

Мальшева Наталья Николаевна

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ И
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПО КРИТЕРИЯМ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТОЙКОСТИ**

Специальности:

05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

05.02.13 – Машины, агрегаты и процессы (машиностроение)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук,
профессор **Ковальский Болеслав Иванович**

Научный консультант: доктор технических наук, профессор,
заслуженный изобретатель Российской Федерации
Ереско Сергей Павлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор,
заслуженный деятель науки и техники Российской Федерации **Краев Михаил Васильевич**

доктор технических наук, профессор,
Ермолович Александр Геннадьевич

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Защита состоится «20» июня 2008г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.13 при ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет» по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского, 26, в ауд. Г 2-50.

Тел. / факс (3912) 49-82-55; e-mail: DM21209913@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью составителя, заверенные гербовой печатью организации, просим направлять по адресу диссертационного совета.

Автореферат разослан « 19 » мая 2008г.

Учёный секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, доцент



Э.А. Петровский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

В данной работе смазочный материал рассматривается, как необходимый элемент и индикатор нагруженности механической системы, поэтому ему присущи такие свойства надежности, как долговечность, безотказность, сохраняемость и восстанавливаемость. Индикаторные свойства смазочного материала проявляются и усиливаются при повышении параметров нагрузочного и теплового режима машин, а также засорении системы фильтрации внешними загрязнениями и продуктами износа смазываемых элементов машин, что в конечном итоге ускоряет процесс старения смазочного материала и снижает уровень надежности машин.

В настоящее время ресурс смазочных материалов для различных машин и агрегатов регламентируется заводами-изготовителями машин, а контроль их технического состояния и сроки замены обеспечиваются системой технического обслуживания и исчисляются пробегом или наработкой в мото-часах. Такая система, наряду со своей простотой, имеет существенные недостатки, т.к. не учитывает индивидуальные условия и режимы эксплуатации, техническое состояние машин и агрегатов, состояние системы фильтрации, объемы доливов, вызванных угаром, испарением и негерметичностью систем смазки.

Информация о температурной области работоспособности широкого ассортимента смазочных материалов в технической литературе отсутствует, что затрудняет выбор смазочных материалов для машин и агрегатов с заданными температурными режимами работы на этапе проектирования.

Основное влияние на ресурс смазочных материалов оказывает температура на поверхностях трения, вызывающая окисление и деструкцию их базовой основы и присадок. Для оценки антиокислительных свойств смазочных материалов введен показатель термоокислительная стабильность, которая регламентируется техническими условиями и стандартами на их производство по кислотному числу и периоду осадкообразования.

Температурная стойкость смазочных материалов до настоящего времени косвенно определяется температурой вспышки. Однако с помощью параметра температуры вспышки невозможно установить значения температур начала деструкции базовой основы и присадок, интенсивность и значение температуры завершения процесса деструкции. Показатель температурная стойкость пока не регламентирован в качестве обязательного для классификации и идентификации смазочных материалов по группам эксплуатационных свойств.

Стандартный метод определения температурной стойкости смазочных материалов с использованием четырехшариковой машины трения и измерение удельной величины лакононагарообразования смазочного материала не обеспечивают получения объективной информации, т.к. влияние температуры оценивается косвенно коэффициентом трения, нагрузкой сваривания, обобщенным показателем износа (ГОСТ 23.221-84) и количеством образовавшегося нагара.

Данные методы не позволяют исследовать процессы деструкции смазочного материала, их интенсивность и граничные условия, поэтому поиск и обос-

нование новых методов и средств исследования температурной стойкости смазочных материалов различного назначения и базовых основ является актуальной задачей, решение которой позволит обоснованно осуществлять выбор смазочных материалов, контролировать и прогнозировать их состояние в процессе эксплуатации.

Цель диссертационной работы – совершенствование технологий идентификации и диагностирования эксплуатационных свойств смазочных материалов, как элементов систем приводов и агрегатов, по критериям оценки их температурной стойкости.

Задачи исследования:

- разработать комплексную методику исследования и средства контроля температурной стойкости товарных и работавших смазочных материалов;
- исследовать температурную стойкость товарных и работавших смазочных материалов различных базовых основ и групп эксплуатационных свойств, оценить влияние присадок на температурную стойкость и обосновать критерии оценки работоспособности;
- установить количественные и качественные показатели процесса температурной деструкции смазочных материалов и обосновать критерии оценки температурной стойкости;
- разработать технологии идентификации товарных смазочных материалов по группам эксплуатационных свойств и диагностирования работавших смазочных материалов.

Объекты исследования – смазочные материалы, как элементы систем приводов машин и агрегатов и технология диагностирования их технического состояния.

Предмет исследования – процессы деструкции товарных и работавших смазочных материалов по критериям температурной стойкости.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось с применением теории надежности, применительно к системам приводов и агрегатов, теории трения, износа и смазки, оптики, положений триботехники, в части приспособляемости и самоорганизации трибосистем, а также методов диагностики.

При выполнении работы применялись поверенные стандартные и специально разработанные автором сертифицированные приборы, теория планирования и обработки результатов экспериментальных исследований, методы математической статистики и регрессионного анализа.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, подтверждается теоретически и экспериментально. Научные положения аргументированы, теоретические результаты работы получены с использованием положений трибологии, оптики, теплотехники, выводы подтверждены проведенными экспериментальными исследованиями, их воспроизводимостью и результатами математической обработки с использованием сертифицированных программ для обработки экспериментальных данных в соответствии с постановкой и планированием экспериментальных исследований.

На защиту выносятся:

- комплексная методика испытания смазочных материалов на температурную стойкость;
- результаты экспериментальных исследований товарных моторных и трансмиссионных масел и критерии для идентификации исследуемых масел по группам эксплуатационных свойств;
- результаты экспериментальных исследований работавших моторных масел на температурную стойкость и критерии для их диагностирования;
- результаты регрессионного анализа процесса деструкции смазочных материалов в диапазоне температур испытания от 140 до 300 °С;
- технологии идентификации товарных и диагностирования работавших смазочных материалов по критериям температурной стойкости.

Научная новизна наиболее существенных результатов, полученных лично автором:

- разработанная комплексная методика и средства измерения для определения температурной стойкости смазочных материалов, в отличие от известных, позволяет установить новые критерии для оценки температурной стойкости товарных и работавших смазочных материалов, обоснованно осуществлять выбор смазочных материалов на стадии проектирования машин и агрегатов и диагностировать техническое состояние масел в процессе их эксплуатации;
- регрессионные модели процесса деструкции смазочных материалов в диапазоне температур от 140 до 300 °С, позволяют их идентифицировать по группам эксплуатационных свойств, диагностировать их техническое состояние, прогнозировать эксплуатационный ресурс и совершенствовать систему классификации по таким параметрам как: температура начала деструкции присадок, скорость процесса деструкции, предельная температура деструкции, комплексный критерий температурной стойкости, температура начала деструкции базовой основы и температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции;
- предложены новые критерии оценки состояния моторных масел в эксплуатации, такие как: коэффициент диспергирующих свойств K_g , параметр технического состояния $K_{т.с.}$, а также предельная температура деструкции, позволяющие косвенно определять параметры технического состояния топливной аппаратуры, системы фильтрации, а также оценить износ цилиндропоршневой группы, корректировать и нормировать сроки замены смазочных материалов при проведении технического обслуживания машин и отдельных агрегатов.

