

Верещагин Валерий Иванович

**МЕТОД КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МОТОРНЫХ
МАСЕЛ ПО КОНЦЕНТРАЦИИ ПРОДУКТОВ СТАРЕНИЯ
И ПРОТИВОИЗНОСНЫМ СВОЙСТВАМ**

Специальность:

05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» и Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель:

Безбородов Юрий Николаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Мурыгин Александр Владимирович
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М.Ф. Решетнёва», г. Красноярск, заведующий кафедрой информационно-управляющих систем

Чухланцева Марина Михайловна
кандидат технических наук, доцент,
ФБУ Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний «Томский ЦСМ», директор

Ведущая организация:

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Защита состоится « 30 » сентября 2014г. в 15.00 на заседании диссертационного совета Д 212.269.09 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215.

С диссертационной работой можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55 и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/916/worklist>

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Васендина Е. А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность рассматриваемой проблемы. Обеспечение надёжности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) является комплексной задачей, решаемой по различным направлениям. Одним из важных направлений является контроль работоспособности моторных масел в условиях эксплуатации, а также обоснование браковочных показателей для оценки качества работающих масел и определение срока их службы.

В настоящее время ресурс моторных масел регламентируется заводами-изготовителями, а контроль их состояния и сроки замены обеспечиваются системой технического обслуживания, рекомендованной производителями транспортных средств, вследствие чего ресурс моторных масел оценивается по пробегу в километрах пройденного пути или наработкой в моточасах.

Замена масел по фактическому их состоянию в настоящее время, затруднена ввиду отсутствия средств контроля и обоснованного выбора показателей предельного состояния. Поэтому разработка средств и методов контроля, является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность использования смазочных масел и снизить эксплуатационные затраты.

Степень разработанности темы. Основными свойствами моторных масел являются: моюще-диспергирующие, антиокислительные, противоизносные, антикоррозионные и вязкостно-температурные. В процессе эксплуатации эти свойства изменяются вследствие механических, окислительных, температурных и химических воздействий, а также из-за влияния продуктов неполного сгорания топлива, поэтому моторные масла имеют предел работоспособности или предельное состояние (ГОСТ 27.002.89).

Вопросами обоснования сроков службы смазочных масел занимались С.В. Венцель, В.А. Зорин, К.К. Папок, В.К. Руднев, В.В. Чанкин, Л.С. Васильева, К.А. Павлов, Л.А. Кондаков и др. Однако до сих пор отсутствует научно обоснованный метод определения ресурса смазочных масел.

Существующие методы определения предельного состояния в значительной степени условны и зависят от многих факторов, а более объективные трудоёмки и непригодны для применения в условиях эксплуатации техники. Анализ литературных данных показал, что метод определения предельного состояния смазочных масел должен быть комплексным.

В диссертационной работе для определения предельного состояния работающих моторных масел применён комплексный подход с применением следующих методов контроля: фотометрии, центрифугирования, термостатирования, испытания на противоизносные свойства, измерения вязкости и методы математической обработки статистических данных, что позволило получить данные о процессах старения, концентрации общих, растворимых и нерастворимых продуктов старения, вязкости, испаряемости, сопротивлении окислению, противоизносных свойствах при эксплуатации двигателя от залива товарного масла до его замены. Полученные данные позволили обосновать предельное состояние, по достижению

которого необходима замена масла.

Объект исследования – отработанные и работающие частично синтетические и синтетические моторные масла различных классов вязкости и групп эксплуатационных свойств.

Предмет исследований – методы контроля процессов старения моторных масел по оптическим свойствам, составу продуктов и триботехническим характеристикам.

Цель диссертационной работы – повысить эффективность использования моторных масел за счёт периодического контроля их состояния на основе показателей старения и противоизносных свойств.

Задачи исследования:

1. Разработать метод контроля предельного состояния моторных масел с применением фотометрии, центрифугирования, термостатирования и триботехнических испытаний.

2. Обосновать предельное состояние моторных масел на основе статистической обработки результатов прямого фотометрирования, термостатирования и триботехнических испытаний.

3. Исследовать механизм старения моторных масел в двигателях внутреннего сгорания и влияние его продуктов на параметры термоокислительной стабильности и противоизносные свойства.

4. Разработать практические рекомендации применения метода и средств контроля предельного состояния моторных масел в условиях эксплуатации транспортных средств.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались методы математической статистики, планирования экспериментов, теории трения, изнашивания и смазки, оптические и физико-химические методы исследования процессов старения моторных масел различных базовых основ. Для обработки результатов экспериментальных данных исследования использовался пакет прикладной программы Advanced Grapher.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных автором, обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментально полученных результатов исследований, непротиворечивостью исследованиям других авторов, а также использованием поверенного экспериментального оборудования, позволяющего с достаточной точностью осуществлять измерения требуемых параметров, обработкой полученных результатов с применением средств вычислительной техники, программного обеспечения и методов математической статистики.

На защиту выносятся:

1. Метод контроля состояния отработанных и работающих моторных масел различной базовой основы, включающий фотометрирование, центрифугирование, термостатирование и триботехнические испытания.

2. Метод определения предельного состояния отработанных моторных масел на основе статистической обработки экспериментальных данных парка машин.

3. Результаты исследования механизма старения моторных масел в двигателях внутреннего сгорания и влияние его продуктов на противоизносные свойства.

4. Критерий оценки противоизносных свойств работающих моторных масел.

5. Практические рекомендации по технологиям применения метода и средств контроля предельного состояния моторных масел в условиях эксплуатации транспортных средств.

Научная новизна работы:

1. Разработан метод контроля состояния отработанных и работающих моторных масел, включающий: фотометрирование; определение концентраций общих, растворимых и нерастворимых продуктов старения; оценку противоизносных свойств и термостатирование, позволяющий обосновать предельное состояние и сопротивляемость окислению; оценить техническое состояние цилиндропоршневой группы и системы фильтрации.

2. Разработана методика определения предельного состояния смазочных масел, определено его значение, по величине которого определяют работоспособность смазочного масла. Новизна данного метода подтверждена патентом №2451293 РФ МПК⁷ G01N №33/30 от 20.05 2012 г.

3. Получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения процесса старения работающих моторных масел, позволяющие оценить их сопротивляемость температурным воздействиям по изменению коэффициента поглощения светового потока, вязкости, испаряемости и противоизносным свойствам.

4. Предложен критерий оценки противоизносных свойств работающих моторных масел в двигателе внутреннего сгорания, определяемый отношением коэффициента поглощения светового потока к диаметру пятна износа и характеризующий условную концентрацию продуктов старения на номинальной площади фрикционного контакта, позволяющий осуществлять текущий контроль работающих масел по концентрации общих продуктов старения без испытания на износ.

