

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

УДК 621 : 678.078.2

**ПРИХОДЬКО**  
**Иван Васильевич**

**МОДИФИЦИРОВАННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
ДЛЯ ТРАНСПОРТНОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ОТРАБОТАННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ СМАЗОК**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности  
05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Гомель 2017

Научная работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта»

**Научный руководитель** **Неверов Александр Сергеевич**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой физики и химии УО «Белорусский государственный университет транспорта»

**Официальные оппоненты:** **Гольдаде Виктор Антонович**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры радиофизики и электроники УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»

**Злотников Игорь Иванович**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физики УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

**Оппонирующая организация:** ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»

Защита состоится «23» июня 2017 г. в 14 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 01.14.01 в Государственном научном учреждении «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси» по адресу: 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32а, эл. почта: [mpri@mail.ru](mailto:mpri@mail.ru); тел.: +375(0232)77-52-12, факс: +375(0232)77-52-11.

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

Автореферат разослан « » мая 2017 г.

Ученый секретарь совета  
по защите диссертации

Н.С. Винидиктова

## ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения грузо- и пассажироперевозок на территории Республики Беларусь в настоящее время функционируют 16 основных и 4 оборотных локомотивных депо. В процессе эксплуатации локомотивов для заправки букс колесных пар применяются пластичные смазки Буксол и ЖРО. Отработанная смазка, прошедшая цикл эксплуатации, скапливается на базах горюче-смазочных материалов в количестве 74 тонн в год. Применение такого материала считается нецелесообразным и он подвергается утилизации как смесь отработанных нефтепродуктов. Услуги по утилизации пластичных смазочных материалов мало распространены в Республике Беларусь. Единственным монополистом в этой области является компания «ГлобалТрейдОйл», осуществляющая прием отработанного материала по 610 деноминированных белорусских рублей за тонну, что представляет дополнительную финансовую нагрузку на предприятие. Таким образом, общая стоимость утилизации по всем депо Республики Беларусь составляет 45,14 тысяч деноминированных белорусских рублей в год.

Помимо накопления отработанной смазки на железнодорожных предприятиях, обостряющего экологическую обстановку, существенную проблему представляет отсутствие отечественного пластичного смазочного материала, используемого для заправки стационарных путевых рельсосмазывателей, для смазывания рельс в кривых участках пути. В настоящее время для защиты от износа боковой поверхности рельс используется смазка пластичная для рельсосмазывателей (СПЛ), закупаемая в странах ближнего зарубежья (Российская Федерация, Украина).

Практический интерес вызывает вопрос создания «умных» материалов-протекторов, которые способны при определенных условиях интенсифицировать свои защитные свойства. Особенно интересны как с теоретической, так и с практической точек зрения механизм такого поведения и роль в этом процессе пластифицирующего вещества, условия максимального интенсифицирования защитных антикоррозионных свойств композиционных материалов, а также возможность использования в качестве пластификаторов отработанных консистентных смазочных материалов выработавших свой ресурс.

Таким образом, исследования направленные на создание функциональных материалов с практически полезными свойствами на основе отработанной железнодорожной консистентной смазки, являются актуальными. Наиболее целесообразным представляется использовать отработанные пластичные материалы по двум направлениям: во-первых, в качестве основы при создании нового смазочного материала для тяжелонагруженных, но менее ответственных узлов трения, а во-вторых, в качестве пластификатора, обеспечивающего защитные антикоррозионные свойства композиционного материала.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016-2020 гг., утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 22 апреля 2015 г. № 166 «Промышленные и строительные технологии и производство: производство железнодорожной техники; новые многофункциональные материалы, специальные материалы с заданными свойствами».

