

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ  
имени В.А. БЕЛОГО  
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

УДК 621.892.08+547.922.5

**БОГДАНОВ**  
Алексей Леонидович

**ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ  
С УЛУЧШЕННЫМИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМИ  
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ ЗАГУСТИТЕЛЯХ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальностям 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)  
05.02.04 – Трение и износ в машинах

Гомель, 2020

Работа выполнена в Государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси».

**Научный руководитель:** **Ермаков Сергей Федорович,**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Общая физика»  
Учреждения образования «Гомельский  
государственный университет имени  
Ф. Скорины»

**Официальные оппоненты:** **Холодилев Олег Викторович,**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры «Вагоны» Учреждения  
образования «Белорусский государственный  
университет транспорта»

**Жорник Виктор Иванович,**  
доктор технических наук, доцент, начальник  
отделения технологий машиностроения и  
металлургии, заведующий лабораторией  
наноструктурных и сверхтвердых материалов  
Объединенного института машиностроения  
НАН Беларуси

**Оппонирующая  
организация:** УО «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»

Защита состоится «25» июня 2020 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании Совета по защите диссертаций Д 01.14.01 при Государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» по адресу: 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32-а; e-mail: [mpri@mail.ru](mailto:mpri@mail.ru); тел. +(375 0232) 34-17-12; факс: +(375 0232) 34-17-11

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси»

Автореферат разослан «\_\_\_» мая 2020 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертаций

Н.С. Винидиктова

## ВВЕДЕНИЕ

Тенденции развития современной техники сводятся к постоянному уменьшению массы и габаритов узлов и механизмов при возрастающим к ним эксплуатационным требованиям – повышенные температуры, высокая нагрузка и скорости скольжения. Специфика работы многих трибосопряжений требует применения специализированных смазок, что сформировало ассортимент современного рынка, который представлен значительной долей смазок для повышенных температур и высокотемпературных смазок на основе комплексных загустителей. Согласно последним данным, крупнотоннажное производство таких смазок в Республике Беларусь отсутствует, при этом сохраняются достаточно большие объемы импорта. В тоже время по сведениям NLGI (National Lubricating Grease Institute, США) с 2016 года существенно увеличился объем мирового производства аккумуляторов на основе соединений лития, что вызвало рост цен на товарный гидроксид лития, используемый в производстве современных литиевых и литиевых комплексных пластичных смазок. Таким образом, в связи с увеличением себестоимости широко распространенных в настоящее время литиевых смазок, стал актуальным вопрос поиска альтернативных загустителей для пластичных смазок. В качестве альтернативного варианта предлагаются смазки на основе кальциевых комплексных загустителей, основные преимущества которых: высокие триботехнические характеристики в широком диапазоне температур, высокая водостойкость, а также низкая себестоимость производства. Также следует отметить, что в Республике Беларусь значительная доля рынка потребляемых пластичных смазок принадлежит гидратированным кальциевым смазкам, которые широко используются на предприятиях сельского хозяйства, а также в качестве консервационного материала.

В рамках настоящей работы проведен анализ влияния состава пластичных смазок на основе модифицированных кальциевых загустителей на их характеристики, подобраны наиболее подходящие сырьевые ресурсы доступные на отечественном рынке. Разработаны составы и технологии новых гидратированных и высокотемпературных пластичных смазок, с улучшенными реологическими и триботехническими характеристиками за счет введения в их состав многоатомных спиртов и антифрикционных присадок на основе ланолина, алкилбензолсульфонатов кальция и др.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Научно-исследовательские работы по разработке новых смазочных материалов соответствуют перечню приоритетных направлений научно-технической деятельности

в Республике Беларусь на 2016-2020 годы, утвержденному Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 190 от 12 марта 2015 г (пункт 3. Промышленные и строительные технологии и производство: новые многофункциональные материалы, специальные материалы с заданными свойствами).

Работа выполнена на основании теоретических исследований и экспериментальных данных полученных в результате выполнения проекта БРФФИ №Т11М-204 «Триботехнические и реологические свойства пластичных смазочных материалов с применением стабилизаторов структуры на основе многоатомных спиртов» (2011–2013 гг. № г.р. 20114913), задания 3.35 «Исследовать, разработать и внедрить антифрикционную пластичную смазку на основе дистиллятов вакуумных нефтяных и отека масляного производства парафинов для защиты поверхностей трения» ГНТП «Новые материалы и технологии 2010», подпрограмма «Защита поверхностей» (2009–2010 гг. № г.р. 20100205), задания 3.36 «Исследовать, разработать и внедрить энергосберегающую технологию производства пластичного смазочного материала на гидратированных кальциевых мылах с использованием промежуточных и побочных продуктов нефтепереработки и стабилизаторов структуры» ГНТП «Новые материалы и технологии 2015», подпрограмма «Защита поверхностей» (2011–2013 гг. № г.р. 20120194), темы № 10 (контракт ЮВК-2012-10 от 21.12.2012г.) «Разработка новых композиционных пластичных смазочных материалов, в том числе высокотемпературных, с улучшенными структурно-механическими и антифрикционными свойствами на основе побочных продуктов нефтепереработки», шифр «Компомат-10», по научно-технической программе Союзного государства (2012–2016 гг. № г.р. 20131985).

**Цели и задачи исследования.** Целью работы является разработка пластичных смазок, обладающих улучшенными триботехническими характеристиками с использованием модифицированных органическими стабилизаторами структуры и антифрикционными присадками кальциевых загустителей.

Для достижения цели определены следующие основные задачи:

- разработать методики исследования характеристик пластичных смазок и оборудование для получения экспериментальных образцов смазок и изучения их свойств;
- исследовать влияние режимов получения и состава пластичных смазок на их реологические и триботехнические характеристики;
- изучить влияние антифрикционных присадок на основе ланолина, алкилбензолсульфонатов на реологические и триботехнические характеристики высокотемпературных комплексных кальциевых смазок и оптимизировать их состав;
- изучить влияние органических стабилизаторов структуры на основе многоатомных спиртов на реологические и триботехнические характеристики кальциевых смазок на основе гидратированного загустителя и оптимизировать их состав;

– разработать рецептуры и технологии получения пластичных смазок на основе кальциевых загустителей, модифицированных исследуемыми органическими стабилизаторами структуры и антифрикционными присадками.

**Научная новизна.** Впервые исследовано влияние ланолина на структуру, реологические и триботехнические характеристики высокотемпературных комплексных кальциевых смазок. Показано, что введение ланолина в рецептуру смазки в концентрациях 1-4 мас.% вызывает существенные изменения ее структуры за счет диспергирующего действия компонентов ланолина, что исключает образование крупных агрегатов частиц загустителя, способствует их равномерному распределению по всему объему дисперсионной среды. Указанный эффект увеличения общей площади поверхности взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды сопровождается улучшением на 30-50% реологических и улучшением в 1,3-1,4 раза триботехнических характеристик, что позволяет сделать вывод об эффективности ланолина не только как стабилизатора структуры, но и как антифрикционной присадки.

Показано, что введение в состав комплексной кальциевой смазки алкилбензолсульфоната кальция приводит к повышению триботехнических характеристик в 1,3 раза, в том числе в высокотемпературном диапазоне. Для указанной смазки отмечается отсутствие выраженной критической нагрузки – нагрузочная способность имеет линейный характер вплоть до нагрузки сваривания. Также установлено снижение температуры приготовления смазки с 230-235°C до 180-190°C, что благоприятно сказывается на технологическом процессе получения таких смазок.

