

**На правах рукописи**



**МАЧЕХИН НИКОЛАЙ ЮРЬЕВИЧ**

**ВЛИЯНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА РАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ВЫБОР И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЗАМЕНЫ МОТОРНЫХ МАСЕЛ  
ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

Специальность 05.22.10 –«Эксплуатация автомобильного транспорта»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Омск – 2019

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

**Научный руководитель:**

**Жигadlo Александр Петрович,**  
кандидат технических наук, доцент,  
ректор ФГБОУ ВО «СибАДИ», г. Омск

**Официальные оппоненты:**

**Власов Юрий Алексеевич,**  
доктор технических наук, доцент,  
декан механико-технологического факультета  
ФГБОУ ВО «Томский государственный  
архитектурно-строительный университет», г. Томск

**Карнаухов Владимир Николаевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Эксплуатация автомобильного  
транспорта» ФГБОУ ВО «Тюменский  
индустриальный университет», г. Тюмень

**Ведущая организация:**

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический университет»,  
г. Иркутск

Защита диссертации состоится « 18 » декабря 2019 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета ВАК РФ Д 212.250.02 при ФГБОУ ВО «СибАДИ» по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5, аудитория 3224.  
Тел. (3812) 65–03–23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «СибАДИ» и на сайте университета по адресу: <https://sibadi.org/about/units/institut-magistratury-i-aspirantury/studies/dissertations/62350/>

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направлять в диссертационный совет по адресу: 644080, г. Омск, пр. Мира, 5. Тел. (3812) 65–03–23, e-mail: dissovetsibadi@bk.ru.

Автореферат разослан « 1 » ноября 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор технических наук,  
профессор

Кузнецова Виктория Николаевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Эффективность эксплуатации автомобильного транспорта существенно зависит от расходов на техническое обслуживание. На современном этапе развития науки проблема реализации технического потенциала автомобильного транспорта возможна при правильном использовании эксплуатационных материалов, которые полностью обеспечивают заданные эксплуатационные свойства их конструкций.

Одним из способов повышения эффективности эксплуатации автомобилей можно считать рациональное использование свойств и возможностей эксплуатационных материалов. Периодичность технического обслуживания, рекомендованная заводами-изготовителями автомобильной техники, не учитывает свойства и фактическое состояние эксплуатационных материалов, которое зависит от множества факторов. Эксплуатационные материалы, как правило, заменяются или преждевременно, или с опозданием, что приводит в первом случае к их перерасходу, во втором случае – к повышенному износу деталей и преждевременным отказам автомобильной техники. Решение данной актуальной технической задачи сдерживается отсутствием знаний о закономерностях изменения показателей качества моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

Это позволит повысить энергоресурсосбережение на автомобильном транспорте, используемом в условиях холодного климата, и сократить поток отказов двигателей в зимнее время.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами рационального использования и контроля показателей качества моторного масла занимались многие ученые: С.Г. Арабян, Б.М. Бунаков, Л.С. Васильева, С.В. Венцель, Ю.А. Власов, С.В. Викулов, М.А. Григорьев, А.А. Гуреев, Д.А. Дрючин, С.В. Корнеев, Е.С. Кузнецов, С.К. Курегян, В.Л. Лашхи, В.В. Лосиков, Г.Л. Лышко, К.К. Папок, А.А. Петелин, Л.Г. Резник, В.Д. Резникова, В.И. Сарбаев, М.И. Трейгер, И.Г. Фукс, В.М. Школьников, Е.С. Якунин, M.G. Jennings, M. Verlinder и др.

Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта»: п. 12 (эффективность и качество эксплуатационных материалов), п. 13 (технологические процессы и организация технического обслуживания, ремонта и сервиса; методы диагностики технического состояния автомобилей, агрегатов и материалов).

**Объектом исследования** является оценка изменения состояния моторного масла, используемого в условиях низких температур.

**Предмет исследования:** изучение процесса изменения параметров моторного масла, характеризующих их эксплуатационные свойства в условиях низких температур.

**Цель диссертационного исследования** является повышение эффективности эксплуатации автомобилей, которое может быть достигнуто за счет рационального выбора и определения рациональных сроков технического обслуживания двигателей, выполняемых с учетом обводнения моторных масел и эксперимен-

тально определённых зависимостей изменения основных показателей их качества в процессе использования

**Рабочая гипотеза.** Совершенствование процессов и организации технического обслуживания автомобилей, заключающееся в рациональном выборе и уточнении периодичности замены моторного масла в двигателях, эксплуатирующихся в условиях низких температур, позволит научно обоснованно производить выбор моторного масла применительно к условиям использования и производить его замену, близкую к замене по фактическому состоянию.

Для выполнения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

**Задачи исследования:**

1. Разработать теоретическое обоснование повышения эффективности эксплуатации автомобилей на основе рационального выбора и определения рациональных сроков технического обслуживания их двигателей из-за особенностей условий эксплуатации при низких температурах.

2. Выявить зависимости изменения показателей работоспособности моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур. Разработать алгоритм выбора моторного масла с учетом влияния низких температур на эксплуатацию автомобилей.

3. На основе выявленных зависимостей разработать методику определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании автомобилей с учетом условий эксплуатации на основе показателя, наиболее значимого при оценке работоспособности моторного масла.

4. Произвести экспериментальную оценку теоретических зависимостей. Проверить адекватность теоретических и экспериментальных данных.

5. Определить корректирующий коэффициент периодичности замены моторного масла. Провести техническую оценку результатов исследования.

**Научная новизна диссертационной работы заключается в:**

– разработке алгоритма предварительного выбора масла для смазывания силовой установки автомобилей на основе существующих классификаций с учетом климатических и эксплуатационных факторов;

– получении закономерностей изменения основных показателей качества моторного масла и в обосновании наиболее значимого показателя для оценки его работоспособности при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур;

– разработке методики определения рациональных сроков технического обслуживания с учетом эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

**Теоретическая и практическая значимость работы состоит в:**

– применении разработанного алгоритма и методики предварительного выбора моторного масла для автомобилей, эксплуатируемых в условиях низких температур;

– обосновании наиболее значимого показателя оценки технико-

эксплуатационных свойств моторного масла для автомобилей, эксплуатирующихся в условиях низких температур;

– использовании методики определения рациональных сроков замены моторного масла в автомобилях при техническом обслуживании с учетом эксплуатации в условиях низких температур.