Исследования выполнялись в рамках: 1) государственной комплексной программы научных исследований «Разработка антикоррозионных материалов на основе полиэтилена и ингибирующих добавок», договор № Т08-209 от 01.04.08, № ГР 20082018 на 2008-2010 гг.; 2) государственной комплексной программы научных исследований «Химические технологии и материалы», задание 2.33 тема № 6966 «Разработка композиционных материалов на основе термопластов и нефтяных отходов», № ГР 20110951 на 2010-2013 гг.; 3) гранта Министерства образования Республики Беларусь № 7053 «Разработка полимерных композитов для антикоррозионной защиты металла при наличии градиента температур и внешнего электрического потенциала» № ГР 20111287 в 2011 г.; 4) государственной комплексной программы научных исследований «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный материал», задание 2.68 «Композиционные материалы на основе термо- и реактопластов и промышленных отходов», № ГР 20130546 на 2014-2015 гг.

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка новых многофункциональных композиционных материалов путем модифицирования целевыми добавками пластичных смазок железнодорожного назначения, выработавших технический ресурс.

Достижение поставленной цели связано с решением следующих основных задач.

1. Исследовать физико-химические процессы, инициирующие изменение комплекса свойств пластичных смазок железнодорожного назначения при их эксплуатации в высоконагруженных узлах трения.

2. Оценить термодинамическую совместимость пластичных смазок и полиэтилена низкого давления (ПЭНД) с использованием графического метода симплекс-решетчатого планирования совмещаемых компонентов. Получить оптимизированные составы композиций.

3. Исследовать влияние наполнителей и пластификаторов на свойства композиции (ПЭНД с отработанной смазкой), оптимизировать составы, обеспечивающие улучшение эксплуатационных свойств, и разработать на их основе композиционные материалы для машиностроения.

4. Исследовать технологические и антикоррозионные свойства разработанных композиционных материалов.

5. Провести опытно-промышленную проверку новых материалов, разработать рекомендации по их изготовлению и технологическую документацию, регламентирующую применение материалов на предприятиях транспортного машиностроения.

Объект исследования – отработанные пластичные смазочные материалы (ПСМ); композиционные материалы, модифицированные ПСМ.

Предмет исследований – физико-химические и трибологические свойства отработанного смазочного материала и смазок на их основе, а также физико-механические и антикоррозионные свойства композиционных материалов, модифицированных отработанными ПСМ.

**Научная новизна.** Установлено немонотонное изменение вязкости отработанных железнодорожных смазок при наполнении графитом. При введении графита увеличение вязкости смазки с максимумом при содержании графита 10 масс. % сменяется снижением с минимумом при 15 масс. %. Резкое снижение вязкости в данном концентрационном интервале свидетельствует о достижении предельного заполнения дисперсными частицами графита ячеек каркаса консистентной смазки, образованного молекулами загустителя, с последующим его разрушением. Показано, что такой характер изменения вязкости сохраняется во всем исследованном интервале температур (50–190 °С). Исследование фрикционных характеристик отработанных смазок, наполненных графитом, свидетельствует, что минимуму вязкости соответствует минимум коэффициента трения, который также обусловлен разрушением каркаса и является его подтверждением. До тех пор, пока целостность каркаса была не нарушена, частицы графита были зафиксированы в его ячейках и процесс скольжения их слоев, способствующий снижению трения, был затруднен.

Установлено влияние эффекта разности температур на процесс синерезиса пластификатора и кинетику коррозии металлов. Разработан метод защиты металлов от термоградиентной коррозии, заключающийся в интенсификации синерезисного выделения ингибитора из защитной полимерной пленки на нагретые участки металлического изделия. Предложен механизм управления процессом синерезиса, обеспечивающий повышение антикоррозионных свойств композиционного материала. Методом потенциостатического анализа исследовано влияние ингибирующих компонентов консистентных смазок на коррозионное поведение металлов. Исследовано изменение структуры материала на основе ПЭНД при введении пластификатора. Показано, что наличие резкой границы перехода системы закрытых капилляров в открытую систему (40-45 масс. % жидкой фазы) обусловлено статистическим распределением выделяющегося избытка жидкости, а не фазовым переходом. Установлены технологические особенности совместимости

ПЭНД с отработанными смазочными материалами и целевыми добавками при различных режимах формирования.