Впервые исследовано влияние многоатомных спиртов (этиленгликоль, глицерин, ксилит, сорбит) на характеристики гидратированной кальциевой смазки. Показано, что с увеличением числа гидроксильных групп многоатомного спирта предел прочности на сдвиг смазки увеличивается в 1,7-2,2 раза. Установлено, что наилучшие значения предела прочности на сдвиг и стабильность структуры обеспечиваются при использовании в составе гидратированной смазки 6-атомного спирта – сорбита в концентрациях 0,5-1,5 мас.%. Кроме того, применение сорбита в составе гидратированной смазки в сочетании с ланолином снижает показатель износа в 1,5 раза.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Составы, технологии и метод получения пластичных смазок с улучшенными реологическими и триботехническими характеристиками на комплексных кальциевых загустителях, модифицированных стабилизаторами структуры и антифрикционными присадками на основе ланолина и алкилбензолсульфоната кальция, заключающийся в проведении трех этапов термообработки, обеспечивший усиление межфазного взаимодействия в системе дисперсная фаза-дисперсионная

среда и возможность получения конечного продукта с повышенными в 1,2-1,5 раза температурой каплепадения и коллоидной стабильностью.

2. Экспериментально установленный эффект изменения структуры комплексной кальциевой смазки под действием ланолина, заключающийся в формировании высокоразвитого структурного каркаса за счет предотвращения агрегации частиц загустителя и их более равномерного распределения в дисперсионной среде смазки, увеличивающего общую поверхность взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды и, вследствие этого, обуславливающий закономерности улучшения на 30-50% реологических и в 1,3-1,4 раза триботехнических характеристик пластичной смазки по мере увеличения массовой доли ланолина в смазке, в том числе при повышенных температурах в диапазоне 100-200°C.

3. Состав и технология получения кальциевой смазки на гидратированных кальциевых загустителях, разработанные на основании установленных закономерностей влияния стабилизатора структуры на основе 6-атомного спирта – сорбита и антифрикционной присадки – ланолина на характеристики гидратированной кальциевой смазки. Введение сорбита и ланолина в состав гидратированной кальциевой смазки приводит к повышению в 1,8 раза предела прочности на сдвиг и снижению износа в 1,54 раза, что обусловлено усилением водородных связей в системе кальциевое мыло-стабилизационная вода-многоатомный спирт, а также свойствами ланолина.

4. Экспериментально установленный эффект повышения триботехнических характеристик за счет введения в состав смазки присадки на основе алкилбензолсульфоната кальция. При этом отмечено, что нагрузочная характеристика такой смазки принимает линейный характер без выраженной критической нагрузки вплоть до нагрузки сваривания, при одновременном снижении температуры технологического процесса получения комплексной кальциевой смазки до 180 - 190°C и возрастании температуры каплепадения до 310°C.

5. Метод оценки и прогнозирования триботехнических характеристик смазочных материалов, основанный на увеличении нагрузок и времени испытаний вплоть до экстремальных условий, позволяющий выявить различия в характере и величине износа, неопределяемые при стандартных условиях испытаний, а также дать объективную оценку защитных свойств исследуемых смазочных материалов в сравнении с известными, оценить эффективность присадок.

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Соискателем разработаны рецептуры комплексных кальциевых смазок и экспериментально определены закономерности влияния ланолина на триботехнические и реологические характеристики разработанных смазок [4, 13]. Исследование влияния рецептурного состава и технологических режимов на характеристики комплексных кальциевых смазок осуществлялось при участии д.т.н., профессора Ермакова С.Ф. (ГГУ им. Ф. Скорины, Гомель) [14, 15, 16]. Совместно с д.т.н., профессором Ермаковым

С.Ф. исследовано влияние жидкокристаллических соединений на смазочную способность, смазочных сред, а также исследованы триботехнические характеристики гидратированных пластичных смазок на основе промежуточных и побочных продуктов нефтепереработки [1, 2, 3, 5, 6, 13]. Совместно с д.т.н., профессором Ермаковым С.Ф. и при участии к.т.н. Шулдыкова Р.А. (ИММС НАН Беларуси, Гомель) разработаны рецептуры гидратированных пластичных смазок и исследовано влияние многоатомных спиртов на их характеристики [10, 12]. Совместно с д.т.н., профессором Ермаковым С.Ф. и к.т.н. Шулдыковым Р.А. разработана методика определения стабилизационной воды в составе гидратированной кальциевой смазки [8, 20]. Соискателем проведены экспериментальные исследования, на основании которых предложена идея использования многоатомных спиртов в составе гидратированной смазки, работы осуществлялись при участии к.т.н. Шулдыкова Р.А. [9, 11]. Совместно с д.т.н. Ермаковым С.Ф. разработаны методики исследования триботехнических характеристики смазок [7], а также проведена апробация полученных результатов [17, 18, 19, 21, 22]. Обсуждение направлений исследований, полученных результатов и основных выводов по работе осуществлялось при участии д.т.н., профессора Ермакова С.Ф.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.** Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на научно-технических конференциях: 14-й Международной конференция «Научные исследования и разработки в машиностроении» (RaDMI 2014, Сербия), Международной конференции «Дни на безразрушительный контроль 2015» (NDT DAYS 2015, Болгария), Международной научно-технической конференции «Полимерные композиты и трибология» (Гомель, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017), Республиканской научно-технической конференций молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (Гомель, 2010, 2012, 2014).

**Опубликование результатов диссертации.** Основные результаты работы опубликованы в 22 печатных работах, включающих: 4 статьи в рецензируемых научных журналах; 3 статьи в сборниках материалов научных конференций; 9 тезисов докладов в сборниках материалов международных и Республиканских научно-технических конференций. Общий объем работ составил 5,2 авторских листа. По результатам выполнения работы получено 6 патентов на изобретения: 5 патентов Республики Беларусь, 1 Российской Федерации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации составляет 160 страниц, в том числе 52 рисунка на 22 страницах и 27 таблиц на 9 страницах, список использованных источников из 103 наименований на 9 стр., список публикаций соискателя из 22 наименований на 3 страницах, 19 приложений на 21 странице.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** проведен анализ современных представлений о структуре пластичных смазок. Рассмотрены их основные структурно-механические и триботехнические характеристики. Приведены сведения о влиянии состава загустителя и дисперсионной среды на структурно-механические характеристики высокотемпературных комплексных кальциевых смазок (ККС). Проведен обзор способов получения гидратированных кальциевых и комплексных кальциевых смазок. Приведены технологические схемы для получения комплексных кальциевых и гидратированных кальциевых смазок. Рассмотрено влияние отдельных технологических стадий на характеристики комплексных кальциевых смазок. Рассмотрены особенности механизмов смазочной способности пластичных смазок. Проведен обзор способов улучшения структурно-механических и триботехнических характеристик пластичных смазок. Выявлено, что добавление различных веществ в состав пластичной смазки в процессе ее приготовления существенно влияет на ее структуру и характеристики. В настоящее время в качестве добавок используются: мелкодисперсные полимеры, наночастицы различного происхождения, фуллерены, углеродные нанотрубки, графит и т.д. Следует отметить, что многие наноразмерные соединения достаточно дорогостоящие и дефицитные, к тому же смазки с ними часто имеют ограниченные области применения. Показано, что альтернативой таким соединениям могут быть соединения с высокой поверхностной активностью: жирные и многоатомные спирты, жидкокристаллические соединения, эфиры и соли жирных кислот и т.д. Однако влияние таких соединений на характеристики пластичных смазок на сегодняшний день изучено недостаточно. На основании проведенного обзора научно-технической информации сформулированы цель и задачи диссертационного исследования.

**Во второй главе** описаны объекты и методы исследования. Объекты исследования – высокотемпературные пластичные смазки на основе комплексного кальциевого загустителя и пластичные смазки общего назначения на основе гидратированного кальциевого загустителя и промежуточных продуктов нефтепереработки.