**Методология и методы исследования.** При выполнении диссертационной работы использовались широко апробированные известные методы оценки технического состояния автомобилей; методы диагностики технического состояния моторных масел и методы физического моделирования; решение задач базируется на экспериментальных данных и известных теоретических положениях трибологических исследований, статистических методах обработки данных, на базе инженерного анализа.

**Положения, выносимые на защиту.**

– алгоритм и методика предварительного выбора моторного масла;  
– основной значимый показатель оценки технико-эксплуатационных свойств моторных масел для автомобилей, эксплуатирующихся в условиях холодного климата;

– разработанная методика определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании с учетом эксплуатации автомобильной техники в условиях низких температур.

**Степень достоверности научных положений, выводов и рекомендаций обеспечена:**

– применением методов статистической обработки результатов, теорией вероятности и математической статистики;

– корректным использованием методов математической обработки и достаточным объемом экспериментальных данных;

– адекватностью результатов теоретических и экспериментальных исследований;

– использованием широко известных результатов ранее апробированных научных исследований.

**Апробация результатов исследования** проходила в форме докладов по теме диссертации на ежегодных семинарах кафедры «Нефтехимические технологии и оборудование» ФГБОУ ВО ОмГТУ, на XIII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования» (г. Новосибирск, 2014 г.), XI Международной IEEE конференции «Динамика систем, механизмов и машин» (г. Омск, 2014 г.), X юбилейной Всероссийской научно-технической конференции с участием иностранных специалистов «Трибология-машиностроению», институт машиноведения Российской академии наук им. А.А. Благонравова (г. Москва, 2014 г.), VII Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии, системы вооружения и военной техники, науки и образования» «Броня-Омск-Рембат-2014» (г. Омск, 2014 г.), IX Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные технологии, системы ВВТ» «Броня-Омск-Рембат-2016» (г. Омск, 2016 г.), IV Межвузовской научно-практической конференции «Совершенствования

системы эксплуатации вооружения и военной специальной техники» (г. Омск, 2017 г.), VIII Международной научно-технической конференции «Техника и технология» ОмГТУ (г. Омск, 2018 г.), VII Межвузовской научно-практической конференции «Совершенствования системы эксплуатации вооружения, военной и специальной техники» (г. Омск, 2018 г.), V Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте» (г. Орел, 2019 г.).

**Публикации.** По материалам диссертации и результатам проведенных исследований опубликовано 12 статей, из них 2 в изданиях, рекомендованных списком ВАК РФ, одна публикация в издании, индексируемом в базах WoS и Scopus, 3 статьи в рецензируемых журналах. Получено свидетельство о регистрации электронного ресурса от 18.04.2017 года № 22713.

**Результаты работы использованы** в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз», на базе которых выполнялось исследование, ООО «Лаборатория транспорта» и СТО «А– Моторс», а также используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Химмотология» и «Эксплуатационные материалы».

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы.

Общий объем диссертации составляет 160 страниц и содержит 75 рисунков, 13 таблиц, список литературы из 132 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность и важность выполнения исследования, сформулирована цель и задачи исследования, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость.

**В первой главе** проведен обзор и анализ научных трудов по эффективному использованию моторных масел при эксплуатации автомобилей. В работах исследуется процесс изменения качества и свойств моторных масел при использовании в условиях низких температур. Многие авторы занимаются разработкой новых моторных масел, изучением изменения их свойств применительно к усредненным условиям применения, часто не учитывая работу техники при низких температурах и интенсивность ее использования. Это делает необходимым разработку методики выбора моторного масла применительно к условиям эксплуатации автомобилей и интенсивности их использования.

Установлены закономерности воздействия сезонного фактора и многих других факторов, влияющих на изменение состояния моторного масла. Причем все факторы воздействуют одновременно, вследствие чего в масле накапливаются продукты окисления (органические примеси), механические загрязнения (неорганические примеси), происходит срабатывание присадок.

В работе рассмотрена система «ДВС – масло» и выбраны наиболее значимые показатели качества масла, к которым относятся: кинематическая вязкость, щелочное и кислотное числа, водородный показатель.

Проведен подробный анализ отказов автомобилей, в котором учтена эксплуатация автомобилей в условиях низких температур.

Для полноценной оценки влияния эксплуатации автомобилей в условиях низких температур и создания рекомендаций была выполнена работа по выявлению наиболее распространенных неисправностей двигателей автомобилей.

Из полученных данных видно, что пик отказов двигателей подразделений ОАО «Сургутнефтегаз» приходится на зимние месяцы эксплуатации (рис. 1).



Рис. 1. Распределение отказов ДВС ЯМЗ-7511.10 по месяцам года за отчетный период

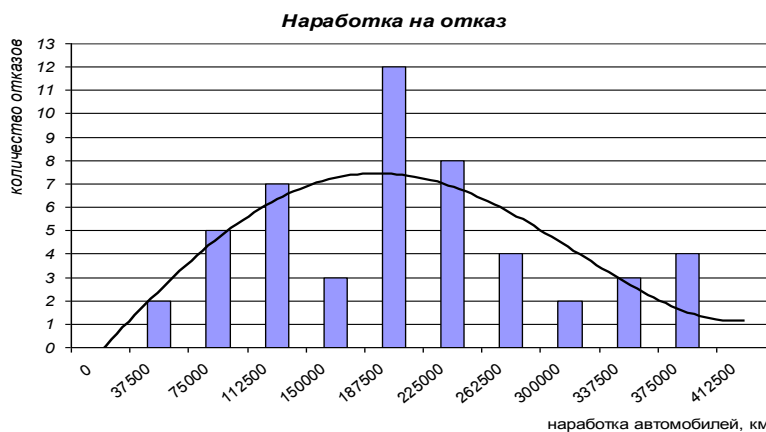


Рис. 2. Распределение отказов автомобилей по наработке из-за ДВС ЯМЗ-7511.10

Также определено распределение отказов автомобильной техники по наработке (рис.2).

На базе этой информации можно говорить о необходимости корректировки замены моторного масла при техническом обслуживании автомобилей в различные сезоны эксплуатации.