Практическая значимость работы. На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны и внедрены практические рекомендации, включающие технологии определения: предельного состояния отработанных масел; текущего контроля состояния работающих моторных масел; технического состояния цилиндропоршневой группы и фильтрующих элементов системы смазки; противоизносных свойств.

Реализация результатов работы. Результаты исследований внедрены на автотранспортном предприятии «Терминалнефтегаз», автотранспортном предприятии ИП Сидорова В.М., филиале Красноярского государственного предприятия «Краевая дорожно-эксплуатационная организация», а также в учебный процесс кафедры «Топливообеспечение и горюче-смазочных материалов» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, что подтверждено соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались:

1) на II Всероссийской научной конференции с международным участием «Проблемы развития и интеграции науки, профессионального образования и права

в глобальном мире» (Красноярск, 2007);

2) VII Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Механики XXI века» (Братск, 2008).

3) Международной научно-технической конференции «Интерстроймех-2009» (Бишкек, 2009).

4) Всероссийской научной конференции с международным участием «Современные проблемы развития науки, техники и образования» (Красноярск, 2009);

5) на первом международном научно-техническом конгрессе «Энергетика в глобальном мире» (Красноярск, 2010);

6) на научно-технических семинарах кафедры «Топливообеспечение и горючесмазочные материалы» (Красноярск, СФУ ИНиГ, 2006 - 2012).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, включая семь работ в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК, получен патент № 2451293 РФ МПК⁷ G01N №33/30 от 22.05.2012 г.

Личный вклад автора. Автором лично разработан метод контроля, проведены научные эксперименты, обработаны экспериментальные данные, подготовлены основные публикации и оформлен патент, результаты исследований представлены на всероссийских и международных научных конференциях и внедрены на автотранспортных предприятиях и учебном процессе кафедры «Топливообеспечение и ГСМ» института нефти и газа «Сибирского федерального университета».

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 135 страницах машинописного текста, иллюстрируется 47 рисунками, 15 таблицами. Работа состоит из введения, 4 глав, основных выводов, библиографического списка из 104 наименований, актов внедрения и двух приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована её актуальность, поставлены цель и задачи исследования, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту, обозначены научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе проведён анализ научно-технической и патентной литературы по теме диссертационной работы. Отмечено, что в процессе работы двигателя качество моторного масла не остаётся постоянным. В работе рассмотрен механизм образования продуктов старения в масле и эксплуатационные факторы, влияющие на ресурс.

Проведён обзор существующих методов контроля эксплуатационных свойств моторных масел, включающих эмиссионную спектрометрию, флуоресцентную спектрометрию, фотометрирование, феррографию, магнитометрию, хроматографию. Предложенные методы имеют большое количество оценочных показателей качества масел, характеризующих их физико-химические свойства. При этом процедура определения качества смазочного материала по рекомендуемым показателям оказывается достаточно трудоёмкой и длительной, требующей наличия специ-

ально оборудованной лаборатории, дорогостоящего оборудования и квалифицированных специалистов, что не всегда экономически оправдано.

Анализ технической документации автотранспортных средств показал, что сроки замены масел не учитывают режимы работы двигателей и условия эксплуатации и установлены экспериментально. Классификация моторных масел согласно ГОСТ 17479.1-85, подразделяющая их на классы вязкости и группы эксплуатационных свойств, не обладает достаточной информацией для потребителей, так как не позволяет судить об их ресурсе.

Были изучены технологические процессы и методы контроля качества эксплуатируемых масел в условиях автотранспортных предприятий. На основании проделанной работы установлено, что наиболее эффективным с технологической точки зрения, является контроль общей концентрации продуктов загрязнения масел определяемый фотометрическим методом, который и был применён в данной работе. В условиях работы автотранспортных предприятий, пунктах технического обслуживания и ремонта этот метод наиболее эффективен.

Анализ триботехнических испытаний работающих и отработанных моторных масел показал, что общая концентрация продуктов старения оказывает влияние на противоизносные свойства масел и является доминирующей.

На основании обобщённого анализа был сделан вывод о необходимости разработки новых и эффективных методов оценки качества работающих масел по критериям концентрации общих продуктов загрязнения и их влияния на противоизносные свойства, позволяющий получить научно обоснованный браковочный показатель.

Во второй главе предложена методика контроля состояния отработанных и работающих моторных масел, особенность, которой заключается в определении критериев оценки работоспособного состояния, основанной на индивидуальном подходе к планированию технического обслуживания двигателя.

Методика контроля состояния отработанных и работающих моторных масел предусматривала, применение средств контроля и измерения: прибор для определения оптических свойств смазочных масел; прибор для термостатирования; малообъемный вискозиметр; машина трения, а также вспомогательные приборы: центрифуга и электронные весы. Исследования отработанных и работающих масел различной базовой основы проводилось в два этапа.

На первом этапе (рисунок 1) отбирались пробы масел в объёме 0,2 литра, слитые из двигателей парка машин при техническом обслуживании, отработавшие регламентируемый заводами-изготовителями срок. После тщательного перемешивания пробы, измерялась вязкость (при 100^oC), по которой определялся отработанный ресурс (допустимое увеличение вязкости масла на 30–35 %). Пробы подвергались прямому фотометрированию при толщине фотометрируемого слоя 0,15мм для определения концентрации общих продуктов старения и центрифугированию с частотой вращения ротора 8000 об/мин в течение одного часа с последующим фотометрированием и определением концентрации растворимых и нерастворимых продуктов старения. Наличие в масле моющих присадок определялось по плотно-

сти осадка после центрифугирования. По результатам оценки концентрации общих продуктов старения проводилась статистическая обработка данных по парку машин, на основании которой предварительно определялось предельное состояние исследуемых масел.

Второй этап – исследования отработанных моторных масел – заключался в корректировке предельного состояния, установленного на первом этапе, с учётом испытаний на термоокислительную стабильность (рисунок 2) для определения запаса ресурса.



