

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Колунина Александра Витальевича «Совершенствование процессов в смазочных системах поршневых автомобильных двигателей в условиях отрицательных температур», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.7 – Турбомашины и поршневые двигатели

1. Актуальность темы

Тема диссертационной работы, посвященная совершенствованию процессов в смазочных системах поршневых автомобильных двигателей в условиях отрицательных температур, является актуальной и своевременной. Это обусловлено стратегическими задачами РФ по освоению Арктической зоны и Северного морского пути, где надежное функционирование транспортной техники выступает критическим фактором экономической безопасности.

Научная актуальность исследования определяется необходимостью углубления фундаментальных знаний о физико-химических, тепло- и массообменных процессах в картерном пространстве при низкотемпературном воздействии. Автор предлагает переход от эмпирических решений к научному обоснованию механизма низкотемпературного осадкообразования, связывая процессы конденсации водяных паров с кинетикой деактивации присадок. Решение проблемы повышения эксплуатационной надежности двигателей в условиях холодного климата имеет важное хозяйственное значение.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных литературных источников и приложений.

Во *введении* обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая значимость и практическая ценность, дана общая характеристика диссертационной работы.

В *первой главе* диссертационной работы проведен комплексный анализ современного состояния исследований, посвященных влиянию отрицательных температур на надежность смазочных систем поршневых двигателей. Основное внимание уделено проблематике формирования низкотемпературных мазеобразных отложений, блокирующих элементы масляных магистралей и фильтров. Автором рассмотрены физико-химические процессы, протекающие при холодном пуске и прогреве, в частности, фазовые переходы влаги в картерных газах и накопление топливных

фракций, которые инициируют коагуляцию продуктов с низкой агрегатной устойчивостью. На основе систематизации литературных источников и эксплуатационной статистики разработана схема механизма низкотемпературного осадкообразования, а также выявлено отсутствие эффективных, научно обоснованных методов борьбы с периодическим обводнением моторного масла в экстремальных климатических условиях.

Анализ теоретических и практических аспектов проблемы позволил установить, что существующие разрозненные технические решения не обеспечивают стабильности процессов в смазочных системах при эксплуатации в условиях отрицательных температур, так как не учитывают в полной мере закономерности изменения свойств масел под воздействием водного конденсата. Сделан вывод о необходимости совершенствования рабочих процессов двигателей с целью минимизации поступления топливных фракций и влаги в картерное пространство, что требует углубленного изучения механизма низкотемпературного осадкообразования и разработки специальных мероприятий по мониторингу и защите смазочной среды, имеющих важное хозяйственное значение.

Во *второй главе* обоснована методология исследования, базирующаяся на системном подходе к анализу взаимодействия элементов системы «двигатель–масло», где моторное масло рассматривается как неотъемлемый конструктивный элемент. Описана программа теоретических и экспериментальных работ, направленных на изучение факторов, инициирующих деградацию смазочной среды и коррозионно-механический износ деталей в условиях низких температур. Автором детально рассмотрена структура связей внутри системы, включая влияние продуктов сгорания (оксидов азота, соединений серы) и водного конденсата на процессы окисления, полимеризации и коагуляции продуктов низкой агрегатной устойчивости. Представленная концепция предусматривает использование математического моделирования в сочетании с натурными экспериментами для выявления закономерностей образования отложений, снижающих пропускную способность масляных магистралей.

На основе примененного системного анализа сделан вывод, что критическим фактором снижения надежности двигателя является совокупное воздействие физико-химических процессов (адсорбция, абсорбция, диссоциация, полимеризация, механическое перемешивание), приводящих к формированию низкотемпературных отложений. Разработанная методология позволяет комплексно оценить влияние климатических факторов на состояние системы «двигатель-масло» и создает необходимую научную базу для разработки прикладных технических решений, направленных на предотвращение аварийного износа и повышение ресурса техники при эксплуатации в холодном климате.

Автором предпринята попытка реализации системного подхода, в рамках которого моторное масло рассматривается не как расходный эксплуатационный материал,

а как полноправный конструктивный элемент системы «двигатель-масло». Такой подход позволяет более глубоко анализировать взаимосвязи между рабочими процессами (сгорание, трение, теплообмен) и деградацией смазочной среды. Достоинством работы является структурная декомпозиция сложной технической системы на подсистемы и элементы, а также выделение внешних и внутренних факторов, влияющих на их состояние. Однако описание системы «двигатель-масло» в тексте носит преимущественно описательно-классификационный, а не функционально-аналитический характер. Целесообразно было бы сократить общетеоретические определения и сосредоточиться на построении конкретной схемы причинно-следственных связей, приводящих именно к низкотемпературному осадкообразованию, показав эффект взаимодействия выявленных факторов.