Для приготовления экспериментальных образцов смазок использовали в качестве компонентов дисперсионной среды: индустриальные масла, промежуточный продукт нефтепереработки – дистиллят вакуумный нефтяной марки «ВД-2», вазелиновое масло, побочный продукт нефтепереработки (производства парафинов) – отек масляный нефтяной, высоковязкое масло МС-20. Для получения загустителей комплексных кальциевых смазок использовали 12-гидроксистеариновую и уксусную кислоты. Для гидратированной кальциевой смазки – техническую олеиновую кислоту. Для нейтрализации кислот использовали



гидроксид кальция. В качестве органических стабилизаторов структуры для комплексных смазок использовали диспергатор на основе алкилбензолсульфоната кальция, для гидратированных смазок оценивалось действие многоатомных спиртов: этиленгликоля, глицерина, ксилита и сорбита. В качестве антифрикционных присадок использовали очищенный безводный ланолин и алкилбензолсульфонат кальция. В сравнительных исследованиях использовались серийно выпускаемые пластичные смазки: «Солидол жировой» (ГОСТ 1033-79), Литол-24 (ГОСТ 21150-87), Molykote G0102 (Бельгия).

Экспериментальные образцы смазок готовили с использованием лабораторной реакторной установки на базе реактора LR2.ST (ИКА, Германия), которая позволила в режиме реального времени регистрировать динамику температур теплоносителя и реакционной массы, а также изменения вязкости реакционной массы, эти данные дают возможность оценить зависимость тепловых эффектов и изменений вязкости реакционной массы, на основании чего можно судить о протекании физико-химических процессов образования загустителя и формирования структуры смазки и, соответственно, оптимизировать технологический процесс. В результате разработан способ получения комплексной кальциевой пластичной смазки (пат. № 22090, Республика Беларусь). Для получения пластичных смазок в условиях, приближенных к заводским, была разработана и изготовлена установка объемом 7 дм<sup>3</sup>.

Характеристики пластичных смазок (предел прочности на сдвиг, термоупрочнение, пенетрацию, коллоидную стабильность, температуру каплепадения, содержание свободных щелочей и кислот, воды) определяли по стандартизированным методикам, а также использовали разработанную с участием автора методику определения стабилизационной воды методом ИК-Фурье спектроскопии (пат. № 21525, Республика Беларусь и пат. № 2597152, Российская Федерация) с использованием ИК-Фурье спектрометра Nicolet 6700 (Thermo Scientific, США), которая основана на зависимости оптической плотности от содержания воды в гидратированной смазке. Триботехнические характеристики (диаметр пятна износа, критическую нагрузку и нагрузку сваривания) определяли на четырехшариковой машине трения «ЧШМ-К1» (ООО «Технопромкомплект ЛТД», Украина) по ГОСТ 9490-75 и на доработанной машине трения «СМЦ-2» (Ивановский ЗИП, Россия) согласно «РД 50-662-88», в качестве пары трения применяли стальные ролики по схеме трения ролик–ролик со 100% проскальзыванием, смазку на нижний ролик наносили однократно, перед испытанием. Структуру смазок изучали посредством растровой электронной микроскопии на оборудовании Tescan VEGA II LSH (Oxford Instruments Analytical, Чехия) после удаления дисперсионной среды.

Помимо стандартных методик разработали и использовали программу и методику испытаний, оценки и прогнозирования триботехнических свойств

композиционных пластичных смазочных материалов ПМИ № 037-2013, которая позволяет посредством последовательного увеличения нагрузки и продолжительности испытаний осуществлять сравнительную оценку характеристик пластичных смазок и устанавливать достоверно значимые различия между ними. Согласно данным, приведенным в таблице 1, различия между аналогичными смазками ПС-1 и ПС-2 по стандартным методикам не существенны и, соответственно, можно утверждать, что смазки идентичны.

Таблица 1. – Результаты испытаний одних и тех же пластичных смазок ПС-1 и ПС-2 различных производителей по стандартным методикам

Наименование показателей	ПС-1	ПС-2
Вязкость при 0°С и среднем градиенте скорости деформации 10 с <sup>-1</sup> , Па·с	527	570
Предел прочности на сдвиг при 50 °С, Па	540	588
Температура каплепадения, °С	142	140
Коллоидная стабильность, %	23,7	23
Пенетрация при 25 °С, мм <sup>-1</sup>	240	245
Массовая доля воды, %	0,12	0,1
Диаметр пятна износа, D <sub>и</sub> , мм, 196 Н, 1 ч	0,44	0,44

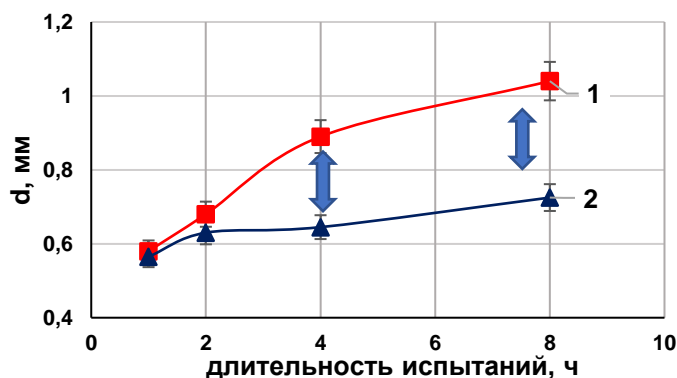


Рисунок 1. – Зависимости диаметров пятен износа стальных шаров от времени испытаний на ЧШМ в присутствии аналогичных смазок ПС-1 (1) и ПС-2 (2) различных производителей при нагрузке 490 Н

Однако при проведении испытаний согласно предложенной методики ПМИ № 037-2013 с высокой достоверностью выявляется, что смазка ПС-2 по противоизносным характеристикам превосходит ПС-1 в 1,5 раза (рисунок 1). Из результатов испытаний хорошо видно, что при увеличении продолжительности испытаний и повышении нагрузки проявляются эти различия между смазками.

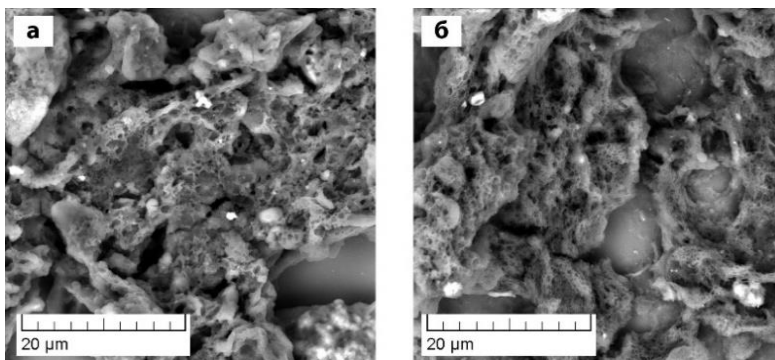
Таким образом, предложенная методика позволяет достаточно быстро в лабораторных условиях и на небольших количествах смазки выявлять наилучшие образцы смазочных материалов.

**Третья глава** посвящена исследованию закономерностей влияния ланолина на реологические и триботехнические характеристики высокотемпературных комплексных кальциевых смазок.

Проведены исследования состава и триботехнических свойств жидких смазочных сред с целью использования в качестве дисперсионной среды пластичных смазок. Установлена зависимость диаметра пятна износа на ЧШМ от вязкости масел. Показано, что с ростом вязкости чистых промышленных масел, обусловленного возрастанием молекулярной массы содержащихся в них

углеводородов по данным хроматографического анализа, снижается диаметр пятна износа. Отмечено, что не менее существенно на триботехнические свойства влияет и качественный состав масел – наличие нафтеновых углеводородов в маслах приводит к снижению показателя износа при равнозначной вязкости в сравнении с маслом на основе алифатических углеводородов. При изготовлении пластичных смазок на маслах различной природы отмечено, что наибольшее снижение загущающей способности комплексного мыла наблюдается на высоковязких маслах с наличием ароматических углеводородов. Таким образом, в результате многочисленных экспериментальных исследований в качестве дисперсионной среды было выбрано средневязкое индустриальное масло И-40А, т.к. на данном масле достигается более высокая степень загущения смазки и достаточно высокие эксплуатационные характеристики при относительно невысокой стоимости масла.