Практическая значимость работы. На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны практические рекомендации, включающие технологии идентификации смазочных материалов, применение которых значительно повышает точность выбора масел для машин и агрегатов на стадии их проектирования, а также диагностировать работавшие масла, что позволяет осуществлять текущий контроль их состояния и существенно уточнять сроки необходимой замены. Разработана и внедрена в производство и в учеб-

ный процесс экспериментальная и методическая база по определению температурной стойкости смазочных материалов. Результаты исследования работавших моторных масел на температурную стойкость подтвердили возможность практического применения разработанной комплексной методики для диагностирования состояния цилиндропоршневой группы, системы фильтрации двигателей внутреннего сгорания и определения предельного состояния.

Реализация результатов работы. Результаты исследований использованы в учебном процессе Политехнического института Сибирского федерального университета и на предприятиях: УМ-17 ОАО «Строймеханизация»; Автоцентр «Красгазсервис»; ОАО «Брестон» г. Красноярск.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались: на Всероссийской IV научно – практической конференции «Энергоэффективность жизнеобеспечения города» (Красноярск, 2006 г.); межрегиональной научно-практической конференции «Инновационное развитие регионов Сибири» (Красноярск, 2006 г.); Всероссийской VII научно-практической конференции «Наука. Промышленность. Оборона» (Новосибирск, 2006 г.); региональной научно-практической конференции «Специалист XXI века» (Ачинск, 2006г.); Всероссийской VI с международным участием научно-технической конференции «Механики XXI века» (Братск, 2007г.) и на научно-технических семинарах Братского государственного университета (2007 г.) и Политехнического института Сибирского федерального университета (2008 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 научных работ, включая четыре работы в издании, рекомендованном перечнем ВАК, получено 2 патента РФ и на одну поданную заявку получено положительное решение. Список основных публикаций приведен в конце автореферата.

Объем и структура диссертации. Диссертация содержит 166 страниц, включая 150 страниц машинописного текста, 48 рисунков, 15 таблиц. Работа состоит из введения, 4 разделов, основных выводов, библиографического списка из 125 наименований и двух приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована ее актуальность, поставлены цель и задачи исследований, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первом разделе приведен обзор методов и средств определения температурной стойкости смазочных материалов и роль этого показателя в повышении надежности сопряжений, работавших в условиях граничного трения скольжения и качения.

С этой целью выполнен анализ исследований в области классификации смазочных материалов, который показал, что информации предоставляемой производителями нефтепродуктов, разработчикам новой техники и эксплуатационникам, недостаточно для принятия правильного решения по их выбору для

машин, работающих в различных условиях эксплуатации. Кроме того, отсутствуют экспрессивные методы определения деструкции базовых масел и присадок, что в значительной мере затрудняет правильность подходов к объяснению механизма схватывания и заедания при трении и прогнозирования предельных условий. В этой области можно отметить работы Ю.Н. Дроздова, М.Д. Безбородько, В.В. Менга, Р.М. Матвеевского, И.А. Буяновского, Н.А. Буше и др.

Смазочный материал, как элемент трибосистемы, находящийся в неразрывной связи с состоянием смазываемого агрегата и условиями его эксплуатации, существенно влияет на надежность всей системы, поэтому установление температурной области работоспособности является важной проблемой. Основными свойствами надежности смазочного материала являются долговечность, сохраняемость, восстанавливаемость и безотказность. Надежность может отождествляться со стабильностью эксплуатационных свойств. Такие свойства надежности механических систем как долговечность для смазочных материалов идентифицируются как работоспособность, восстанавливаемость – как способность к регенерации, безотказность - как эффективность реализации заданных свойств в широком диапазоне условий эксплуатации техники, а сохраняемость – как стабильность качества смазочного материала при хранении в широком диапазоне климатических условий. В этой области можно отметить работы Б.В. Дерягина, К.К. Климова, Л.И. Бершадского, Б.И. Костецкого, И.В. Крагельского, Г.В. Виноградова и др.

На основе проведенного анализа исследований в области температурной стойкости смазочных материалов установлено, что этот показатель эксплуатационных свойств в основном исследовался применительно к граничному трению (ГОСТ 23.221-84), а работ, направленных на изучение процессов, протекающих в объеме смазочного материала при высоких температурах, недостаточно, и они в основном сосредоточены на определении температур, при которых появляются лаконогаарообразования. Результаты исследования процессов, протекающих в объеме смазочного материала при высоких температурах можно применять для объяснения процессов формирования защитных слоев на поверхностях трения при граничном трении.

Второй раздел посвящен разработке методики исследования смазочных материалов на температурную стойкость, обоснованию средств измерения с кратким их описанием, проведению и обработке результатов исследований, включающей определение значений среднего арифметического, среднеквадратического отклонений, коэффициента регрессии, коэффициента корреляции, относительные погрешности аппроксимации каждого опыта и среднюю погрешность аппроксимации эксперимента.

Особенностью методики является термостатирование смазочных материалов в разработанном автором приборе при атмосферном давлении и его статическом состоянии в диапазоне температур до 300 °С. Термостатирование производилось в течение 6 часов с последующим фотометрированием, центрифугированием, измерением вязкости и летучести. С этой целью использовались фотометр для прямого фотометрирования проб масел, малообъемный вискозиметр, прибор для определения температурной стойкости, а также стандарт-

ные центрифуга (8000 об/мин) и электронные весы, технические характеристики которых приводятся в разделе. Испытаниям подвергались моторные и трансмиссионные масла постоянной массы (50г) различных классов вязкости, групп эксплуатационных свойств и базовых основ (минеральные, синтетические и частично синтетические).

Оптические свойства масел оценивались по коэффициенту поглощения светового потока K_n . Температура испытуемого масла задавалась дискретно через 20 °С и в течение испытания поддерживалась автоматически. При каждой температуре в прибор заливалась новая порция масла.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики и регрессионного анализа с использованием программ ЭВМ «Advanced Grapher», «Eregre».

Комплексная оценка температурной стойкости товарных и работавших смазочных материалов проводилась по коэффициенту поглощения светового потока, вязкости и летучести, по которым проводился поиск критериев деструкции.

