

На правах рукописи



Петров Олег Николаевич

**МЕТОД КОНТРОЛЯ ВЛИЯНИЯ ПРОДУКТОВ ДЕСТРУКЦИИ
СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА
НА ПРОТОВОИЗНОСНЫЕ СВОЙСТВА**

Специальность 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды,
веществ, материалов и изделий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2013

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

Научный руководитель:

Безбородов Юрий Николаевич
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Кулешов Валерий Константинович
доктор технических наук, профессор кафедры «Физические методы и приборы контроля качества», института неразрушающего контроля ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Еськов Александр Васильевич
доктор технических наук, профессор кафедры «Экспериментальная физика» ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Ведущая организация

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

Защита состоится «18» июня 2013 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.09 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке Национального исследовательского Томского политехнического университета по адресу: 634034, г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «30» апреля 2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Винокуров Б. Б.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы.

Температурная стойкость является одним из основных эксплуатационных показателей, определяющим температурные области работоспособности масел, предельные температуры схватывания, сопротивление температурным воздействиям и применяется при классификации смазочных масел. В настоящее время существуют методики определения температурной стойкости, разработанные школой Р.М. Матвеевского, позволяющие определить температуры начала деструкции, критические температуры, оценить изменение фрикционных свойств смазочного материала при изменении температуры, однако механизм деструкции, механизм защиты от схватывания не изучены, и данные методики не учитывают влияние продуктов деструкции на процессы, протекающие на фрикционном контакте и изменяющие противоизносные свойства масел.

При работе в каком-либо механизме, масло подвергается воздействию электрических полей, вызванных межфазными электрическими потенциалами, возникающими на границах раздела металл-масло. В работах Г.И. Шора, А.С. Ахматова приведены методики, приборы и результаты оценки влияния электрического потенциала на различные функциональные свойства масел, однако методов и приборов контроля влияния электрического потенциала на противоизносные свойства масел и процессы, протекающие на фрикционном контакте, не существует.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что разработка новых методов и средств контроля влияния продуктов температурной деструкции, величины и полярности тока на противоизносные свойства является актуальной задачей, направленной на создание условий, повышающих противоизносные свойства смазочных материалов.

Цель диссертационной работы. Разработка методов и приборов исследования смазочных масел и оценки влияния продуктов температурной деструкции и электрического потенциала в зоне фрикционного контакта на противоизносные свойства смазочных масел.

Задачи исследования.

1. Разработать прибор и комплексный метод исследования смазочных масел, включающего испытания на температурную стойкость и противоизносные свойства.
2. Обосновать критерии контроля температурной стойкости и противоизносных свойств смазочных масел.
3. Исследовать влияние концентрации продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства смазочных масел под воздействием электрического потенциала на фрикционном контакте.
4. Разработать практические рекомендации по контролю температурной стойкости моторных масел, противоизносных свойств, рациональному выбору смазочных материалов и управлению износом пар трения.

Объект исследования — смазочные материалы, как элементы систем приводов машин и агрегатов.

Предмет исследования – контроль влияния продуктов температурной деструкции смазочных материалов и электрического потенциала на фрикционном контакте на процессы формирования защитных граничных слоев.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось с применением теории надежности, применительно к системам приводов и агрегатов, теории трения, износа и смазки, оптики и положений триботехники, электрометрических методов и теплотехники.

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

Степень разработанности темы.

Степень разработанности и рекомендации, выявленные в процессе исследований, выполненных авторами Р.М. Матвеевским, Б.И. Костецким, Н.А. Буше, И.А. Буяновским, И.В. Крагельским, Ю.А. Розенбергом и др., по определению температурной стойкости смазочных масел не могут быть использованы для контроля качества масел, поскольку этот показатель эксплуатационных свойств в основном исследовался применительно к граничному трению (ГОСТ 23.221-84). В области исследований граничного трения и процессов, протекающих на фрикционном контакте, следует отметить работы А.С. Ахматова, Г.И. Шора, В.Е. Панина и др., однако процессы, протекающие в объеме смазочного материала при высоких температурах и влияние продуктов температурной деструкции, величины и полярности тока на процессы, протекающие на фрикционном контакте и изменяющие противоизносные свойства, изучены недостаточно. Поэтому, разработка новых методов и средств контроля влияния продуктов температурной деструкции, величины и полярности тока на противоизносные свойства смазочных материалов, является актуальной задачей, позволяющей создать условия снижения износа материалов пар трения, совершенствовать систему классификации и идентификации смазочных материалов группам эксплуатационных свойств, а также обоснованно осуществлять выбор смазочного материала для эффективной работы в конкретных условиях.

На защиту выносятся.

1. Трехшариковая машина и комплексный метод контроля температурной стойкости и противоизносных свойств термостатированных моторных масел.
2. Результаты исследования минеральных моторных масел на температурную стойкость и регрессионный анализ процесса температурной деструкции в диапазоне температур испытания от 140 до 300 °С и критерии оценки.
3. Метод и результаты испытания товарных и термостатированных моторных масел на противоизносные свойства и критерии оценки.
4. Метод и результаты исследования влияния электрического потенциала на фрикционном контакте на противоизносные свойства термостатированных масел и критерии оценки.
5. Практические рекомендации по определению влияния продуктов температурной деструкции и электрического потенциала на противоизносные свойства моторных масел.

Научная новизна работы.

1. Разработан комплексный метод исследования смазочных масел, включающий испытания на температурную стойкость и противоизносные свойства термостатированных масел, и позволяющий оценить влияние продуктов деструкции, полярности и величины тока, пропускаемого через фрикционный контакт на свойства граничных слоев и обосновать критерии оценки.

2. Разработана испытательная трехшариковая машина трения со схемой трения «шар-цилиндр», позволяющая определить противоизносные свойства как товарных, так и работавших масел различного назначения и базовых основ, получить дополнительную информацию о процессах, протекающих на фрикционном контакте.

3. Получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения процесса деструкции минеральных моторных масел, позволяющие определить механизм деструкции, получить дополнительную информацию по изменению оптических свойств, вязкости и летучести, обосновать критерий температурной стойкости, установить температурную область работоспособности и сравнивать масла различных групп эксплуатационных свойств.

4. Предложен критерий противоизносных свойств термостатированных масел, характеризующий условную концентрацию продуктов температурной деструкции на номинальной площади фрикционного контакта, что позволяет сравнивать смазочные масла различных групп эксплуатационных свойств и оценить влияние величины и полярности тока, пропускаемого через фрикционный контакт на формирование и разрушение граничных слоев.

Практическая значимость работы. На базе теоретических и экспериментальных исследований разработаны практические рекомендации по технологиям определения температурной стойкости смазочных масел и оценки влияния продуктов деструкции на противоизносные свойства, рекомендации по выбору смазочных материалов их классификации и созданию системы повышения износостойкости трибосистем.

Реализация результатов работы. Результаты исследований внедрены на автотранспортном предприятии ООО АТП «Терминалнефтегаз», автотранспортном предприятии ИП АТП Сидоров В.М., и в учебный процесс кафедр «Топливообеспечение и ГСМ» и «Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов» Института нефти и газа Сибирского федерального университета, что подтверждено соответствующими актами.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на: XIII научно-технической конференции молодежи ОАО «Транссибнефть» (Омск 2012 г.); II Международной научно-практической конференции «Перспективы развития и безопасность автотранспортного комплекса» (Новокузнецк 2012 г.); 10-ой международной конференции "Трибология и Надёжность" (Санкт-Петербург, 2010 г.), научно-технической конференции "Трибология-Машино-строение", посвященная 120-летию М.М. Хрущева. (Москва, 2010), IV международном симпозиуме по транспортной триботехнике. (Санкт-Петербург, 2010) и научно-технических семинарах Сибирского федерального университета (Красноярск, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 17 научных работ, включая 7 работ в издании, рекомендованном перечнем ВАК, получено 4 патента РФ; написана монография.