Рисунок 1 – Схема испытания отработанных моторных масел: $K_{п}$ – коэффициент поглощения светового потока, определяющий концентрацию общих продуктов старения в отработанном масле; $K_{пр}$ – коэффициент, характеризующий концентрацию растворимых продуктов; $K_{пн}$ – коэффициент, характеризующий концентрацию нерастворимых продуктов

Методика предусматривала нагрев в стеклянном стакане и перемешивание стеклянной мешалкой, с частотой вращения 300 ± 2 об/мин пробы, отработанного моторного масла постоянной массы (100 г). Температура испытания составляла, $180^{\circ}\text{C} \pm 2$ и поддерживалась автоматически. Время испытания 20 ч. После 3, 8, 14 и 20 ч испытания проба испытываемого маслом взвешивалась с точностью 0,1 г для определения массы испарившегося масла. Оценка степени окисления моторных масел проводилась прямым фотометрированием по коэффициенту поглощения светового потока $K_{пт}$ термостатированной пробы, изменению вязкости и испаряемости, что позволило определить сопротивляемость отработанных масел окислению и

установить резерв их ресурса.

Часть проб отработанных моторных масел испытывалась на противоизносные свойства. Особенностью применяемой методики является использование трёхшариковой машины трения со схемой «шар–цилиндр», каждый в контакте из трех шаров взаимодействовал с цилиндром по индивидуальной дорожке, причём через одну пару трения пропускался постоянный ток величиной 100 мкА от внешнего стабилизированного источника напряжения 3В. Пропускаемый через фрикционный контакт ток регистрировался преобразователем ТРМ - 202, а его величина записывалась в виде диаграммы на компьютере. По диаграммам записи тока определялась продолжительность пластической, упругопластической и упругой деформаций. Параметры трения составили: нагрузка 13Н; скорость скольжения 0,68 м/с; время испытания – 2 часа; температура масла в объеме – 80°С. В качестве образцов пар трения выбран шар (подшипник № 204 ГОСТ 8338-57) диаметром 9,5 мм и верхняя обойма (роликового подшипника №7208 ГОСТ 333-59) диаметром 80 мм, выполненные из стали ШХ15. Перед проведением исследований поверхность обоймы шлифовалась. Шероховатость поверхности после шлифования составляла $R_a = 0,08 \div 0,16$ мкм. Поверхности шара и цилиндра перед испытанием промывались бензином и высушивались. Параметром оценки противоизносных свойств испытуемых масел являлось среднеарифметическое значение диаметра пятна износа на трёх шарах.

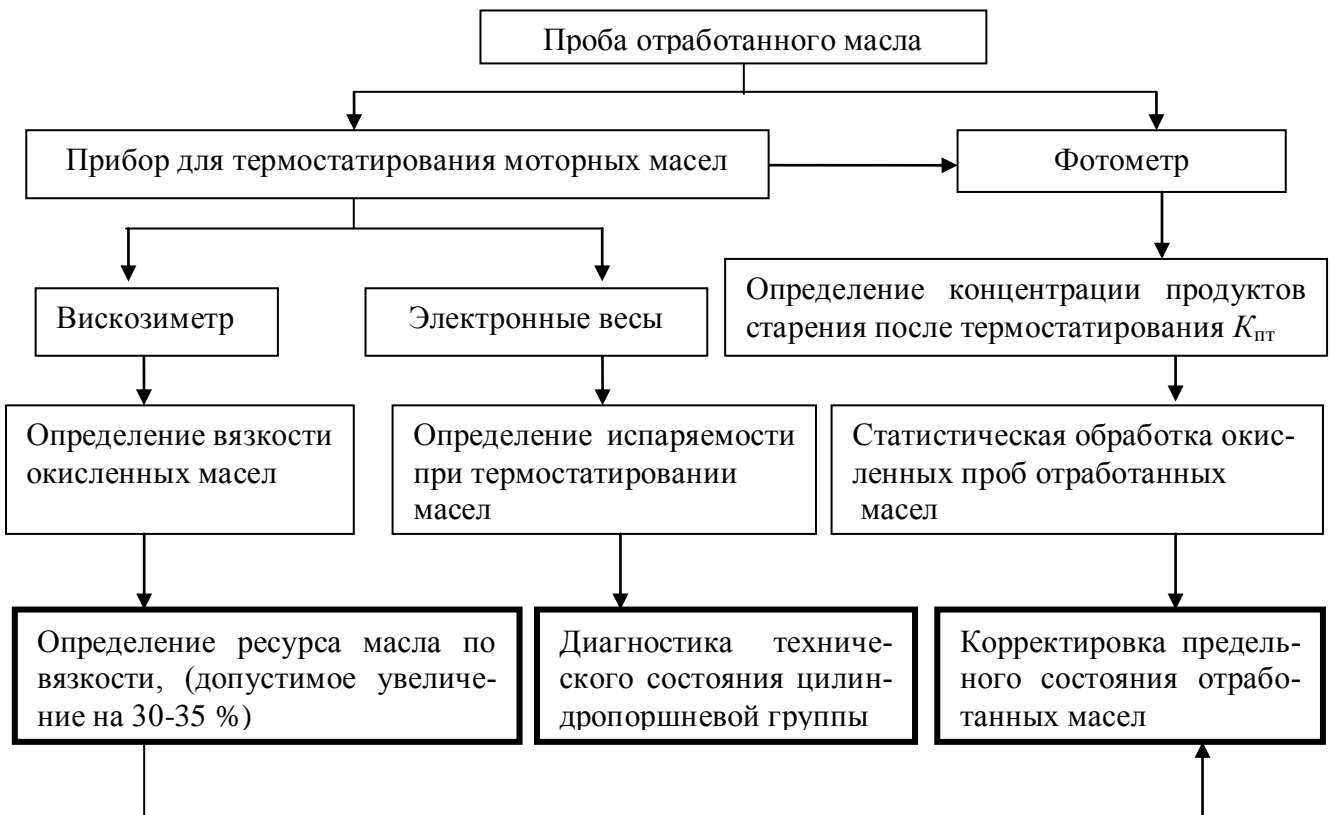


Рисунок 2 – Схема испытания отработанных моторных масел на термоокислительную стабильность.

С целью апробации предложенной методики и проверки соответствия установленного предельного состояния моторных масел проводились исследования синтетического моторного масла Ravenol VSI 5W–40 SM/CF, работавшего, в двигателе от залива товарного до слива отработанного, при нормативном пробеге. С этой целью из картера двигателя периодически отбирались пробы масла массой 30 г и подвергались испытанию согласно представленной на рисунке 1 схеме, включая испытания на машине трения.

Разработанная методика позволила обосновать предельное состояние моторных масел и оценить их противоизносные свойства.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований отработанных и работающих моторных масел различных классов вязкости, групп эксплуатационных свойств и базовой основы по оптическим свойствам, вязкости, концентрации общих, растворимых и нерастворимых продуктов старения, противоизносным свойствам и термоокислительной стабильности. Обоснованы критерии оценки предельного состояния отработанных масел, определены противоизносные свойства, а также результаты апробации методики на двигателе внутреннего сгорания от залива до слива моторного масла. Обоснованы методы диагностики технического состояния цилиндропоршневой группы и фильтрующих элементов системы смазки двигателя, представлены результаты исследования механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте с применением электрометрического метода и влияние продуктов старения на их интенсивность.