Разработаны составы антифрикционных смазок, а также оболочек антикоррозионного назначения на основе пластифицированного полиэтилена с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Разработанные материалы защищены патентами Республики Беларусь и Российской Федерации.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование рециклинга отработанных железнодорожных смазок, использование которых в качестве основы при создании новых антифрикционных смазок позволило повысить в 2 раза противозносные свойства смазки, а в качестве модификатора пленочного упаковочного материала антикоррозионного назначения улучшить эксплуатационные характеристики: в 1,5 раза повысить прочность и в 3 раза уменьшить скорость коррозии защищаемых изделий.

2. Экспериментально установленное нелинейное изменение зависимости вязкости консистентного смазочного материала от концентрации твердой дисперсной смазки, обусловленное достижением предела емкости ячеек пространственного каркаса и разрушения его коллоидной структуры, приводящее к резкому снижению вязкости смазочного материала при содержании графита в количестве 15 масс. %.

3. Экспериментально установленный эффект интенсификации процесса синергизма пластификатора в композиционном материале, локализованного в местах контакта с участком металлического изделия, подверженного термоградиентной коррозии, динамика которой обусловлена различием в интенсивности протекания электрохимических процессов в зависимости от температуры.

4. Новые составы композиционных материалов, модифицированных отработанными пластичным смазочным материалом с улучшенными физико-механическими и антикоррозионными свойствами.

**Личный вклад соискателя.** Автором исследованы свойства отработанных смазочных материалов [3, 8], предложена методика оценки пластичности смазочного материала посредством сжимающего пластометра с использованием разработанной компьютерной программы, позволяющей провести графическую обработку и последующий расчет площади растекания материала между стеклянными пластинами при их сдавливании [11]. Предложены способы использования отработанных смазок с целью их рециклинга [7, 11, 18]. Проведен анализ коррозионных процессов, протекающих в разных агрессивных средах при различных условиях [1, 2, 9], и методы защиты от коррозионных разрушений [4, 6, 14, 19]. Определены задачи, решение которых позволило создать композиционный материал на основе ПЭНД и отходов консистентных смазок для формирования защитного упаковочного материала с улучшенными физико-механическими свойствами и

композиционный смазочный материал консервационного действия с высокими триботехническими характеристиками [5, 13, 15, 17]. По результатам экспериментальных исследований и микроструктурного анализа предложены оптимальные составы композиционных материалов [10, 16, 20–23].

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения диссертационной работы представлены и обсуждены на международной научно-практической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БРУ, Могилев, 2009), на международной конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (БРУ, Могилев, 2009), на II международной научно-практической конференции «Инженерия поверхностного слоя деталей машин» (БНТУ, Минск, 2010), на XIII международной научной конференции студентов и аспирантов «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях» (ГГУ им. Ф.Скорины, Гомель, 2010), на международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (БРУ, Могилев, 2010), на международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «IV Машеровские чтения» (ВГУ, Витебск, 2010), на международной конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (БРУ, Могилев, 2010), на республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования» (ИММС НАН Беларуси, Гомель, 2010), на международной научно-технической конференции «Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2011)» (ИММС НАН Беларуси, Гомель, 2011), на III международной научно-практической конференции «Оптика неоднородных структур 2011» (МГУ, Могилев, 2011), на международной научно-практической конференции «Состояние природной среды и сопредельных территорий» (БрГУ, Брест, 2012), на первой Республиканской научной конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Актуальные вопросы физики и техники» (ГГУ им. Ф.Скорины, Гомель, 2012), на международной научно-практической конференции посвященной 100-летию МГУ имени А.А. Кулешова (МГУ им. А.А. Кулешова, Могилев, 2013), на международной научно-технической конференции «Строительство и восстановление искусственных сооружений» (БелГУТ, Гомель, 2013), на международной конференции посвященной 95-летию со дня рождения А.А. Столяра (МГУ им. А.А. Кулешова, Могилев, 2014) X международной научно-практической конференции «TRANS-MECH-ART-CHEM» (МГУПС, Москва, 2014), на VII международной научно-практической конференции. «Проблемы безопасности на транспорте» (БелГУТ, Гомель, 2015).

