На правах рукописи

Даниленко Виктор Сергеевич

МЕТОД КОНТРОЛЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПАРАМЕТРАМ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ ИЗМЕНЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск - 2010

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ковальский Болеслав Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Ченцов Сергей Васильевич

кандидат технических наук,
профессор **Назаров Григорий Георгиевич**

Ведущая организация: Красноярский государственный аграрный университет

Защита состоится «18» июня 2010г. в 14-00 на заседании диссертационного совета ДМ 212.099.05 при ФГОУ ВПО «Сибирского федерального университета» по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского 26, ауд. УЛК 115.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Сибирского федерального университета, по адресу: 660074, г. Красноярск, ул. Киренского 26, Г-274.

Автореферат разослан «18 » мая 2010г.

Ученый секретарь
диссертационного совета О.В. Непомнящий

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАБОТЫ

Актуальность проблемы.

Надежность машин и агрегатов закладывается при их проектировании, обеспечивается при изготовлении и подтверждается в процессе эксплуатации. Основное влияние на надежность оказывает смазочный материал как элемент трибосистемы. В связи с этим ему присущи такие свойства надежности как безотказность, долговечность, сохраняемость и восстанавливаемость, т.е. для смазочного материала существует предельное состояние, по достижению которого его необходимо сменять на новое.

Основной функцией смазочного материала является снижение коэффициента трения, поглощение теплоты, выделяемой при трении, и унос частиц износа, однако процессы самоорганизации трибосистем, определяющие совместимость ее элементов изучены недостаточно, но позволяют познать природу изменения их состояния.

При проектировании объектов машиностроения основное внимание уделяется выбору материалов пар трения, оптимизации шероховатостей поверхностей, закономерностям приработки, противозадирной стойкости, термоокислительной стабильности и термостойкости смазочных материалов, а также совместимости элементов трибосистемы. Вопросам совместимости элементов трибосистемы в настоящее время уделяется большое внимание, т.к. это свойство определяется процессами самоорганизации, протекающими при трении, характеризующими способность ее элементов к защите от внешних воздействий.

Процесс самоорганизации трибосистемы определяется сопротивлением ее элементов температурным, механическим и химическим воздействиям путем создания на поверхностях трения защитных слоев, причем влияние смазочного материала в этих процессах является основным. В виду того, что смазочный материал не может неограниченно поглощать тепловую энергию, избыток ее поглощается образующимися продуктами окисления, испарения и деструкции. В этой связи температура начала процесса преобразования и параметры самого процесса могут служить показателями сопротивляемости температурным воздействиям и применяться для идентификации смазочных материалов.

Одной из актуальных задач в повышении ресурса смазочных материалов, является расширение температурного диапазона их работоспособности. С этой целью в базовые масла вводят поверхностно-активные или химически-активные соединения называемые модификаторами трения, которые способны расширить диапазон работоспособности современных смазочных материалов в относительно небольшом интервале температур, но требуют создания методической и инструментальной баз для определения предельного их состояния и исследования кинетики изменения состояния при эксплуатации объектов машиностроения, поэтому выбор смазочных материалов на стадии проектирования машин и агрегатов является актуальной задачей, а разработка методов и средств контроля в период эксплуатации и влияние температурных условий имеет научное и практическое значение.

Цель работы. Исследовать влияние циклического изменения температуры на процессы самоорганизации, протекающие в смазочных маслах различных базовых основ, обосновать температурный критерий и на этой основе разработать практические рекомендации по их выбору для трибосистем различной степени нагруженности.

Задачи исследований. Разработать методику исследования процессов самоорганизации в смазочных материалах по параметрам термоокислительной стабильности при циклическом изменении температуры испытания.Исследовать влияние циклического изменения температуры на процессы самоорганизации в смазочных

материалах на примере моторных масел, установить количественные параметры процесса применительно к классификации по группам эксплуатационных свойств.

Разработать аналитическую модель процесса самоорганизации, протекающего в смазочных материалах при циклическом изменении температуры и обосновать критерий оценки.

Разработать практические рекомендации по выбору смазочных материалов для механизмов, работающих в различных температурных условиях.

Предмет исследования - процессы самоорганизации в моторных маслах различных базовых основ, классов вязкости и групп эксплуатационных свойств при циклическом изменении температуры.

Методы исследования. Решение поставленных задач осуществлялось после анализа литературных данных в области исследования процессов самоорганизации с применением теории экспериментов, оптических и термодинамических методов исследования, теории трения и трибодиагностики.

При выполнении работы применялись стандартные и специально разработанные приборы, а для обработки результатов экспериментальных исследований использовались методы математической статистики и регрессионного анализа.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, полученных автором, обеспечивается необходимым объемом экспериментальных исследований, удовлетворительной сходимостью теоретических и экспериментально полученных зависимостей, непротиворечивостью исследованиям других авторов, использованием экспериментального оборудования, позволяющего с достаточной точностью осуществлять измерения требуемых параметров, а также использованием стандартных программ для обработки экспериментальных данных с применением современных средств вычислительной техники в соответствии с постановкой и планированием экспериментальных исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- методика исследования процессов самоорганизации по параметрам термоокислительной стабильности смазочных масел при циклическом изменении температуры испытания;
- результаты исследований минеральных, частично синтетических и синтетических моторных масел и критерии оценки термоокислительной стабильности;
- метод определения влияния продуктов тепловых преобразований на оптические свойства и вязкость испытуемого масла при циклическом изменении температуры испытания;
- коэффициент термоокислительной стабильности, используемый в качестве критерия процессов самоорганизации, применяемого при идентификации и установлении группы эксплуатационных свойств;
- аналитическая модель процесса самоорганизации моторных масел при циклическом изменении температуры испытания;
- номограмма определения скорости изменения термоокислительной стабильности;
- практические рекомендации выбора смазочных масел по параметрам процессов самоорганизации, ресурсу и температурной области работоспособности.