Анализ результатов прямого фотометрирования показал, что концентрации общих продуктов старения для частично синтетических масел находятся в интервалах значений от 0,17 до 0,51 ед., синтетических – от 0,06 до 0,61 ед.

Концентрации нерастворимых продуктов старения находится для частично синтетических масел в интервалах значений от 0,04 до 0,22 ед., синтетических – от 0,02 до 0,28 ед.;

Концентрации растворимых продуктов старения находится для частично синтетических масел в интервалах значений от 0,08 до 0,37 ед., синтетических от – 0,01 до 0,59 ед.

Вязкость отработанных частично синтетических масел изменяется в интервалах значений от 8,11 до 15,17 сСт, а синтетических – от 9 до 17,6 сСт, тогда как вязкость для частично синтетических товарных масел составляет 14 сСт, синтетических – от 11,8 до 24,4 сСт.

Эти данные подтверждают несовершенство существующей системы смены масел по пробегу, так как не учитываются индивидуальные условия эксплуатации и техническое состояние двигателей, частота доливов из-за угара масла и состояние цилиндропоршневой группы, влияющей на скорость его старения, что подтверждает актуальность решаемой в работе задачи.

Для определения предельного состояния отработанных масел построены кривые распределения количества проб масел N от выбранных интервалов значений коэффициента поглощения светового потока: общих $K_{\text{п}}$ (рисунок 3, а) нерастворимых $K_{\text{пн}}$ (рисунок 3, б) и растворимых продуктов старения $K_{\text{пр}}$ (рисунок 3, в). Показано, что процессы старения яв-

ляются случайными, а закономерности их протекания – это математические ожидания данной случайной функции.

Как видно на рисунке 3, концентрации общих, растворимых и нерастворимых продуктов старения совпадают для большинства проб частично синтетических и синтетических масел. Поэтому предельное значение концентрации общих продуктов старения для отработанных масел по коэффициенту поглощения светового потока принимается равным 0,3 ед, а с учётом допуска – в пределах от 0,3 до 0,325 ед.

Кривая распределения концентрации общих продуктов старения частично синтетических отработанных масел $N_{\text{чс}}$ описывается регрессионным уравнением

$$N_{\text{чс}} = 2000 \cdot K_{\text{п}}^3 - 2350 \cdot K_{\text{п}}^2 + 855 \cdot K_{\text{п}} - 89, \quad (1)$$

коэффициент корреляции составил 0,89;

для синтетических отработанных масел

$$N_{\text{с}} = 250 \cdot K_{\text{п}}^3 - 346,4 \cdot K_{\text{п}}^2 + 132,8 \cdot K_{\text{п}} - 9, \quad (2)$$

коэффициент корреляции составил 0,86.

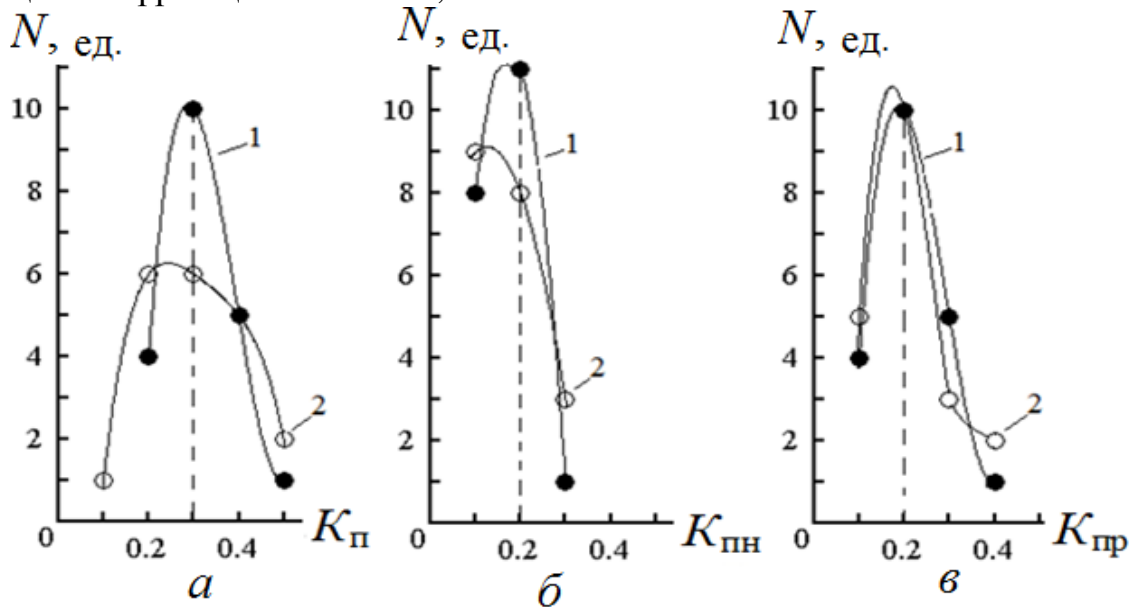


Рисунок 3 – Кривые распределения концентраций общих $K_{\text{п}}$ (а), нерастворимых $K_{\text{пн}}$ (б) и растворимых $K_{\text{пр}}$ (в) продуктов старения отработанных масел: 1 – частично синтетические; 2 – синтетические масла

При этом концентрация нерастворимых продуктов старения (рис. 3, б) для большинства частично синтетических отработанных масел составляет $K_{\text{пн}} = 0,2$ ед. (кривая 1), а синтетических $K_{\text{пн}} = 0,1$ ед. (кривая 2), а уравнения регрессии имеют вид

$$N_{\text{чс}} = -650 \cdot K_{\text{пн}}^2 + 225 \cdot K_{\text{пн}} - 8, \quad (3)$$

коэффициент корреляции составил 0,86;

$$N_{\text{с}} = -200 \cdot K_{\text{пн}}^2 + 50 \cdot K_{\text{пн}} + 6 \quad (4)$$

коэффициент корреляции составил 0,92.

Концентрация растворимых продуктов старения $K_{\text{пр}}$ (рис. 3, в) для большинства частично синтетических и синтетических отработанных масел составляет 0,2 ед., а кривая распределения описывается уравнением вида

$$N_{\text{чс}} = 2000 \cdot K_{\text{пр}}^3 - 1750 \cdot K_{\text{пр}}^2 + 445 \cdot K_{\text{пр}} - 25 \quad (5)$$

коэффициент корреляции составил 0,87;

$$N_c = 3000 \cdot K_{\text{пр}}^3 - 2400 K_{\text{пр}}^2 + 560 K_{\text{пр}} - 30 \quad (6)$$

коэффициент корреляции составил 0,9.