В конце первой главы были сформулированы цель и основные задачи исследования.

**Вторая глава** посвящена теоретическим исследованиям разработки критерия выбора моторного масла. Методологический подход к выбору моторного масла с учетом анализа результатов первой главы предусматривает две стадии.

Предварительный выбор на основе существующих классификаций и окончательный выбор марки моторного масла по величине изменения основного параметра, характеризующего технико-эксплуатационные свойства моторного масла.

В первом разделе главы предварительный выбор моторных масел происходит на основе инструкции по эксплуатации завода-изготовителя автомобиля, где потребитель может определить возможный перечень масел для использования: по уровню эксплуатационных свойств и вязкостно-температурным свойствам. Описанный порядок выбора моторных масел для автомобилей можно представить графически в виде блок-схемы (рис. 3).

Определившись с маркой моторного масла, потребитель выбирает варианты классов вязкости по классификации SAE, рекомендованные изготовителем двигателей. Обычно каждая марка моторного масла с одинаковыми параметрами по API, ILSAC или ACEA предлагается в вариантах с разными классами вязкости по SAE. При этом необходимо учитывать планируемые пробеги автомобиля. Если они маленькие, и поездки осуществляются в течение всего года, то лучше брать ярко выраженное всесезонное масло, например SAE 10W-40. Если пробеги большие, необходимо выбирать моторные масла, тяготеющие к определенному сезону, например: зимой – SAE 5W-30, летом – SAE 20W-50.

Как показывает практика, предварительного выбора достаточно для мелких розничных закупок. При крупных оптовых закупках необходим второй этап (окончательный выбор по комплексному критерию).

Комплексный технико-экономический критерий представляется в виде

$$C_m^{\text{пр.уд}} = \frac{C_m}{L \cdot V} \cdot K \rightarrow \min, \quad (1)$$

где:  $C_m^{\text{пр.уд}}$  – приведенная удельная стоимость моторного масла, руб./(литр тыс.км.);  $C_m$  – стоимость моторного масла, руб./л;  $L$  – пробег автомобиля до замены моторного масла, км.;  $V$  – функция, характеризующая качество моторного масла;  $K$  – коэффициент, показывающий реализацию технико-эксплуатационных свойств моторных масел в эксплуатации. Функция  $V$  в общем виде может быть представлена следующим образом:

$$V = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

где:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – наиболее важные технико-эксплуатационные параметры моторного масла.

$$V_m = f(x_n). \quad (3)$$

Выбирается из условия изменения наиболее значимого параметра, определяющего качество моторного масла. Фактически комплексный параметр технико-эксплуатационных свойств моторного масла включает в себя все параметры технико-эксплуатационных свойств моторного масла, обозначенные в ГОСТ Р 51634–2000, так как они взаимосвязаны.

Таким образом, основной значимый показатель технико-эксплуатационных свойств моторного масла ( $V_m$ ) может рассматриваться в качестве измерителя качества масла и использоваться как при оценке технико-эксплуатационных свойств моторных масел, так и при сравнении различных моторных масел.