Третий раздел содержит результаты экспериментальных исследования температурной стойкости товарных моторных, трансмиссионных масел и работавших моторных с использованием разработанной методики.

Температурная стойкость смазочных материалов (ГОСТ 23.221-84) определяется при трении по критической температуре, при которой происходит разрушение смазочного слоя, разделяющего поверхности, и температуре химической модификации, при которой происходит эффективное прекращение заедания вследствие образования на поверхностях трения модифицированного слоя, однако изменения, происходящие в самом смазочном материале, он не учитывает.

Применение разработанной методики позволяет количественно и качественно оценить процессы, происходящие в смазочном материале с помощью фотометрического метода при повышении температуры испытания до 300 °С. Для выявления принципиальных различий в процессе деструкции исследования проводились на минеральном, частично синтетическом и синтетическом моторных и трансмиссионных маслах.

Влияние температуры на изменение оптических свойств масел оценивалось коэффициентом поглощения светового потока K_n (рис.1). Установлено, что зависимости коэффициента поглощения светового потока от температуры испытания имеют два характерных участка различной интенсивности для минерального (кривая 1), частично синтетического (кривая 2) и синтетического (кривая 3) масел. Это объясняется различиями в составе и концентрации продуктов деструкции и их влиянием на оптические свойства, причем второй участок характеризуется стабилизацией коэффициента K_n , подтверждающей завершение процесса деструкции.

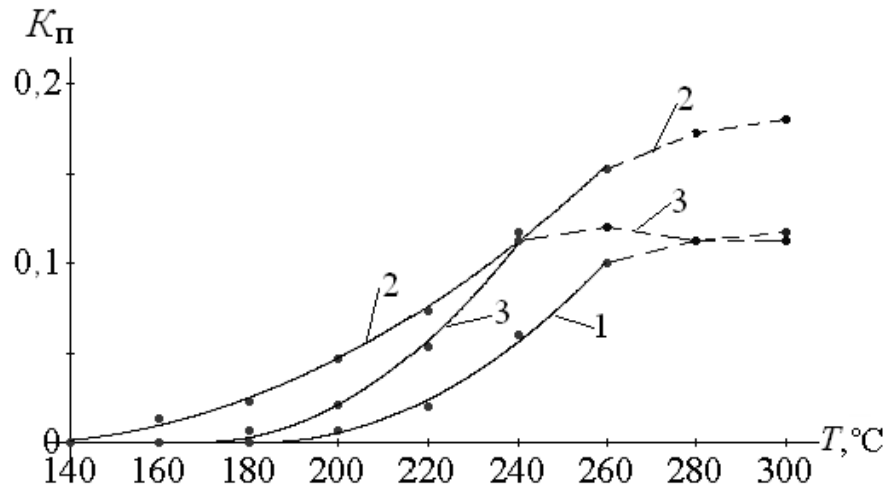


Рис.1. Зависимость коэффициента поглощения светового потока (K_n) от температуры (T) испытания масел: 1 – минеральное Mobil 10W-40 SJ/CH; 2 - частично синтетическое Zic 5000 10W-40 CG-4/SH; 3 – синтетическое Pentosynth 5W-40 SH/CF

Процесс деструкции минеральных, частично синтетических и синтетических масел происходит на первом участке и описывается уравнениями второго порядка

$$K_n = \alpha_1 T^2 + \alpha_2 T + b, \quad (3)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты, характеризующие интенсивность образования продуктов деструкции; b – коэффициент, зависящий от базовой основы смазочного материала и качества присадок; T – температура испытания, °C.

Уравнения регрессии определялись до предельной температуры деструкции и составили для масел:

$$\text{Mobil 10W - 40 SJ/CH} - K_n = 1,4875 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,0052 T + 0,4617, \quad (4)$$

коэффициент корреляции составил 0,995;

$$\text{Zic 5000 10W-40 CG-4/SH} - K_n = 8,6012 \cdot 10^{-6} T^2 - 0,0022 T + 0,1351, \quad (5)$$

коэффициент корреляции составил 0,997;

$$\text{Pentosynth 5W - 40 SH/CF} - K_n = 2,4232 \cdot 10^{-5} T^2 - 0,0083 T + 0,7115, \quad (6)$$

коэффициент корреляции составил 0,997.

Критериями процесса деструкции являются значения температур начала деструкции и ее завершения, так, для минерального масла (кривая 1) они соответственно составили 185 и 260 °C, частично синтетического (кривая 2) – 140 и 260 °C и синтетического (кривая 3) – 170 и 240 °C.

Количественным показателем процесса деструкции для масел различной базовой основы принята скорость протекания деструкции (рис. 2), определяемая производными уравнений (4-6), которая описывается уравнением первого порядка

$$V_{K_{\Pi}} = 2 \cdot \alpha T + c, \quad (7)$$

где α – коэффициент, характеризующий угол наклона зависимости $V_{K_{\Pi}} = f(T)$; c – коэффициент, характеризующий сопротивляемость деструкции масел; T – температура испытания, °С.

Для исследуемых масел получены следующие регрессионные уравнения скорости процесса деструкции:

$$\text{Mobil 10W - 40 SJ/CH} \quad - \quad V_{K_{\Pi}} = 2,975 \cdot 10^{-5} T - 0,0052; \quad (8)$$

$$\text{Zic 5000 10W-40 CG-4/SH} \quad - \quad V_{K_{\Pi}} = 1,7202 \cdot 10^{-5} T - 0,0022; \quad (9)$$

$$\text{Pentosynth 5W - 40 SH/CF} \quad - \quad V_{K_{\Pi}} = 4,8464 \cdot 10^{-5} T - 0,0083. \quad (10)$$

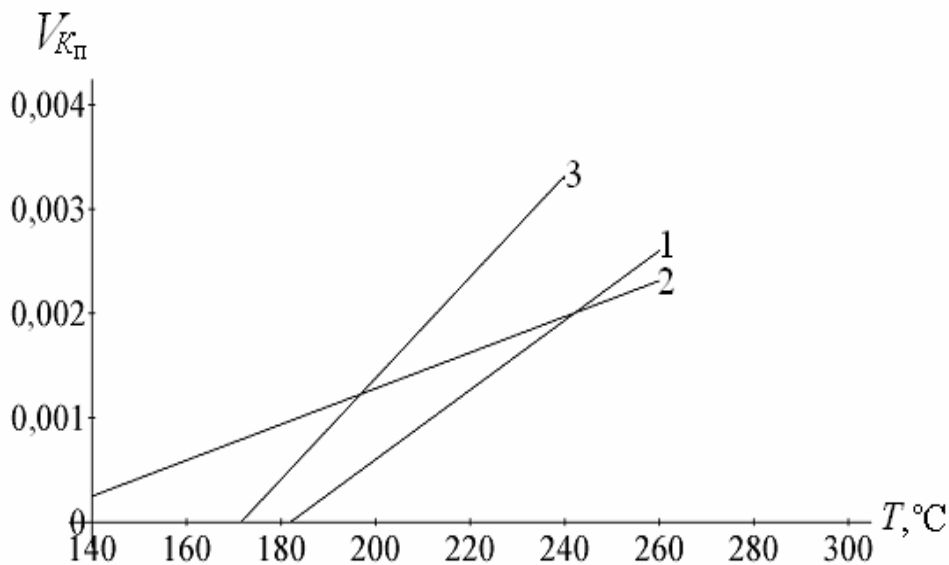


Рис. 2. Зависимость скорости деструкции ($V_{K_{\Pi}}$) от температуры испытания моторных масел (Усл. обозн. см. на рис. 1)

Скорость процесса деструкции является критерием идентификации и назначения группы эксплуатационных свойств масел.

