла, циркулирующего с работающим маслом;  $G_y$  – количество металла, потерянного с угаром или утечкой масла;  $G_\phi$  – количество металла, задержанного масляным фильтром;  $G_{oc}$  – количество металла, выпавшего в осадок в разных частях масляной системы.

Однако применение этого метода связано с рядом проблем. Одной из них является стохастическое распределение продуктов износа в различных частях масляной системы. Такое распределение продуктов износа может быть причиной существенных ошибок в его оценке непосредственно по величине концентрации в масле. Поэтому применение дифференциальной оценки процесса изнашивания для агрегатов, имеющих очистку, нецелесообразно. Таким образом, затруднена оценка износа каждой конкретной машины, но в группе однотипных машин, работающих в одинаковых условиях эксплуатации случайные колебания концентрации усредняются. Поэтому для математического моделирования изнашивания нужно пользоваться интегральными показателями. В качестве такого показателя предлагается использовать числовые характеристики плотности распределения концентрации продуктов износа в работающем масле. Мерой оценки относительного износа следует принять моду, медиану и величину математического ожидания. Для характеристики рассеивания износа целесообразно воспользоваться дисперсией и среднеквадратичным отклонением.

Математическая модель изнашивания агрегатов, не имеющих системы очистки в общем виде может быть представлена выражением:

$$C_{me} = f(\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n), \quad (2)$$

где:  $\Phi_1, \dots, \Phi_n$  – факторы влияющие на износ.

В простейшем случае эта зависимость представляет собой линейную регрессию. Как правило, применяют абразивную и абразивно-коррозионную модели изнашивания вида:

$$C_{Me} = a_0 + a_1 C_{Si}, \quad (3)$$

$$C_{Me} = a_0 + a_1 C_{Si} + a_2 \text{ЩЧ}, \quad (4)$$

где:  $C_{Me}$  – концентрация металла в работающем масле агрегата;  $C_{Si}$  – концентрация кремния в работающем масле; ЩЧ – щелочное число.

В ряде работ предлагается использовать подобные модели второго и более высоких порядков. Однако эти модели трудно поддаются интерпретации и используются в основном для оценки изнашивания деталей в условиях приработки и аварийных износов.

В настоящей работе для агрегатов строительных и дорожных машин с замкнутой системой смазки без очистки предлагается использовать модель вида:

$$C_{Me} = a_0 + a_1 t + a_2 t^2, \quad (5)$$

где:  $t$  – время работы узла или агрегата механической системы.

Коэффициенты уравнения имеют следующий физический смысл:  $a_0$  – исходная концентрация химического элемента в свежем смазочном материале,  $a_1$  – характеризует интенсивность поступления химического элемента за элементарный акт трения (ход поршня, зубчатое зацепление и т.д.),  $a_2$  – учитывает увеличение интенсивности изнашивания трущихся деталей при поступлении в смазочную систему абразива, содержащегося в воздухе и продуктах изнашивания.

Выполненный литературный обзор позволил разработать классификацию модифицирующих воздействий (рис. 1). Для обеспечения экономической эффективности необходимо комплексное физико-химическое модифицирование смазочного материала. Воздействие магнитным полем одновременно с введением присадки позволяет повысить эксплуатационные свойства смазочного материала. Это происходит благодаря увеличению объема присадки в узле трения в процессе его работы, лучшему удержанию активной части присадки на поверхности трения под воздействием магнитного поля, возможности многократной подачи одних и тех же частиц присадки при их отрыве от поверхности трения. По мере увеличения срока службы машины усилению эффекта от совместного использования присадки и магнитного поля способствует то обстоятельство, что в смазочном материале вместе с присадкой циркулирует все большее количество частиц износа, среди которых преобладает железо. За счет сил адгезии поверхностно-активных веществ (ПАВ) в смазочном материале эти частицы в виде комплексных соединений циркулируют в масляной системе, что позволяет осуществлять перенос частиц присадки к парам трения под действием магнитного поля.