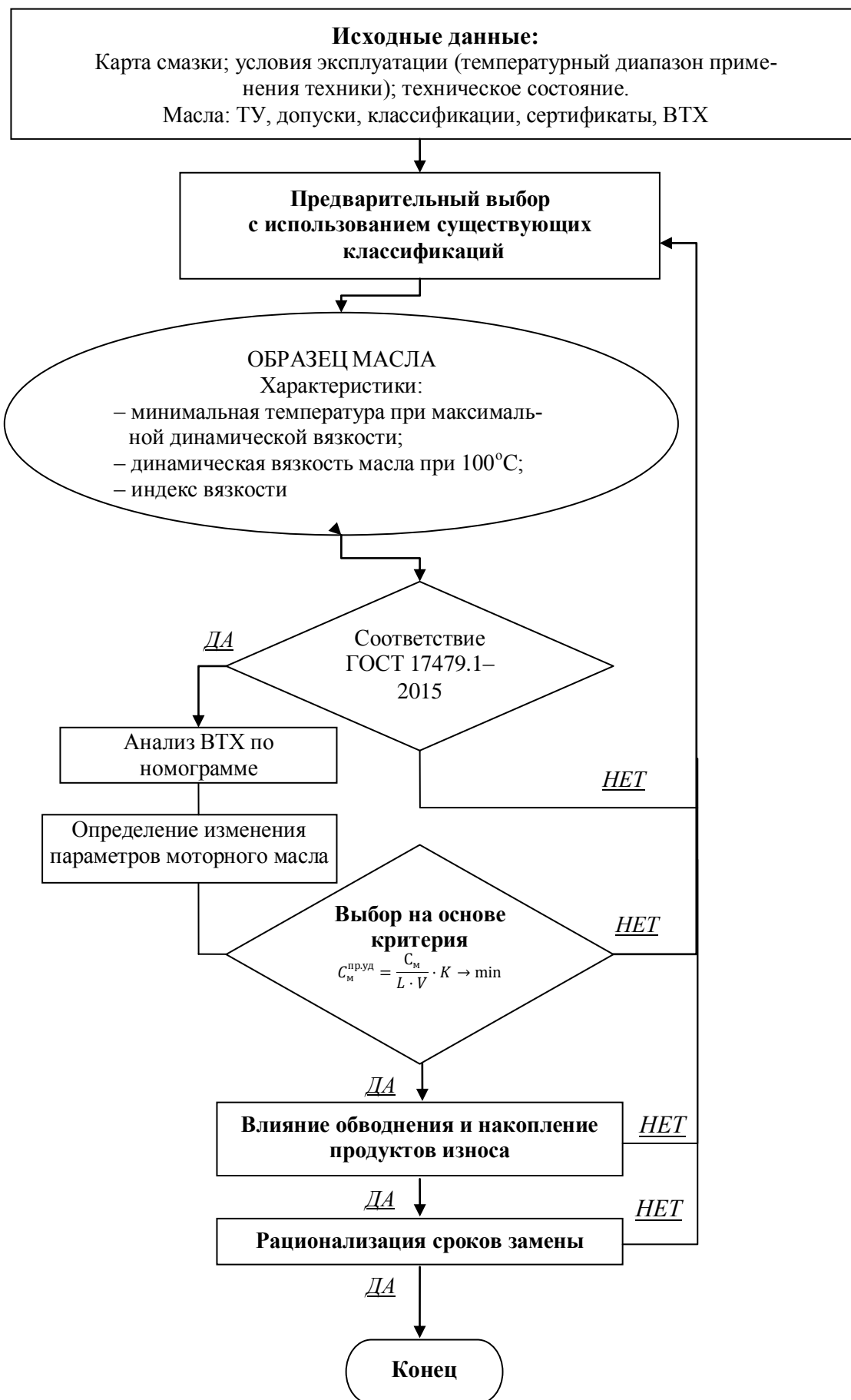


Рис. 3. Блок-схема алгоритма и методики выбора моторного масла

Анализ состояния вопроса и ГОСТ Р 51634–2000 показали, что регламентированные ГОСТ параметры технико-эксплуатационных свойств моторных масел взаимосвязаны и дополняют друг друга.

Также проведен методологический подход совокупной оценки технико-эксплуатационных свойств моторных масел в эксплуатации с использованием компонентного анализа.

На первом этапе проводится корреляционный анализ, и по его результатам формируется совокупность взаимосвязанных (коррелируемых между собой) факторов. Далее проводится компонентный анализ, на основании которого определяется система главных компонент. Затем выполняется процедура отбора наиболее значимых главных компонент. Выбранные главные компоненты на основе стандартизованных переменных используются для дальнейшего анализа в виде:

$$Vi = f(z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n), \quad (4)$$

где:  $Vi$  ( $i=1,2, \dots, n$ ) – главные компоненты;  $z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_n$  – стандартизованные значения показателей.

Стандартизованные значения влияющих показателей определяются по формуле

$$Z_i = \frac{x_i - \bar{x}_i}{\sigma}, \quad (5)$$

где  $x_i$  – текущее значение  $i$ -го влияющего фактора;  $\bar{x}_i$  – среднее значение  $i$ -го влияющего фактора;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение  $i$ -го влияющего фактора.

Таким образом, главные компоненты можно представить в виде линейных комбинаций исходных взаимосвязанных факторов

$$Vi = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n), \quad (6)$$

где:  $X_i$  ( $i=1,2, \dots, n$ ) – исходные признаки (факторы).

В нашем случае значимыми показателями являются показатели качества моторного масла, а определяющим – показатель, который наиболее быстро достигает своего предельного значения.

Значение параметра технико-эксплуатационных свойств  $j$ -го моторного масла определяется экспериментально путем подстановки в них текущих значений каждого из параметров технико-эксплуатационных свойств отработавших моторных масел, а именно – кинематической вязкости (индекса вязкости), щелочного числа, массовой доли фосфора, сульфатной зольности и температуры вспышки. Их нормативные значения приводятся в паспорте моторного масла.

Экспериментально установлено, что для моторных масел, используемых в условиях низких температур, основным параметром для выбраковки является щелочное число ( $V_M$ ). Это определяется из-за обводнения их при низких температурах, образованием шламов, которые состоят из присадок (щелочных сульфонатов кальция, бария или других металлов). Из-за этого уменьшается концентрация присадок и, соответственно, щелочное число.

Во втором разделе раскрывается определение периодичности замены моторного масла, которая определяется инструкцией по эксплуатации двигателя и

Положением по эксплуатации подвижного состава. Как правило, рекомендуется производить замены моторных масел через 250–1000 моточасов работы двигателя. На практике чаще привязываются не к часовой наработке, а к пробегу автомобиля. Для такой оценки определяют среднюю скорость однотипного парка автомобилей и оценивают предельный пробег до технического обслуживания и замены масла. Так как автомобили эксплуатируются в разных условиях, Положением рекомендуются коэффициенты для корректирования периодичности технического обслуживания и замены моторных масел.

$$K_{\text{рез}} = K_1 \cdot K_3, \quad (7)$$

где:  $K_1$  – предусматривает категорию условий эксплуатации автомобилей;

$K_3$  – учитывает природно-климатические условия эксплуатации.

Однако эти коэффициенты корректирования периодичности технического обслуживания никак не отражают изменения состояния моторного масла. При выполнении различных работ нагрузки на двигатель, периодичность обслуживания и замена масел различны, и состояние масла будет разным из-за многообразия всевозможных факторов. Поэтому предлагается при планировании периодичности технического обслуживания и замены моторных масел ввести корректирующий коэффициент, учитывающий изменение их показателей качества.

$$K_m = L_m / L_i, \quad (8)$$

где:  $L_m$  – наработка на отказ моторного масла, по пробегу, км.;

$L_i$  – пробег автомобиля до технического обслуживания в соответствии с инструкцией по эксплуатации, км.

То есть  $L_m$  – это пробег автомобиля, при котором моторное масло достигает своего предельного состояния и требуется его замена, а  $L_i$  – это рекомендованный заводом изготовителем пробег до замены масла.

Определённые таким образом корректирующие коэффициенты периодичности технического обслуживания и замены моторных масел позволяют учитывать изменение свойств моторных масел и производить их замену, близкую к замене по фактическому состоянию.

В конце второй главы сделан вывод и предлагается рассчитывать корректирующие коэффициенты периодичности технического обслуживания и замены моторных масел, учитывающие изменение их свойств.

**В третьей главе** приведены данные экспериментальных исследований моторных масел на базе подразделений ОАО «Сургутнефтегаз».

В первом разделе главы описано сколько, какая и откуда предоставлена автомобильная техника для проведения испытаний. У автомобилей пробег с начала эксплуатации не превышал 120 тыс. км, что составляет около 50% от расчетного пробега до капитального ремонта, двигатели автомобилей модели ЯМЗ-7511.10 с турбонаддувом.

Для проведения лабораторных исследований использовалась материально-техническая база аккредитованной Центральной базовой лаборатории экоаналитических и технологических исследований ИЭВЦ ОАО «Сургутнефтегаз».

Работы по выполнению технического обслуживания (ТО) выполнялись на базе структурных подразделений ОАО «Сургутнефтегаз», обеспеченных оборудованием, позволяющим выполнять весь спектр технического обслуживания.