Объем и структура диссертации. Диссертация содержит 134 страниц машинописного текста, включая 55 рисунков и 14 таблиц. Работа состоит из введения, 4 разделов, основных выводов, библиографического списка из 97 наименований и приложения.

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 первой главе приведен обзор методов и средств определения температурной стойкости смазочных масел, роль этого показателя в защите поверхностей трения от схватывания и определения температурной области работоспособности трибосистем.

Рассмотрены особенности механизма старения смазочных материалов. Установлено, что общей тенденцией механизма старения моторных масел является изменение соотношения нерастворимых примесей к растворимым от времени работы двигателя. Кроме того, не существует единого мнения о влиянии образующихся в маслах при работе двигателя нерастворимых примесей на противоизносные свойства, однако, с увеличением соотношения нерастворимых примесей к растворимым, противоизносные свойства масел повышаются.

Обзор методов контроля состояния смазочных материалов показал, что существующие методы и критерии оценки качества масел используются в основном при лабораторных и стендовых испытаниях и широкого применения на производстве не нашли ввиду сложности определения критериев, а для решения проблемы оценки качества работающих масел необходим комплексный подход, учитывающий связь между основными показателями качества масел и их триботехническими параметрами.

Температурная стойкость масел, как показатель качества масел, характеризующий способность масел создавать на поверхностях трения при интенсивном тепловом воздействии защитные граничные слои недостаточно изучена в области его влияния на противоизносные свойства. В этой области можно отметить работы Р.М. Матвеевского, Н.К. Мышкина, Б.И. Костецкого, И.В. Крагельского, Б.В. Дерягина.

Анализ методов поверхностного упрочнения, наиболее распространенными из которых являются цементация, поверхностная закалка с нагревом токами высокой частоты, азотирование, нитроцементация, борирование, титанирование, наплавка, магнитоэлектрическое упрочнение, позволяет повысить износостойкость трибосистем за счет повышения поверхностной энергии, однако влияние поверхностной энергии на процессы, протекающие на фрикционном контакте также мало изучены. Решением этих вопросов занимались Г.И. Шор, Г.И. Фукс, В.Н. Виноградов, Г.М. Сорокин, Н.А. Буше, И.А. Буяновский.

Исследованиями В.Е. Панина, А.В. Белого, А.В. Колубаева, С.Ю. Тарасова, В.М. Фомина, В.М. Титова, В.Л. Попова и др. установлено, что механохимические процессы при изнашивании материалов твердых тел играют большую роль в снижении износа за счет химических реакций, в результате которых, на поверхностях трения, создаются защитные пленки, а механизм их действия в зависимости от состава и концентрации продуктов температурной деструкции недостаточно изучен. Поэтому необходим поиск новых методов исследования механохимических процессов при граничном трении с учетом изменения полярности и величины тока, пропускаемого через фрикционный контакт.

На основании проведенного анализа исследований в области температурной стойкости смазочных масел 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 масла при высоких температурах и влияние продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства и процессы протекающие на фрикционном контакте, а также методы управления ими недостаточно изучены. Решение этих задач позволило бы объяснить механизм формирования на поверхности трения защитных граничных слоев.

Вторая глава посвящена разработке метода исследования смазочных материалов, включающего испытания на температурную стойкость и противоизносные свойства, обоснованию средств измерения с кратким их описанием, проведению исследований и обработке результатов, включающей определение значений среднеарифметического, среднеквадратического отклонений, коэффициентов регрессии и корреляции, абсолютную и относительную погрешность, аппроксимацию каждого опыта.

Для исследования выбраны минеральные моторные масла: М-8Г₂ – зимнее дизельное; U-tech navigator 15W-40 SG/CD и Лукойл стандарт 10W-40 SF/CC – универсальные всесезонные. Масла относятся к разным классам вязкости и группам эксплуатационных свойств.

Метод предусматривал испытание масел на температурную стойкость и противоизносные свойства. Средства испытания включали:

- прибор для определения оптических свойств – фотометр, для прямого фотометрирования термостатированных масел при толщине фотометрируемого слоя 8 мм и определении коэффициента поглощения светового потока;
- прибор для термостатирования масел массой 80 г в течение 8-ми часов без перемешивания при атмосферном давлении в диапазоне температур от 140 до 300 °С с повышением температуры испытания на 20 °С;
- малообъемный вискозиметр для определения вязкости термостатированных масел;
- электронные весы для контроля массы пробы масел подвергаемой термостатированию (80 г) и определения массы испарившегося масла после термостатирования.
- микроскоп «Альтами МЕТ 1М» для измерения диаметров пятен износа с возможностью фотографирования пятен износа.

Для исследования противоизносных свойств смазочных масел разработана трехшариковая машина трения с парой «шар-цилиндр», преимущества которой заключались в контакте трех шаров с цилиндром по индивидуальным дорожкам трения, причем через одну пару трения пропусклся постоянный ток величиной 100, 200 и 300 мкА положительной и отрицательной полярности, устанавливаемой при статическом положении пары трения, от внешнего стабилизированного источника питания 3В. Величина тока при трении через преобразователь RS-202 записывались в виде диаграммы на мониторе компьютера. В качестве материалов использовались - шарики от шарикоподшипника №204 ГОСТ 8338 диаметром 9,5 мм и обойма роликового подшипника №42416 ГОСТ 8328 диаметром 80 мм, изготовленные из стали ШХ-15. Параметры трения составляли: нагрузка 13Н; скорость скольжения 0,68 м/с; время испытания – 2 часа; температура масла в объеме – 80 °С поддерживалась автоматически с помощью терморегулятора ТР-101 с точностью ± 1 °С; противоизносные свойства оценивались по среднеарифметическому значению диаметра пятна износа на трех шарах, измеренному с помощью оптического микроскопа «Альтами МЕТ 1М»;

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались методами математической статистики и регрессионного анализа с использованием лицензионной программы ЭВМ «Advanced Grapher» и «Excel».

Комплексная оценка температурной стойкости товарных и термостатированных масел проводилась по коэффициенту поглощения светового потока, вязкости, летучести а влияние продуктов температурной деструкции, величины и полярности тока пропускаемого через фрикционный контакт на противоизносные свойства термостатированных масел оценивались по параметру износа и времени формирования фрикционного контакта, по которым производился поиск критериев температурной стойкости и противоизносных свойств.

Третья глава содержит результаты экспериментальных исследований влияния электрического потенциала, продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства смазочных масел и механохимические процессы, протекающие на фрикционном контакте с использованием разработанной методики.

На рисунке 1 представлены зависимости коэффициента поглощения светового потока K_{Π} от температуры термостатирования минеральных масел. Установлены две характерных температурных области с различной интенсивностью изменения коэффициента K_{Π} , что указывает на образование при термостатировании двух видов продуктов деструкции различной оптической плотности. Переход первичных продуктов во вторичные вызывает изгиб зависимости $K_{\Pi} = f(T)$, причем температура начала образования вторичных продуктов определяется продлением зависимости после точки изгиба до пересечения с осью абсцисс.

В целом процесс температурной деструкции для областей I и II описывается линейными уравнениями

$$K_{\Pi} = a(T - T_H), \quad (1)$$

где a – параметр, характеризующий скорость образования продуктов деструкции; T – температура испытания, °С, T_H – температура начала образования первичных или вторичных продуктов деструкции, °С.