В *третьей главе* проведено теоретическое исследование процессов фазового перехода влаги в поршневых двигателях с выделением двух зон конденсации: внутрицилиндрового объема и картерного пространства. Предложен итерационный алгоритм расчета, учитывающий динамику прогрева охлаждающей жидкости и изменение парциальных давлений водяных паров в зависимости от угла поворота коленчатого вала. На основе классических теорий массообмена и критериальных уравнений автором разработаны математические модели, описывающие динамику накопления водного конденсата в зависимости от температурного режима прогрева, парциальных давлений и плотности потока массы. Особенностью моделирования процессов в картере является учет регрессионной зависимости расхода картерных газов от температуры охлаждающей жидкости. Апробация моделей произведена на примере двигателя КамАЗ-740.30, что позволило получить расчетные данные по массе сконденсированной влаги при различных начальных температурах пуска.

Результаты математического моделирования подтвердили неизбежность протекания активных конденсационных процессов при реализации действительного цикла на низкотемпературном режиме, позволив количественно оценить обводнение смазочной системы. Установлено, что для двигателя КамАЗ-740.30 при температуре минус 32 °С за один цикл прогрева происходит смена агрегатного состояния воды в количестве 2.9 г в цилиндрах и 5.3 г в картере, что в совокупности приводит к обводнению моторного масла и создает условия для формирования низкотемпературных отложений.

В *четвёртой главе* представлены результаты комплексных экспериментальных исследований, включающих натурные испытания автомобилей КамАЗ-5350 при температуре окружающей среды минус 32 °С и лабораторного моделирования процессов обводнения масла. В ходе натурального эксперимента установлены эмпирические зависимости расхода картерных газов от температуры охлаждающей жидкости и динамика накопления влаги в смазочной системе в процессе прогрева. Лабораторный этап, выполненный с применением методов атомно-эмиссионной спек-

троскопии, потенциометрического титрования и растровой электронной микроскопии, был направлен на изучение влияния водного конденсата на стабильность пакета присадок. Исследована кинетика изменения концентрации элементов-индикаторов (кальция, магния, цинка, фосфора) и щелочного числа в зависимости от степени обводнения, а также проведен фазовый анализ образующегося донного осадка.

Экспериментально подтверждено, что низкотемпературная эксплуатация способствует накоплению влаги в картере, что запускает необратимые физико-химические процессы деградации смазочного материала. Доказано, что вода выступает катализатором коагуляции и выпадения присадок в осадок: зафиксировано коррелирующее снижение щелочного числа и содержания активных элементов (Ca, Mg, Zn, P) в объеме масла с одновременной их идентификацией в составе твердой фазы отложений. Полученные данные верифицируют гипотезу о том, что механизм низкотемпературного осадкообразования базируется на связующем влиянии водного конденсата на продукты низкой агрегатной устойчивости, приводящем к обеднению пакета присадок и потере защитных свойств масла.

В *пятой главе*, в рамках совершенствования систем предпусковой тепловой подготовки, автор предлагает техническое решение – тепловой аккумулятор фазового перехода индукционного типа (ТАФПИТ). Данное устройство призвано решить важную прикладную задачу снижения энергозатрат на предпусковую подготовку двигателя и, как следствие, уменьшения времени работы на режимах, способствующих активному поступлению топливных фракций в смазочную систему. Научной ценностью раздела является экспериментальное исследование кинетики зарядки/разрядки аккумулятора и разработка методики расчета мощности индукционного нагревателя на основе аксиально-симметричной модели, учитывающей электромагнитные и тепловые процессы. Предложенный подход к использованию энергии фазового перехода теплоаккумулирующего материала в сочетании с высокоэффективным индукционным нагревом соответствует современным тенденциям в энергосбережении на транспорте.

Для улучшения пусковых качеств и повышения полноты сгорания топлива разработано газозлектрофакельное устройство (ГЭФУ), использующее автомобильный пропан вместо дизельного топлива. Научная и практическая ценность данного раздела заключается в экспериментальном подтверждении гипотезы о том, что использование топлива с лучшей испаряемостью позволяет получить более устойчивый факел во впускном коллекторе, повысить температуру воздушного заряда (в 1.7 раза по сравнению со штатным ЭФУ) и снизить предельную температуру холодного пуска до минус 25 °С, что существенно сокращает поступление несгоревших топливных фракций в смазочную систему. Применение непараметрического критерия Манна-Уитни (избыточного для инженерной практики) для статистической обработки результатов эксперимента свидетельствует о стремлении автора к достоверности полученных выводов.