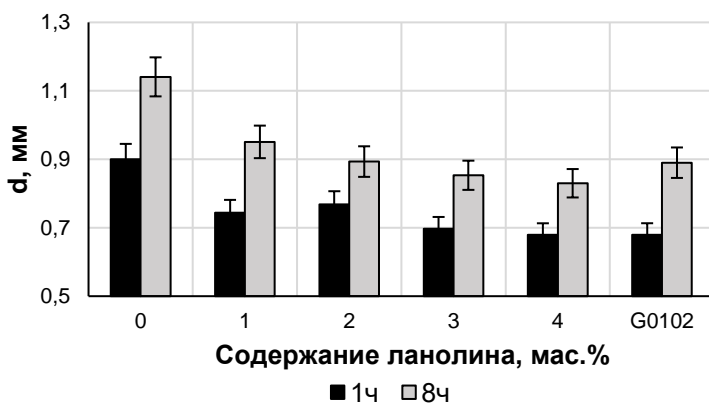
С целью получения оптимального базового состава высокотемпературных смазок исследовали влияние состава загустителя на характеристики смазки. Установлено, что увеличение доли ацетата кальция в составе загустителя приводит к повышению износа на ЧШМ. При оценке реологических характеристик определено оптимальное мольное соотношение жирной кислоты к уксусной близкое к 1:3. При указанном соотношении жирной и низкомолекулярной кислот определена оптимальная концентрация загустителя на уровне 15 мас.%. Используя данный состав смазки, исследовали влияние ланолина на характеристики смазочных материалов. Предварительная оценка влияния ланолина на триботехнические характеристики смазочных масел показала его высокую эффективность как антифрикционной присадки. Износ на ЧШМ при испытаниях масла И-20 с добавлением ланолина снизился на 40%, при этом ланолин демонстрирует на 30% лучший результат, чем добавка жидкокристаллической присадки на основе олеата холестерина. Критическая нагрузка масла с ланолином также возрастает на 11%. При исследовании влияния ланолина на реологические характеристики ККС установлено, что с увеличением концентрации ланолина в смазке происходит уплотнение ее структуры, как показано на рисунке 2, что способ-



**Рисунок 2. – РЭМ микрофотографии структуры пластичных смазок без добавления ланолина (а) и с ланолином (б)**

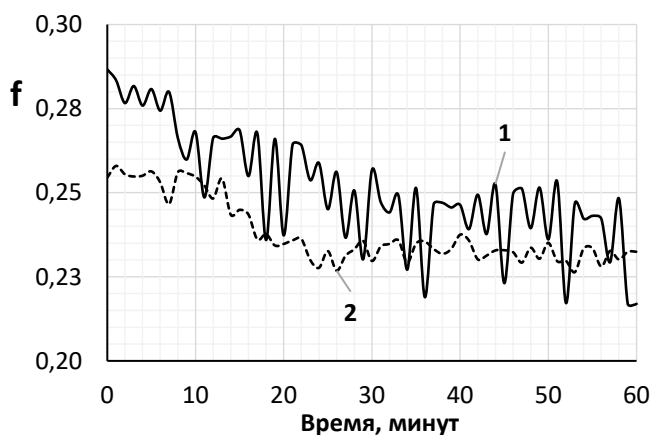
ствует получению более качественной смазки. Из приведенных микрофотографий хорошо видно, что смазка, приготовленная с добавлением ланолина, имеет более упорядоченную мелкопористую структуру, напоминающую губку, что позволяет ей более эффективно удерживать

молекулы дисперсионной среды. Механизм образования подобной структуры заключается в диспергирующем эффекте ланолина, который препятствует коагуляции молекул загустителя и образованию крупных агрегатов – в результате при приготовлении смазки образуется большое количество мелких высокоупорядоченных частиц загустителя, которые формируют единую мелкоячеистую структуру. О существенном улучшении структуры пластичной смазки свидетельствует также улучшение реологических характеристик: предел прочности на сдвиг возрастает с 415 до 974 Па, пенетрация снижается с 320 до 246 мм<sup>-1</sup>, также улучшается коллоидная стабильность с 16 до 6,8% и снижается склонность к термоупрочнению с 600 до 130%. Следует отметить, что зарубежный аналог – комплексная кальциевая смазка Molykote G0102 имеет термоупрочнение на уровне 220%. Экспериментально установлено, что оптимальная концентрация ланолина с точки зрения реологических характеристик находится в пределах 3-4 мас.%.



**Рисунок 3. – Влияние концентрации ланолина на износ стальных шаров**

При исследовании влияния ланолина на триботехнические характеристики на ЧШМ, результаты которого приведены на рисунке 3, наблюдается снижение износа с ростом концентрации ланолина, однако при содержании ланолина на уровне 3 и 4 мас.% разница не существенна, что позволяет сделать вывод о нецелесообразности использования концентраций ланолина более 3 мас.%. Также следует отметить, что смазка с 3 мас.% ланолина по противозносным характеристикам превосходит зарубежный аналог – смазку Molykote



**Скорость скольжения 0,5м/с, нагрузка 1176Н**  
**Рисунок 4. – Влияние ланолина на коэффициент трения при испытаниях смазки без ланолина (1) и с ланолином (2)**

Г0102. Закономерности изнашивания смазок с ланолином также подтверждаются в экспериментах с использованием машины трения СМЦ-2. На рисунке 4 приведены результаты исследований на машине трения СМЦ-2 по высоконагруженной схеме испытаний ролик-ролик (100%-проскальзывание) с предварительно приработанными поверхностями. Как видно из графиков на рисунке 4 коэффициент трения для смазки с ланолином ниже, чем у

смазки без ланолина. Это связано с тем, что ланолин способствует образованию более однородной и мелкоячеистой структуры смазки, что снижает коэффициент трения. Кроме того, ланолин улучшает реологические свойства смазки, что также способствует снижению износа и трения.

исходной смазки, имеет существенно меньшую амплитуду колебаний, что свидетельствует об образовании более прочного граничного слоя и надежном экранировании трущихся поверхностей.

Отдельного внимания заслуживают высокотемпературные испытания разрабатываемой смазки на ЧШМ. Как следует из полученных экспериментальных данных, с ростом температуры в диапазоне от 120 до 160 °С износ возрастает, при этом смазка с ланолином превосходит по противоизносным характеристикам как исходную смазку, так и зарубежный аналог. Наибольший эффект от применения смазки с ланолином наблюдается при 120 °С.