Таким образом, независимо от базовой основы механизм образования растворимых продуктов старения в двигателях одинаков и для большинства масел концентрация при замене масел составляет 0,2 ед.

Контроль концентрации нерастворимых продуктов старения имеет практическое значение, при оценке состояния работавшего масла, так как определяет производительность фильтрующих элементов системы смазки двигателя. Чем ниже производительность очистки масла, тем выше концентрация нерастворимых продуктов старения.

Согласно полученным результатам исследования (рисунок 3) часть отработанных масел имеет запас ресурса (не достигли браковочного значения 0,3–0,325), поэтому для установления значения предельного состояния данные пробы масел подвергались термостатированию.

Результаты термостатирования представлены на примере отработанных частично синтетических моторных масел на рисунке 4.

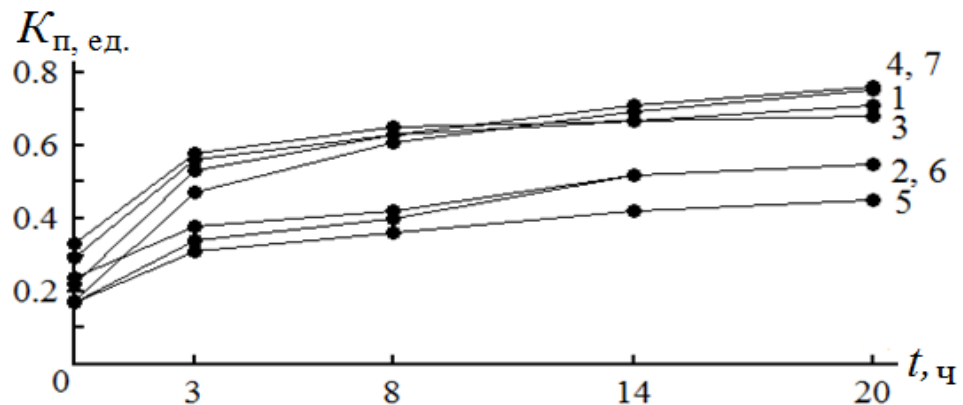


Рисунок 4 – Зависимости коэффициента поглощения светового потока от времени испытания при температуре (180°С) отработанных частично синтетических моторных масел: 1 – Texaco Havoline Extra 10W–40 SJ/CF; 2 – Esso Ultra 10W–40 SJ/CF; 3 – Esso Ultra 10W–40 SJ/CF; 4 – Ravenol TSI 10W–40 SM/CF; 5 – BP Visco 3000 10W–40 SJ/CF; 6 – BP Visco 3000 10W–40 SJ/CF; 7 – Ravenol TSI 10W–40 SM/CF

Установлено, что после 3 ч испытания наблюдается резкое увеличение коэффициента $K_{\text{п}}$, характеризующего отработанный маслом ресурс, причем, чем меньше изменяется коэффициент $K_{\text{п}}$, тем выше сопротивляемость масла окислению, а это значит, что оно пригодно к применению. Поэтому при обосновании предельного состояния отработанных моторных масел учитывались результаты испытания на термоокислительную стабильность.

На рисунке 5 представлена графическая модель определения предельного состояния отработанных частично синтетических (а) и синтетических (б) моторных масел, с учётом результатов термостатирования при температуре 180°С (кривая 2) в течение 3 ч. Предельное значение коэффициента поглощения светового потока, определялось пересечением кривых распределения до и после термостатирования.

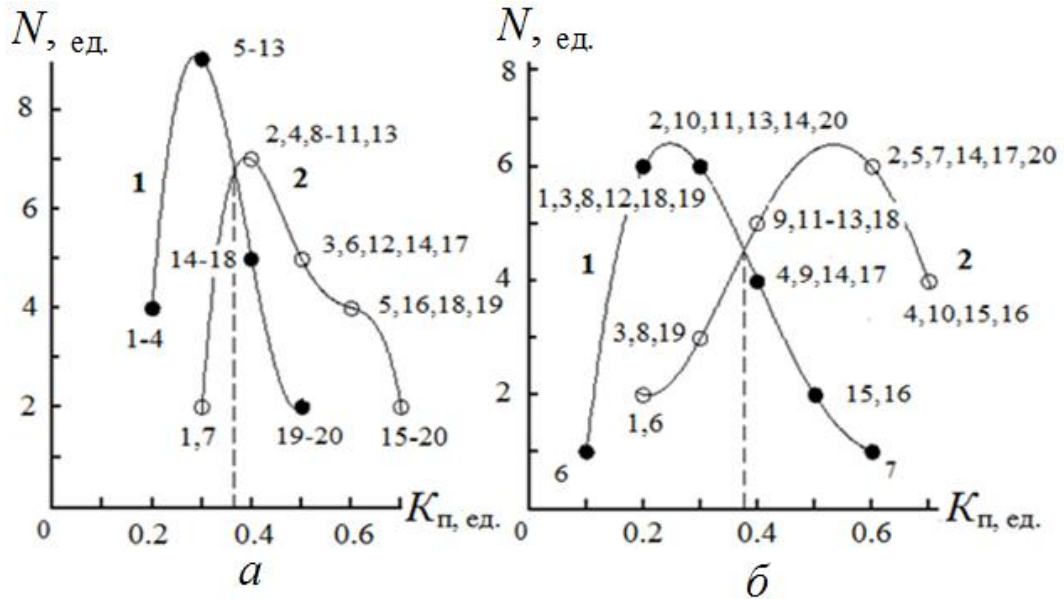


Рисунок 5 – Графическая модель определения предельного состояния отработанных частично синтетических (а) и синтетических (б) моторных масел: 1 – распределение исходных проб масел; 2 – распределение термостатированных проб масел в течение 3 ч.

Предельным состоянием отработанных частично синтетических масел принято значение коэффициента поглощения светового потока равное 0,38 ед. с учётом принятого допуска $\pm 0,02$ ед. По его величине определяют время замены моторных масел.

Аналогичным образом установлено предельное значение для синтетических масел, которое также составило $K_{п} = 0,38 \pm 0,02$ ед.

По результатам исследований 40 проб отработанных моторных масел различных базовых основ, установлено, что 5 проб переработали, 5 проб были заменены вовремя, а 30 проб недоработали до предельного состояния.