Научная новизна работы:

- разработана методика исследования процессов самоорганизации по параметрам термоокислительной стабильности моторных масел при циклическом изменении температуры испытания с использованием средств измерения: фотометра, прибора для определения термоокислительной стабильности, вискозиметра, центрифуги и электронных весов, позволяющих установить основные параметры, обосновать критерий процесса и использовать его при выборе моторных масел для двигателей внутреннего сгорания;

- получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения изменения коэффициентов поглощения светового потока, относительной вязкости и летучести при циклическом изменении температуры испытания на примере моторных масел различных базовых основ, позволяющие определить сопротивляемость моторных масел температурным воздействиям, склонность к загрязнению масляных систем, пусковые свойства, температурную область работоспособности, ресурс, а также идентифицировать на соответствие группам эксплуатационных свойств;

- предложен метод определения коэффициента влияния продуктов тепловых преобразований на оптические свойства и вязкость испытуемого масла при циклическом изменении температуры испытания, измеряемого отношением коэффициента поглощения светового потока к относительной вязкости, позволяющий оценить доминирующее влияние одного из них на этот показатель и подтвердить изменение состава продуктов окисления от жидкого состояния в полужидкое, а затем в твёрдое;

- коэффициент термоокислительной стабильности предложен в качестве критерия процессов самоорганизации моторных масел, определяемый суммой коэффициентов поглощения светового потока и летучести, что позволяет сравнивать моторные масла по этому показателю, установить ресурс и использовать для идентификации или установления группы эксплуатационных свойств;

- установлена линейная зависимость между коэффициентами термоокислительной стабильности $E_{тос}$ и поглощения светового потока $\hat{}_{п}$ при циклическом изменении температуры испытания, которая учитывает время и температуру испытания, что позволяет определить скорость тепловых преобразований и совершенствовать процедуру идентификации или установления принадлежности масел группам эксплуатационных свойств;

- предложена номограмма определения скорости изменения тепловых преобразований в смазочном масле, что позволяет снизить трудоемкость исследований по выбору смазочных материалов с высокой термоокислительной стабильностью.

Практическая значимость работы. Разработанные методика исследования и измерительная база могут найти широкое применение на стадиях проектирования и эксплуатации техники, в учебном процессе, испытательных лабораториях и производственных предприятиях для контроля качества смазочных масел. Разработанные практические рекомендации составляют основу технологий по определению термоокислительной стабильности, идентификации моторных масел и установлению группы эксплуатационных свойств, определению их потенциального ресурса и температурной области работоспособности.

Реализация результатов работы. Результаты исследований использованы в учебном процессе кафедры «Топливообеспечение и ГСМ» Института нефти и газа Сибирского федерального университета и на производстве: ОМТО УФСКН России по Красноярскому краю.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Всероссийской научной конференции "Молодёжь и наука. Третье тысячелетие", научном семинаре факультета нефти и газа КГТУ (Красноярск, 2005, 2007) и СФУ (2008-2009г.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 научных работ, в том числе патент РФ № 2318206 G 01 N 25/00. Список основных публикаций приведен в конце автореферата.

Объём и структура диссертации. Диссертация содержит 193 страницы, включая 138 страниц машинописного текста, 115 рисунков, 8 таблиц. Работа состоит из введения, 4 разделов, основных выводов, библиографического списка из 105 наименований, перечня актов внедрения результатов работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первом разделе приведен обзор исследований, направленных на определение путей повышения надежности объектов машиностроения за счет совершенствования метода контроля при выборе смазочных масел для машин и агрегатов в зависимости от степени их нагруженности. В качестве объекта исследования выбраны моторные масла, как наиболее распространенные, а механизм их старения более сложный и многофакторный.

С этой целью выполнен анализ факторов, влияющих на эксплуатационные свойства моторных масел, включающий анализ исследований в области их классификации, на основании которого установлено, что информация, представляемая разработчикам новой техники и эксплуатационникам, по классам вязкости и группам эксплуатационных свойств недостаточна для принятия правильного решения по выбору моторных масел для двигателей, работающих в различных условиях и режимах эксплуатации. Отсутствуют экспрессивные методы идентификации моторных масел, а также данные о предельных температурах их работоспособности, температурах начала необратмых процессов преобразования.

Существующие системы контроля качества нефтепродуктов в Российской Федерации включают сертификацию и «Порядок допуска к производству и применению...» ориентированы в основном на товарные масла, поэтому перечень классификационных испытаний включает до 23 методов, часть из которых может применяться для оценки качества моторных масел в процессе эксплуатации для корректировки сроков замены.

Моторное масло, как элемент двигателя внутреннего сгорания, существенно влияет на его надёжность, поэтому предоставление проектировщикам и эксплуатационникам дополнительной информации о температурной области работоспособности, потенциальном ресурсе, температурах начала необратимых процессов преобразования тепловой энергии, предельной температуре работоспособности позволит обосновано осуществлять их выбор для моторных испытаний и решать вопросы взаимозаменяемости. Решение этой проблемы заставит производителей нефтепродуктов более ответственно относиться к их качеству, внедрять новые технологии и разрабатывать высокоэффективные присадки. Основными факторами влияющими на ресурс моторных масел являются условия и режимы эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, их техническое состояние, частота и объём доливаемого масла вследствие его угара. Существующая система планово-предупредительных ремонтов, наряду с её простотой, не позволяет эффективно использовать моторные масла в виду отсутствия надёжных методов и простых средств контроля, применимых в условиях деятельности автотранспортных предприятий. До сих

пор отсутствуют научно-обоснованные критерии оценки ресурса моторных масел с учетом изменения технического состояния двигателя, так и свойств самого масла. В этой области можно отметить работы Ю.А. Розенберга, Г.Н. Шора, М.А. Григорьева, Г.И. Фукса и др.

Одной из проблем при определении ресурса моторных масел является поиск и обоснование критерия оценки механизма их старения и предельного состояния. Поскольку старение моторных масел определяется процессами окисления базовой основы, расходом функциональных присадок, а также влиянием на эти процессы условий и режимов работы двигателя, материалов пар трения, продуктов окисления и примесей, попадающих извне, то подход к решению этой проблемы должен быть комплексным. Решением этих вопросов занимались Ю.А. Заславский, Ю.А. Розенберг, В.Л. Лашхи, А.Б. Виппер, В.Д. Резников, А.И. Соколов, С.В. Венцель, В.Н. Лозовский и др.