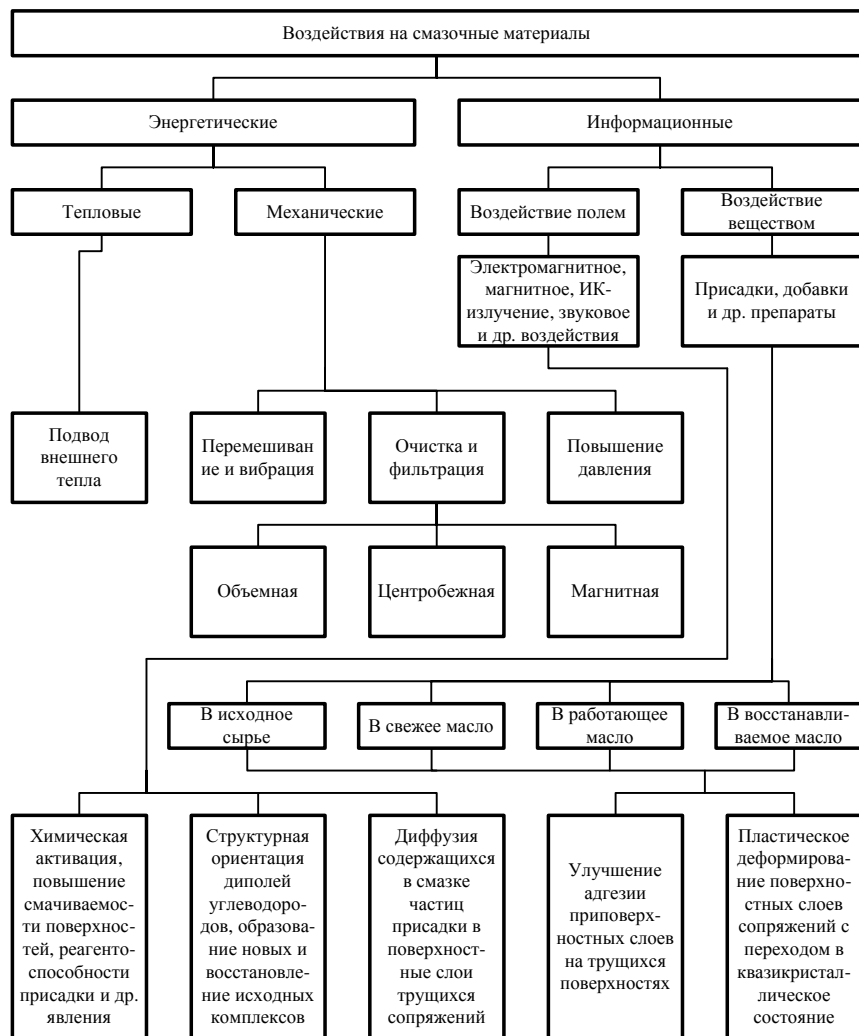


Рис. 1 Классификация модифицирующих воздействий.

**В третьей главе** рассмотрены методологические вопросы экспериментальных исследований, включающие выбор в качестве объектов исследования двигателей фронтальных погрузчиков БелАЗ-7822, выбор показателей оценки технического состояния, свойств и состояний работающего масла, план проведения эксплуатационных испытаний, предусматривающий определение количества машин в экспериментальной группе, периодичность отбора проб масла, достоверности полученных результатов.

Сущность предлагаемой методики состоит в проведении комплекса сравнительных испытаний смазочных материалов в лабораторных условиях, на стендах и в эксплуатации. В качестве лабораторных испытаний выбраны стандартные методики определения вязкостно-температурных, диспергирующих и других их эксплуатационных свойств. Триботехнические испытания проводились на автоматизированном испытательном комплексе, разработанном в лаборатории гидромашин кафедры теплоснабжения и вентиляции ТГАСУ, состоящем из машины трения и системы автоматизированного управления для задания нагрузки и фиксирования результатов.