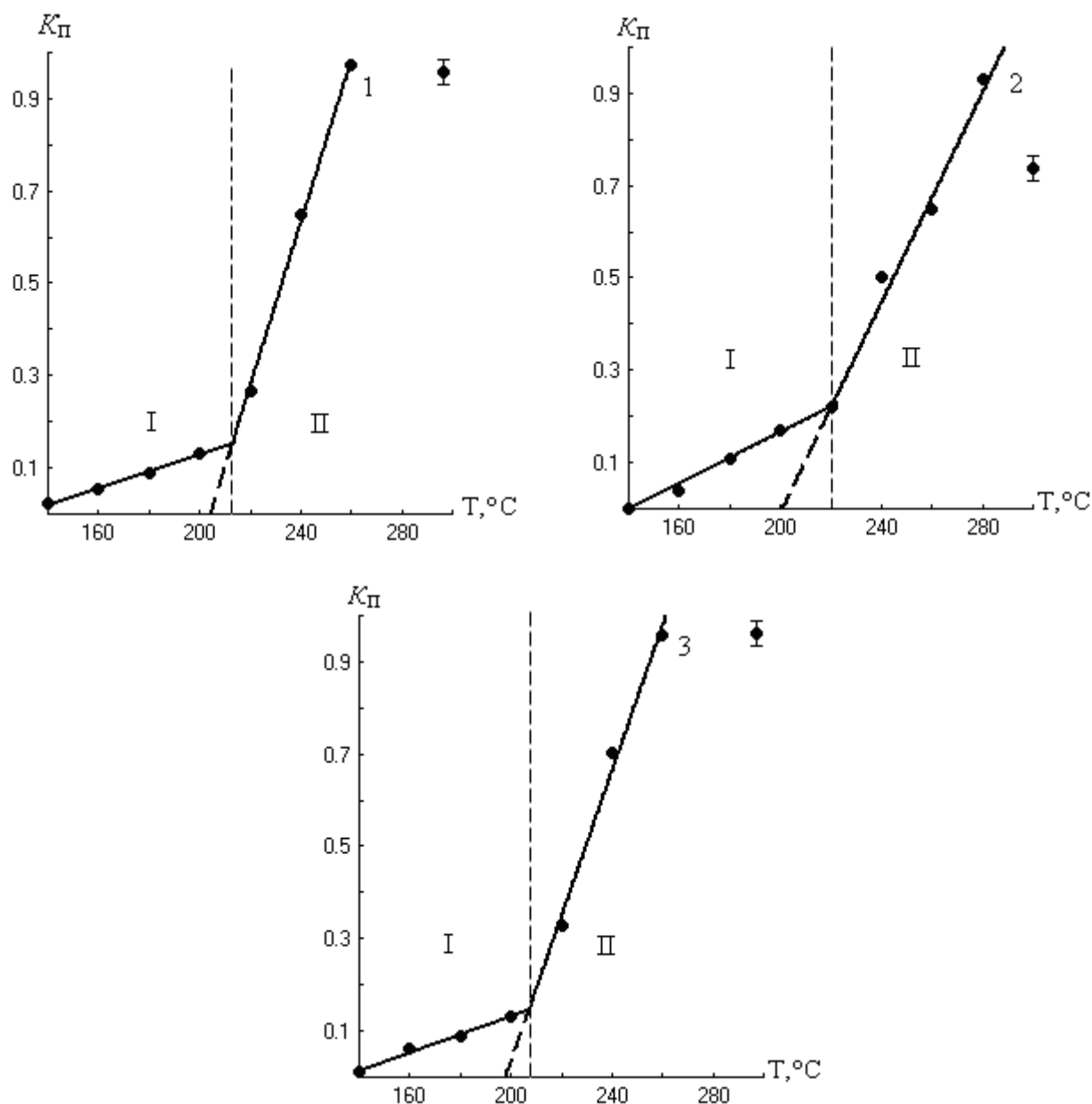


Рисунок 1 – Зависимости коэффициента поглощения светового потока K_{Π} от температуры термостатирования минеральных масел: I – область первичных продуктов; II – область вторичных продуктов; 1 - U-tech navigator 15W-40 SG/CD; 2 – М-8Г₂; 3 - Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC

Регрессионные уравнения процессов деструкции в температурных областях I и II для исследуемых масел имеют вид:

$$\text{U-tech navigator: } \text{I} - K_{\Pi} = 0,0018 \cdot (T - 129); \text{II} - K_{\Pi} = 0,018 \cdot (T - 204) \quad (2)$$

$$\text{М-8Г}_2: \text{I} - K_{\Pi} = 0,0028 \cdot (T - 140); \text{II} - K_{\Pi} = 0,011 \cdot (T - 201) \quad (3)$$

$$\text{Лукойл Стандарт: I} - K_{\Pi} = 0,0020 \cdot (T - 133); \text{II} - K_{\Pi} = 0,016 \cdot (T - 198) \quad (4)$$

Коэффициенты корреляции ≈ 1 .

Согласно уравнений 2 – 4, самая низкая температура начала деструкции 129 °С и скорость деструкции 0,0018 ч⁻¹ установлены для масла 1 – U-tech navigator, а самые высокие, соответственно 140 °С и 0,0028 ч⁻¹, для дизельного масла 3 – М-8Г₂. Самая низкая температура начала образования вторичных продуктов дест-

рукции 198 °С установлена для масла 2 – Лукойл Стандарт, а самая высокая скорость их образования 0,018 ч⁻¹ для масла 1 – U-tech navigator.

Летучесть моторных масел косвенно характеризует температурный предел их работоспособности и поэтому является эксплуатационным показателем (рисунок 2).