Следует отметить, что технология получения разработанной смазки с ланолином «КПСМ-2» (ТУ ВУ 400084698.275-2015), требует применения достаточно высоких температур – до 240 °С, что ограничивает возможность использования многих существующих технологических линий для серийного производства таких смазок. Для решения указанной проблемы использовали химический диспергатор на основе алкилбензолсульфоната кальция, что позволило снизить

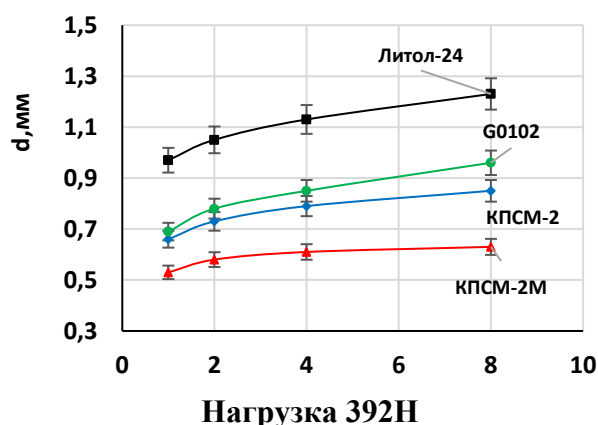


Рисунок 5. – Зависимость диаметра пятна износа от длительности испытаний на ЧШМ

полученная в итоге смазка КПСМ-2М превосходит по противоизносным характеристикам зарубежный аналог и смазку КПСМ-2, а также значительно превосходит

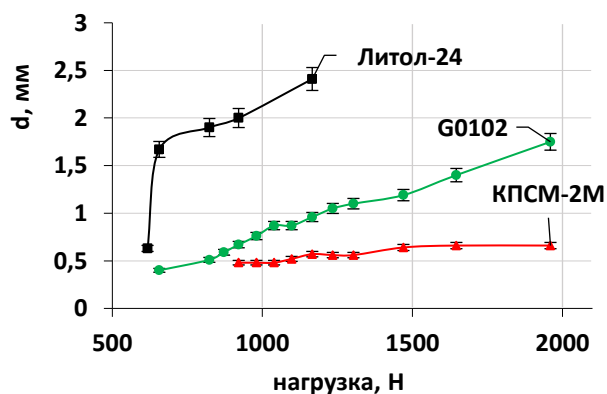


Рисунок 6. – Нагрузочная способность смазок при 10 секундных испытаниях на ЧШМ

температуру приготовления смазки с 230-240 до 180-190 °С без увеличения продолжительности технологического процесса.

В результате помимо снижения температуры технологического процесса установлено существенное повышение температуры каплепадения до 310 °С, а также триботехнических характеристик, результаты исследования которых приведены на рисунке 5. Как видно из приведенных данных, полученная в итоге смазка КПСМ-2М превосходит по противоизносным характеристикам зарубежный аналог и смазку КПСМ-2, а также значительно превосходит смазку «Литол-24».

Как следует из графиков на рисунке 6 разработанная смазка КПСМ-2М существенно превосходит по нагрузочной способности зарубежный аналог (смазка G0102) и не имеет выраженной критической нагрузки – зависимость износа в широком диапазоне нагрузок имеет линейный характер и расположена гораздо ниже (в 2 – 2,5 раза) чем для импортной смазки

G0102. Результаты сравнительных испытаний разработанных смазок, зарубежного аналога и смазки Литол-24 приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты сравнительных испытаний смазок

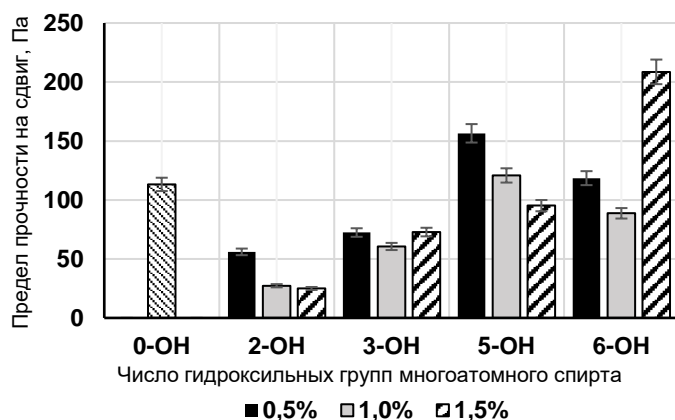
Наименование вида испытания	Литол-24	КПСМ-2	КПСМ-2М	G0102
Температура каплепадения, °С	180	>260	>320	>300
Предел прочности на сдвиг при 50°С, Па	260	280	317	250
Коллоидная стабильность, %	12	8,5	4,7	6,28
Пенетрация, мм <sup>-1</sup>	260	300	300	345
Нагрузка критическая на ЧШМ, Н	630	1038	-	-
Нагрузка сваривания на ЧШМ, Н	1410	2320	4380	3200

Как следует из приведенных в таблице 2 данных разработанные смазки (КПСМ-2 и КПСМ-2М) обладают высокими реологическими и триботехническими характеристиками, при этом смазка КПСМ-2М имеет реологические и триботехнические характеристики не уступающие зарубежной смазке G0102.

**Четвертая глава** посвящена разработке антифрикционной смазки общего назначения с использованием гидратированного кальциевого загустителя и исследованию закономерностей влияния многоатомных спиртов на ее характеристики. На основании проведенных исследований разработана энергосберегающая технология получения гидратированной кальциевой смазки с использованием промежуточных продуктов нефтепереработки – дистиллятов вакуумных нефтяных в качестве дешевой дисперсионной среды и технической олеиновой кислоты для получения загустителя. Ключевая особенность данной технологии – отсутствие стадии выпаривания воды, а также быстрое протекание реакции омыления жирной кислоты. Достигнуто сокращение продолжительности технологического процесса с 8 – 10 до 3 – 4 часов. Следует отметить, что использование дистиллята вакуумного нефтяного вместо высокоочищенного минерального масла, наряду с технической олеиновой кислотой для получения загустителя, позволяет снизить себестоимость смазки, улучшив при этом ее триботехнические характеристики в сравнении с аналогом «Солидол жировой», однако при равнозначных концентрациях загустителя смазка на технической олеиновой кислоте существенно уступает аналогу по реологическим характеристикам (предел прочности на сдвиг, пенетрация и т.д.).

С целью улучшения реологических характеристик смазки исследовали влияние на ее свойства добавок многоатомных спиртов: этиленгликоля, глицерина, ксилита, сорбита. Количество гидроксильных групп варьировалось, соответственно, от 2 до 6. Спирты с большим количеством гидроксильных групп дефицитны и в исследовании не использовались. При оценке влияния многоатомных спиртов на характеристики гидратированной смазки установлено, что с ростом числа гидроксильных групп в составе многоатомного спирта наблюдается

значительное повышение предела прочности на сдвиг, как показано на рисунке 7, что свидетельствует об улучшении структуры пластичной смазки. Т.к. структура гидратированных кальциевых смазок основана на образовании водо-



**Рисунок 7. – Зависимость предела прочности на сдвиг пластичных смазок**

родных связей из-за присутствия стабилизационной воды, можно сделать вывод об увеличении количества водородных связей посредством гидроксильных групп многоатомного спирта и соответственно формировании нового более прочного структурного каркаса смазки. Таким образом в качестве оптимального модификатора структуры гидратированной смазки определен шестиатомный

спирт – сорбит, оптимальная концентрация которого составила 1,5 мас.%, дальнейшее повышение концентрации ограничено растворимостью сорбита в воде и приводит к ухудшению характеристик смазки. Показано, что при таком содержании сорбита наблюдается увеличение предела прочности на сдвиг в 1,8 раза. На температуру каплепадения существенного влияния многоатомные спирты не оказывают.

При детальном исследовании триботехнических характеристик гидратированных кальциевых смазок, модифицированных многоатомными спиртами, установлено снижение противоизносных свойств и повышение коэффициента трения. С целью компенсации указанного эффекта в смазку дополнительно была введена антифрикционная присадка на основе ланолина, что привело к уменьшению диаметра пятна износа в 1,5 раза.

По результатам проведенных исследований разработаны технические условия ТУ ВУ 400084698.249-2013 («Антифрикционная пластичная смазка общего назначения «СОЛИДОЛ П»), рецептура РЦ РБ 400084698.007-2013, и опытно-промышленный технологический регламент ТР № 56-2013 для производства гидратированной кальциевой смазки общего назначения с использованием многоатомных спиртов и промежуточных продуктов нефтепереработки.