В дальнейшем испытания проводились на модельной установке, имитирующей реальные процессы, происходящие при работе узлов и агрегатов машин. В

качестве модели ЦПГ в настоящей работе предлагается использовать стенд, состоящий из поршневого компрессора, системы смазки и пневматической системы, позволяющей поддерживать постоянный режим работы.

Эксплуатационные испытания проводились на фронтальных погрузчиках большой единичной мощности БелАЗ-7822, работающих в наиболее тяжелых дорожных условиях (дороги без усовершенствованного покрытия, повышенная запыленность воздуха, большой перепад высот и т.д. Для испытаний были выбраны 6 машин с наработкой с начала эксплуатации в пределах 1...5 тыс. моточасов, двигатели которых капитально не ремонтировались.

Согласно принятой методике испытания проводились в два этапа и в следующей последовательности. Продолжительность каждого этапа принята равной периодичности технического обслуживания ТО-2, что составляет для условий 400 моточасов. На I и II этапах наблюдения у всех шести машин между плановыми техническими обслуживаниями ТО-2 были отобраны пробы работавшего масла на анализ с периодичностью 40 моточасов. При этом в начале II этапа при ТО-2 в моторное масло была введена присадка «Гарант-М» в концентрации 0,3%, на двигатели были установлены магнитоактиваторы на участке маслопровода, по которому моторное масло сливается в картер двигателя. При этом важно соблюдать прочие равные условия, чтобы исключить влияние посторонних факторов (технического состояния агрегата, дорожных и климатических условий и др.) на темп изнашивания деталей. Количество автомобилей в группе определяется с учетом требуемого в машиностроении уровня доверительной вероятности ( $\alpha = 0,95$ ) по формуле

$$N_{\alpha} = Z_{\alpha}^2 \frac{V^2}{\delta^2}, \quad (6)$$

где  $Z_{\alpha}$  – табулированный уровень достоверности результатов при заданном значении  $\alpha$ ;  $V$  – коэффициент вариации;  $\delta$  – погрешность измерений.

Периодичность проб масла для анализа определялась как:

$$\Delta L = L_{\text{ТО}} \frac{k_1}{n}, \quad (7)$$

где  $L_{\text{ТО}}$  – периодичность ТО-2;  $k_1$  – коэффициент корректирования пробега автомобиля до технического обслуживания;  $n$  – количество отборов проб масла.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальных исследований долговечности двигателей фронтальных погрузчиков в условиях эксплуатации.

На первом этапе проведены лабораторные испытания устройств магнитной обработки смазочных материалов. Из обзора литературы и теоретических исследований сделан вывод о том, что эффективность воздействия магнитным полем на жидкие системы зависит от следующих четырех основных факторов: физико-химического состава жидкостей, включая как основные компоненты, так и компоненты в виде функциональных добавок и присадок, комбинации магнитов, образующих определенную структуру магнитного поля, величины магнитной индукции, скорости протекания жидкости через систему магнитов.

В результате испытаний установлено существенное влияние магнитоактиватора на изменение физико-химических показателей работающего масла, в том числе рН, кинематическую вязкость при 20 °С, щелочное число и показатель

моюще-диспергирующих свойств. Наибольшее снижение вязкости достигнуто при воздействии ассиметричным полем. Кинематическая вязкость при 22°C снизилась соответственно на 11 и 3,2%. Таким образом наиболее эффективным способом физического модифицирования является воздействие ассиметричным магнитным полем.

Результаты триботехнических испытаний приведены на рис. 2. Так, при добавлении медьсодержащей металлоплакирующей присадки в количестве 0,3% от общей массы масла наблюдается заметное снижение момента и коэффициента трения по сравнению с чистым маслом. При воздействии магнитного поля коэффициент и момент трения также снизились, а, кроме того, произошло повышение несущей способности масляной пленки. Как видно из рисунка, снижение коэффициента трения составило в среднем 25%. Полученные данные могут быть аппроксимированы экспоненциальной зависимостью. Можно предположить, что при воздействии магнитного масла интенсифицируются адсорбционные процессы на поверхностях трибосопряжения.