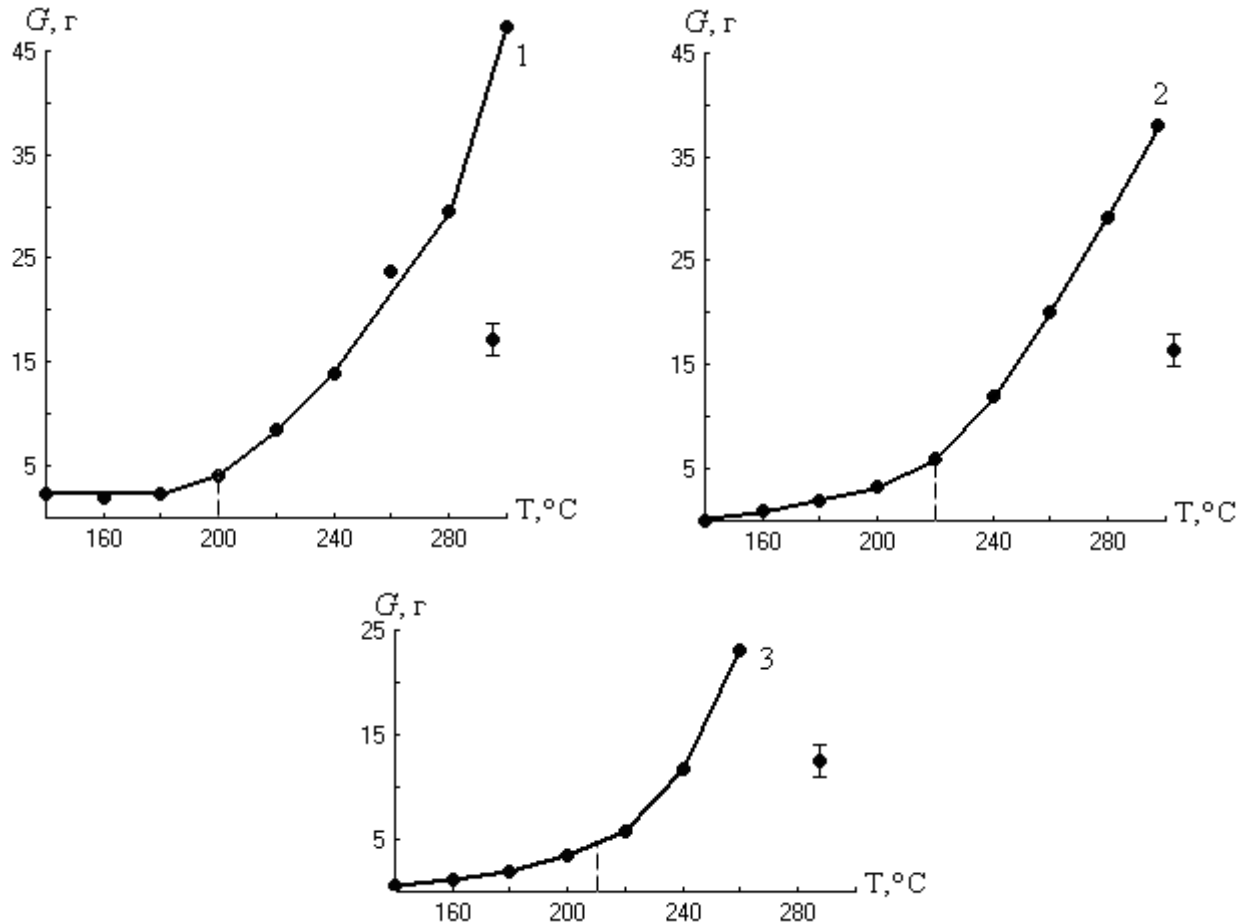


Рисунок 2 – Зависимости летучести G от температуры термостатирования минеральных масел (Усл. обозн. см. на рисунке 1)

Показано, что предельной температурой работоспособности минеральных моторных масел является температура ниже 220 °С.

Изменение вязкости при термостатировании минерального масла оценивалось коэффициентом относительной вязкости K_μ , определяемым выражением:

$$K_\mu = \mu_T / \mu_{исх}, \quad (5)$$

где μ_T и $\mu_{исх}$ – соответственно кинематическая вязкость термостатированного масла и исходного товарного масла до испытания.

Поскольку, по справочным данным, допустимое увеличение вязкости при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания установлено 40 %, а уменьшение – 20 %, то предельной температурой испытания для исследуемых масел является 285 °С для масла U-tech navigator; 263 °С – М-8Г₂; 235 °С – масла Лукойл Стан-

дарт (рисунок 3). Вязкость увеличивается в основном за счет вторичных продуктов деструкции.

При термостатировании масел происходит сброс избыточной тепловой энергии по двум каналам, вызывающий изменение оптических свойств и летучести, поэтому температурную стойкость предложено оценивать коэффициентом E_{TC} , определяемым суммой

$$E_{TC} = K_{\Pi} + K_G, \quad (6)$$

где K_{Π} – коэффициент поглощения светового потока; K_G – коэффициент летучести масла.

$$K_G = m / M, \quad (7)$$

где m – масса испарившегося масла, г; M – масса оставшегося масла после термостатирования, г.

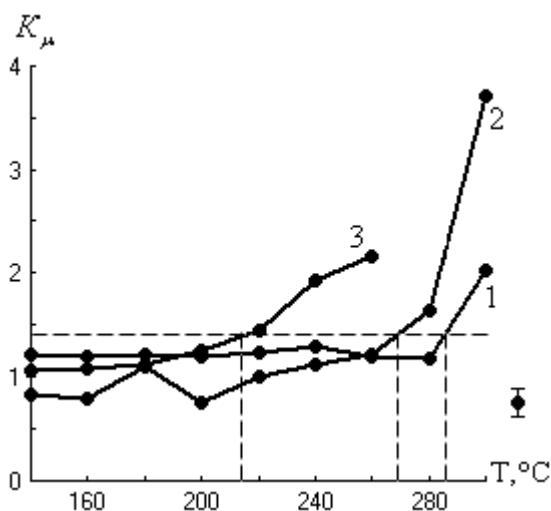


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента относительной вязкости от температуры термостатирования минеральных масел (Усл. обозн. см. на рисунке 1)

Вязкость в данном случае не влияет на параметр температурной стойкости, т.к. она зависит от концентрации продуктов температурной деструкции и определяет предельную температуру применения масел, при которой она либо увеличивается на 40% либо уменьшается на 20%.

Зависимость коэффициента E_{TC} от температуры термостатирования представлена на рисунке 4.

Установлено две характерных температурных области с различной интенсивностью изменения коэффициента E_{TC} , описываемых линейными уравнениями.

Регрессионные уравнения зависимостей в областях I и II имеют вид:

U-tech navigator: I - $E_{TC} = 0,0022 \cdot (T - 120)$; II - $E_{TC} = 0,025 \cdot (T - 205)$ (8)

М-8Г₂: I - $E_{TC} = 0,0035 \cdot (T - 140)$; II - $E_{TC} = 0,020 \cdot (T - 206)$ (9)

Лукойл Стандарт: I - $E_{TC} = 0,0026 \cdot (T - 133)$; II - $E_{TC} = 0,024 \cdot (T - 203)$ (10)

Коэффициенты корреляции ≈ 1 .