**Опубликованность результатов диссертации.** Основные результаты исследований и разработок опубликованы в 23 (4,37 а.л.) научных изданиях, в том

числе 7 (2,71 а.л.) статей в научных журналах, соответствующих п.18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий Республики Беларусь, 2 статьи в журналах, 9 статей в сборниках трудов и материалов научных конференций, тезис доклада на научной конференции. Получено 4 патента на изобретения, из них 2 патента Республики Беларусь и 2 патента Российской Федерации.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав основной части, заключения, библиографического списка и приложений. Объем диссертации составляет 139 страниц, в том числе: 63 рисунка и 4 таблицы на 26 страницах, список использованных источников из 129 наименований на 9 страницах, список публикаций соискателя из 23 наименований на 3 страницах, 14 приложений на 25 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** проанализированы виды и составы существующих смазочных материалов, их защитные свойства и особенности применения. Детально изучен рынок используемых в настоящее время железнодорожных смазочных материалов для нужд Белорусской железной дороги и вопрос утилизации смешанных отходов. Сделан обзор современных представлений о процессах коррозии и способах защиты от коррозионных повреждений. Проведен анализ защитных функций полимерной пленки в зависимости от состава материала, метода формирования и технологических параметров получения.

Современное представление о полимерных композитах в отечественном материаловедении основано на фундаментальных исследованиях академика В.А. Белого и его научной школы. Особое место отведено композиционным материалам на полимерных матрицах с модификаторами различного типа и принципа действия. Следует отметить исследования в области теории коррозии и защиты металлов основоположника научно-педагогической школы профессора, доктора химических наук Н.Д. Томашова и его учеников. Существенный вклад в развитие трибологии внес доктор технических наук, профессор Д.Н. Гаркунов и его научная школа. Одним из важнейших направлений его исследований является создание новых смазочных материалов для обеспечения эффекта безызносности.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует о важности исследований, направленных на поиск способов переработки отработанных консистентных смазок, получения новых смазочных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками, а также на разработку композиционных материалов, в частности, на основе термопластов, содержащих технологические отходы, в том числе консистентных смазочных материалов, для производства изделий технического назначения. Особый интерес вызывают мало изученные вопро-



сы коррозии при наличии разности температур частей металлоизделия, а также использование в качестве пластификатора отработанного смазочного материала, выработавшего свой ресурс. На основании проведенного анализа источников информации определена цель и сформулированы задачи исследования.

**Во второй главе** описаны методы получения пластичных смазочных и антикоррозионных пленочных композиционных материалов с улучшенными физико-механическими характеристиками и научно обоснована возможность их практического применения.

Для получения композиционных смазочных материалов использовали отработанную пластичную смазку Буксол (ТУ 0254-107-01124328-01) и ЖРО (ТУ 38 ЦТ 520-83), а так же графит (ГЛ, ГОСТ 5279), сравнительный анализ свойств проводили с пластичной смазкой СПЛ для путевых рельсосмазывателей (ТУ 32 ЦТ 2186-93), а для получения пленочного материала применяли полиэтилен низкого давления марки 273-81 (ПЭНД, ГОСТ 16338). В качестве дисперсных наполнителей применяли карбонат кальция (ГОСТ 4530), оксид титана (марка А1, ГОСТ 9808), оксид алюминия (ГОСТ 11841). В качестве ингибиторов коррозии использовали: МСДА (ТУ 6-02-834-88), ИФХАН (ТУ 37-109-29-97), ВИТАЛ (ТУ 38-2-01-236-81), К-17 (ГОСТ 10877), ВНХЛ (ТУ 6-00-5808009-186-90). Пленочные композиционные материалы на основе ПЭНД, модифицированного ПСМ и дисперсными наполнителями, получали методом горячего прессования. Толщина пленки составляла 0,1–0,2 мм.