Результаты модельных испытаний приведены на рис. 3. Установлено положительное влияние модифицирование на снижение изнашивания трущихся деталей компрессора. Наиболее эффективно комплексное вещественно-полевое воздействие. Так, темп износа основных трущихся деталей снизился в среднем соответственно:

- по поршневым кольцам в 1,3 ...1,5 раза;
- по вкладышам (подшипникам скольжения) в 1,2...1,4 раза.

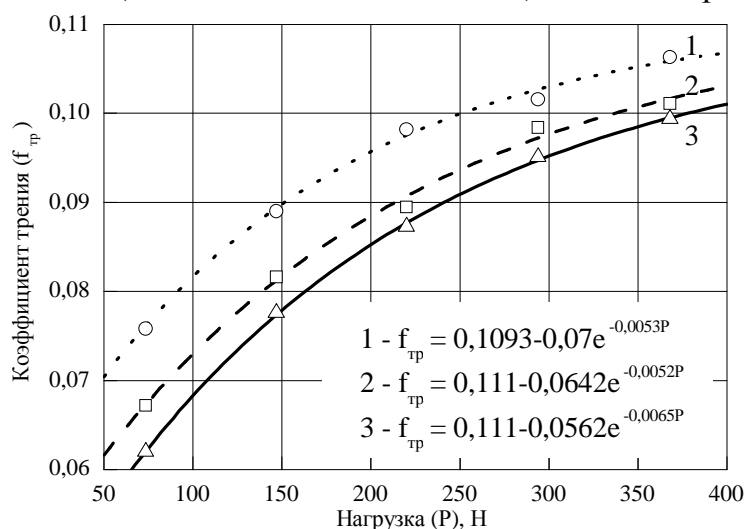


Рис. 2 Зависимости коэффициента трения от нагрузки без модифицирования (1), введение присадки «Гарант-М» (2), введение присадки «Гарант-М» при воздействии магнитного поля (3).

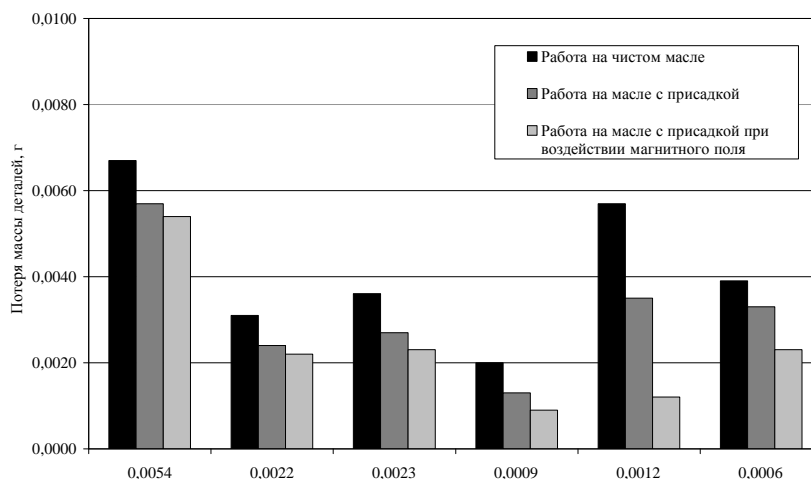


Рис. 3 Результаты взвешивания основных трущихся деталей компрессора по цилиндрам.

Результаты физико-химического анализа, так же подтвердили эффективность предлагаемого метода. Улучшены кислотно-щелочные свойства работающего масла. Щелочное число возросло на 10%, что может свидетельствовать об интенсификации процесса массопереноса. Результаты спектрального анализа показали снижение концентрации основных элементов-индикаторов износа в масляной системе компрессора. Наименьшая концентрация соответствует физико-химическому модифицированию. Таким образом, показано снижение износа других деталей компрессора, не подвергавшихся взвешиванию. Концентрация железа снизилась в 1,4 раза, алюминия в 1,3 раза, свинца в 1,1 раза и кремния в 1,2 раза.