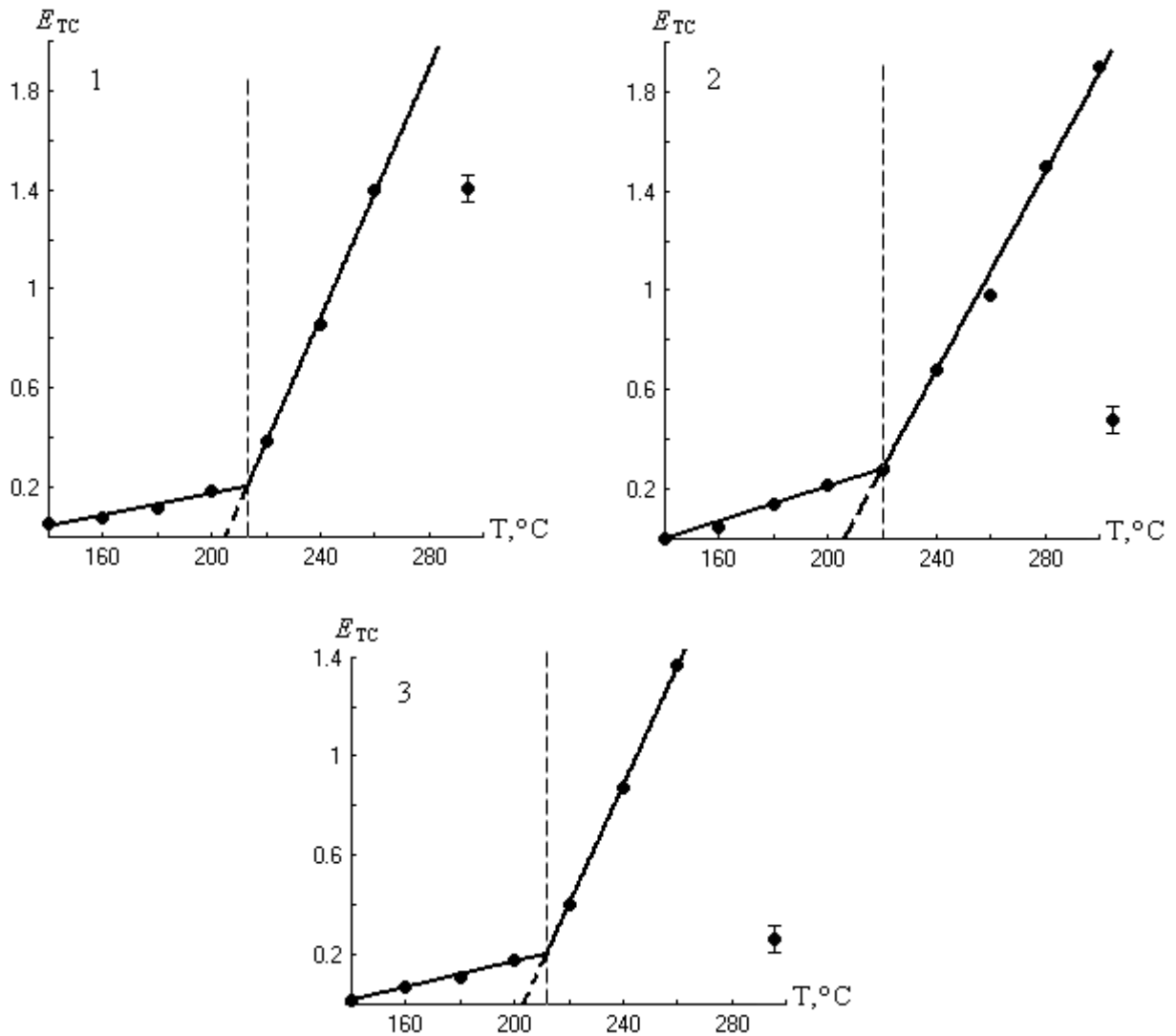


Рисунок 4 – Зависимости коэффициента температурной стойкости E_{TC} от температуры термостатирования минеральных масел (Усл. обозн. см. на рисунке 1)

С учетом коэффициента E_{TC} самые низкие температуры начала деструкции 120 $^\circ C$ и скорость деструкции 0,0022 $ч^{-1}$ в первой температурной области, в которой образуются первичные продукты, установлены для масла U-tech navigator, а самые высокие 140 $^\circ C$ и 0,0035 $ч^{-1}$ для масла М-8Г₂.

Во второй температурной области температура начала образования вторичных продуктов находится в пределах от 203 до 206 $^\circ C$. Самая низкая скорость образования этих продуктов 0,020 $ч^{-1}$ установлена для масла М-8Г₂, а самая высокая 0,025 $ч^{-1}$ для масла U-tech navigator.

Процессы, протекающие на фрикционном контакте при триботехнических испытаниях термостатированных масел оценивались по среднеарифметическому значению диаметров пятен износа на трех шарах и электрометрическим методом, путем пропускания тока (100, 200 и 300 мкА) разной полярности через фрикционный контакт, что позволило в динамике исследовать процесс формирования защитных граничных слоев по диаграммам записи тока (рисунок 5).

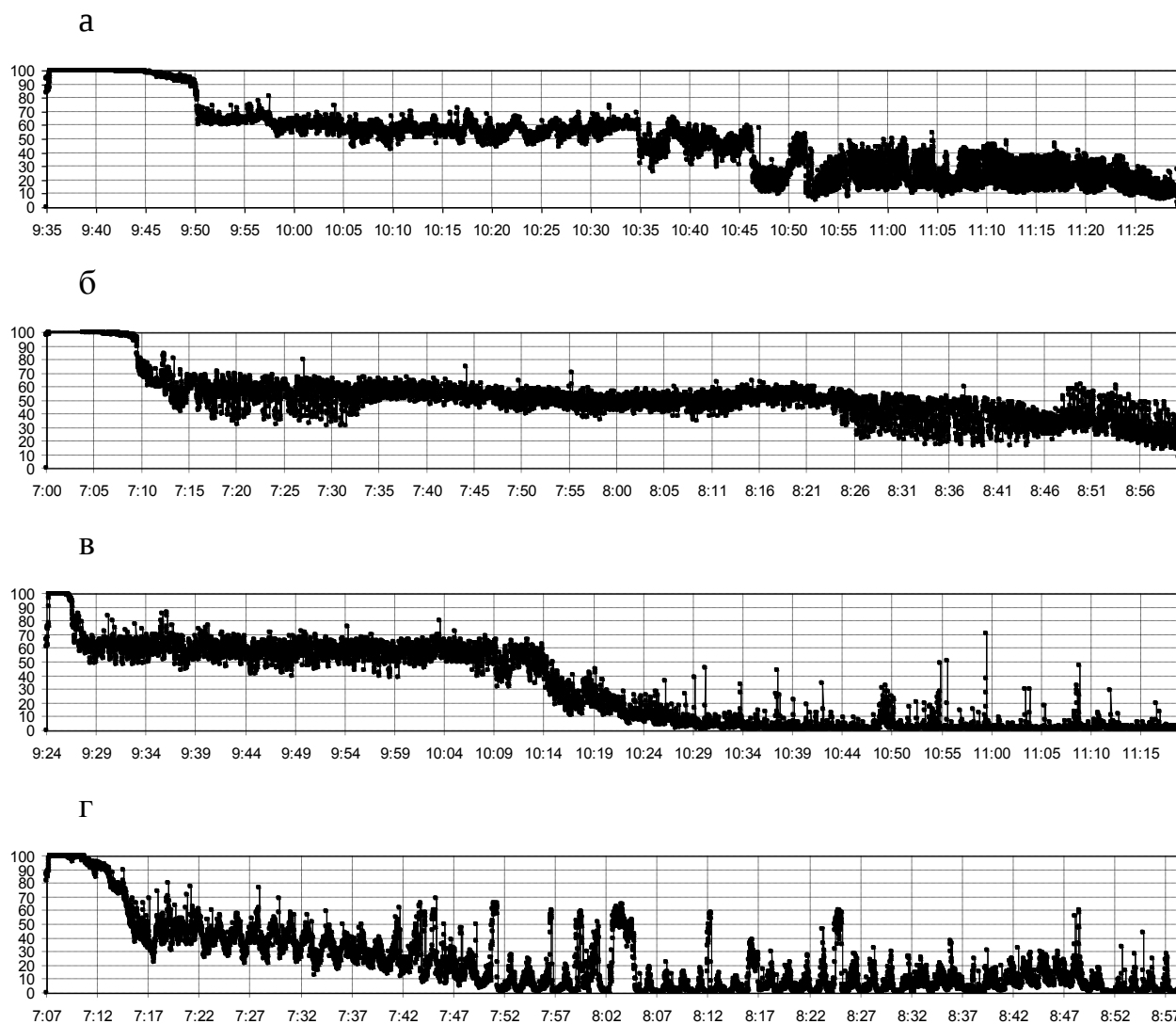


Рисунок 5 – Диаграммы записи тока при испытании минерального моторного масла U-tech navigator 15W-40 SG/CF при токе 100 мкА положительной полярности на шаре: а – товарное масло; б – $T = 140^\circ\text{C}$ (область первичных продуктов); в – $T = 200^\circ\text{C}$ (начало области вторичных продуктов); г – $T = 280^\circ\text{C}$ (конец области вторичных продуктов)

Из представленных данных видно, что при контакте шаров с цилиндром в начале испытания ток соответствует заданному, т.е. происходит пластическая деформация, которая переходит в упругопластическую при этом величина тока, протекающего через фрикционный контакт уменьшается до определенной величины, характеризующей установившееся изнашивание. При этом на поверхностях трения формируются либо адсорбционные, либо хемосорбционные слои, сопротивление которых определяет величину тока. Амплитуда колебания тока при установившемся изнашивании характеризует соотношение между скоростями формирования и разрушения граничных слоев, разделяющих поверхности трения.