**Пятая глава** посвящена опытно-промышленной апробации результатов исследований. Разработанные в результате проведенных исследований смазки прошли успешные испытания на предприятиях Республики Беларусь. На ОАО «Гомельский химический завод» смазка «КПСМ-2» была заправлена в подшипниковые узлы ковшей карусельно-вакуумного фильтра цеха фосфорной кислоты. В результате увеличилась длительность непрерывной работы узлов трения оборудования цеха, значительно сократилось время их регламентного

обслуживания. На КУП «Горэлектротранспорт» смазка КПСМ-2 была заправлена в систему централизованной смазки Lincoln троллейбуса АКСМ 32102. При этом осуществлялась смазка шаровых пальцев рулевых тяг, шаровых пальцев гидроцилиндра, подшипников маятникового рычага рулевого управления, механизма регулировочных рычагов тормозных механизмов. В результате установлено, что механизмы троллейбуса на протяжении срока испытаний проработали без сбоев и ухудшения эксплуатационных характеристик. На ОАО «Гомельстекло» смазка «КПСМ-2М» была заправлена в подшипниковые узлы скребков основной и вспомогательной стрел портального разгрузчика песка. В результате проведенных испытаний установлено, что подшипниковые узлы трения, работавшие в условиях смазки «КПСМ-2М» на протяжении срока испытаний проработали без сбоев и ухудшения эксплуатационных характеристик оборудования. При этом замена смазки в указанных узлах не потребовалась. Следует отметить, что смазка КПСМ-2М обеспечила долговременную, бесперебойную работу оборудования, а также необходимую герметичность узла трения и предотвратила попадание в узел трения абразива и влаги. На ОАО «Речицкий метизный завод» смазка «КПСМ-2М» успешно используется в гвоздильном автомате АГ4116 вместо традиционно применяемой импортной смазки «Униол-2М» (Украина).

Смазка общего назначения «Солидол П» прошла испытания на ОАО «Завод горного воска», изготовлены опытные партии, по результатам освоения на ОАО «Завод горного воска» выпущено свыше 300,0 тонн смазочного материала на сумму 2065,3 млн. неденоминированных белорусских рублей эквивалентную 210,00 тыс. долл. США. Долевое участие автора составило 309,8 млн. неденоминированных белорусских рублей (31,50 тыс. долл. США).

По результатам исследований в ИММС НАН Беларуси организован опытно-промышленный участок по выпуску высокотемпературных пластичных смазок.

В настоящее время основные потребители разработанных смазок: ОАО «Гомельстекло», ОАО «Речицкий метизный завод», УП «Випра», ОАО «Стеклозавод «Неман», ОАО «Белшина».

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Установлено, что введение ланолина в состав комплексной кальциевой смазки вызывает существенные изменения ее структуры за счет диспергирующего действия ланолина, который препятствует коагуляции молекул загустителя и образованию крупных агрегатов способствуя образованию большого количества мелких высокоупорядоченных частиц загустителя, которые формируют единую мелкаячеистую структуру, о чем также свидетельствует значительное



улучшение реологических характеристик: предел прочности на сдвиг возрастает с 415 до 974 Па, пенетрация снижается с 320 до 246 мм<sup>-1</sup>, также улучшается коллоидная стабильность с 16 до 6,8% и снижается склонность к термоупрочнению с 600 до 130%, что вызывает улучшение триботехнических характеристик: снижается в 1,3 – 1,4 раза коэффициент трения и уменьшается диаметр пятна износа при 8 часовых испытаниях на ЧШМ с 1,14 до 0,83 мм. Предложен и апробирован метод контроля технологического процесса получения комплексной кальциевой смазки, позволяющий выявить закономерности протекания в реакционной массе физико-химических процессов за счет установленной зависимости тепловых эффектов и сопровождающих их изменений вязкости. Данным методом выявлена необходимость изотермической термообработки исследуемых смазок в диапазоне температур 135 – 170 °С, а также определена эффективная температура термообработки комплексной кальциевой смазки - в интервале 225 – 245 °С в зависимости от рецептурного состава [4, 15, 22].

2. Установлен эффект снижения износа и повышения критической нагрузки на ЧШМ в зависимости от концентрации ланолина в составе комплексной кальциевой смазки: при оптимальной концентрации ланолина 2–4 мас. % достигается снижение коэффициента трения и износа в 1,3-1,4 раза. Показано, что изменение концентрации ацетата кальция в пределах 7-8% обеспечивает значения предела прочности на сдвиг в пределах 450–800 Па. При снижении или повышении концентрации ацетата кальция за пределы оптимальной происходит снижение реологических характеристик, а повышение концентрации ацетата кальция в смазке приводит к снижению триботехнических характеристик [4, 13, 14].

3. Установлено, что применение шестиатомного спирта – сорбита в составе гидратированной кальциевой смазки приводит к существенному улучшению ее реологических характеристик – предел прочности на сдвиг возрастает в 1,8 раза, а также улучшается стабильность смазки при хранении, что обеспечивает возможность эффективного использования дистиллята вакуумного нефтяного и отека масляного нефтяного в качестве дисперсионной среды вместо минерального масла при одновременном улучшении триботехнических характеристик смазки под влиянием ланолина. Добавление ланолина в состав гидратированной смазки приводит к снижению износа в 1,54 раза, а также к сглаживанию поверхностей трения и минимизации кавитационного изнашивания. Указанный эффект обусловлен, с одной стороны, свойствами ланолина, характерными для ЖК-соединений, а с другой – присутствием поверхностно-активных молекул углеводородов в составе дистиллята вакуумного нефтяного, в том числе нафтеновой фракции [1–3, 5, 6, 8–12, 17–21].

4. Показано, что введение в состав разработанной комплексной кальциевой смазки алкилбензолсульфоната кальция приводит к улучшению триботехнических характеристик: диаметр пятна износа на ЧШМ при 8 часовых испытаниях

уменьшается с 0,83 до 0,63 мм, при этом разработанные смазки не имеют четко выраженной критической нагрузки, график нагрузочной способности близок к линейному вплоть до нагрузки сваривания при одновременном снижении температуры термообработки в процессе получения ПСМ на 40-55°C и повышении температуры каплепадения до 310°C, [4, 7, 15, 16].

5. Разработан метод оценки и прогнозирования триботехнических характеристик смазочных материалов, основанный на увеличении нагрузок и времени испытаний вплоть до экстремальных условий, позволяющий выявить различия в характере и величине износа, неопределяемые при стандартных условиях испытаний, а также дать объективную оценку защитных свойств исследуемых смазочных материалов в сравнении с известными, оценить эффективность присадок [7].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработанные в результате выполнения работы комплексные кальциевые пластичные смазки «КПСМ-2» (ТУ ВУ 400084698.275-2015) и «КПСМ-2М» (ТУ ВУ 400084698.290-2016) рекомендуется использовать в узлах трения работающих при высоких удельных и ударных нагрузках, повышенных температурах (до 200°C), в условиях высокой влажности. Основные области применения смазок – это узлы трения промышленного оборудования, автотранспортной и сельскохозяйственной техники, городского электротранспорта, туннельных печей, горячих конвейеров, прокатных станков, горнодобывающего оборудования; систем водоочистки; шлюзов и водосбросов; химической промышленности (охлаждение, конденсация). Комплексные кальциевые смазки «КПСМ-2» и «КПСМ-2М» не вымываются водой, могут использоваться в качестве универсальных, в центральных системах смазки, в качестве уплотнительной смазки. Применение разработанных смазок позволяет увеличить интервалы смены смазки при обслуживании механизмов.