Процесс деструкции оказывает влияние на вязкость испытуемых масел, которая представлена коэффициентом относительной вязкости K_{μ} , определяемым отношением вязкости масла, измеренной после испытания, к исходной его вязкости (рис. 3).

Характерной особенностью полученных зависимостей $K_{\mu} = f(T)$ является наличие двух участков: первый из которых характеризуется незначительным изменением вязкости, здесь основное влияние на ее изменение оказывают продукты деструкции. Вторым участком характеризуется более интенсивным уменьшением вязкости в результате деструкции базовой основы масел, поэтому температура, при которой происходит данное изменение, принята за критерий.

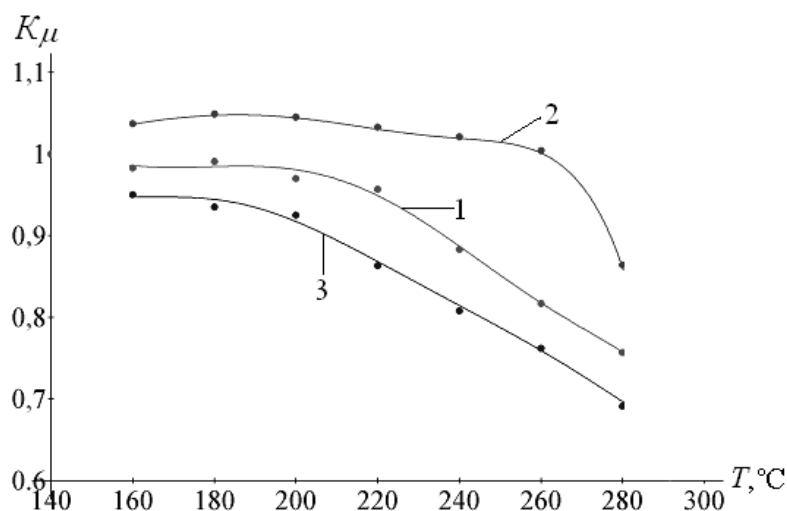


Рис. 3. Зависимость коэффициента относительной вязкости (K_μ) от температуры испытания моторных масел (Усл. обозн. см. на рис. 1)

Так, для минерального и синтетического (кривые 1 и 3) масел температура деструкции составила 200 °С, а частично синтетического (кривая 2) – 260 °С.

Зависимость $K_\mu = f(T)$ описывается полиномом

$$K_\mu = \alpha_1 T^n + \alpha_2 T^{n-1} + \dots + \alpha_m T + b, \quad (11)$$

где α_1 и $\alpha_2 \dots \alpha_m$ – коэффициенты, характеризующие влияние продуктов деструкции на вязкость испытуемого масла; b – коэффициент, характеризующий значение вязкости при температуре начала деструкции; T – температура испытания, °С.

Установлено, что в процессе деструкции с увеличением температуры изменяются оптические свойства масла, скорость процесса деструкции, поэтому предложен комплексный критерий температурной стойкости K , определяемый выражением

$$K = V_{\text{Кп}} \cdot (T_{\text{кр.}} - T_{\text{н.д.}}), \quad (12)$$

где $V_{\text{Кп}}$ – скорость деструкции исследуемого масла, $1/^\circ\text{C}$; $T_{\text{н.д.}}$ – температура начала деструкции, °С; $T_{\text{кр.}}$ – предельная температура деструкции, °С.

Чем меньше значения коэффициента K , тем выше температурная стойкость исследуемого смазочного материала. Далее приводится соответствие значения коэффициента K группе эксплуатационных свойств:

- при $K < 0,15$, масла принадлежат группе SL;
- $0,15 \leq K < 0,3$, масла принадлежат группе SJ;
- $0,3 \leq K < 0,5$, масла принадлежат группе SH;
- $0,5 \leq K < 0,8$, масла принадлежат группе SG;
- $K \geq 0,8$, масла принадлежат группе SF.

Данный критерий позволяет идентифицировать масла по группам эксплуатационных свойств.

Процесс деструкции присадок в зависимости от температуры оценивался содержанием растворимых и нерастворимых в масле продуктов деструкции (рис. 4), которые определялись интегрированием зависимостей $K_{\text{п}}=f(T)$ от начальной до критической температуры деструкции по формуле

$$S_{\text{Кп}} = \int_{T_{\text{н.д}}}^{T_{\text{кр}}} (a_1 T^n + a_2 T^{n-1} + \dots + a_m T + b) dT, \quad (13)$$

где $a_1, a_2 \dots a_m$ – коэффициенты, характеризующие интенсивность образования в масле продуктов деструкции; b – коэффициент, зависящий от базовой основы масел и качества присадок; $T_{\text{н.д}}$ – температура начала деструкции присадок; $T_{\text{кр}}$ – предельная температура деструкции масел.

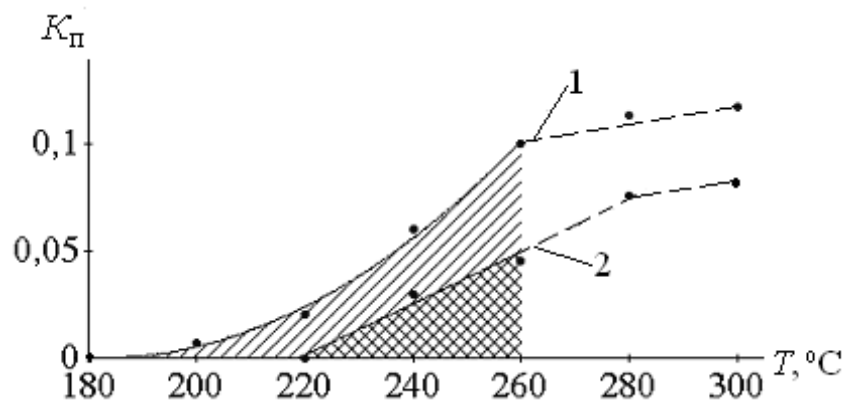


Рис. 4. Зависимость изменения коэффициента поглощения светового потока ($K_{\text{п}}$) от температуры испытания масла Mobil 10W-40 SJ/CH: 1- масло до центрифугирования; 2 – масло после центрифугирования

Количественная оценка нерастворимых продуктов деструкции определяется из выражения

$$S_{\text{н}} = S_{\text{Кп}} - S_{\text{Кпц}}, \quad (14)$$

где $S_{\text{н}}$ – разность площадей ограниченных кривыми 1 и 2, определяющая концентрацию нерастворимых продуктов деструкции; $S_{\text{Кп}}$ – площадь ограниченная кривой 1, определяющая общую концентрацию продуктов деструкции; $S_{\text{Кпц}}$ – площадь ограниченная кривой 2, определяющая концентрацию растворимых продуктов деструкции.