Во втором разделе описан выбор автомобилей, который осуществлялся согласно критериям, изложенным в программе-методике испытаний. Предварительным этапом оценки технического состояния выбранной техники являлся забор проб работающего масла с последующей передачей в лабораторию для проведения физико-химического анализа.

В третьем разделе главы описан порядок проведения забора проб согласно заданным условиям испытаний. Для эксплуатирующихся автомобилей предприятий пробег между заменами масла составлял 21 600 и 20 000 км. Согласно программе испытаний был предусмотрен четырехкратный забор проб с каждого подконтрольного автомобиля. Забор проб проводился календарно, с учетом фактического пробега. График корректировался на основании данных о реальных пробегах каждого автомобиля.

Пробег на подконтрольных автомобилях составил в первом структурном подразделении в пределах от 17 237 до 21 860 км, во втором от 5 131 до 16 830 км. Производимый за время подконтрольной эксплуатации, долив, фиксировался в журнале.

В четвертом разделе главы на завершающем этапе в ходе проведения технического обслуживания производился отбор проб перед сливом отработанного масла, контроль давления масла в масляной магистрали, контроль расхода картерных газов и отбор проб отложений из центрифуги с подконтрольных автомобилей.

Давление в системе смазки и расход картерных газов определялись с использованием оборудования, применяемого при начальном контроле, на аналогичных режимах. Разница показаний находится в пределах допустимых погрешностей измерений, но прослеживается тенденция изменения показателей работы двигателей.

Также проведен контроль отложений в центробежном фильтре очистки масла. Отмечена разница в консистенции отложений и их количества.

В ходе проведенной подконтрольной эксплуатации автомобилей следует отметить ряд общих закономерностей:

1. Обводнение моторного масла происходит при прогреве двигателя за счет конденсации паров воды, поступающих с картерными газами из камеры сгорания. Это приводит к появлению низкотемпературных шламов и отложений в зоне трубопроводов, ловушек коленчатого вала и центробежном фильтре.

2. Маслозаливная горловина конструктивно вынесена под облицовочную решетку радиатора, что способствует попаданию влаги и механических загрязнений в масляную систему двигателя.

3. Применяемые полнопоточные фильтры очистки масла с маркировкой на этикетке ЭФМ 027-1012038 (840-1012038) на корпусе 840-1012040-12 имеют бумажный фильтрующий элемент, который может разрушаться при значительном перепаде давления, особенно при высокой вязкости масла.

В четвертой главе приводятся полученные экспериментальные зависимости изменения основных показателей качества моторных масел от пробега автомобилей.

В первом разделе главы поставлены цели и задачи лабораторных исследований, которые заключаются в определении ресурса работы моторного масла в условиях работы автомобилей с задачей оценить изменение в состоянии моторного масла в процессе работы и определить предел наработки, соответствующий предельной работоспособности.

Во втором разделе главы представлена методика оценки состояния моторного масла по изменению его параметров.

В третьем разделе проведён анализ данных исследований изменения показателей качества, определяющих состояние работающего моторного масла.

На рис. 4. представлены данные зависимости изменения вязкости работающих масел от пробега автомобиля. Однако в случае попадания топлива вязкость масла может существенно снижаться и значительно раньше достигать предельных значений.

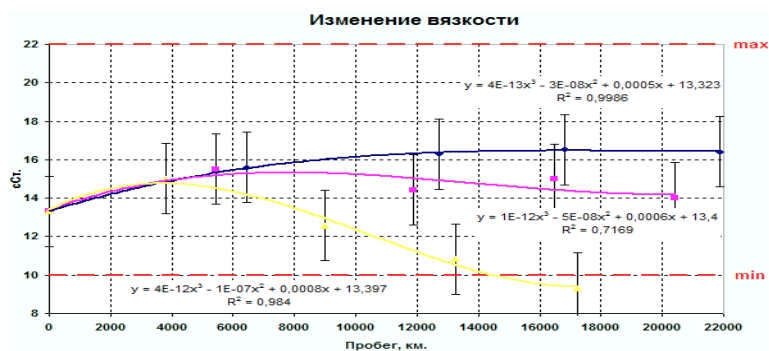
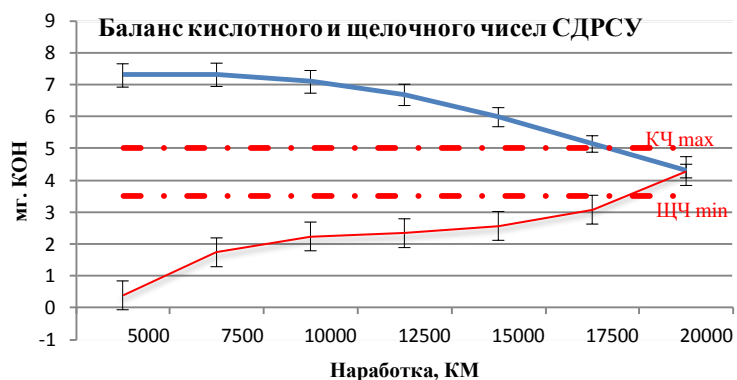


Рис. 4. Зависимость изменения кинематической вязкости в процессе зимней эксплуатации двигателей ЯМЗ-7511.10

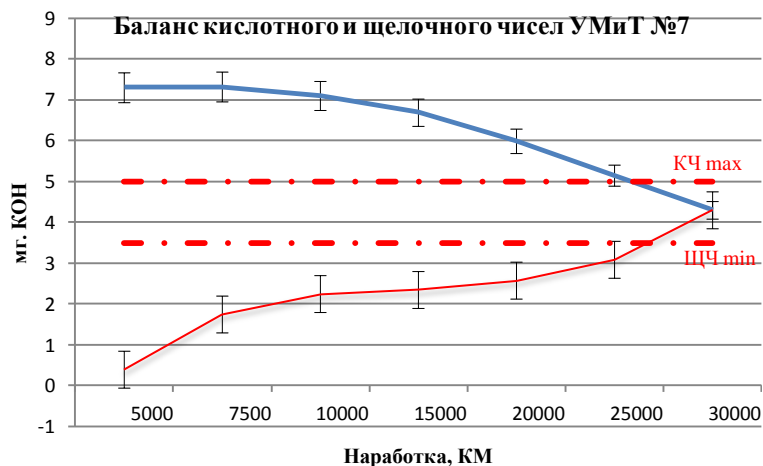
Полученные данные об изменении температуры вспышки в открытом тигле для подконтрольных двигателей свидетельствуют о том, что настоящий параметр также не лимитирует работоспособность масла.