Смазочные материалы получали введением порошкообразного графита в отработанную железнодорожную смазку, варьируя концентрационные соотношения компонентов. Исследование температуры каплепадения смазочных материалов проводили в соответствии с ГОСТ 6793. Для оценки вязкости и предела прочности при сдвиге использовали ротационный вискозиметр Брукфильда САР 2000+ (США). Сравнительные реологические характеристики определяли с помощью сжимающего пластометра по изменению площади отпечатка смазочного материала, растекающегося между стеклянными пластинами. Площадь растекания смазки определяли при помощи компьютерной программы, которая в результате попиксельного считывания изображения и сравнения его на предмет изменения цвета в контрастном режиме производила расчёт площади растекания. По изменению площади оценивали изменение вязкости в условных единицах площади отпечатка.

Коррозионные процессы на поверхности металла под действием разности температур, обусловленные разностью электродных потенциалов между электродами из стали 50, погруженными в нагретый и холодный электролиты, изучали в процессе нагрева одного из сосудов до температуры кипения раствора, выдержки при температуре кипения и последующего охлаждения до комнатной температуры. Влияние ингибиторов на скорость коррозии металла оценивали методами потенциостатического и гравиметрического анализов. Коррозионные процессы оце-

нивали в зависимости от воздействия на металл агрессивных сред, в качестве которых использовали: раствор  $\text{HCl}$  (1н), раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (0,1н) и раствор  $\text{NaCl}$  (0,5н).

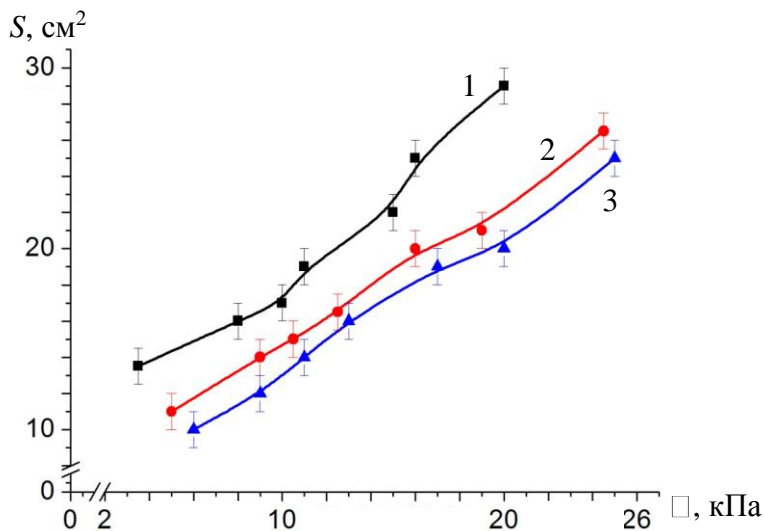
Измерение уровня шума при использовании разработанной смазки в месте роспуска состава на рабочих местах регулировщика скорости движения вагонов проводили при помощи шумомера-анализатора спектров «ОКТАВА 101А» в соответствии с СНПиГН «Шум на рабочих местах, в транспортных средствах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». Анализ трибологических свойств разработанных ПСМ проводили по стандартизированным методикам.

Экспериментальные данные обрабатывались методом математической статистики с использованием стандартных компьютерных программ.

**В третьей главе** приведены результаты исследования свойств отработанных консистентных смазок, которые свидетельствуют о возможности не только

их вторичного использования при получении смазочного материала для замены пластичной смазки СПЛ для путевых рельсосмазывателей, но и применения в качестве модификатора композиционных материалов на основе ПЭНД.

Результаты реологических исследований зависимости площади растекания исследуемых смазок от величины сжимающего напряжения приведены на рисунке 1. Полученные данные позволяют сделать



1 – отработанная смазка ЖРО, 2 – отработанная смазка Буксол, 3 – смазка для рельсосмазывателя СПЛ  
Рисунок 1. – Зависимость площади растекания (S) смазочного вещества от напряжения сжатия (σ)

вывод о том, что отработанная смазка Буксол (Буксол<sub>отр</sub>) по пластическим свойствам более близка к смазке СПЛ, чем ЖРО<sub>отр</sub>. Об этом свидетельствует идентичность кривых течения для отработанной смазки Буксол<sub>отр</sub> и смазки СПЛ, которая еще не была в работе. Вязкость ЖРО<sub>отр</sub> существенно ниже по сравнению с Буксолом<sub>отр</sub> и СПЛ. Данное реологическое поведение обусловлено процессами механо- и термоокислительной деструкции молекул загустителя и масляной основы.