Концентрации растворимых ($C_{\text{р}}$) и нерастворимых ($C_{\text{н}}$) продуктов деструкции присадок в % от общей их концентрации в масле можно определить выражениями

$$C_{\text{р}} = (S_{\text{Кпц}} / S_{\text{Кп}}) \cdot 100\%, \quad (15)$$

$$C_n = (S_n / S_{Kn}) \cdot 100\%, \quad (16)$$

Важным эксплуатационным показателем при определении температурной области работоспособности моторных масел является температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции, т.к. они образуются при более высокой температуре, чем начало процесса деструкции и влияют на загрязнение масляной системы и деталей двигателя.

Начало образования нерастворимых продуктов деструкции определяется по формуле

$$K_n = K_n - K_{nc}, \quad (17)$$

где K_n – коэффициент, характеризующий концентрацию нерастворимых продуктов деструкции;

K_n – коэффициент поглощения светового потока испытанного масла;

K_{nc} – коэффициент поглощения светового потока испытанного масла после центрифугирования.

Температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции определялась скоростью их образования по производной уравнений зависимостей скорости изменения концентрации нерастворимых продуктов деструкции $K_n = f(T)$ (рис. 5).

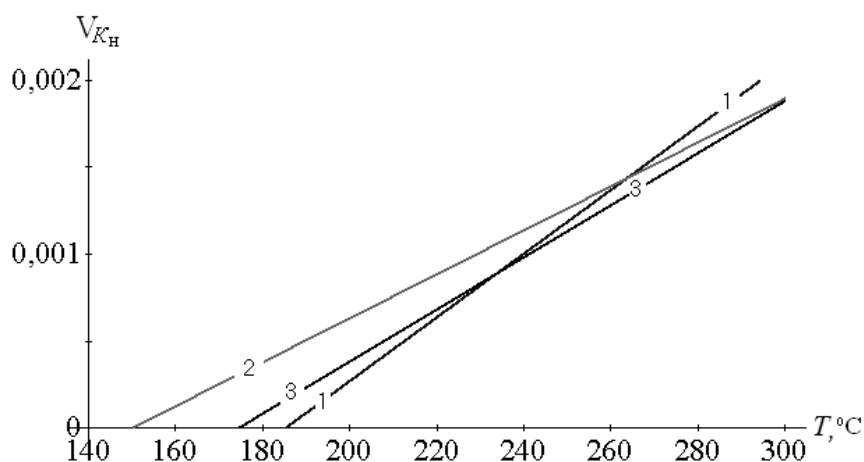


Рис. 5. Зависимость скорости изменения концентрации нерастворимых продуктов деструкции (V_{Kn}) моторных масел от температуры испытания (Усл. обозн. см. на рис. 1)

Так, для минерального масла температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции составила (кривая 1) 185 °С, частично синтетического (кривая 2) – 150 °С и синтетического (кривая 3) – 175 °С. Чем выше температура образования нерастворимых продуктов деструкции, тем большей температурной стойкостью обладает масло.

Результаты идентификации моторных и трансмиссионных масел по критериям их температурной стойкости сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты идентификации моторных и трансмиссионных масел при температуре 260 °С и 150 °С в течение 6 часов

Марка масла	Основные показатели						
	скорость процесса деструкции при температуре, $V_{\text{КП}}$	комплексный критерий температурной стойкости, K	коэффициент относительной вязкости, $K\mu$	предельная температура деструкции присадок, °С	температура начала деструкции присадок, °С	температура начала деструкции базовой основы, °С	соответствие группе эксплуатационных свойств
Минеральные моторные масла М-10-Г ₂ к	0,00051	-	1,043	280	140	300	соответствует
Mobil 10W-40 SJ/CH	0,0025	0,18	0,82	260	185	200	соответствует
Лукойл стандарт 10W-40 SF/CC	0,0064	0,48	0,835	260	185	240	занижено
Частично синтетические моторные масла Zic 5000 10W – 40 CG – 4/SH	0,0023	0,28	1,0	260	140	260	занижено
Spectrol Global 10W – 40 SG/CD	0,0029	0,2	0,97	240	170	240	занижено
Mannol 10W – 40 SL/CF	0,00065	0,1	0,83	300	140	260	соответствует
Sibi Motor Стандарт 4 10W-40 SF/CD	0,0017	0,2	0,91	260	140	240	занижено
Visco 3000 10W-40 SL/CF	0,006	0,72	0,91	280	160	220	завышено
Spectrol Капитал 5W-40 SJ/CF (EC)	0,0068	0,75	0,764	280	170	200	завышено
Zic 5000 15W – 30 CL – 4	0,0056	0,4	0,771	260	190	180	-//-
Синтетические моторные масла Shell Helix Ultra 5W – 40 SJ/CF	0,0052	0,62	0,69	300	180	180	-//-
Visco 5000 5W-40 SL/CF	0,0017	0,22	1	300	170	240	-//-
Castrol 5W-40 SL/CF	0,0059	0,71	0,9	280	160	240	-//-
Pentosynth 5W-40 SH-ES-1/CF A ₃ /B ₃	0,0043	0,3	0,76	240	170	200	занижено
Трансмиссионные масла: минеральные TC ₃₋₉ гип	0,022	-	0,817	>160	120	150	завышено
Consol транс. 85W-90 GL-5	0,0023	-	1,14	>180	140	140	соответствует
частично синтетическое Consol транс. люкс 75W-90 GL-5	0,0093	-	0,97	>170	138	>170	завышено
синтетическое Teboil HYPOID 75W-90 GL-5	-	-	1,06	>190	160	>190	занижено

В данном разделе приведены результаты исследования по определению температурной стойкости работавших моторных масел по зависимостям $K_{\Pi}=f(T)$ (рис. 6).