Сравнивая диаграммы записи тока, полученные при испытании масел с первичными продуктами (диаграмма б) и вторичными (диаграммы в и г) видно, что вторичные продукты образуют хемосорбционные слои, вызывающие уменьшение

тока, протекающего через фрикционный контакт, за счет более высокого их электрического сопротивления.

Чем дольше продолжительность пластической и упругопластической деформаций, тем больше значение параметра износа, что видно по фотографиям пятен износа (центральный шар) (рисунок 6).

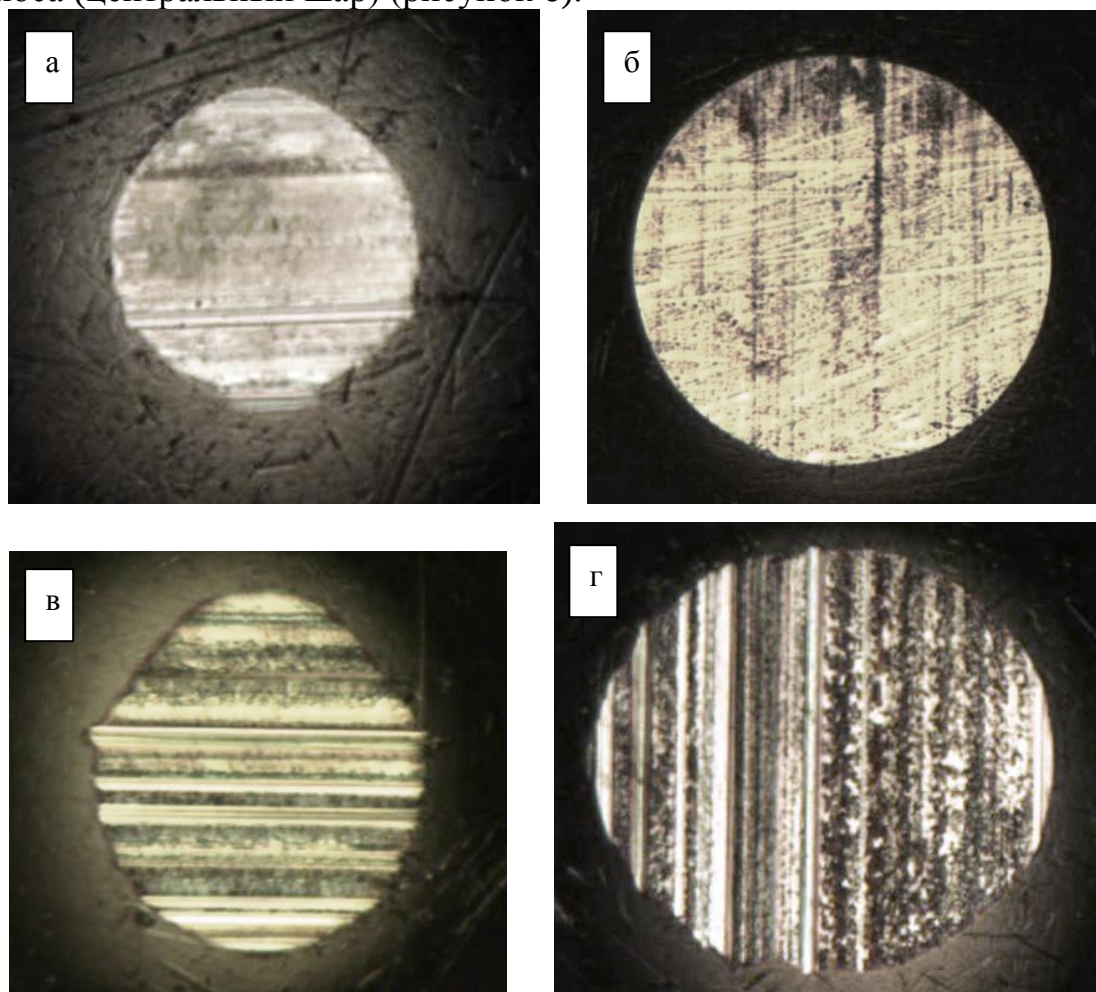


Рисунок 6 – Пятна износа при испытании минерального моторного масла М8-Г₂ при токе 100 мкА положительной полярности на шаре: а – товарное масло; б – Т = 140 °С (область первичных продуктов); в – Т = 200 °С (начало области вторичных продуктов); г – Т = 280 °С (конец области вторичных продуктов); масштаб одинаковый

Поскольку при термостатировании масел изменяются концентрации первичных и вторичных продуктов деструкции, то они должны определять противоизносные свойства. В качестве критерия противоизносных свойств термостатированных масел Π предложено отношение коэффициента K_{Π} к параметру износа U , характеризующего условную концентрацию продуктов температурной деструкции на номинальной площади фрикционного контакта.

Зависимости $\Pi = f(K_{\Pi})$ описываются линейными уравнениями (рисунок 7):

$$\Pi = aK_{\Pi} \quad (11)$$

где a - параметр, характеризующий скорость изменения критерия Π .

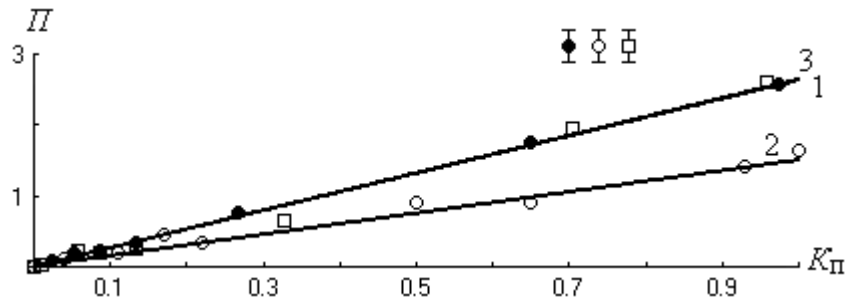


Рисунок 7 – Зависимость критерия противоизносных свойств от коэффициента поглощения светового потока при испытании минеральных моторных масел (Усл. обозн. см. на рисунке 1)

Регрессионные уравнения зависимостей $\Pi = f(K_{\Pi})$ имеют вид для масел:

$$\text{U-tech navigator 15W-40 SG/CD} \quad \Pi = 2,62K_{\Pi} \quad (12)$$

$$\text{M-8Г}_2 \quad \Pi = 1,50K_{\Pi} \quad (13)$$

$$\text{Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC} \quad \Pi = 2,64K_{\Pi} \quad (14)$$

Чем больше скорость изменения критерия Π при одинаковом значении коэффициента K_{Π} , тем выше противоизносные свойства исследуемых масел. Согласно данным масла U-tech navigator и Лукойл Стандарт имеют практически одинаковые противоизносные свойства, хотя по классификации API первое масло SG выше, чем SF. Масло M-8Г₂ уступает этим маслам.

Исследованиями влияния тока и его полярности на параметр износа (рисунок 8) установлено, что в первой температурной области для всех исследуемых масел при положительной полярности тока (рисунок 8, а) сохраняется тенденция повышения противоизносных свойств с увеличением концентрации первичных продуктов деструкции. С переходом во вторую температурную область противоизносные свойства термостатированных масел понижаются.

В целом, противоизносные свойства испытанных минеральных моторных масел при положительном потенциале выше, чем при отрицательном. Это вызвано тем, что при отрицательной полярности на шарах граничные слои формируются на цилиндре, площадь поверхности трения которого значительно больше, чем на шарах и время их формирования также увеличивается, поэтому и параметр износа при отрицательном потенциале превышает параметр износа при положительном потенциале на шарах.