Роль смазочного материала, как элемента трибосистемы, рассмотрена в работах Н.А. Буше, Б.И. Костецкого, Р.М. Матвеевского, Л.И. Бершадского, Н.А. Буяновского, Д.Н. Гаркунова, Н.Г. Гершмана, Ф.С. Кужарова и др. с точки зрения самоорганизации такой системы, т.е. способности формировать защитные действия от внешних воздействий. Исследования в этой области направлены на изучение механизма окисления и влияния продуктов этого процесса на формирование адсорбционных, хемосорбционных и модифицированных защитных слоёв при трении.

Обзор проведенных исследований выявил отсутствие научно-обоснованного интегрального критерия определения предельного состояния моторных масел в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, а также универсального метода их классификации. В этой связи предложен комплексный метод их испытания на термоокислительную стабильность при циклическом изменении температуры испытания в диапазоне от 150 до 180 °С.

Во втором разделе приведена методика исследования процессов самоорганизации моторных масел по параметрам термоокислительной стабильности при циклическом изменении температуры испытания.

В разделе обосновано применение термоокислительной стабильности, как комплексного показателя процессов самоорганизации моторных маслах. С этой целью приведено техническое описание прибора для определения термоокислительной стабильности и вспомогательных измерительных средств, включающих фотометр, малообъёмный вискозиметр и весы. Обоснован выбор моторных масел для исследования. Определены относительная и абсолютная погрешности измерения и сходимость результатов испытания при многократном испытании одного сорта масла.

Для выявления различий в процессах самоорганизации выбраны масла на минеральной, частично синтетической и синтетической основах различных классов вязкости и групп эксплуатационных свойств.

Отличительной особенностью разработанной методики исследования является испытания моторных масел при циклическом изменении температуры испытания, что позволило их сравнивать по количеству циклов повышения и понижения температуры и определить предельные температурные параметры. Для исключения влияния металлов на окислительные процессы проба масла массой 100±0,1г испытывалась в стеклянном стакане и перемешивалась стеклянной мешалкой с частотой 300±2 об/мин. Температура испытания задавалась дискретно в диапазоне от 150 до 180°С через 10°С в сторону её увеличения, а затем уменьшения и во время испытания поддерживалась автоматически с точностью ±1°С.

Время испытания при каждой температуре составило 8 ч . После каждого испытания стакан с исследуемым маслом взвешивался на электронных весах для определения летучести масла при заданной температуре, что позволяло определить температуру начала летучести.

После взвешивания отбиралась проба окисленного масла для фотометриро-вания и определения коэффициента поглощения светового потока и вязкости. В дальнейшем температура испытания повышалась или понижалась на 10°С. В качестве параметров процессов самоорганизации приняты коэффициенты поглощения светового потока $К_п$, относительной вязкости R и летучести *RQ* в зависимости от времени и температуры испытания.

Достоверность результатов окисления моторных масел оценивалась по сопоставимости трехкратных испытаний.

Разработанная методика исследования позволила получить зависимости параметров процессов самоорганизации, обосновать энергетический критерий и его связь с концентрацией продуктов тепловых преобразований, а также установить различия в процессах для минеральных, частично синтетических и синтетических масел.

В третьем разделе приведены результаты испытания минеральных, частично синтетических и синтетических масел на термоокислительную стабильность и обоснованы критерии процесса самоорганизации при циклическом изменении температуры испытания.

Показано (рис.1), что применение методики испытания моторных масел при циклическом изменении температуры, позволяет получить динамику изменения коэффициента поглощения светового потока $К_п$ (рис.1а), относительной вязкости Кц (рис.1б) и летучести *Q* (рис.1в) от температуры испытания и определить температуры, начала процессов самоорганизации. Кроме того, количество циклов, выдержавших испытуемые масла до определённого значения коэффициента K_n позволяет сравнивать их по потенциальному ресурсу в выбранном диапазоне температур испытания.

Пусковые свойства моторных масел определяются по характеру изменения вязкости Кц=/(Т) и летучести *Q=f(T)*. Чем меньше скорость изменения этих параметров, тем выше пусковые свойства испытуемого масла.

Склонность моторных масел к образованию продуктов тепловых преобразований при циклическом изменении температуры испытания оценивалась по зависимостям K_n=ft), где t - время испытания. Представленные на рис.2 зависимости K_n=ft) подтверждают влияние базовой основы на окислительные процессы.