Техническое состояние работавших смазочных материалов предложено оценивать по параметру технического состояния $K_{Т.с}$, определяемым выражением

$$K_{Т.с} = K_{\Pi.Т} - K_{\Pi.исх}, \quad (18)$$

где $K_{\Pi.Т}$ – коэффициент поглощения светового потока, определяемый после термостатирования работавшего масла при температуре 260 °С в течение 6 ч; $K_{\Pi.исх}$ – коэффициент поглощения светового потока исходного работавшего масла.

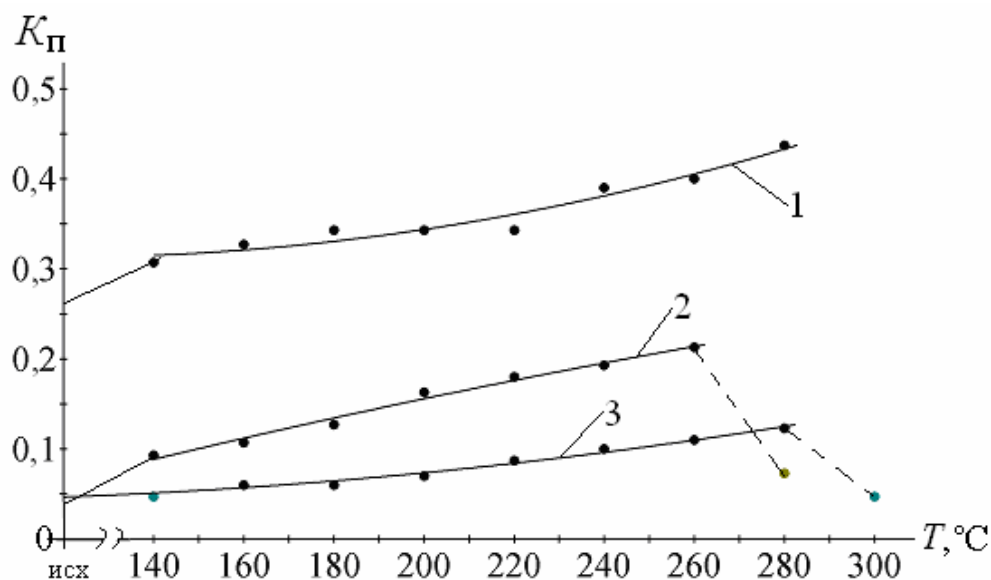


Рис. 6. Зависимость коэффициента поглощения светового потока K_{Π} от температуры испытания работавших масел: 1 – минеральное М-10-Г₂К; 2 – частично синтетическое Mobil Super 10W-40 SL/CF; 3 – синтетическое Castrol 5W-40 SL/CF

Данное состояние зависит от концентрации продуктов его старения, образующихся при эксплуатации двигателя и чем меньше изменение K_{Π} , тем меньше значение $K_{Т.с}$ и выше сопротивляемость деструкции. Результаты испытания работавших моторных масел сведены в табл. 2.

В качестве критерия предельного состояния смазочных материалов рекомендуются значения коэффициента K_{Π} . (рис. 6, штриховые линии), при которых заканчивается процесс деструкции, а температура, соответствующая этим значениям является предельной для данного работавшего смазочного материала (см. табл. 2).

Регрессионные уравнения зависимостей $K_{\pi} = f(T)$ для работавших масел:

$$\text{M-10-Г}_2\text{к} - K_{\pi} = 4,5536 \cdot 10^{-6} T^2 - 0,0011 T + 0,3755, \quad (19)$$

коэффициент корреляции составил 0,9478;

$$\text{Mobil Super 10W-40 SL/CF} - K_{\pi} = -1,2798 \cdot 10^{-6} T^2 + 0,0016 T - 0,1044, \quad (20)$$

коэффициент корреляции составил 0,9873;

$$\text{Castrol 5W-40 SL/CF} - K_{\pi} = 1,6964 \cdot 10^{-6} T^2 - 1,7678 \cdot 10^{-4} T + 0,0412, \quad (21)$$

коэффициент корреляции составил 0,9866.

При оценке работавших моторных масел важным эксплуатационным показателем являются диспергирующие свойства, которые влияют на отложения на деталях двигателя и зависят от концентрации моющих присадок. Этот показатель определяется разностью между коэффициентами поглощения светового потока до и после центрифугирования работавших масел.

$$K_g = K_{\text{п.исх}} - K_{\text{п.ц}}, \quad (22)$$

где K_g – коэффициент, характеризующий диспергирующие свойства работавших масел; $K_{\text{п.исх}}$ и $K_{\text{п.ц}}$ – соответственно коэффициенты поглощения светового потока исходного и после центрифугирования работавших масел.

Чем больше значение K_g (см. табл. 2), тем хуже диспергирующие свойства масла, снижена концентрация моющих присадок и тем ниже производительность системы фильтрации.

Летучесть работавших моторных масел (рис. 7) косвенно характеризует износ цилиндропоршневой группы двигателя. Чем больше значение летучести, тем больше концентрация продуктов неполного сгорания топлива попадает в картер двигателя.

В результате обработки результатов экспериментов получены уравнения регрессии G для следующих масел:

$$\text{M-10-Г}_2\text{к} - G = -1,3393 \cdot 10^{-5} T^2 + 0,0127 T - 1,2125, \quad (23)$$

коэффициент корреляции составил 0,9872;

$$\text{Mobil Super 10W-40 SL/CF} - G = 1,1756 \cdot 10^{-4} T^2 - 0,0335 T + 3,2875, \quad (24)$$

коэффициент корреляции составил 0,9759;

$$\text{Castrol 5W-40 SL/CF} - G = 1,2012 \cdot 10^{-4} T^2 - 0,0345 T + 3,3939, \quad (25)$$

коэффициент корреляции составил 0,9884.

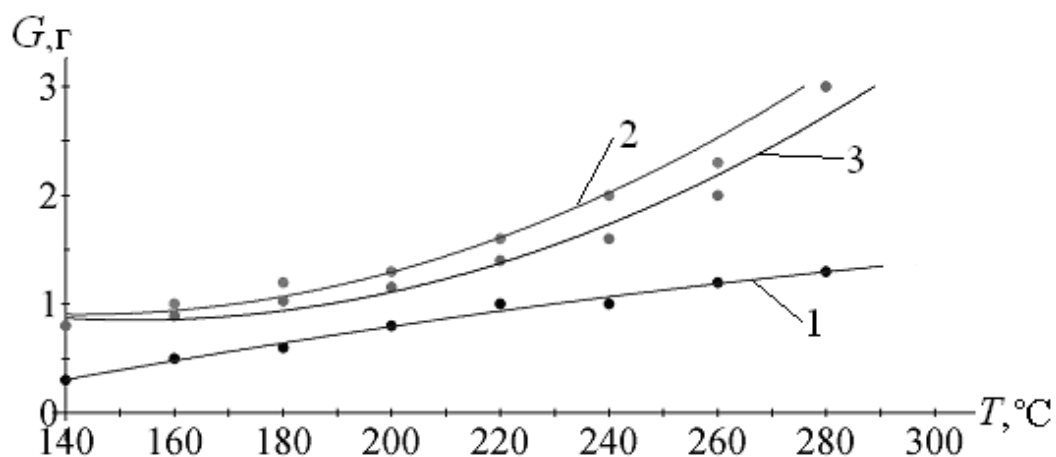


Рис. 7. Зависимость летучести (G) от температуры испытания работавших моторных масел (Усл. обозн. см. на рис. 6)

Результаты диагностирования моторных работавших масел сведены в табл. 2, из которой следует, что все исследованные масла не отработали установленный ресурс.