Проведенными исследованиями показано, что для минеральных моторных масел положительная полярность и величина тока пропускаемого через фрикционный контакт обуславливает более интенсивное формирование защитных граничных слоев на поверхности меньшей площади, причем в начале образования вторичных продуктов деструкции наблюдается резкое понижение противоизносных свойств независимо от полярности тока, исключением является ток 200 мкА, что объясняется соотношением полярности тока и поляризацией поверхностей при трении.

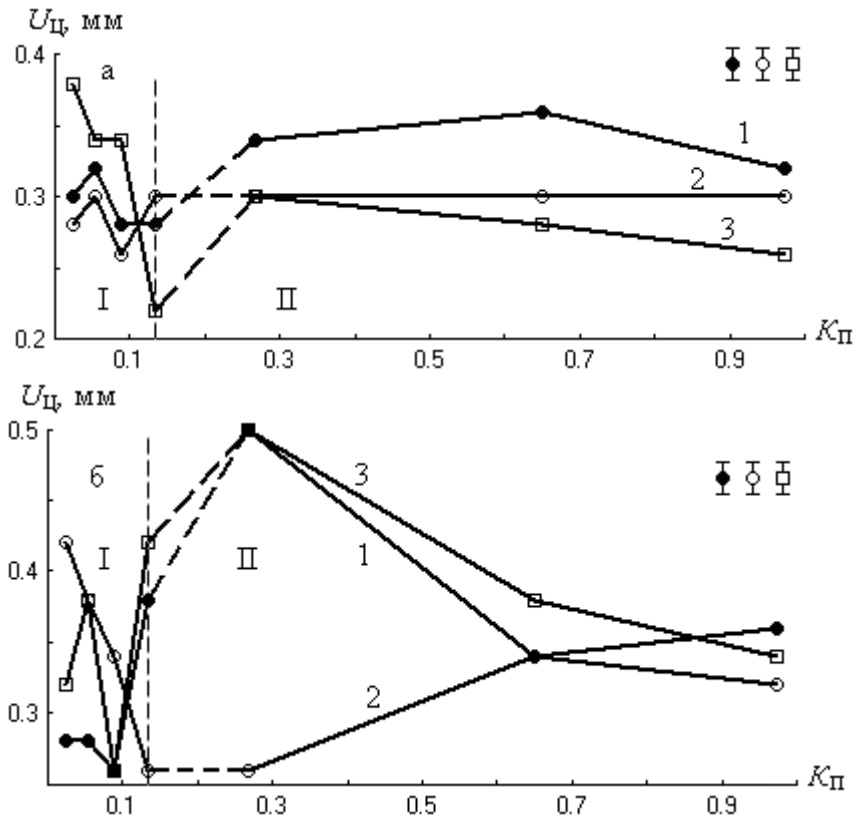


Рисунок 8 – Зависимости параметра износа от концентрации продуктов деструкции при испытании минерального моторного масла U-tech navigator 15W-40 SG/CD: а – при положительном потенциале на шаре; б - при отрицательном потенциале на шаре; 1 – ток 100мкА; 2 – ток 200 мкА; 3 – 300 мкА; I – область первичных продуктов деструкции; II – область вторичных продуктов деструкции.

Для оценки влияния тока, пропускаемого через фрикционный контакт и его полярности на противоизносные свойства термостатированных масел предложен коэффициент влияния тока K_{BT} , определяемый отношением:

$$K_{\text{BT}} = \frac{\Pi_{\text{BT}}}{\Pi_{\text{T}}}, \quad (15)$$

где Π_{BT} - критерий противоизносных свойств, определенный при отсутствии тока через фрикционный контакт; Π_{T} - критерий противоизносных свойств при пропускании тока через фрикционный контакт.

На рисунке 9 представлены зависимости коэффициента влияния тока от величины и полярности тока, пропускаемого через фрикционный контакт.

Показано, что при положительной полярности на шарах противоизносные свойства термостатированных масел повышаются с увеличением тока.

Регрессионное уравнение зависимости $K_{\text{BT}} = f(I)$ имеет линейный характер

$$K_{\text{BT}}^+ = 1 - aI = 1 - 0,001I, \quad (16)$$

где $a = 0,001$ - значение параметра, характеризующего скорость изменения коэффициента K_{BT} .

Коэффициент корреляции ≈ 1 .

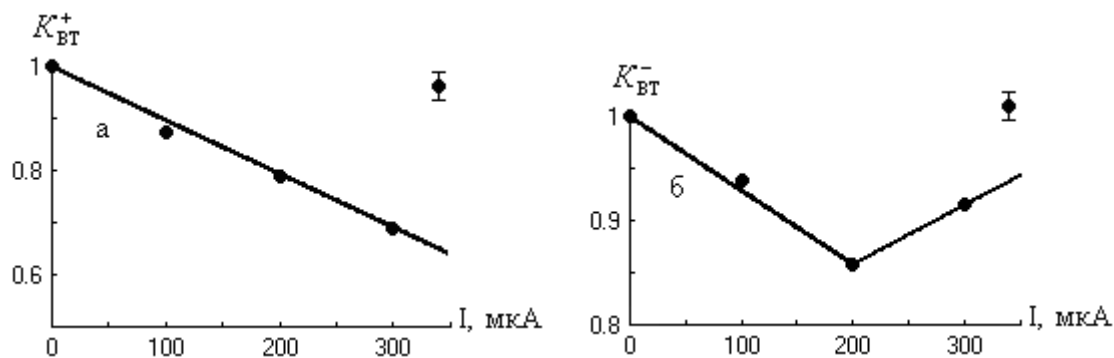


Рисунок 9 – зависимости коэффициента влияния тока от величины тока и его полярности: а – положительная полярность; б – отрицательная полярность

Зависимость коэффициента полярности при отрицательном потенциале на шаре K_{BT}^- кусочно-линейная:

$$\text{до } 200 \text{ мкА} \quad K_{\text{BT}}^- = 1 - 0,0007I \quad (17)$$

$$\text{свыше } 200 \text{ мкА} \quad K_{\text{BT}}^- = 0,74 + 0,0006I \quad (18)$$

При отрицательном потенциале на шарах противоизносные свойства термостатированных масел также повышаются, однако только для токов 100 и 200 мкА, а при токе 300 мкА их повышение уменьшается. Однако при положительном потенциале противоизносные свойства значительно выше, чем при отрицательном потенциале, так при токах: 100 мкА они выше на 7,4%; 200 мкА – 8,5%; а при 300 мкА – на 32,6%. Превышение противоизносных свойств термостатированных масел при положительном потенциале на шарах над отрицательным потенциалом не только объясняется различиями в площадях контакта на шарах и цилиндре, но и суммированием или вычитанием токов, задаваемых от внешнего источника и поляризации при трении. Этим объясняется увеличение коэффициента K_{BT}^- при токе 300 мкА (рисунок 9, б) отрицательной полярности на шарах и линейное снижение коэффициента K_{BT}^+ при положительном потенциале.

На основании проведенных исследований минеральных моторных масел установлены: механизм температурной деструкции, характеризующийся образованием первичных и вторичных продуктов деструкции, различающихся оптическими свойствами; температуры начала образования первичных и вторичных продуктов деструкции; температурная область работоспособности моторных масел; температуры предельного изменения вязкости при термостатировании масел; критерии температурной стойкости и противоизносных свойств; коэффициент влияния тока и его полярности на противоизносные свойства, что значительно расширило информацию для потребителей о температурной стойкости минеральных моторных масел.