Оценка испаряемости отработанных масел при окислении (рисунок б) в течение 3 ч косвенно характеризует износ цилиндропоршневой группы двигателя, так как от величины износа зависит количество продуктов неполного сгорания топлива, попадающих в картер двигателя.

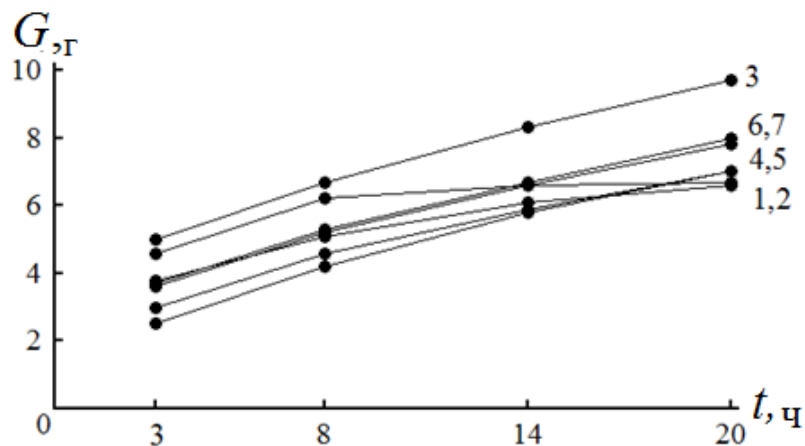


Рисунок 6 – Зависимости испаряемости от времени испытания отработанных частично синтетических моторных масел при температуре (180°C) (Усл. обозн. см. на рис. 4)

Обоснованность принятия величины предельного состояния для синтетических и частично синтетических отработанных моторных масел проверялась испытаниями партии масел на противоизносные свойства. Противоизносные свойства оценивались по диаметру пятна износа.

В работе предложен критерий противоизносных свойств Π (рисунок 7, а), характеризующий условную концентрацию продуктов старения масел на номинальной площади фрикционного контакта. Показано, что зависимость данного критерия от коэффициента поглощения светового потока имеет линейный характер для масел различных базовых основ, что позволяет прогнозировать противоизносные свойства по коэффициенту поглощения светового потока.

Критерий противоизносных свойств определяют по формуле

$$\Pi = K_{\text{п}} / U, \quad (7)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент поглощения светового потока; U – диаметр пятна износа.

Подтверждением объективности установленной величины предельного состояния моторных масел, являются зависимости параметра износа (рисунок 7, б) от коэффициента поглощения светового потока. Установлено, что параметр износа частично синтетических масел изменяется в пределах от 0,3 до 0,38 мм (кривая 1), а синтетических – от 0,28 до 0,36 мм (кривая 2) и не превышает критических значений. Причём для частично синтетических и синтетических масел установлен резерв по противоизносным свойствам. Эти данные подтверждают правильность установленного значения предельного состояния масел различных базовых основ.



Рисунок 7 – Зависимости критерия противоизносных свойств Π (а) и параметра износа U (б) от коэффициента поглощения светового потока: 1 – частично синтетических моторных масел; 2 – синтетических моторных масел

Правильность выбора установленного значения предельного состояния отработанных моторных масел подтверждается также зависимостью средней скорости формирования

площади фрикционного контакта от коэффициента поглощения светового потока (рисунок 8). Показано, что в области предельного состояния масел (штрихованная область) скорость формирования площади фрикционного контакта начинает уменьшаться как для синтетических, так и частично синтетических масел, что обусловлено увеличением времени действия пластической и упругопластической деформаций и соответственно увеличением параметра износа.

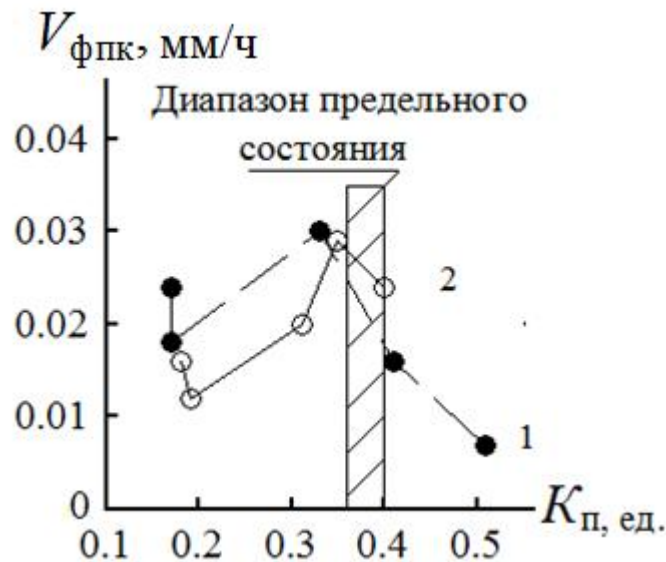


Рисунок 8 – Зависимости средней скорости формирования площади фрикционного контакта от концентрации продуктов старения при испытании отработанных масел: 1 – частично синтетических моторных масел; 2 – синтетических моторных масел

Апробация разработанной методики по установлению предельного состояния проводилась при исследовании процессов старения синтетического моторного масла Ravenol VSI 5W–40 SM/CF в двигателе от залива товарного масла до его слива (пробег составил 10000 км без доливов). Результаты исследования представлены на рисунке 9. Показано, что процесс старения (рисунок 9, а) масел изменяется практически по линейной зависимости и описывается уравнением

$$K_{п} = a \cdot S, \quad (8)$$

где a – скорость старения работающего масла, $a = 0,0255$; S – пробег, км. Коэффициент корреляции 0,97

Вязкость (рисунок 9, б) работавшего синтетического моторного масла в процессе эксплуатации подвержена колебаниям. Изменение вязкости может объясняться изменениями молекулярных связей из-за появления в масле продуктов старения и температурной деструкции вязкостной присадки. Увеличение вязкости наступает при образовании нерастворимых продуктов старения.

Параметр износа (рисунок 9, в) в начале эксплуатации масла увеличивается по сравнению с товарным (точка на ординате), затем уменьшается и при коэффициенте поглощения светового потока $K_{п} = 0,26$ ед., износ становится ниже износа товарного масла, что вызвано появлением смолистых образований.