Таблица 2 – Результаты диагностирования работавших моторных масел

Марка масла	Основные показатели при температуре 260°C в течение 6 ч.			Коэффициент диспергирующих свойств, K_g	Предельная температура деструкции масел, °C
	коэффициент поглощения светового потока, K_n	параметр технического состояния масла, $K_{т.с}$	летучесть, G , г		
Минеральные моторные масла М-10-Г ₂ к (6500 км)	0,4	0,14	1,2	0,26	280
Частично синтетические моторные масла Visco 3000 10W-40 SL/CF (10700 км)	0,1	0,07	2,5	0,03	300
Mobil Super 10W-40 SL/CF (9800 км)	0,213	0,173	2,3	0,02	260
ESSO Ultra 10W-40 SL/CF (8500 км)	0,167	0,037	2,3	0,064	280
Синтетические моторные масла Castrol 5W-40 SL/CF (8000 км)	0,11	0,063	2,5	0,014	280
Лукойл Люкс 0W-40 SJ/CC (8000 км)	0,05	0,04	2,9	0,01	260

На основании проведенных исследований температурной стойкости товарных моторных и трансмиссионных масел для их идентификации предложены параметры процесса деструкции базовых масел и присадок, которыми являются: температура начала деструкции присадок; предельная температура, при которой завершается процесс деструкции присадок; температура начала деструкции базовой основы масел; скорость процесса деструкции, температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции, комплексный критерий температурной стойкости K . Критериями температурной стойкости работавших масел являются: коэффициент диспергирующих свойств K_g , параметр технического состояния $K_{т.с}$ и предельная температура деструкции.

Четвертый раздел посвящен разработке практических рекомендаций по определению основных критериев температурной стойкости смазочных материалов.

Технология определения основных параметров температурной стойкости товарных масел представлена в виде блок-схемы на рис. 8 и предусматривает определение температурной области работоспособности испытуемого масла, температур начала деструкции присадок и базовой основы, предельной температуры деструкции присадок, скорости процесса деструкции и критерия температурной стойкости. Использование данных параметров позволяет обосновано осуществлять выбор смазочных материалов для конкретных режимов и условий эксплуатации машин и агрегатов, осуществлять контроль соответствия исследуемого масла группе эксплуатационных свойств.

Технология определения температурной стойкости работавших масел представлена в виде блок-схемы на рис. 9 и предусматривает диагностику его состояния. Она заключается в фотометрировании пробы работающего масла и определении концентрации эксплуатационных примесей по коэффициенту поглощения светового потока. Центрифугирование пробы работавшего масла с последующим фотометрированием позволяет установить концентрацию растворимых продуктов, а разность между коэффициентами поглощения светового потока до ($K_{п}$) и после центрифугирования ($K_{шт}$) определить концентрацию нерастворимых продуктов, оценить его диспергирующие и моющие свойства, а также состояние фильтрующих элементов.

Рекомендации по диагностированию смазочных материалов включают определение основных показателей: коэффициента диспергирующих свойств, параметра технического состояния и предельной температуры деструкции, позволяющие косвенно определить состояние системы фильтрации, корректировать сроки замены масел при проведении технического обслуживания машин и отдельных агрегатов.

Разработанные рекомендации внедрены в учебный процесс Политехнического института Сибирского федерального университета и на производственных предприятиях: Управление механизации №17, ОАО «Строймеханизация», ООО «Брестон», Автоцентр «Красгазсервис».



Рис. 8. Блок-схема технологии определения параметров температурной стойкости при идентификации и классификации масел



Рис. 9. Блок-схема технологии диагностирования работавших масел

Основные выводы и результаты исследования

1. Разработана комплексная методика определения температурной стойкости смазочных материалов, основанная на термостатировании пробы постоянной массы при атмосферном давлении в широком диапазоне температур в течение постоянного времени испытания со ступенчатым увеличением температуры, фотометрированием пробы испытываемого масла, измерением вязкости и летучести, что позволяет установить новые критерии для оценки температурной стойкости товарных и работавших смазочных материалов, которые расширяют информацию об их качестве, позволяют обоснованно осуществлять выбор их на стадии проектирования машин и агрегатов, совершенствовать систему классификации и идентификации масел по группам эксплуатационных свойств, а также диагностировать техническое состояние масел.

2. Получены регрессионные зависимости изменения летучести, коэффициентов относительной вязкости и поглощения светового потока от температуры испытания товарных масел, позволяющие идентифицировать смазочные материалы по группам эксплуатационных свойств и совершенствовать систему классификации по таким параметрам как: температура начала деструкции присадок, скорость процесса деструкции, предельная температура деструкции, температура начала деструкции базовой основы, температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции и комплексный критерий температурной стойкости.

3. Температура испытания, при которой вязкость смазочных материалов при их термостатировании снижается, предложена в качестве параметра, характеризующего деструкцию базовой основы, что позволяет установить температурную область их работоспособности.

4. Разработана методика определения количественных показателей деструкции присадок таких, как температура начала образования нерастворимых продуктов деструкции, концентрация продуктов деструкции, которые позволили оценить температурную стойкость смазочных материалов.

5. Предложены новые диагностические параметры для оценки качества работавших моторных масел, включающие: параметр технического состояния, характеризующий сопротивляемость работавших масел деструкции; коэффициент диспергирующий свойств, определяемый разностью между коэффициентами поглощения светового потока до и после центрифугирования работавших моторных масел и предельную температуру деструкции, что позволяет в процессе эксплуатации техники корректировать сроки их смены и диагностировать состояние системы фильтрации, топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания.

6. Разработаны технологии идентификации и классификации товарных и диагностирования работавших смазочных материалов, применение которых позволяет расширить информацию о качестве смазочных материалов, повысить эффективность их использования на этапе проектирования и совершенствовать систему технического обслуживания машин и агрегатов в процессе их эксплуатации.

Основное содержание диссертационной работы отражено в публикациях:

1. Малышева, Н.Н. Температурная стойкость моторных и трансмиссионных масел / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский // Вестник КрасГАУ. Вып.12 – Красноярск, 2006. С. 237-240.