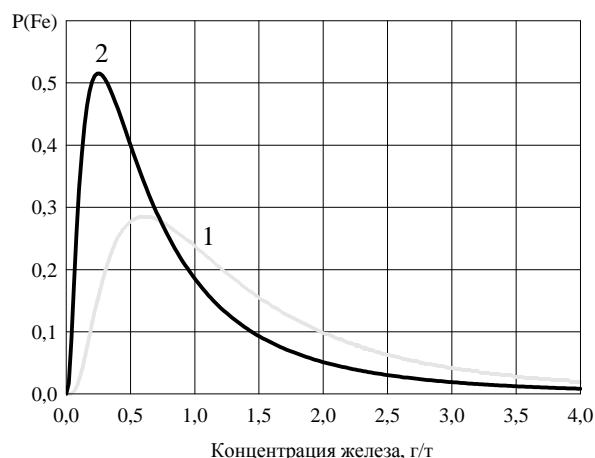


Рис. 4 Функции плотности распределения железа в работающем масле экспериментальной группы машин до (1) и после физико-химического модифицирования (2)

Анализ результатов эксплуатационных испытаний позволил установить, что концентрация химических элементов индикаторов износа подчиняется логарифмически нормальному закону распределения. Это объясняется тем, что часть времени машины работают с неисправностями, приводящими к повышенному износу деталей.

Как видно из рис. 5, математическое ожидание, соответствующее работе до модифицирования моторного масла, выше в 1,62 раза, чем при работе в условиях модифицирования. Аналогичные зависимости получены и для других химических элементов, где снижение износа по математическому ожиданию составило не менее 25...30%.

**В пятой главе** выполнен расчет прогнозируемого и полного ресурса фронтальных погрузчиков БелАЗ-7822, обоснованы диагностические параметры трибосистемы «ДВС-масло», выполнен расчет годового экономического эффекта от внедрения системы управления надежностью машин и физико-химического модифицирования моторного масла.

В процессе эксплуатационных испытаний фронтальных погрузчиков БелАЗ-7822 были определены диагностические параметры системы «ДВС-масло» (табл. 1), при достижении которых происходит резкое увеличение изнашивания трущихся деталей.

Таблица 1

**Диагностические параметры системы «ДВС-масло»**

Параметры диагностики		Номинальное значение	Предельное значение
Кинематическая вязкость при 100°C, сСт		10	±10%
Содержание негорючих примесей, %		0,05	0,1
Водородный показатель		4,1	9...12
Зольность масла, %		1	1,5...2,5
Наличие воды		отс	следы
Температура вспышки, °С		208	170
Концентрация элементов-индикаторов износа, г/т	Fe	8	40
	Cr	2	20
	Pb	1	20
	Ni	0,5	10
	Si	2	25

Основной причиной ухудшения качества масла является загрязнение водой, топливом, механическими примесями, связанное с неисправностями в работе различных систем двигателя или условиями эксплуатации.

Для обеспечения оперативного управления состоянием работающего масла необходимы методы его экспресс-диагностики. В качестве одного из таких методов нами предлагается метод высоковольтной оценки степени выработки ресурса смазочного материала.

На наш взгляд, дальнейшим развитием системы диагностики является система управления надежностью машин, установленная непосредственно на борту, которая включается в масляную систему (рис. 6).

По закономерностям изнашивания трущихся деталей двигателей установленным в результате эксплуатационных испытаний выполнено прогнозирование их остаточного ресурса. Повышение полного ресурса двигателей до капитального ремонта произошло в среднем в 1,3 раза или с 8301 до 10757 моточасов (табл. 2).