Зависимость критерия противоизносных свойств Π (рисунок 9, г) до значения коэффициента $K_{п} = 0,187$ ед., (7292 км) имеет линейный характер. Изгиб зависимости при

$K_{\Pi} > 0,187$ ед., вызван повышением противоизносных свойств работающего масла. Данный критерий предложено применять для контроля противоизносных свойств масел, как при их производстве, так и при применении. Для этого достаточно отобрать пробу работавшего масла из двигателя, определить его оптические свойства (коэффициент поглощения светового потока K_{Π}) и по зависимости $\Pi = f(K_{\Pi})$ (рисунок 9, з) определить значение критерия Π , по которому установить значение противоизносных свойств по формуле

$$U = K_{\Pi} / \Pi, \quad (9)$$

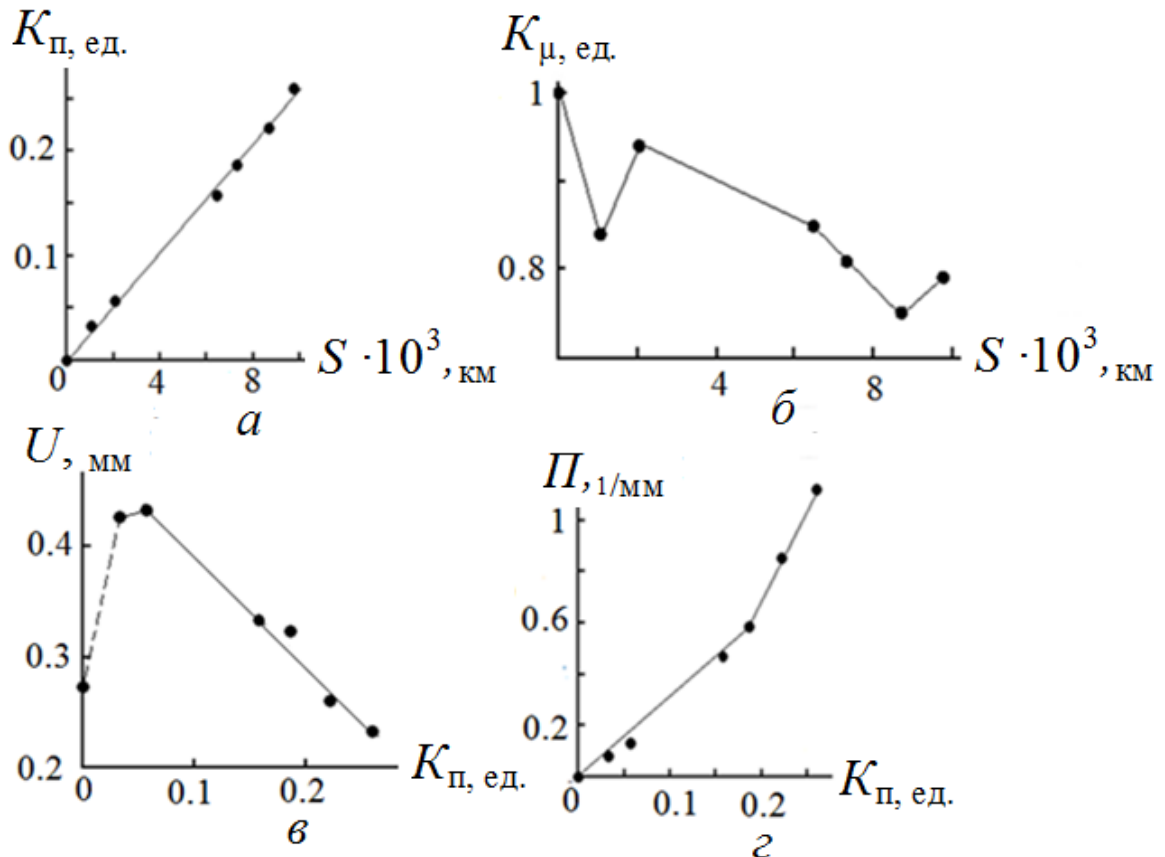


Рисунок 9 – Зависимости коэффициента поглощения светового потока K_{Π} (а), коэффициента относительной вязкости K_{μ} (б) от пробега автомобиля, параметра износа U (в) и критерия противоизносных свойств Π (з) от коэффициента поглощения светового потока

Анализ исследований процессов старения синтетического моторного масла Ravenol VSI 5W–40 SM/CF в двигателе показал, что после пробега автомобиля 10,0 тыс. км величина коэффициента поглощения светового потока составила 0,26 ед., масло не достигло предельного состояния, при этом противоизносные свойства по сравнению с товарным маслом повысились на 12 %, а вязкость понизилась на 20 %.

Разработанная методика исследования отработанных и работающих моторных масел позволяет с применением предложенных средств измерения установить предельное состояние, косвенно оценить техническое состояние цилиндропоршневой группы и состояние фильтрующих элементов системы смазки двигателя, обосновать влияние состава и концентрации продуктов старения на противоизносные свойства, значения которых зависят от интенсивности механохимических процессов, протекающих на фрикционном контакте и про-

должительности пластической и упругопластической деформаций.

В четвёртой главе диссертационной работы представлены практические рекомендации, разработанные на основе применения средств контроля: прибора для определения оптических свойств смазочных масел, прибора для термостатирования, малообъёмного вискозиметра, центрифуги, трёхшариковой машины трения и электронных весов, включающие технологии определения: предельного состояния отработанных масел; текущего контроля параметров состояния работающих моторных масел; технического состояния цилиндропоршневой группы по количеству испарившегося масла и фильтрующих элементов системы смазки двигателя, по разности коэффициентов поглощения светового потока до и после центрифугирования, противоизносных свойств работавших масел.

Результаты диссертационной работы внедрены и используются на предприятиях автотранспорта: «Терминалнефтегаз», автотранспортном предприятии ИП Сидоров В.М., в филиале Красноярского государственного предприятия «Краевая дорожно-эксплуатационная организация», а также в учебном процессе кафедры «Топливообеспечение и горюче-смазочных материалов» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, что подтверждено соответствующими актами.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Разработан метод контроля предельного состояния моторных масел различных базовых основ, с применением фотометрии, центрифугирования, термостатирования и триботехнических испытаний, позволяющий повысить эффективность использования смазочных материалов

2. Анализ отработанных моторных масел различной базовой основы парка машин (40 ед.) показал, что концентрация общих продуктов старения колеблется от 0,06 до 0,61 ед., нерастворимых – от 0,02 до 0,28 ед., растворимых – от 0,01 до 0,59 ед., вязкость изменяется в пределах от 8,11 до 24,4 сСт, противоизносные свойства (по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа) от 0,28 до 0,38 мм, что указывает на несовершенство существующей системы замены масел по пробегу автомобиля.

3. На основе статистической обработки результатов исследования отработанных моторных масел различной базовой основы обосновано предельное значение концентрации общих продуктов старения, определяемое фотометрическим методом и численно равное $K_{п} = 0,38 \pm 0,02$ ед.