С целью минимизации конденсационных процессов в картере предложена конструкция автоматически управляемой приточно-нагреваемой системы вентиляции. Расчетным путем доказано, что принудительное нагнетание в картерное пространство холодного атмосферного воздуха (обладающего низким влагосодержанием) с его последующим нагревом приводит к снижению парциального давления водяных паров и понижению температуры точки росы (в рассмотренном примере – до 27.5 °С), тем самым предотвращая образование водного конденсата в масле. Предложенный алгоритм автоматического управления по сигналу термореле в поддоне обеспечивает автономность работы системы. Раздел 5.3 напрямую соответствует теме диссертации т.к. предлагаемое техническое решение направлено на управление массообменными процессами непосредственно в картерном пространстве. Снижение влажности картерных газов и точки росы влияет на интенсивность обводнения масла и накопление низкотемпературных отложений, что является одной из ключевых задач исследования.

В заключительном подразделе пятой главы автор предлагает инновационный подход к техническому обслуживанию смазочных систем – безразборную ультразвуковую очистку картерного пространства. Новизна заключается в теоретическом обосновании возможности применения кавитационного воздействия для разрушения низкотемпературных отложений (асфальтенов, карбенов) непосредственно внутри двигателя. Автор подробно анализирует физику процесса (уравнения Рэлея-Плессета, Миннерта), факторы эффективности очистки (вязкость, температура, частота) и обосновывает выбор магнитострикционных излучателей. Экспериментальное подтверждение эффективности метода (удаление 32 г отложений за 20 минут) свидетельствует о высокой практической значимости разработки для продления ресурса двигателей, эксплуатируемых в тяжелых условиях.

Обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований позволило сформировать комплекс научно обоснованных технических решений, направленных на снижение негативного воздействия отрицательных температур на систему «двигатель-масло». Установлено, что совокупное применение индукционной тепловой подготовки, газовой пусковой аппаратуры, активного управления вентиляцией картера и ультразвуковой очистки обеспечивает эффективное управление тепло- и массообменными процессами, значительно снижая интенсивность обводнения масла и накопления топливных фракций, что способствует повышению эксплуатационной надежности поршневых двигателей в условиях холодного климата.

В конце диссертации приводятся основные *результаты* исследования и *выводы*. Они конкретны, соответствуют задачам исследования, обладают новизной, подтверждены экспериментальными и расчетными данными, приведенными в работе. Автором намечены пути продолжения работ по теме исследования.

Достоверность и обоснованность результатов исследования подтверждается экспериментальными данными, полученными с использованием современного

оборудования, методик испытаний, соответствующих нормативно-техническим документам, оценкой точности измерений, применением апробированных математических моделей, сравнением полученных результатов с данными других исследователей.

Научная новизна. Научная новизна диссертационной работы заключается в решении важной научно-технической проблемы повышения эксплуатационной надежности поршневых двигателей при низкотемпературном воздействии и определяется следующими результатами:

- В теоретическом плане: Разработана и научно обоснована схема механизма низкотемпературного осадкообразования, которая, в отличие от существующих, рассматривает процесс как комплексное взаимодействие продуктов низкой агрегатной устойчивости и влаги в картерных газах. Доказана роль водного конденсата как инициатора усиления межмолекулярных взаимодействий, приводящих к коагуляции присадок и образованию осадка.

- В области математического моделирования: Предложены математические модели конденсационных процессов в цилиндре и картерном пространстве, адаптированные для нестационарных режимов прогрева поршневых двигателей. Особенностью моделей является итерационный подход к расчету смены агрегатного состояния воды на основе динамики парциальных давлений, плотности потока массы и регрессионной зависимости расхода картерных газов от температуры охлаждающей жидкости.

- В экспериментальном плане: Получены новые эмпирические зависимости массового накопления водного конденсата в смазочной системе от температурного режима картерных газов. На количественном уровне установлены закономерности содержания элементов-индикаторов присадок (Ca, Mg, Zn, P) и щелочного числа в зависимости от концентрации воды, а методом растровой электронной микроскопии доказан факт перехода данных элементов из объема масла в состав твердой фазы низкотемпературных отложений.

Новизна научных результатов исследований, представленных автором на защиту, отражена в выводах.

3. Практическая ценность результатов и реализация диссертационной работы

Практическая значимость диссертации подтверждается возможностью использования полученных результатов для совершенствования конструкций и технологий эксплуатации двигателей в условиях Крайнего Севера:

- разработанная методика расчета мощности индукционного устройства позволяет проектировать энергоэффективные тепловые аккумуляторы фазового перехода (ТАФПИТ), сокращающие время предпусковой подготовки;

- предложенное техническое решение по применению газозлектрофакельного устройства (ГЭФУ) на топливе легкого фракционного состава обеспечивает снижение температуры успешного пуска до минус 25 °С и снижает поступление топливных фракций в смазочную систему;

- внедрение автоматически управляемой приточно-нагреваемой системы вентиляции картера позволяет управлять точкой росы картерных газов, минимизируя обводнение масла;

- разработанный способ ультразвуковой безразборной очистки поверхностей картера доказал свою эффективность в удалении мазеобразных отложений, что способствует восстановлению ресурса смазочной системы.