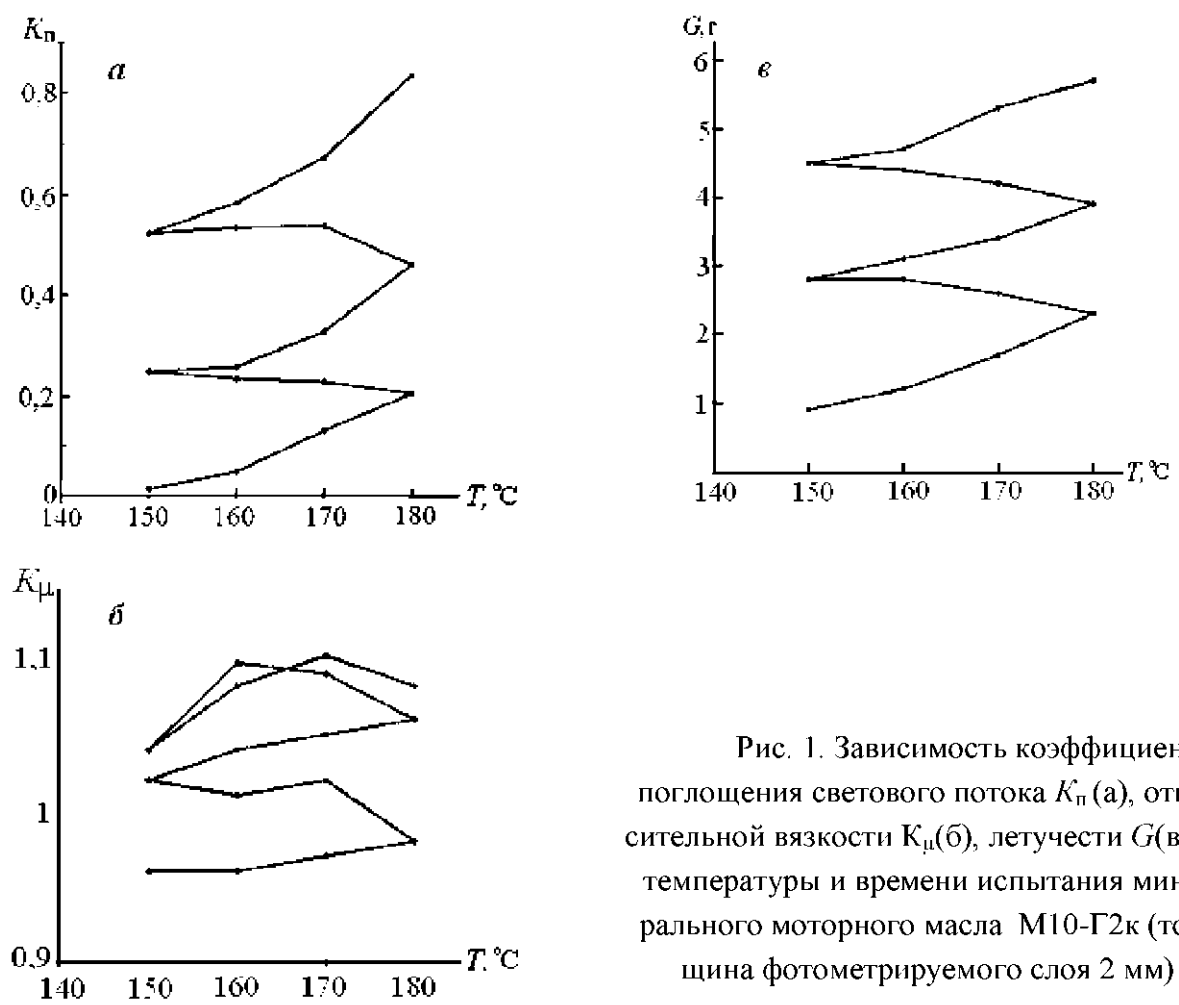


Рис. 1. Зависимость коэффициента поглощения светового потока $K_п$ (а), относительной вязкости $K_μ$(б), летучести G(в) от температуры и времени испытания минерального моторного масла М10-Г2к (толщина фотометрируемого слоя 2 мм)

Так, минеральное масло М10-Г2к (кривая 1) и частично синтетическое Visco 3000 10W-40 SL/CF (кривая 2) характеризуются высокой скоростью преобразования тепловой энергии, а частично синтетическое масло Zic 5000 5W-30 CL-4 (кривая 3) и синтетическое Castrol SLX 0W-30 SL/CF (кривая 7) - наименьшей интенсивностью. По данным зависимостям можно сравнивать моторные масла по группам эксплуатационных свойств, ресурсу и склонности их к загрязнению масляной системы двигателя.

Летучесть моторных масел выражена коэффициентом летучести K_G, определяемым отношением испарившейся массы пробы масла при испытании к оставшейся массе пробы. Зависимости коэффициента K_G от времени испытания при циклическом изменении температуры представлены на рис.3. Наибольшей летучестью характеризуется масло Mobil Synts 5W-40 SL/CF (кривая 5), а наименьшей минеральное масло М10-Г2к (кривая 1) и синтетическое масло Castrol SLX 0W-30 SL/CF (кривая 7).

Рис. 3. Зави ... ении темпе

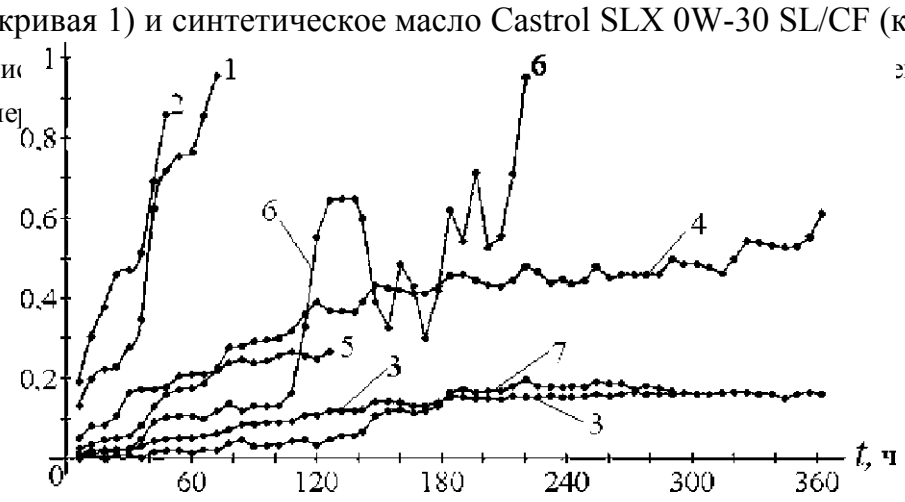
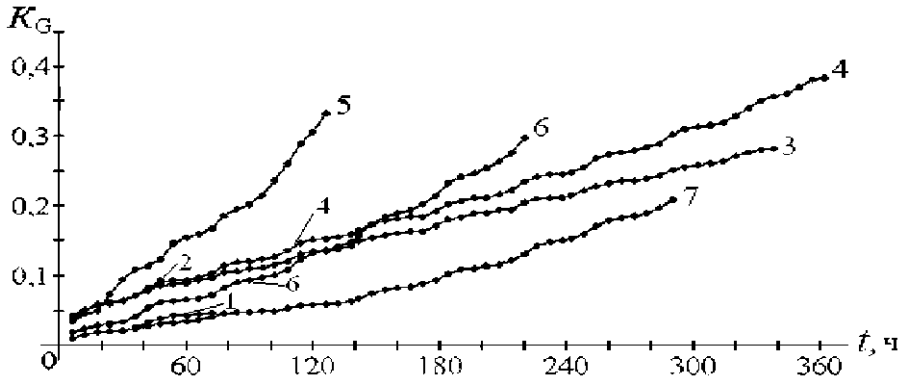