На основе обработки полученных данных можно заключить, что баланс кислотного и щелочного числа достигается ориентировочно в пределах 18 тыс. км. пробега в подразделении СДРСУ (рис. 5,а), в тоже время на предприятии УМиТ №7 – баланс кислотного и щелочного числа достигается ориентировочно в пределах 27 тыс. км. (рис. 5,б).

Результаты анализов и визуальных наблюдений свидетельствуют о присутствии воды в моторном масле (рис. 6), что может быть следствием несоблюдения тепловых режимов работы двигателей. Как известно, этот фактор способен существенно ухудшать свойства масла, снижать ресурс его работы и надежность силовых установок в целом. Данные по содержанию механических примесей в работающих маслах свидетельствует о том, что этот параметр также не лимитирует работоспособность масла.



*а*



*б*

Рис. 5. Экспериментальные зависимости изменения щелочного и кислотного чисел работающего масла от пробега автомобилей для: *а* – СДРСУ; *б*–УМиТ в процессе зимней эксплуатации двигателей ЯМЗ-7511.10

Результаты определения содержания продуктов износа и загрязнений (Fe, Pb, Cr, Cu, Al, Si) в работающих маслах методом рентгенфлуоресцентной волнодисперсионной спектроскопии представлены на рис. 7–9.

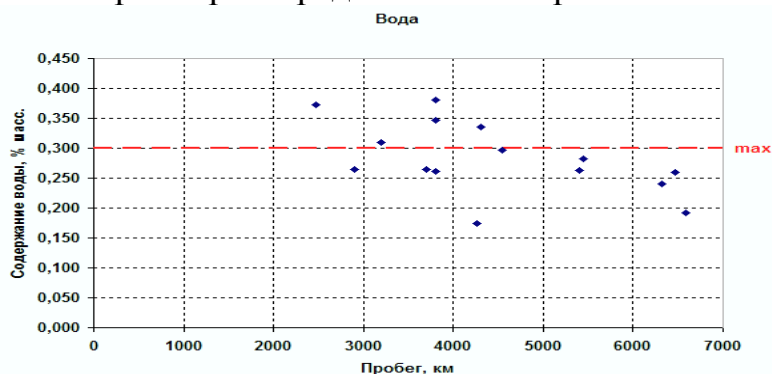


Рис. 6. Экспериментальные данные по содержанию воды в работающих при зимней эксплуатации автомобилей с двигателями ЯМЗ-7511.10

Резкое увеличение количества железа в масле обычно свидетельствует об износе гильз цилиндров, колец, кулачков или толкателей. По результатам оценки содержания железа невозможно установить износ конкретного узла.

Полученные результаты по содержанию железа позволяют спрогнозировать установленную предельную концентрацию Fe при наработке (пробеге) от 18 до 28 тыс. км. (см. рис.7).

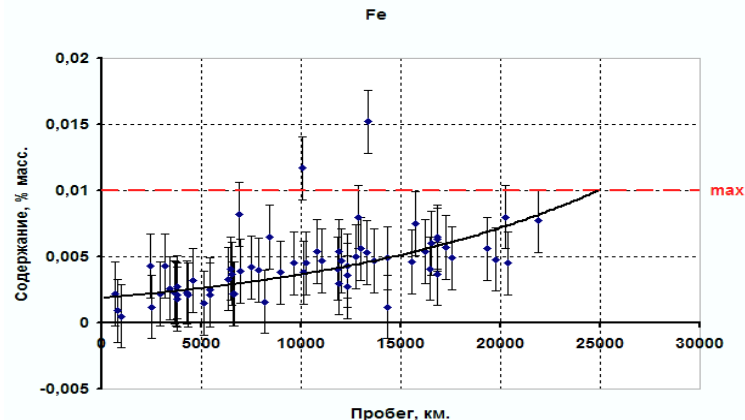


Рис. 7. Экспериментальные данные по содержанию железа (Fe) в работающих маслах в процессе зимней эксплуатации автомобилей с двигателями ЯМЗ-7511.10

Полученные результаты по содержанию свинца позволяют ориентировочно установить известную предельную концентрацию Pb, которая будет достигнута при наработке (пробеге) от 22 до 28 тыс. км. (рис.8).

Содержание хрома и меди позволяет заключить, что динамика их накопления в масле обеспечивает запас работоспособности по этим параметрам до достижения установленного предельного значения.

Полученные результаты по содержанию кремния позволяют говорить о неудовлетворительном состоянии фильтрующих элементов очистки воздуха, а также о несоблюдении правил промышленной чистоты при использовании масел. Результаты представлены на рис. 9.

При анализе результатов оценки накопления отложений в роторах фильтров центробежной очистки масла были получены закономерности, отражающие динамику накопления отложений в интервале рассмотренной наработки. Полученные закономерности подтверждают влияние топлива и воды в масле на скорость накопления отложений и их состав.

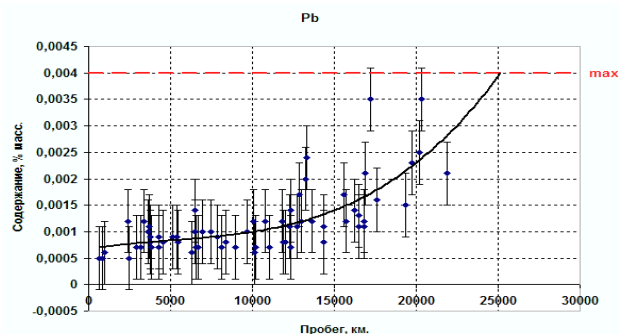


Рис. 8. Экспериментальные данные по содержанию свинца (Pb) в работающих маслах в процессе зимней эксплуатации автомобилей с двигателями ЯМЗ-7511.10