Гидратированная кальциевая смазка «Антифрикционная пластичная смазка общего назначения «СОЛИДОЛ П» (ТУ ВУ 400084698.249-2012) рекомендована для защиты узлов трения преимущественно в механизмах, работающих в условиях сырости при температурах не выше 70°C, может использоваться как консервационная. Основная область применения – сельскохозяйственная техника, но может применяться для смазывания различных механизмов, находящихся под открытым небом, ленточных транспортеров, конвейерных линий, подъемных механизмов, шарниров, штоков гидравлических систем, опорных поверхностей поворотных устройств, шестерен и тихоходных подшипников больших диаметров, мощных цепных передач.

Рекомендовано использование разработанных пластичных смазок на предприятиях машиностроительной отрасли Республики Беларусь в качестве импортозамещающих.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Роль жидкокристаллических наноматериалов в трибологии / С.Ф. Ермаков, В.В. Мулярчик, А.Л. Богданов, А.П. Свирский // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011.– №1. – С.23-30.
2. Триботехнические характеристики композиционных пластичных смазочных материалов на основе дистиллятов вакуумных нефтяных и этаноламинов / С. Ф. Ермаков, А.А. Рыбаков, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский, А.Л. Богданов // Трение и износ. – 2015.– Том 35, № 5 – С.61-68.
3. Antifriction Plastic Greases based on intermediate products of Oil Refining and Liquid Crystalline Compounds / S. Ermakov, A. Bogdanov, V. Mulyarchik, V. Konstantinov, V. Danishevskii // Applied Mechanics and Materials. – 2016. - Vol. 830, pp. 109-118.
4. Богданов, А.Л. Исследование влияния ланолина на реологические и триботехнические характеристики комплексной кальциевой смазки / А.Л. Богданов // Трение и износ. – 2019.– Том 40, № 3 – С.128-131.

### Статьи в сборниках трудов и материалов конференций

5. Композиционные смазочные материалы на основе промежуточных продуктов переработки нефти и жидкокристаллических соединений / С.Ф. Ермаков, Р.А. Шулдыков, В.В. Мулярчик, А.Л. Богданов // Композитные материалы. – 2008. – Т. 2, № 2.– С.50-60.
6. Antifriction Plastic Greases based on intermediate products of Oil Refining and Liquid Crystalline Compounds / S. Ermakov, A. Bogdanov, V. Mulyarchik, V. Konstantinov, V. Danishevskii // 14th International Conference «Research and Development in Mechanical Industry», Topola, 18-21 September 2014 / High Technical Mechanical School of Professional Studies ; Edited by Predrag V. Dašić. – Topola, 2014. – pp.109–119.
7. Measuring the wear scar during testing the lubricant / S. Ermakov, A. Bogdanov, A. Rybakou, V. Konstantinov, V. Danishevskii // International Conference «Дни на безразрушительный контрол 2015», Sozopol, 15-20 June 2015 / Институт по Механика; редкол.: М. Миховски [и др.]. – Sozopol, 2015, № 2(165), pp. 353–355.

### Тезисы докладов конференций

8. Шулдыков Р.А. Метод определения стабилизационной воды в пластичных смазках на основе кальциевых мыльных загустителей при помощи ИК-Фурье спектроскопии / Р.А. Шулдыков, А.Л. Богданов // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 22-25 Июня 2009 г. /

Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.А. Смуругов [и др.]. – Гомель, 2009. – С. 254.

9. Богданов, А.Л. Использование стабилизаторов структуры на основе многоатомных спиртов в производстве пластичных смазочных материалов на основе жирных кислот и промежуточных продуктов нефтепереработки / А.Л. Богданов, Р.А. Шулдыков // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: тез. докл. Республ. научн.-техн. конф. мол. уч., Гомель, 5–7 октября 2010 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: Р.А. Шулдыков [и др.]. – Гомель, 2010. – С. 98.

10. Технология получения пластичных смазочных материалов на гидратированных кальциевых мылах с использованием промежуточных, побочных продуктов нефтепереработки и применением мультифункциональных стабилизаторов структуры/ С.Ф. Ермаков, В.В. Мулярчик, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский, Р.А. Шулдыков, А.Л. Богданов // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 27-30 Июня 2011 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адериha [и др.]. – Гомель, 2011. – С. 95.

11. Богданов, А.Л. Влияние добавок многоатомных спиртов на триботехнические свойства гидратированной кальциевой смазки на основе жирных кислот и промежуточных продуктов нефтепереработки / А.Л. Богданов, Р.А. Шулдыков // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: тез. докл. Республ. научн.-техн. конф. мол. уч., Гомель, 2–4 октября 2012 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: Р.А. Шулдыков [и др.]. – Гомель, 2012.– С. 101.

12. Ермаков, С.Ф. Смазочные материалы на гидратированных кальциевых мылах с использованием побочных и промежуточных продуктов нефтепереработки, и многоатомных спиртов / С.Ф. Ермаков, А.Л. Богданов, Р.А. Шулдыков // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 24-27 Июня 2013 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адериha [и др.]. – Гомель, 2013. – С. 134.

13. Богданов, А.Л. Пластичный смазочный материал на базе дистиллята вакуумного нефтяного и комплексного кальциевого загустителя / А.Л. Богданов // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: тез. докл. Республ. научн.-техн. конф. мол. уч., Гомель, 4 - 6 ноября 2014 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.В. Шевченко [и др.]. – Гомель, 2014.– С. 8-10.

14. Ермаков, С.Ф. Влияние содержания ацетата кальция на свойства комплексных кальциевых композиционных пластичных смазочных материалов / С.Ф. Ермаков, А.Л. Богданов // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 23-26 Июня 2015 г. / Ин-т механики

металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адериха [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 134.

15. Ермаков, С.Ф. Влияние технологического режима получения на свойства комплексных кальциевых композиционных пластичных смазочных материалов / С.Ф. Ермаков, А.Л. Богданов, А.А. Рыбаков, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 23-26 Июня 2015 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адериха [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 127.

16. Богданов, А.Л. Технология получения пластичных смазочных материалов на комплексных кальциевых мылах с использованием промежуточных продуктов нефтепереработки / А.Л. Богданов, С.Ф. Ермаков // Полимерные композиты и трибология: тез. докл. Междунар. Науч.-техн. конф., Гомель, 27-30 Июня 2017 г. / Ин-т механики металлополимерных систем НАН Беларуси; редкол.: В.Н. Адериха [и др.]. – Гомель, 2017. – С. 150.

#### **Патенты на изобретения**

17. Состав для получения пластичной смазки: пат. ВУ 15897 / В.В. Мулярчик, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский, С.Ф. Ермаков, Р.А. Шулдыков, А.Л. Богданов, А.П. Свирский – Оpubл. 30.06.2012.

18. Пластичная смазка: пат. ВУ 20047 / В.В. Мулярчик, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский, С.Ф. Ермаков, А.Л. Богданов – Оpubл. 30.04.2016.

19. Пластичная смазка: пат. RU 2575170 / С.Ф. Ермаков, А.Л. Богданов – Оpubл. 20.02.2016.

20. Способ определения содержания воды в пластичных смазочных материалах: пат. ВУ 21525 / С.Ф. Ермаков, А.Л. Богданов – Оpubл. 30.12.2017.

21. Пластичная смазка: пат. ВУ 21758 / С.Ф. Ермаков, А.А. Рыбаков, А.Л. Богданов, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский – Оpubл. 27.12.2017.

22. Способ получения комплексной кальциевой пластичной смазки: пат. ВУ 22090 / С.Ф. Ермаков, А.А. Рыбаков, А.Л. Богданов, В.Г. Константинов, В.Н. Данишевский – Оpubл. 04.05.2018.