Рис. 2. Зависимость коэффициента поглощения светового потока от времени испытания моторных масел при циклическом изменении температуры: минеральное 1 - М10-Г2к; частично синтетические: 2 - Visco 3000 10W-40SL/CF; 5 - Mobil Synts 5W-40 SL/CF;



Предложен метод определения коэффициента *К* влияния продуктов окисления на оптические свойства и вязкость масла при его термостатировании, определяемого отношением коэффициента поглощения светового потока $К_п$ к коэффициенту относительной вязкости $К_ц$ (рис.4). В том случае, когда продукты окисления оказывают одинаковое влияние на оптические свойства $К_п$ и вязкость, то зависимость $К = fК_п$) будет наклонена к оси абсцисс под углом 45° (штриховая линия), а в случае большего влияния продуктов окисления на увеличение вязкости угол наклона будет меньше 45°. В случае когда продукты окисления оказывают влияние на уменьшение вязкости угол наклона зависимости будет больше 45°С и эти масла характеризуются удовлетворительными пусковыми свойствами (кривые 3-6) в холодный период эксплуатации.

Исходя из принципа самоорганизации смазочный материал не может бесконечно поглощать тепловую энергию, поэтому необходим стационарный или периодический сброс избыточной тепловой энергии с верхних уровней на нижележащие, а так как процесс окисления необратим и система не может вернуться в исходное состояние, то существуют промежуточные энергетические уровни. Для смазочных материалов при их термостатировании промежуточными энергетическими уровнями является образование продуктов окисления и летучести. Поэтому энергию самоорганизации предложено определять коэффициентом термоокислительной стабильности $Е_{тос}$, как сумма

$$Е_{тос} = К_п + К_о, \qquad (1)$$

где $К_п$ - коэффициент поглощения светового потока, $К_о$ - коэффициент летучести.

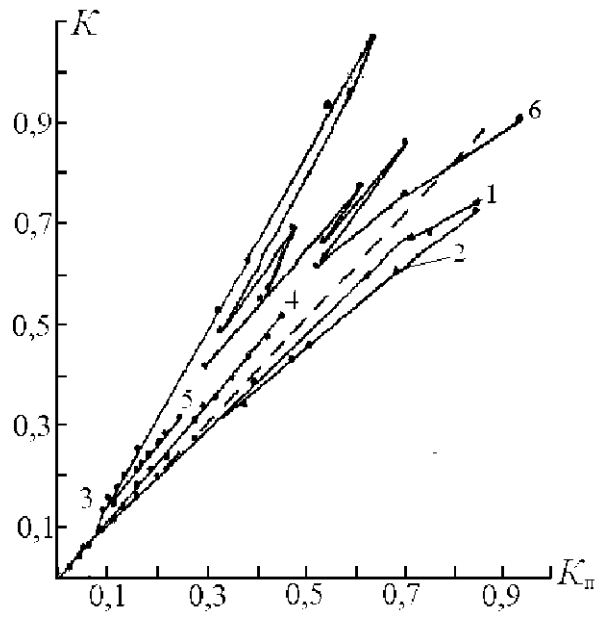


Рис. 4. Зависимость коэффициента К, учитывающего влияние продуктов окисления на оптические свойства и вязкость окисленного масла от коэффициента поглощения светового потока при циклическом изменении температуры испытания (Усл. обозн. см. на рис.2)

Значения коэффициента термоокислительной стабильности зависят от базовой основы моторного масла, группы эксплуатационных свойств, времени и температуры испытания (рис.5). Так, минеральное масло М10-Г2к (кривая 1) и частично синтетическое Visco 3000 10W-40 CL/CF (кривая 2) преобразуют наибольшее количество тепловой энергии, за короткий промежуток времени, а частично синтетическое масло Zic 5000 5W-30 (кривая 3) и синтетическое Castrol SLX 0W-30 SL/CF (кривая 7) - наименьшее за 300 ч испытания, поэтому коэффициент термоокислительной стабильности $i_{тос}$ предложен в качестве критерия процессов

самоорганизации. Данный критерий учитывает процессы окисления и испарения, температуру и время испытания.

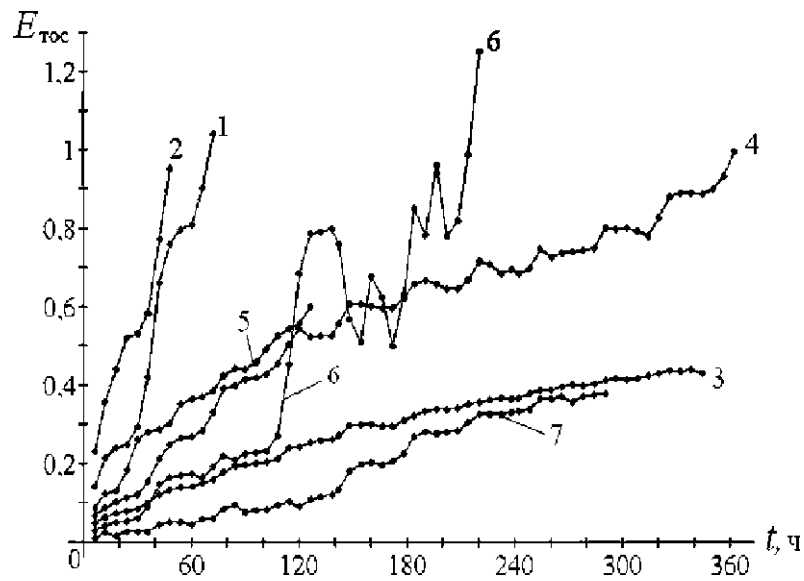


Рис. 5. Зависимость коэффициента термоокислительной стабильности от времени испытания моторных масел при циклическом изменении температуры от 150 до 180 °С
(Усл. обозн. см. на рис. 2)