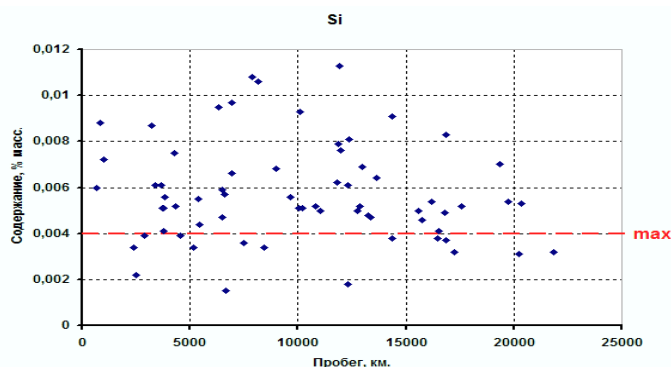


Рис. 9. Экспериментальные данные по содержанию кремния (Si) в работающих маслах в процессе зимней эксплуатации автомобилей с двигателями ЯМЗ-7511.10

В конце четвертой главы сделан вывод, что на основе динамики изменения параметров работающего масла и установленных предельных значений можно заключить, что ресурс работы масла определяется следующими параметрами: вязкость кинематическая (при попадании топлива в масло падение вязкости до 10 сСт), изменение щелочного и кислотного чисел при достижении – 20 тыс. км. пробега, что составляет 533 моточаса. Накопление железа в масле (достижение предельного значения) при достижении – 18 тыс. км. пробега, что составляет 480 моточасов.

**В пятой главе** проведена техническая оценка исследования.

В первом разделе главы рассмотрено корректирование нормативов периодичности технического обслуживания с учетом конкретных условий эксплуатации автомобилей. В нормативно-технической документации обычно принимаются некоторые усредненные условия эксплуатации. Если реальные условия эксплуатации автомобилей совпадают с указанными в документации, то корректирование периодичности технического обслуживания не производится. В случае отличия условий применяется корректирование.

Различают два вида корректирования нормативов периодичности технического обслуживания и ремонта: ресурсный и оперативный.

Ресурсный вид служит для корректирования нормативов технического обслуживания и ремонта автомобилей в зависимости от условий эксплуатации. Каждое из условий учитывается соответствующим коэффициентом.

Второй вид корректирования проводится непосредственно на предприятии с целью повышения работоспособности автомобилей путем изменения состава операций технического обслуживания с учетом конструкции автомобилей, условий их работы и особенностей данного автотранспортного предприятия.

Для корректирования нормативов применительно к конкретным условиям используют результирующие коэффициенты корректирования, определяемые в представленной выше формуле (7):

для периодичности технического обслуживания автомобилей согласно Положения в районе г. Сургут составит:

$$K_1 = 0,8 \text{ (учитывает категорию условий эксплуатации автомобилей);}$$

$$K_3 = 0,9 \text{ (учитывает природно-климатические условия эксплуатации);}$$

$$K_{рез} = K_1 \cdot K_3 = 0,8 \cdot 0,9 = 0,72.$$



Во втором разделе главы определен расчет пробегов до очередного обслуживания. Вначале определяем расчетные пробеги в виде

$$L_i = L_i^H \cdot K_{рез} = L_i^H \cdot K_1 \cdot K_3, \quad (9)$$

где:  $L_i$  – расчетный пробег до  $i$ -го обслуживания;

$L_i^H$  – нормативная периодичность ТО  $i$ -го вида.

В соответствии с инструкцией по эксплуатации двигателей ЯМЗ 7511.10 сроки проведения технического обслуживания установлены на уровне: для ТО-1 – 250 моточасов, ТО-2 – 1000 моточасов.

На основе информации об эксплуатации автомобилей МАЗ-642208 установлено, что средняя эксплуатационная скорость для данных автомобилей в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз» составляет 37,5 км/ч. Тогда пробеги до ТО-1 и ТО-2 составят

$$250 \text{ м/ч} \times 37,5 \text{ км/ч} = 9375 \text{ км}; \quad 1000 \text{ м/ч} \times 37,5 \text{ км/ч} = 37500 \text{ км}.$$

Отсюда, с учетом корректирующих коэффициентов (9), получим

$$L_1 = L_{\text{ТО-1}}^H \cdot K_{рез} = 9375 \cdot 0,72 = 6750 \text{ км},$$

$$L_2 = L_{\text{ТО-2}}^H \cdot K_{рез} = 37500 \cdot 0,72 = 27000 \text{ км}.$$

Однако полученные значения нуждаются в дополнительной корректировке. Это связано с особенностями эксплуатации автомобилей в подразделениях ОАО «Сургутнефтегаз». Как показали эксплуатационные испытания моторного масла Экойл-Турбодизель API CI-4, SAE 10W40, наработка на отказ данного моторного масла в условиях эксплуатации выше расчетных данных подразделений и находится в интервале от 18 000 до 20 000 км.

Для условий эксплуатации автомобилей в подразделениях и на основе проведенных эксплуатационных испытаний можно рекомендовать следующие значения корректирующего коэффициента  $K_M$  (8):

– для предприятий с нормальной эксплуатацией  $K_M = 0,75$ ,

– для предприятий с интенсивной эксплуатацией  $K_M = 0,48$ .

Тогда на основе указанных рекомендаций

$$L_i = L_i^H \cdot K_M. \quad (10)$$

Вводя цифровые данные, получаем, что расчетные данные совпадают с полученными при испытаниях в ходе интенсивной и нормальной эксплуатации соответственно:

$$L_{2=}^i = 37500 \cdot 0,75 = 28125 \text{ км},$$

$$L_{2=}^i = 37500 \cdot 0,48 = 18000 \text{ км}.$$

Согласно нормативам необходимо также корректировать расчетные пробеги по кратности между собой и среднесуточным пробегом  $l_{cc}$ . Это делается в связи с тем, что часть ЕТО входит в ТО-1, а часть ТО-1 входит в ТО-2. Для дальнейших расчетов используются расчетные значения, скорректированные по кратности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. На основе анализа влияния климатических условий и интенсивности эксплуатации автомобилей на поток отказов их силовых установок разработаны теоретические предпосылки повышения эффективности эксплуатации за счёт

своевременного проведения технического обслуживания, что позволяет сократить поток отказов, который зависит от сезонности использования техники. Причиной роста потока отказов силовых установок является изменение свойств моторного масла в связи с его обводнением в условиях отрицательных температур. Обводнение происходит вследствие процесса конденсации и приводит к выпадению в осадок основных присадок, из-за чего концентрация некоторых из них уменьшается на 75%. Это приводит к потере качества моторного масла.