Результаты диссертационной работы применяются на многих предприятиях и в организациях, связанных с производством и эксплуатацией автомобильных дизелей. Внедрение подтверждено актами.

4. Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научной печати

По результатам диссертационного исследования автором опубликована 41 печатная работ, в том числе: 19 – в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, 3 патента и 4 свидетельства на программы для ЭВМ, 1 монография. Основные результаты диссертации изложены с достаточной полнотой.

При написании диссертации соискатель давал ссылки на авторов и источники, откуда он заимствовал материалы или отдельные результаты, а при использовании разработок, выполненных с соавторами, отмечал это в диссертации. Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

5. Замечания по работе

1. Расчетная мощность ТАФПИТ, необходимая для эффективного разогрева (около 14 кВт при минус 40 °С), представляется трудно реализуемой от штатной бортовой сети автомобиля без внешних источников питания, что ограничивает автономность применения разработки.

2. Предложение использовать пропан-бутановую смесь для ГЭФУ при температурах ниже минус 25...30 °С требует уточнения способа подачи топлива, так как давление насыщенных паров газа в этих условиях критически падает. Также не приведена количественная оценка влияния сжигания газа во впускном коллекторе на индикаторные показатели рабочего цикла дизеля (снижение наполнения цилиндров кислородом).

3. Принудительное нагнетание воздуха в картер требует оценки гидравлического сопротивления штатной системы вентиляции во избежание роста внутрикартерного давления и выдавливания масла через уплотнения.

4. Не рассмотрен риск эрозионного повреждения антифрикционного слоя вкладышей подшипников при ультразвуковой очистке и проблема «теневых зон» в картере сложной формы, снижающая эффективность обработки удаленных полостей.

5. Пункт научной новизны о подтверждении негативного влияния воды на присадки целесообразно конкретизировать: новизна заключается не в самом факте (известном в химмотологии), а в установлении количественных закономерностей кинетики этого процесса в условиях низкотемпературного пуска и идентификации фазового состава осадка.

6. Связь между применением ТАФПИТ/ГЭФУ и состоянием смазочной системы носит косвенный, логически выстроенный характер, что создает впечатление некоторой искусственности их привязки к основной теме исследования, так как данные разработки являются самостоятельными техническими решениями для систем охлаждения, предпусковой подготовки и облегчения пуска двигателя.

Высказанные замечания не снижают научной и практической ценности исследования.

6. Заключение

Подводя итог сказанному выше можно заключить, что диссертация Колунина Александра Витальевича «Совершенствование процессов в смазочных системах поршневых автомобильных двигателей в условиях отрицательных температур» является законченной научно-квалификационной работой, в ходе которой решена научная проблема повышения эксплуатационной надежности и ресурса поршневых двигателей в условиях холодного климата на основе установления закономерностей механизма низкотемпературного осадкообразования и разработки комплекса технических решений по управлению тепло- и массообменными процессами в системе «двигатель – масло».

Диссертация соответствует пунктам 1, 2 и 4 паспорта специальности 2.4.7 – Турбомашин и поршневые двигатели, так как в ней выполнено исследование тепло- и массообменных и физико-химических процессов в смазочной системе, а также принципов функционирования вспомогательного оборудования, разработаны физико-математические модели процессов конденсации в цилиндре и картере, проведены экспериментальные исследования с целью повышения надежности и эффективности эксплуатации систем поршневых двигателей в условиях отрицательных температур.

Диссертация обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в

науку. В работе приведены сведения о практическом использовании полученных научных результатов. Предложенные автором диссертации решения аргументированы и оценены по сравнению с другими известными решениями. Основные научные результаты диссертации опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

На основании изложенного считаю, что работа соответствует критериям п. 9...14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденному постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (редакция от 16.10.2024) в отношении требований, предъявляемых к докторским диссертациям, а её автор – Колунин Александр Витальевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.7 – Турбомашин и поршневые двигатели.

Главный научный сотрудник лаборатории исследований моторно-трансмиссионного блока автомобильной, дорожно-строительной и специальной техники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», доктор технических наук (специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели), доцент

Против включения персональных данных, содержащихся в отзыве, в документы, связанные с защитой указанной диссертации, и их дальнейшей обработки не возражаю.



Малозёмов Андрей Адиевич

«25» 02 2026 г.

Адрес: Россия, 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76

<https://www.susu.ru>

Телефон: +7 (351) 267-99-27

Адрес электронной почты: malozemovaa@susu.ru



ВЕРНО
Начальник службы
делопроизводства ЮУрГУ
Н.Е. Циулина