Связь между коэффициентами термоокислительной стабильности и поглощения светового потока (рис.6) определяет количество тепловой энергии, затраченной на образование единицы продуктов окисления и испарения, поэтому чем больше значение коэффициента $i_{тос}$, при определенном значение коэффициента $K_п$, тем выше термоокислительная стабильность моторного масла, а значит сопротивляемость температурным воздействиям. Зависимости $E_{тос}$=/($K_п$) для масел (кривые 1 и 2) имеют линейный характер, синтетических (кривые 5,7) и частично синтетических масел (кривая 3) имеют два линейных участка. На втором участке наблюдается разброс значений коэффициента $i_{тос}$ в связи с процессами перераспределения тепловой энергии и коагуляции продуктов окисления. Начальные линейные участки зависимостей описываются уравнением вида

$$E_{тос}=aK_п+c, \qquad (2)$$

где a - коэффициент, характеризующий скорость процесса преобразования; с -значение коэффициента $i_{тос}$, при котором начинаются процессы преобразования.

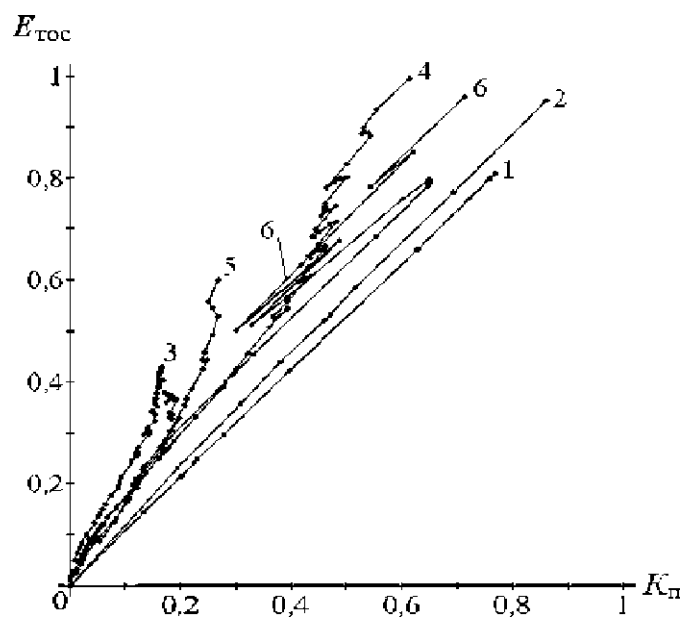


Рис. 6. Зависимость коэффициента термоокислительной стабильности от коэффициента поглощения светового потока при циклическом изменении температуры испытания моторных масел (Усл. обозн. см. на рис. 2)

Второй линейных участок зависимостей $Е_{тос}$=/($К_п$) (кривые 3,5,7) указывает на образование продуктов окисления, требующих большего количества тепловой энергии, а её недостаток вызван расходом на испарение, поэтому на данном участке наблюдается увеличение коэффициента $i_{тос}$ и замедление роста коэффициента $К_п$.

При испытании синтетических масел Mannol Elite 5W-40 SL/CF (кривая 4) и Spectrol Polarm 0W-40 SJ/CF (кривая 6) установлены большие колебания коэффициентов $i_{тос}$ и $К_п$, вызванных изменением температуры испытания, однако начальные линейные участки существуют. Это может объясняться процессами релаксации и коагуляции продуктов окисления при снижении температуры испытания.

Скорость изменения коэффициента $i_{тос}$ на первом участке зависимости $Е_{тос}$=/($К_п$) предлагается в качестве критерия рекомендуемого для применения при установления группы эксплуатационных свойств или идентификации моторных масел по этому показателю. В работе установлены пределы скорости изменения коэффициента $i_{тос}$ в зависимости от группы эксплуатационных свойств исследованных моторных масел. Предложена модель определения температурной области работоспособности моторных масел по зависимости приращения коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания (рис.7). Так как коэффициент термоокислительной стабильности $E_{тос}$ учитывает влияние теплоты на окислительные процессы и испарение, то при снижении температуры испытания наступает момент, при котором эти процессы практически останавливаются, поэтому температура, при которой приращение коэффициента $Е_{тос}$ равно нулю, является температурой начала процессов самоорганизации испытуемого масла. Так, температурой начала процессов самоорганизации являются: для минерального масла М10-Г2к (кривая 1) - 150 °С; частично синтетических Visco 3000 10W-40SL/CF (кривая 2) - 140 °С, а Zic 5000 5W-30 CL-4 (кривая 3) - 150 °С; синтетических Mannol Elite 5W-40 SL/CF (кривая 4) - 150 °С; Mobil Synts 5W-40 SL/CF (кривая 5), Spectrol Polarm 0W-40 SJ/CF (кривая 6) и Castrol SLX 0W-30 SL/CF (кривая 7) - 160 °С.

Для обоснованного выбора моторных масел и установления или идентификации принадлежности их к группе эксплуатационных свойств предложена номограмма связывающая время испытания, температурный диапазон и значения коэффициентов термоокислительной стабильности и поглощения светового потока. Зависимости

$E_{тос}$=/(*T*) и K_n=/(*T*) применяются для определения скорости изменения коэффициента $E_{тос}$ (рис.8), что сокращает процедуру идентификации моторных масел.