Таблица 2

**Результаты расчета остаточного ресурса двигателей фронтальных погрузчиков БелАЗ-7822**

Этапы эксперимента	Машина	Наработка на момент прогноза, моточасы	Остаточный ресурс, моточасы	Полный ресурс машины, моточасы
Обычные условия эксплуатации	25	565	7555	8120
	26	1230	6626	7856
	27	785	7820	8605
	31	745	6678	7423
	56	245	8431	8676
	58	1405	7718	9123
Физико-химическое модифицирование моторного масла	25	965	7604	8569
	26	1630	9706	11336
	27	1185	8315	9500
	31	1145	8437	9582
	56	645	12393	13038
	58	1805	10710	12515

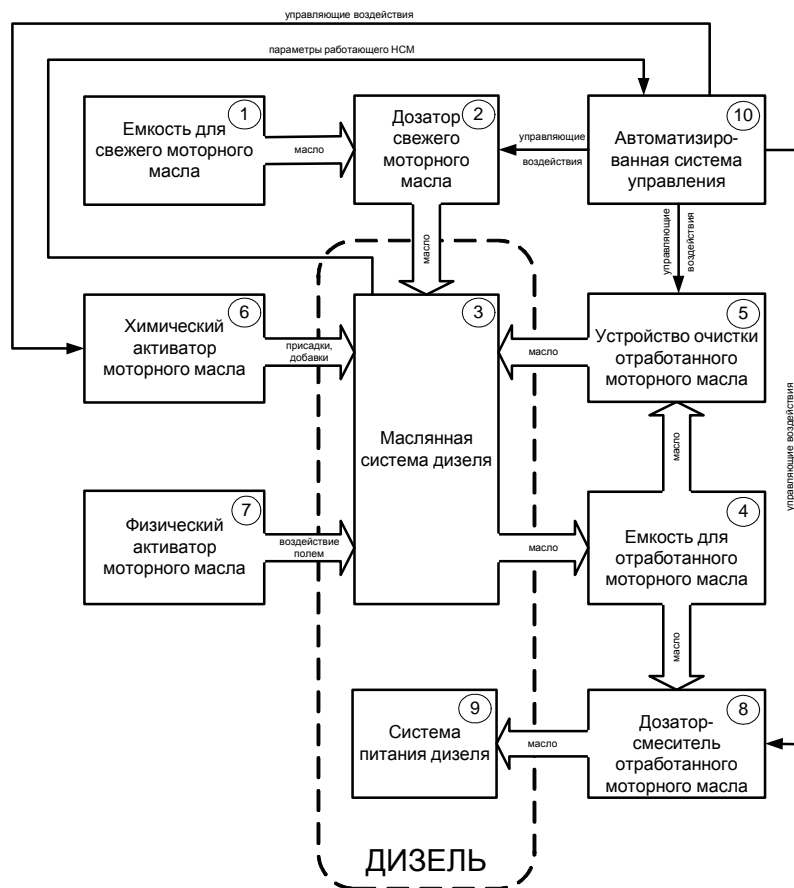


Рис. 6 Модифицирование смазочного материала и контроль качества работающего масла непосредственно на борту машины

Повышение моторесурса доказывает выдвинутые ранее теоретические положения. На основе прогнозируемого ресурса выполнен расчет экономического эффекта от внедрения предлагаемой технологии. Годовой экономический эффект от внедрения модифицирования моторного масла и управления техническим состоянием в ЗАО «Стройсервис» составил 180 тыс. руб. в пересчете на один фронтальный погрузчик БелАЗ-7822.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований можно сделать следующие заключения.

1. Установлено, что в реальных условиях эксплуатации ресурс «критических» по надежности деталей снижается в 1,3...1,5 раза, что приводит к длительным простоям машин. Основными причинами отказов являются неисправности систем очистки воздуха, масла, системы питания и охлаждения.

2. Разработана классификация различных способов модифицирования смазочных материалов. Обоснован выбор оптимального способа модифицирования.

3. Показана возможность диагностирования системы «ДВС-масло» методом эмиссионного спектрального анализа масла на фотоэлектрической установке в условиях комплексного физико-химического модифицирования смазочного материала.

4. Разработан метод оценки влияния низкоэнергетических воздействий на смазочные материалы по интегральным показателям.

5. Разработана методика стендового испытания способов модифицирования, реализованная на автомобильном компрессоре.

6. Разработана методика эксплуатационных испытаний ДВС СДМ, которая позволяет выявить при равных условиях работы ненадежные элементы и обосновать пути повышения их работоспособности.

7. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что наиболее эффективным путем повышения надежности двигателей строительных и дорожных машин является комплексное физико-химическое модифицирование моторного масла при помощи магнитоактиватора на основе постоянных магнитов и металлоплакирующей медьсодержащей присадки при непрерывном контроле и управлении надежностью машин по параметрам работающего масла.

8. Исследованы закономерности изнашивания в условиях комплексного физико-химического модифицирования моторного масла с использованием методов математической статистики.

9. Установлено, что в условиях модифицирования смазочного материала величина математического ожидания концентрации основных элементов-индикаторов износа снижается в среднем на 10...70%.

10. Определены диагностические параметры системы «ДВС-масло», позволяющие выявить неисправности, при достижении которых дальнейшая эксплуатация машины становится нецелесообразной.

11. На основании закономерностей процесса изнашивания выполнен расчет остаточного и полного ресурса двигателей фронтальных погрузчиков БелАЗ-7822. В результате модифицирования масла и управления техническим состоянием машин ресурс цилиндровых втулок, прогнозируемый по поступлению железа в масляную систему, возрастает в среднем на 30%.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

1. *Саркисов, Ю.С.* Физико-химическая механика и процессы управления трибосистемами транспортных машин / Ю.С. Саркисов, В.А. Аметов, К.Ю. Пеньков, Н.С. Елугачева, Е.Н. Спириин // Вестник машиностроения 2004. №1. С. 25–29.
2. *Аметов, В.А.* Исследование влияния физико-химических воздействий на триботехнические свойства смазочных масел / В.А. Аметов, Е.Н. Спириин, Н.С. Елугачева // Сб. науч. тр. Лесотехн. ин-та / ТГАСУ, Лесотехн. ин-т. – Томск, 2003. – Вып. 2. – С. 61–64
3. *Аметов, В.А.* Активация моторного масла магнитным полем / В.А. Аметов, Ю.С. Саркисов, Н.П. Горленко, Е.Н. Спириин, Н.С. Елугачева // Автомобильная промышленность. – 2006. – №6. – С. 58–57
4. *Спириин, Е.Н.* Процессы и аппараты по переработке работающих масел агрегатов горных транспортных машин / Е.Н. Спириин, Н.С. Елугачева // Наука. Технологии. Инновации: Материалы докладов Всероссийской научной кон-

- ференции молодых ученых. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. – Часть 2. С. – 157–158
5. *Аметов, В.А.* Модифицирование нефтяных смазочных масел агрегатов трансмиссии АТС / В.А. Аметов, Н.Т. Тищенко, Ю.С. Саркисов, Е.Н. Спирин // *Механика и процессы управления моторно-трансмиссионных систем транспортных машин: сборник кратких научных сообщений Всероссийской научно-технической конференции.* – Томск, 2003. – С. 181–183
  6. *Аметов, В.А.* Метод оценки влияния низкоэнергетических воздействий на эксплуатационные свойства автомобильных масел / В.А. Аметов, Е.Н. Спирин // *Архитектура и строительство. Наука, образование, технологии, рынок: тезисы докладов научно-технической конференции. Секция «Совершенствование технологий строительного производства, повышение эффективности труда, уровня технической надежности»* – Томск: 2002. – С. 49–50
  7. *Спирин, Е.Н.* Переработка смазочных материалов при эксплуатации транспортных машин / Е.Н. Спирин, Н.С. Елугачева, В.А. Аметов, Ю.С. Саркисов // *Экология и промышленность России.* – 2005. – №1 – С. 12–15
  8. *Аметов, В.А.* Оценка влияния металлосодержащих присадок на работоспособность трибосистемы ДВС-масло / В.А. Аметов, Е.Н. Спирин // *Вестник ТГАСУ.* 2002. – с. 27–31
  9. Устройство для обработки смазочных масел Патент РФ на полезную модель № 30867
  10. Аппарат физико-химической переработки моторных масел в процессе их эксплуатации Патент РФ на полезную модель № 33164