Четвертый раздел посвящен разработке практических рекомендаций, включающих технологии определения: температурной стойкости смазочных масел; влияния продуктов деструкции на противоизносные свойства; и практических рекомендаций по созданию системы повышения износостойкости твердых тел и совершенствованию существующей классификации смазочных масел. Разработанные рекомендации внедрены на автотранспортном предприятии ООО

АТП «Терминалнефтегаз», автотранспортном предприятии ИП АТП Сидоров В.М., и в учебный процесс кафедры «Топливообеспечение и ГСМ» Института нефти и газа Сибирского федерального университета.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработан комплексный метод исследования смазочных материалов, включающая испытания на температурную стойкость, противоизносные свойства и механохимические процессы, при изменении электрического потенциала в зоне фрикционного контакта. Патенты РФ №2409814, №2415422, №2419791.

2. Разработана трехшариковая машина трения со схемой трения «шар-цилиндр», позволяющая определить противоизносные свойства как товарных, так и работавших масел различного назначения и базовых основ, получить дополнительную информацию о процессах, протекающих на фрикционном контакте (патент РФ №2428677).

3. Получены функциональные зависимости изменения оптических свойств, вязкости, летучести, коэффициента температурной стойкости и противоизносных свойств от температуры испытания минеральных моторных масел, что позволило установить механизм температурной деструкции и обосновать критерии противоизносных свойств и влияние тока и его полярности на эти свойства и механизм формирования на поверхностях трения защитных граничных слоев.

4. Установлен механизм температурной деструкции моторных масел, заключающийся в образовании двух видов продуктов деструкции, различающихся оптическими свойствами, что позволило определить температуры начала их образования, температуру предельно-допустимого значения вязкости и температурную область работоспособности моторных масел.

5. Коэффициент температурной стойкости предложен в качестве интегрального показателя температурной стойкости, учитывающего изменение оптических свойств и летучести масел при термостатировании, что позволяет сравнивать различные масла и идентифицировать на соответствие группам эксплуатационных свойств.

6. Предложен критерий противоизносных свойств I , который позволяет прогнозировать противоизносные свойства масел и оценить влияние величины и полярности тока на противоизносные свойства масел.

7. Коэффициент влияния тока и его полярности предложен в качестве критерия влияния тока на противоизносные свойства термостатированных моторных масел, определяемый отношением критериев противоизносных свойств масел испытанных без пропуска тока через фрикционный контакт и с током, позволяющий определить значения коэффициента и его зависимость от величины и полярности тока, пропускаемого через фрикционный контакт от внешнего источника питания. Установлена линейная зависимость коэффициента влияния тока от его величины и полярности.

8. Разработаны практические рекомендации, включающие технологии определения температурной стойкости моторных масел; влияния продуктов деструкции на противоизносные свойства и предложения по управлению износостойкостью материалов пар трения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ ОТРАЖЕНО В ПУБЛИКАЦИЯХ:

а) статьи в изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ:

1. Ганжа В. А. Лабораторный стенд для испытания рабочих органов землеройных машин [текст] / В. А. Ганжа, П. В. Ковалевич, В. Г. Шрам, **О. Н. Петров** // Вестник Казанского технологического университета. Казань. №1. 2013. С229-232.
2. Ганжа В. А. Стенд для поверки тензометрических элементов [текст] / В. А. Ганжа, П. В. Ковалевич, В. Г. Шрам, **О. Н. Петров** // Вестник Казанского технологического университета. Казань. №1. 2013. С232-235.
3. Шрам В. Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства синтетических моторных масел [Текст] / В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров** // Вестник КрасГАУ. Красноярск. №1 (76). 2013. С102-107.
4. Безбородов Ю. Н. Определение смазывающей способности моторных масел по параметру суммарной продолжительности деформаций [текст] / Ю. Н. Безбородов, **О. Н. Петров**, А. Н. Сокольников, В. Г. Шрам, А. А. Игнатьев // Вестник Иркутского государственного технического университета. Иркутск. №8 (67). 2012. С 125-129.
5. Шрам В. Г. Исследование термостойкости минеральных моторных масел. Часть 1 [текст] / В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, Ю. Н. Безбородов, А. Н. Сокольников // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. - № 13. - с. 143-147.
6. Шрам В. Г. Влияние механической деструкции и продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства минеральных моторных масел. Часть 2 [текст] / В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, Ю. Н. Безбородов, А. Н. Сокольников // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. - № 13. - с. 149-152.
7. Шрам В. Г. Исследование влияния продуктов температурной деструкции на противоизносные свойства гидравлического масла HLP-10 [текст] / В. Г. Шрам, Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, Ю. Н. Безбородов, А. А. Игнатьев // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 15. - № 13. - с. 137-140.

б) патенты:

8. Пат. № 2409814 Рос. Федерация: МПК⁷ G 01 N 33/30. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, А. В. Юдин, А. С. Ромащенко; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2009141423/15; заявл. 09.11.2009; опубл. 20.01.2011. Бюл. №2.
9. Пат. № 2415422 Рос. Федерация: МПК⁷ G 01 N 33/30. Способ определения температурной стойкости смазочных масел / Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, Н. Н. Малышева; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2009143446/15; заявл. 24.11.2009; опубл. 27.03.2011. Бюл. № 9.

10. Пат. № 2419791 Рос. Федерация: МПК G 01 N 33/30, G 01 N 3/56. Способ определения смазывающей способности масел / Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, А. В. Кузьменко, А. С. Ромашенко, А. В. Берко; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2010108896/15; заявл. 09.03.2010; опубл. 27.05.2011. Бюл. №15.

11. Пат. № 2428677 Рос. Федерация: МПК G 01 N 19/02. Устройство для испытания трущихся материалов и масел / Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, **О. Н. Петров**, В. И. Тихонов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет». – № 2010119754/28; заявл. 17.05.2010; опубл. 10.09.2011. Бюл. №25.

в) монографии:

12. Ковальский Б. И. Современные методы очистки и регенерации отработанных смазочных масел / Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, Л. А. Фельдман, **О. Н. Петров**, А. В. Юдин // препринт.

г) материалы конференций:

13. Ковальский Б. И. Электрометрический метод контроля механохимических процессов при граничном трении скольжения / Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, А. В. Юдин // Сборник научных трудов 10-ой международной конференции "Трибология и Надёжность" - Санкт-Петербург, 2010 г.

14. Ковальский Б. И. Влияние степени окисления моторных масел на их противоизносные свойства / Б. И. Ковальский, **О. Н. Петров**, А. В. Юдин // Сборник научных трудов научно-технической конференции "Трибология-Машиностроение", посвященная 120-летию М.М. Хрущева. – Москва, 2010 г.

15. Ковальский Б. И. Технология определения параметров температурной стойкости смазочных материалов / Б. И. Ковальский, Н. Н. Малышева, Е. Г. Мальцева, **О. Н. Петров** // Энергетика в глобальном мире: сб. тезисов докладов первого международного научно-технического конгресса.- Красноярск: ООО «Версо», 2010 г. С 311-312.

16. Ковальский Б.И. Исследование механохимических процессов моторных масел при граничном трении скольжения / Б. И. Ковальский, А. Н. Сокольников, **О. Н. Петров**, А. В. Кузьменко // Транстрибо. IV международный симпозиум по транспортной триботехнике. Сборник трудов. Санкт-Петербург. 2010. С. 86–91.

17. Ковальский Б. И. Метод определения противоизносных свойств смазочных масел / Б. И. Ковальский, Ю. Н. Безбородов, **О. Н. Петров**, Н. Н. Малышева // Энергетика в глобальном мире: Тез. докл. первого международного научно-технического конгресса. Красноярск: ООО «Версо», 2010.С. 210-448.

Подписано в печать «____» _____ 2013 г. Печать – ризография. Заказ № _____

Объем _____ п.л. Тираж _____ экз.

Отпечатано в _____