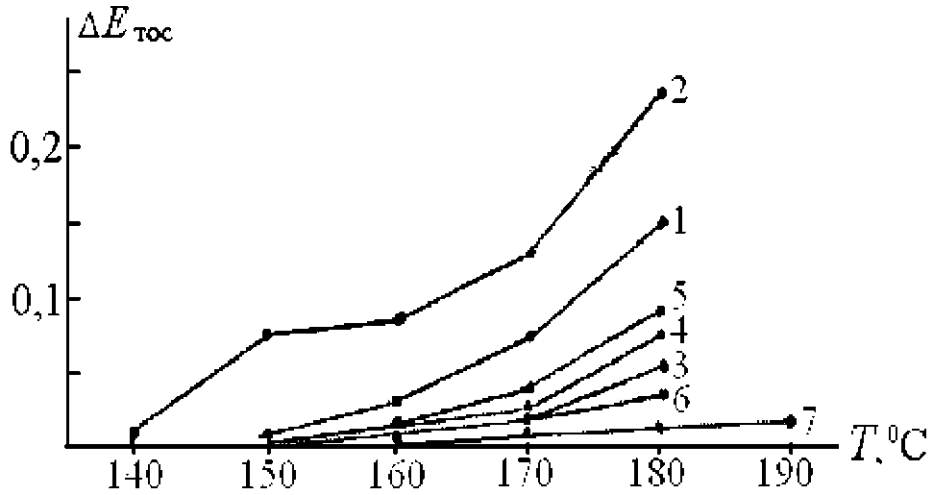


Рис.7. Зависимость приращения коэффициента термоокислительной стабильности от температуры испытания моторных масел (Усл. обозн. см. на рис.2).

Представленные в третьем разделе результаты исследования моторных масел показали, что применение разработанной методики исследования процессов самоорганизации и средств измерения при циклическом изменении температуры позволяют обосновать критерий, в качестве которого предложен коэффициент термоокислительной стабильности, а скорость его изменения применяют при идентификации моторных масел и установлении группы эксплуатационных свойств при их классификации.

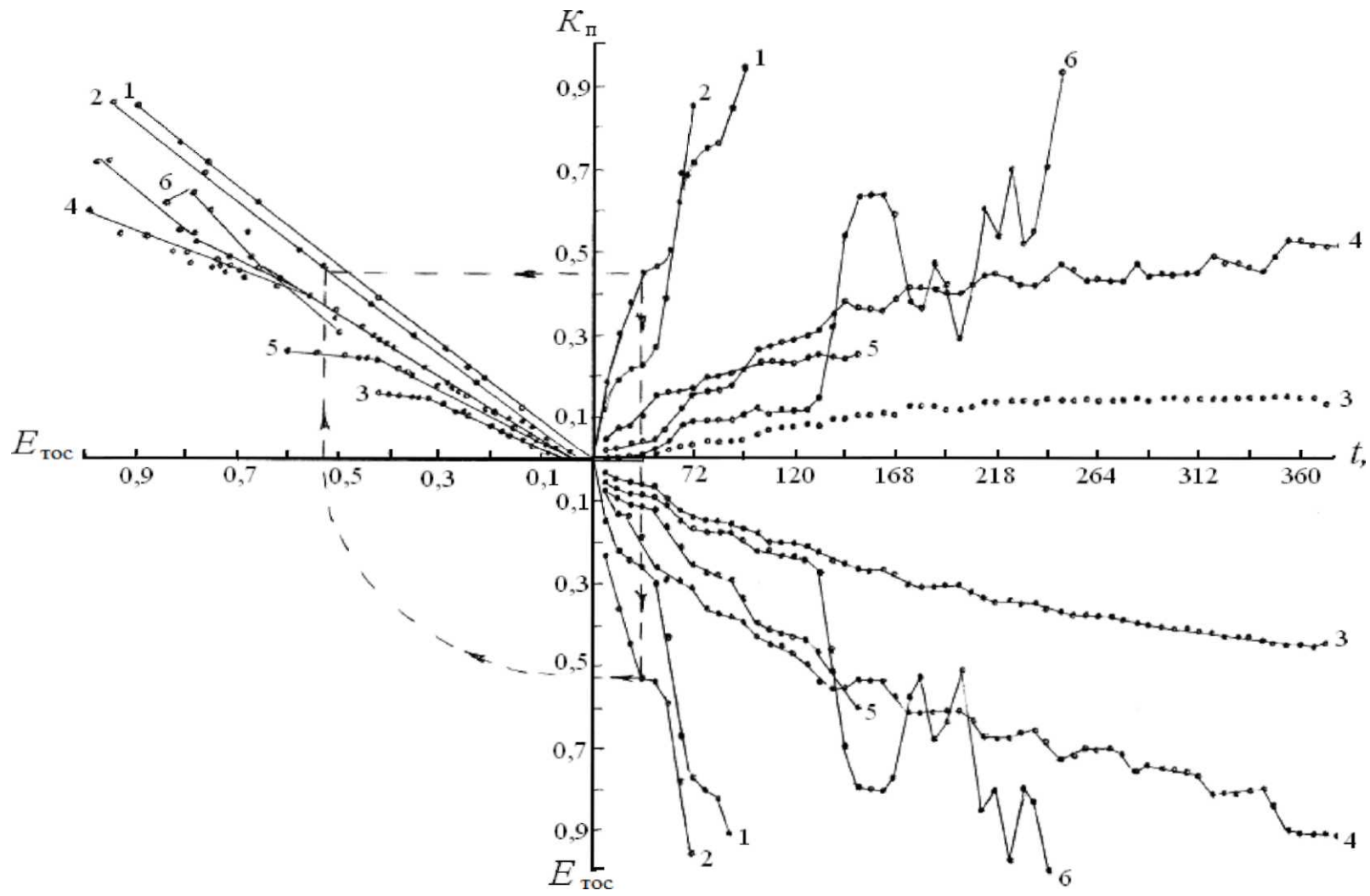


Рис.8. Номограмма определения зависимости коэффициента термоокислительной стабильности от коэффициента поглощения светового потока и времени испытания для моторных масел различной базовой основы

(Усл. обозн. см. на рис. 2)

В четвёртом разделе диссертации приведены практические рекомендации по применению методики исследования смазочных материалов при циклическом изменении температуры.