2. Малышева, Н.Н. Способ определения термической стабильности смазочных материалов / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский // Транспортные средства Сибири: Межвуз. сб. науч. тр. с международным участием. Вып. 10. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2004. С. 337-354.

3. Малышева, Н.Н. Метод определения температурной стойкости смазочных материалов / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский // Наука. Промышленность. Оборона: Труды VII всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск, 2006. С. 275-279.

4. Малышева, Н.Н. Влияние присадок на деструкцию базовой основы смазочных материалов / **Н.Н. Малышева** // Наука. Промышленность. Оборона: Труды VII всероссийской научно-практической конференции. – Новосибирск, 2006. С. 280-282.

5. Малышева, Н.Н. Методика повышения эффективности использования смазочных материалов / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский, А.А. Метелица // Энергоэффективность жизнеобеспечения города: Материалы IV всероссийской научно-практической конференции. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2005. С. 308-312.

6. Малышева, Н.Н. Результаты исследования влияния катализатора из меди на окислительные процессы минерального масла М-10-Г₂к / Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева**, В.В. Гаврилов и др. // Инновационное развитие регионов Сибири: Материалы межрегиональной научно-практической конференции: В 2 ч. Ч.2 – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. С. 245-249.

7. Малышева, Н.Н. Механизм образования продуктов деструкции в отработанных моторных маслах / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский, А.А. Метелица // Механика и процессы управления. Том 1. XXXVI Уральского семинара. - Екатеринбург: УрОРАН, 2006. С. 204-211.

8. Малышева, Н.Н. Результаты испытания смесей моторных масел / В.В. Хомайко, Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева** и др. // Сборник университетского комплекса: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко; Красноярск: ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ.– 2006.– Вып.8(22). С. 73-84.

9. Малышева, Н.Н. / Термоокислительная стабильность трансмиссионного масла Teboil HYPOID 85W-90 GL-5 // Б.И. Ковальский, Ю.Н. Безбородов, **Н.Н. Малышева** и др. // Сборник университетского комплекса: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко; Красноярск: ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ.– 2006.– Вып.8(22). С. 85-95.

10. Малышева, Н.Н. Термоокислительная стабильность как показатель качества смазочных материалов / Б.И. Ковальский, Е.В. Мусияченко, Ю.Н. Безбородов, **Н.Н. Малышева** и др. // Вестник КГТУ: Машиностроение. Вып.41.Машиностроение. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006 г. С. 7-17

11. Малышева, Н.Н. Термоокислительная стабильность смеси минерального и синтетического масел / В.В. Хомайко, Б.И. Безбородов, **Н.Н. Малышева** и др. // Вестник КрасГАУ. Вып.13 – Красноярск, 2006. С. 286-292.

12. Малышева, Н.Н. Методика определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Н.Н. Ананьин, **Н.Н. Малышева**, А.С. Попов и др. // Молодежь и наука – третье тысячелетие: Сб. материалов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. II часть. / Сост.: Сувейзда В.В.; КРО НС «Интеграция», - Красноярск, 2006. С. 346-349.

13. Малышева, Н.Н. Метод контроля термоокислительной стабильности смазочных материалов/ Н.Н. Ананьин, **Н.Н. Малышева**, В.С. Даниленко и др. // Молодежь и наука – третье тысячелетие: Сб. материалов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. II часть. / Сост.: Сувейзда В.В.; КРО НС «Интеграция», - Красноярск, 2006. С. 342-346.

14. Малышева, Н.Н. Методика исследования влияния доливов на термоокислительную стабильность моторного масла М-10-Г₂к / А.С. Попов, Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева** и др. // Молодежь и наука – третье тысячелетие: Сб. материалов Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. II часть. / Сост.: Сувейзда В.В.; КРО НС «Интеграция», - Красноярск, 2006. С. 349-352.

15. Малышева, Н.Н. Результаты анализа отработанных моторных масел / Б.И. Ковальский, В.И. Верещагин, **Н.Н. Малышева** и др. // Сборник университетского комплекса: Сб. научн. трудов / Под общей ред. профессора Н.В. Василенко; Красноярск: ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ.– 2006.– Вып.8(22). С. 96-105.

16. Малышева, Н.Н. Температурная стойкость моторных отработанных масел / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский // Вестник КГТУ. Вып.41. Машиностроение.– Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. С. 31-36.

17. Малышева, Н.Н. Разработка технологии диагностирования работающих моторных масел путем определения их температурной стойкости / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский, С.П. Ереско и др. // Механики XXI века. VI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: Сборник докладов. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. С. 11-15.

18. Малышева, Н.Н. Влияние медного катализатора на окислительные процессы в минеральном моторном масле М-10-Г₂к / А.А. Метелица, Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева** и др. // Вестник КрасГАУ. Вып. 2 – Красноярск, 2007. С. 216-222.

19. Малышева, Н.Н. Термоокислительная стабильность частично синтетического трансмиссионного масла Consol Транс.Люкс 75W-90 GL-5 / С.А. Кораблев, Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева** и др. // Вестник КрасГАУ. Вып. 3 – Красноярск, 2007. С. 200-204.

20. Малышева, Н.Н. Исследование влияния стали 45 на окислительные процессы минерального моторного масла М-10-Г₂к / А.А. Метелица, Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева** // Решетневские чтения: материалы XI междунар. науч. конф., посвящ. памяти генерального конструктора ракетно-космической систем академика М.Ф. Решетнева (6-10 нояб. 2007, г. Красноярск) / под общ. ред. И.В. Ковалева; Сиб.гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2007. С. 120.

21. Малышева, Н.Н. Метод контроля температурной стойкости жидких смазочных материалов / **Н.Н. Малышева** // Специалист XXI века. (материалы региональной научно-практической конференции, Ачинск, 13 октября 2006) Ачинск, АГКОТБ, 2007. С. 315-322.

22. Патент № 2298173 РФ МПК⁷ G 01 N 25/02. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / **Н.Н. Малышева**, Б.И. Ковальский, М.А. Шунькина, А.А. Метелица, В.В. Гаврилов. – Оpubл. 27.04.2007, Бюл № 12.

23. Патент №2318206 РФ МПК⁷ G 01 N 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И.Ковальский, В.С. Даниленко, **Н.Н. Малышева**, Ю.Н. Безбородов. – Оpubл. 27.02.2008, Бюл № 6.

24. Пол. решение о выдаче патента РФ на изобретение. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Б.И. Ковальский, **Н.Н. Малышева**, А.А. Метелица и др. по заявке №2006146732/28(051041) от 26.12.2006.

Соискатель:



Подписано в печать 16.05.2008. Заказ №
Формат 60×90/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.
ИПК Сибирского федерального университета
660074, Красноярск, ул. Киренского, 28