## РЭЗІЮМЭ

Багданаў Аляксей Леанідавіч

### **Пластычныя змазкі з палепшанымі трыбатэхнічнымі характарыстыкамі на мадыфікаваных кальцыявых загушчальніках**

**Ключавыя словы:** пластычная змазка, ланалін, сорбіт, кальцыявы комплекс, гідратаваны загушчальнік, структура, рэалагічныя характарыстыкі, трыбатэхнічныя характарыстыкі.

**Мэта працы:** распрацоўка пластычных змазак, якія валодаюць палепшанымі трыбатэхнічнымі характарыстыкамі з выкарыстаннем мадыфікаваных арганічнымі стабілізатарамі структуры і антыфрыкцыйнымі прысадкамі кальцыявых загушчальнікаў.

**Метады даследавання:** стандартныя метадыкі вызначэння трыбатэхнічных і рэалагічных характарыстык, вісказіметра, аптычная і растрвая электронная мікраскапія, ВК-Фур'е спектраскапія, газавая храматаграфія.

**Атрыманія вынікі і іх навізна.** Даследаваны заканамернасці ўплыву ланаліну на рэалагічныя і трыбатэхнічныя характарыстыкі комплексных кальцыявых змазак і многаатамных спіртоў сарбітам на характарыстыкі гідратаваных кальцыявых змазак. Устаноўлена, што ўвядзенне ланаліну у склад комплекснай кальцыявай змазкі выклікае істотныя змены яе структуры, якія суправаджаюцца павышэннем рэалагічных і трыбатэхнічных характарыстык змазкі. Прапанаваны і апрабаваны метады кантролю тэхналагічнага працэсу атрымання комплекснай кальцыявай змазкі, які дазваляе выявіць заканамернасці працякання ў рэакцыйнай масе фізіка-хімічных працэсаў за кошт ўсталяванай залежнасці цеплавых эфектаў і суправаджаючых іх змяненняў глейкасці. Паказана, што ўвядзенне ў склад комплекснай кальцыявай змазкі алкілбяззолсульфанага кальцыя прыводзіць да зніжэння тэмпературы тэрмаапрацоўкі ў працэсе атрымання змазкі, павышэнню тэмпературы кропляпазення, павышэнню трыбатэхнічных характарыстык, пры гэтым распрацаваныя змазкі не маюць выразна выяўленай крытычнай нагрузкі, графік нагрузачнай здольнасці блізкі да лінейнага аж да нагрузкі зварвання. Распрацаваны складаны і тэхналогіі атрымання новых высокаэфектыўных высокатэмпературных і пластычных змазак агульнага прызначэння на аснове кальцыявых мадыфікаваных загушчальнікаў з падвышанымі ў 1,3 - 1,4 разы трыбатэхнічнымі і на 30-50% рэалагічнымі характарыстыкамі. Засвоена доследная вытворчасць распрацаваных змазак.

**Рэкамендацыі па выкарыстанні і вобласці ўжывання:** вузлы церця шырокага спектру механізмаў і машын, што эксплуатаюцца ва ўмовах звычайных і падвышаных тэмператур і нагрузак, высокай вільготнасці на прадпрыемствах машынабудаўнічай галіны.

## РЕЗЮМЕ

Богданов Алексей Леонидович

### **Пластичные смазки с улучшенными триботехническими характеристиками на модифицированных кальциевых загустителях**

**Ключевые слова:** пластичная смазка, ланолин, сорбит, кальциевый комплекс, гидратированный загуститель, структура, реологические характеристики, триботехнические характеристики.

**Цель работы:** разработка пластичных смазок, обладающих улучшенными триботехническими характеристиками с использованием модифицированных органическими стабилизаторами структуры и антифрикционными присадками кальциевых загустителей.

**Методы исследования:** стандартные методики определения триботехнических и реологических характеристик, вискозиметрия, оптическая и растровая электронная микроскопия, ИК-Фурье спектроскопия, газовая хроматография.

**Полученные результаты и их новизна.** Исследованы закономерности влияния ланолина на реологические и триботехнические характеристики комплексных кальциевых смазок и многоатомного спирта сорбита на характеристики гидратированных кальциевых смазок. Установлено, что введение ланолина в состав комплексной кальциевой смазки вызывает существенные изменения ее структуры, которые сопровождаются улучшением реологических и триботехнических характеристик смазки. Предложен и апробирован метод контроля технологического процесса получения комплексной кальциевой смазки, позволяющий выявить закономерности протекания в реакционной массе физико-химических процессов за счет установленной зависимости тепловых эффектов и сопровождающих их изменений вязкости. Показано, что введение в состав комплексной кальциевой смазки алкилбензолсульфоната кальция приводит к повышению триботехнических характеристик, снижению температуры термообработки в процессе получения смазки, повышению температуры каплепадения, при этом разработанные смазки не имеют четко выраженной критической нагрузки, график нагрузочной способности близок к линейному вплоть до нагрузки сваривания. Разработаны составы и технологии получения новых высокоэффективных высокотемпературных и пластичных смазок общего назначения на основе кальциевых модифицированных загустителей с повышенными в 1,3 – 1,4 раза триботехническими и на 30–50% реологическими характеристиками. Освоено опытное производство разработанных смазок.

**Рекомендации по использованию и области применения:** узлы трения широкого спектра механизмов и машин, эксплуатируемых в условиях обычных и повышенных температур и нагрузок, высокой влажности на предприятиях машиностроительной отрасли.

## SUMMARY

Bogdanov Alexey Leonidovich  
**Grease with improved tribological performance  
on modified calcium thickeners**

**Keywords:** grease, lanolin, sorbitol, calcium complex, hydrated thickener, structure, rheological characteristics, tribotechnical characteristics.

**The aim of the work:** development of greases with improved tribotechnical characteristics using modified with organic stabilizers structures and antifriction additives of calcium thickeners.

**Research methods:** standard methods for determining tribotechnical and rheological characteristics, viscometry, optical and scanning electron microscopy, IR Fourier spectroscopy, gas chromatography.

**The results and their novelty.** The regularities of the influence of lanolin on the rheological and tribotechnical characteristics of complex calcium greases and the effect of sorbitol polyhydric alcohol on the characteristics of hydrated calcium greases are studied. It was established that the introduction of lanolin into the composition of complex calcium grease causes significant changes in its structure, which are accompanied by an increase in the rheological and tribological characteristics of the grease. A method of controlling the technological process for obtaining the complex calcium grease is proposed and tested, which allows one to identify patterns of physicochemical processes in the reaction mass due to the established dependence of thermal effects and the accompanying changes in viscosity. It is shown that the introduction of calcium alkyl benzenesulfonate into the complex calcium grease leads to a decrease in the heat treatment temperature at production of the grease, an increase in the dropping point, and improvement of tribological characteristics. Even the developed greases do not have a clearly defined critical load; the load capacity graph is close to linear up to the welding load. Compositions and technologies have been developed for the production of new high-performance high-temperature and general-purpose greases based on calcium modified thickeners with 1.3–1.5 times higher tribological and 30–50% rheological characteristics. Pilot production of developed lubricants was carried out.

**Recommendations for use and application:** friction units of various mechanisms and machines operated under wide range of temperatures and loads at high humidity in industrial applications.



Научное издание

*Богданов Алексей Леонидович*

**ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ С УЛУЧШЕННЫМИ  
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ  
НА МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
КАЛЬЦИЕВЫХ ЗАГУСТИТЕЛЯХ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальностям 05.16.09 – материаловедение (машиностроение)  
05.02.04 – трение и износ в машинах

Подписано в печать 19.05.2020 г. Формат бумаги 60x84 1/16  
Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс. Напечатано на ризографе.  
Усл. печ.л. 1,4. Тираж 60 экз. Заказ № 04-20

---

ИММС НАНБ, 246050, г. Гомель, ул. Кирова 32а

Регистрация № 1/244 от 25.03.2014