Практические рекомендации включают технологии: определения термоокислительной стабильности моторных масел; идентификации; определения потенциального ресурса и температурной области работоспособности. Разработанные рекомендации прошли апробацию в учебном процессе и на предприятиях автотранспорта.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработанная методика исследования процессов самоорганизации по параметрам термоокислительной стабильности смазочных материалов при циклическом изменении температуры позволяет определить количественные показатели процессов самоорганизации, при которых избыточная тепловая энергия переходит на более низкие энергетические уровни с образованием продуктов окисления и испарения, по которым устанавливают температурную область работоспособности масел, их ресурс, причем применение циклического изменения температуры снижает трудоемкость и продолжительность испытаний. Методика и средства измерения ориентированы на применение в условиях эксплуатационных предприятий и прошли апробацию.

2. Получены функциональные зависимости и регрессионные уравнения изменения коэффициентов поглощения светового потока, относительной вязкости, летучести и термоокислительной стабильности при циклическом изменении температуры испытания, позволяющие количественно оценить: процессы самоорганизации; сопротивляемость масел температурным воздействиям; склонность к загрязнению масляных систем двигателя; пусковые свойства; температурную область работоспособности и ресурс, а также идентифицировать и устанавливать группы эксплуатационных свойств, что упрощает процедуру их выбора для машин и агрегатов различной степени нагруженности.

3. Предложен метод оценки влияния продуктов тепловых преобразований на оптические свойства и вязкость испытуемого масла при циклическом изменении температуры, заключающийся в определении коэффициента, измеряемого отношением коэффициентов поглощения светового потока $K_п$ и относительной вязкости, позволяющего оценить доминирующее влияние одного из них на этот показатель и утверждать изменение состава продуктов окисления от жидкого состояния до гелеобразного и твердого, а также установить явление перераспределения тепловой энергии при образовании продуктов окисления и испарения.

4. Коэффициент термоокислительной стабильности предложен в качестве критерия процессов самоорганизации моторных масел, определяемый суммой значений коэффициентов поглощения светового потока и летучести, характеризующий количество преобразованной тепловой энергии, а аналитическая зависимость его от коэффициента поглощения светового потока определяет скорость процесса преобразования, что позволяет сравнить моторные масла по этому показателю, устанавливать температуры начала окисления и испарения, их ресурс, создать банк данных для различных масел и осуществлять обоснованный выбор на стадии проектирования техники и классифицировать по группам эксплуатационных свойств (Пат. № 2318206 G-01 N 25/00).

5. Разработаны практические рекомендации с использованием методики исследования процессов самоорганизации при циклическом изменении температур испытания и средств измерения, включающие номограмму определения скорости изменения коэффициента термоокислительной стабильности и технологии: определения термоокислительной стабильности; идентификации смазочных масел; установлению группы эксплуатационных свойств; определению потенциального ресурса и температурной области работоспособности, позволяющие получить дополнительную информацию для обоснованного выбора масел в соответствии с условиями и режимами эксплуатации машин и агрегатов.

Основное содержание диссертационной работы отражено в публикациях:

1. **Даниленко, В.С.** Метод исследования термоокислительной стабильности моторных масел при циклическом изменении температуры испытания / В.С. Даниленко, Б.И. Ковальский, Е.А. Вишневская, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Ананьин. Вестник СибГАУ: Вып.1,Часть 2, 2009, с. 97-99.

2. **Даниленко, В.С.** Метод определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / В.С. Даниленко, Б.И. Ковальский, Е.А. Вишневская, Ю.Н. Безбородов, Н.Н. Малышева. Вестник СибГАУ: Вып.1, Часть 2, 2009, с. 93-96.

3. Пат. РФ № 2318206 МПК G 01 N 25/00. Способ определения термоокислительной стабильности смазочных материалов / Ковальский Б.И., **Даниленко В.С.,** Малышева Н.Н., Безбородов Ю.Н. Опуб. 27.02.08. Бюл. №6.

4. **Даниленко, В.С.** Влияние термоокислительнаой стабильности смазочных масел на ресурс трибосопряжений / Б.И. Ковальский, А.А. Бадьина, М.А. Шунькина, В.С. Даниленко. Транспортные средства Сибири: Межвуз.сб.научн.тр.Вып.9 - Красноярск, 2003.С.379-384.

5. **Даниленко, В.С.** Технология оценки эффективности керамической добавки EP-MC MnCRO-CERAMIE к смазочным материалам / Б.И. Ковальский, Ю.И. Ковалев, В.С. Даниленко, В.В. Гаврилов. Вестник КГТУ. Машиностроение. Вып.36 - Красноярск, 2004. С. 24-27.

6. **Даниленко, В.С.** Влияние смазочных материалов на процессы в трибологических системах / Б.И. Ковальский, В.С. Даниленко, М.А. Шунькина, В.В. Гаврилов. Транспортные средства Сибири: Межвуз.сб.научн.тр. с межд. участием. Вып.10 - Красноярск, 2004. С. 329-336.

7. **Даниленко, В.С.** Результаты анализа отработанных моторных масел / Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева, В.И. Верещагин, В.С. Даниленко. Сб.универс.комплекса. Вып.8(22). Сб.науч.тр. под.ред. Василенко Н.В. - Красноярск, 2006. С. 96-105.

8. **Даниленко, В.С.** Метод контроля термоокислительнаой стабильности смазочных материалов / Н.Н. Ананьин, Н.Н. Малышева, В.С. Даниленко, Б.И. Ковальский. Сб.матет. Всероссийской науч. конф. "Молодёжь и наука - третье тысячелетие II часть. Кро НС «Интеграция» - Красноярск, 2006, С. 342-346.

9. **Даниленко, В.С.** Влияние медного катализатора на окислительные процессы в минеральном моторном масле М10-Г2к / А.А. Метелица, В.С. Даниленко, Б.И. Ковальский, Н.Н. Малышева. Вестник КрасГАУ: Вып.2. - Красноярск, 2007.С. 216-222.

Подписано в печать 14.05.2010
Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 1,1
Тираж 100 экз. Заказ № 1827

Отпечатано в типографии ИПК СФУ
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а