2. В результате испытаний установлены зависимости изменения показателей работоспособности моторных масел с учетом изменения содержания продуктов износа при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур. На основе этого разработан алгоритм выбора моторного масла, учитывающий влияние обводнения на присадки в моторных маслах при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

3. На основе экспериментальных исследований получены зависимости изменения кинематической вязкости, щелочного и кислотного чисел, содержания продуктов износа и загрязнений от пробега автомобилей. Выявлено, что при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур основным показателем, наиболее быстро достигающим предельных значений и лимитирующим работоспособность моторного масла, является изменение его щелочного числа. Данный показатель характеризует срабатываемость детергентных присадок. В результате разработана методика определения рациональных сроков замены моторного масла при техническом обслуживании автомобилей, эксплуатируемых в условиях низких температур.

4. Экспериментально подтверждено взаимное влияние факторов технико-эксплуатационных свойств моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур, что подтверждает адекватность теоретических и экспериментальных данных. Установлено, что изменение температуры вспышки связано с изменением кинематической вязкости при 40 °С и при 100°С; изменение массовой доли фосфора – с щелочным числом и сульфатной зольностью.

5. На основе разработанной методики определения рациональных сроков технического обслуживания автомобилей, с учетом эксплуатации в условиях низких температур и полученных экспериментальных зависимостей изменения основных показателей качества установлена научно обоснованная периодичность замены моторного масла с учетом корректирующего коэффициента  $K_m$  вместо нормативного 0,72. Значение  $K_m$  составит 0,48 ... 0,75.

Внедрение рекомендаций по выбору моторных масел и совершенствованию технического обслуживания автомобилей позволит повысить эффективность эксплуатации автомобильного транспорта за счет сокращения отказов силовых установок, выравнивания потока отказов в течение года и снижения эксплуатационных затрат при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур.

Направления и перспективы дальнейших исследований.

Разработка рекомендаций по совершенствованию технического обслужи-

вания и диагностирования состояния силовых установок автомобилей на основе анализа моторных масел при эксплуатации различных автомобилей в условиях низких температур.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:**

**Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ по специальности:**

1. Мачехин, Н.Ю. Алгоритм выбора моторных масел для техники. / Н.Ю. Мачехин, С. В.Корнеев, С.В. Пашукевич, В.Д. Бакулина, Р.В. Буравкин, А.А. Аноприенко // Автомобильная промышленность. – М., 2019. – С. 22–25.

2. Мачехин, Н.Ю. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены/Н. Ю. Мачехин, И. И. Ширлин, С. В. Пашукевич // Вестник СибАДИ. – № 3 (Том 16). –Омск: Изд-во СибАДИ, 2019.

**Статьи в международных индексируемых в WoS, SCOPUS изданиях:**

3. Machehkin, N.Y. The influence of the KAMAZ diesel engines design on changing engine oil performance/ S.V. Korneev, Y.V. Yarmovich, S.V. Saveliev, I.K. Poteryaev, N.Y. Machehkin, R.V. Buravkin // AIP Conference Proceedings. – 2018. –Vol. 2007/Oil and gas engineering 2018.–Doi:10.1063/1.5051856.

**Свидетельства, патенты на изобретение и полезные модели РФ:**

4. Свидетельство о государственной регистрации электронного ресурса от 18 апреля 2017 года № 22713. Алгоритм расчета коэффициента, корректирующего периодичность технического обслуживания автомобилей / Мачехин Н.Ю., Корнеев С.В., Бакулина В.Д. Организация разработчик: ФГБОУ ВО «Омский государственный технический университет».

**Публикации в других рецензируемых изданиях:**

5. Мачехин, Н.Ю. Изменение характеристик дорожек качения подшипников ступиц автомобилей / Н. Ю. Мачехин, С. В.Корнеев // Динамика систем, механизмов и машин// Сборник материалов Международной IEEE конференции. – №3. –Омск: Изд-во ОмГТУ, 2014. – С. 74–77.

6. Мачехин, Н.Ю. Влияние качества дизельного топлива на работу двигателя / Н. Ю. Мачехин, С.В.Корнеев //Приборы, машины и технологии// Омский научный вестник. – № 2 (152). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. – С. 13–16.

7. Мачехин, Н.Ю. Влияние низких температур на внутренние потери в агрегатах трансмиссии/ Н.Ю. Мачехин, С.В. Корнеев // Омский научный вестник.– № 2 (155). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2017. – С. 18–21.

**Публикации в других изданиях:**

8. Мачехин, Н.Ю. Изучение методики выбора масел по вязкостно-температурным характеристикам при проведении занятий // V Межвузовской научно-методической конференции – Омск: ВИ, 2017. – С. 70 – 73.

9. Мачехин, Н.Ю. Эффективное использование вооружения, военной и специальной техники за счет комплексного мониторинга смазочных материалов / Н. Ю. Мачехин, И. И. Ширлин/ IV Межвузовская научно-практическая

конференция.– Омск: ВИ, 2017. – С. 214–223.

10. Мачехин, Н.Ю. Влияние конструкции дизельных двигателей КАМАЗ на изменение показателей работоспособности моторных масел/ Н. Ю. Мачехин, С. В. Корнеев / Техника и технология нефтехимического и нефтегазового производства// VIII-й Международная научно-техническая конференция. – Омск: ВИ, 2018 –С. 22–23.

11. Мачехин, Н.Ю. Технические средства обучения в решении проблемы технизации на учебных занятиях / Н. Ю. Мачехин, А. П. Жигadlo/ VII Межвузовская научно-практическая конференция. – Омск: ВИ, 2018 – С. 109–113.

12. Мачехин, Н.Ю. The influence of diesel fuel quality on engine performance/ Н. Ю. Мачехин, С. В. Корнеев, С.В. Пашукевич/ В трудах IV международной научно-практической конференция «Актуальные вопросы современности глазами молодых исследователей» – Омск. Издательство СибАДИ 2019 г. с. 502 – 508.