4. Предложен критерий оценки противоизносных свойств отработанных и работающих моторных масел, определяемый отношением коэффициента поглощения светового потока к параметру износа и характеризующий условную концентрацию продуктов старения на номинальной площади фрикционного контакта, зависимость которого от коэффициента поглощения светового потока описывается линейным уравнением, что позволяет по скорости изменения критерия сравнивать

различные смазочные масла и осуществлять периодический контроль противоизносных свойств в процессе эксплуатации техники.

5. Предложено оценивать состояние фильтрующих элементов масляной системы двигателя по концентрации нерастворимых продуктов старения, а состояние цилиндропоршневой группы двигателя по испаряемости отработанных масел термостатированных при температуре 180°С.

6. Разработаны практические рекомендации, включающие технологии определения: предельного состояния отработанных масел, текущего контроля состояния работающих моторных масел; технического состояния цилиндропоршневой группы и фильтрующих элементов системы смазки; противоизносных свойств направленные на повышение эффективности применения моторных масел, совершенствование системы планово-предупредительных ремонтов и снижение эксплуатационных затрат.

ОПУБЛИКОВАННЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Кораблев С.А. Фотометрический метод определения термоокислительной стабильности трансмиссионных масел / С.А. Кораблев, Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, **В.И. Верещагин** // Вестн. КрасГАУ, № 12 – 2006. – С. 204–209.

2. **Верещагин В.И.** Методика оценки ресурса моторных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, А.С. Попов // Вест. КрасГАУ, № 6 – 2007.– С.169–174.

3. **Верещагин В.И.** Результаты исследования состояния моторного масла при эксплуатации двигателя / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, М.М. Рунда // Известия Томского политехн. ун-та (ТПУ) – Т. 322: Математика и механика. Физика, № 2 – 2013.– С. 157–159.

4. **Верещагин В.И.** Влияние процесса старения моторного масла RAVENOL VSI 5W–40 SM/CF на его противоизносные свойства. / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, М.М. Рунда, В.Г. Шрам, А.В Берко // Вест. Кузбасского гос. техн. ун-та, №5 (99). – 2013. – С. 91–97.

5. Ковальский Б.И. Процессы, протекающие на фрикционном контакте при триботехнических испытаниях работающих моторных масел / Б.И. Ковальский, В.И. Верещагин, В.Г. Шрам, М.М. Рунда // Контроль. Диагностика. – № 13 – 2013.– С. 172–177.

6. Ковальский Б.И. Влияние ресурса моторных масел на состав продуктов старения и противоизносные свойства / Б.И.Ковальский, **В.И. Верещагин**, М.М. Рунда, В.Г. Шрам // Вестн. Иркутского гос. техн. ун-та, №10 (81) – 2013. – С. 197–200.

7. Ковальский Б.И. Влияние климатических условий эксплуатации двигателей на процесс старения моторного масла / Б.И.Ковальский, **В.И. Верещагин**, М.М. Рунда, Я.С. Янович, В.Г. Шрам // Мир нефтепродуктов. Вест. нефтяных компаний. Москва, № 12. – 2013. – С. 8–10.

Публикации в научных изданиях

8. Пат. № 2451293 Рос. Федерация: МПК⁷ G 01 N 33/30. Способ определения работоспособности смазочных масел / **В. И. Верещагин**, Б.И. Ковальский, А.В. Юдин, М.М. Рунда; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2011106660/15, заявл. 22.02.2011; опубл. 20.05.2012. Бюл. № 14

9. Ковальский Б.И. Метод оценки качества отработанных моторных масел / Б.И. Ковальский, **В.И. Верещагин**, А.А. Метелица, А.С. Попов. // Наука и технологии: труды XXVI Российской школы. – М.: РАН, Москва, 2006. – С. 295.

10. Ковальский Б.И. Результаты анализа отработанных моторных масел / Б.И. Ковальский, **В.И. Верещагин**, В.С. Даниленко, Н.Н. Малышева. // Вестник университетского комплекса: Сб. научных трудов. / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко; Красноярск: ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ. –2006. – №8(22). – С. 257.

11. **Верещагин В.И.** Методика определения критерия термоокислительной стабильности отработанных моторных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский. // Материалы II Всероссийской научной конференции с междунар. участием. Красноярск, – 2007. – С. 400 – 405.

12. **Верещагин В.И.** Диагностика состояния фильтрующих элементов в процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский // Механики XXI века. VII Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: сборник докладов. – ГОУ ВПО «БрГУ» Братск, – 2008. – С. 428

13. Берко А.В. Влияние степени окисления моторных масел на их противоизносные свойства / А.В. Берко, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Ананьин, **В.И. Верещагин**, // Интерстроймех-2009: материалы Международной научно-технической конференции / Кырг. гос. ун-т строит-ва, трансп. и архит. – Бишкек, – 2009. – С.349 –353.

14. **Верещагин В.И.** Метод контроля качества работающих моторных масел / В.И. Верещагин, А.В. Берко, Ю.Ф. Кайзер, А.В. Кузьменко // Интерстроймех-2009: материалы Международной научно-технической конференции / Кырг. гос. ун-т строит-ва, трансп. и архит. – Бишкек, –2009. – С. 335 – 339.

15. Ковальский Б.И. Вопросы прогнозирования долговечности технических систем по параметрам смазочного материала / Б.И. Ковальский, **В.И. Верещагин**, // Современные проблемы развития науки, техники и образования: сб. науч. тр.– Красноярск: ИПК СФУ, – 2009. – С.359 – 368.

16. **Верещагин В.И.** Технология определения предельного состояния работавших моторных масел / В.И. Верещагин, Б.И. Ковальский, Е.Г. Мальцева // Энергетика в глобальном мире: сб. тез. докл. первого международного научн. – технич. конгресса. – Красноярск: ООО «Версо», – 2010. – С.313.

17. Ковальский Б.И. Какие процессы протекают в смазочном масле при термостатировании и их влияние на противоизносные свойства / Б.И. Ковальский, **В.И. Верещагин**, М.М. Рунда, В.С. Янович, А.А. Игнатьев // Армейский сборник, Москва, – 2012. – С.40–44.

Подписано в печать 2014. Печать плоская. Формат 60x84/16.
Бумага офсетная. Усл. печ. л.1,25 Тираж 100 экз. Заказ 5724

Отпечатано полиграфическим центром
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041 Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел/факс (391)249-74-81, 249-73-55
E-mail: print_sfu@mail.ru; <http://lib.sfu-kras.ru>