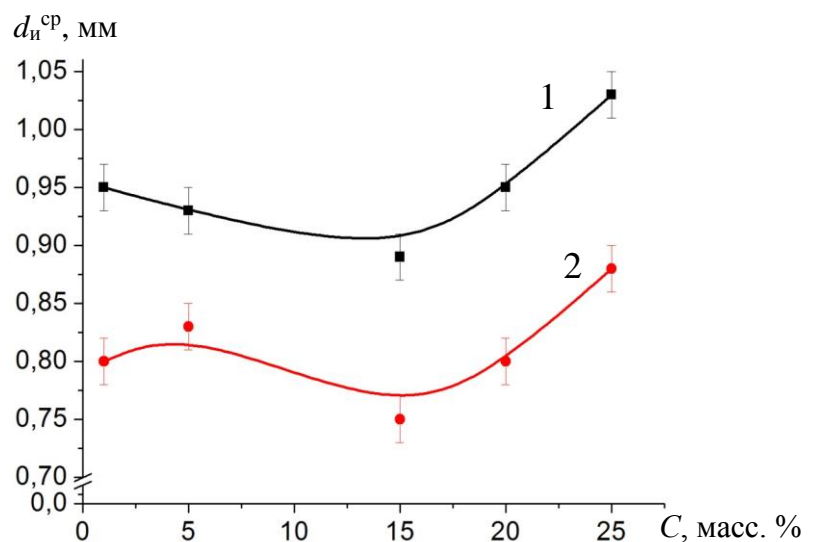
Влияние процессов деструкции на свойства отработанных смазок может быть компенсировано введением наполнителей. С помощью сжимающего пластометра установлено, что введение графита приводит к нелинейному изменению вязкости. Увеличение содержания наполнителя до 10 масс. % ведет к возрастанию

вязкости материала. При более высоких степенях наполнения вязкость уменьшается. Наиболее заметное снижение вязкости наблюдается при содержании графита в количестве 15 масс. %. Дальнейшее увеличение наполнителя вновь приводит к возрастанию вязкости.

Исследование вязкости смазок на ротационном вискозиметре подтвердили результаты, полученные на пластометре. Полученные данные свидетельствуют о частичной деструкции отработанной смазки, о чем свидетельствует снижение вязкости на 25 % по сравнению с исходным Буксолом<sub>отр.</sub> Пластичная смазка представляет собой структурированную коллоидную систему, состоящую из трехмерного структурного каркаса, удерживающего в ячейках дисперсную фазу. Агломерированные между собой молекулы вещества загустителя создают подобие трехмерного каркаса, являющегося ключевым элементом структуры пластичной смазки, и от их пространственного расположения зависят свойства смазочного материала. Введение дисперсных наполнителей приводит к загущению смазки и возрастанию вязкости. При небольшом содержании дисперсного графита его частицы легко размещаются в ячейках каркаса, образованного молекулами загустителя (мыла). При этом возможность перемещения структурных единиц каркаса существенно снижается, что приводит к увеличению вязкости. При повышении содержания графита до 15 масс. % достигается предел емкости ячеек каркаса, и он начинает разрушаться, что приводит к резкому снижению вязкости. Дальнейшее увеличение концентрации графита вызывает повторное возрастание вязкости смазочного материала, обусловленное реологическими особенностями вязкого течения жидкости (увеличение вязкости при наличии препятствий вязкому течению).

Важнейшее значение при эксплуатации смазок в узлах трения имеют фрикционные характеристики. Установлено, что введение в зону трения смазочного материала на основе Буксола<sub>отр.</sub> коэффициент трения снижается

до 3 раз по сравнению с сухим трением при нагрузке 2 МПа и практически в 5 раз – при 0,5 МПа. При этом зависимость коэффициента трения от содержания наполнителя имеет минимум при содержании графита в количестве 15 масс. %.

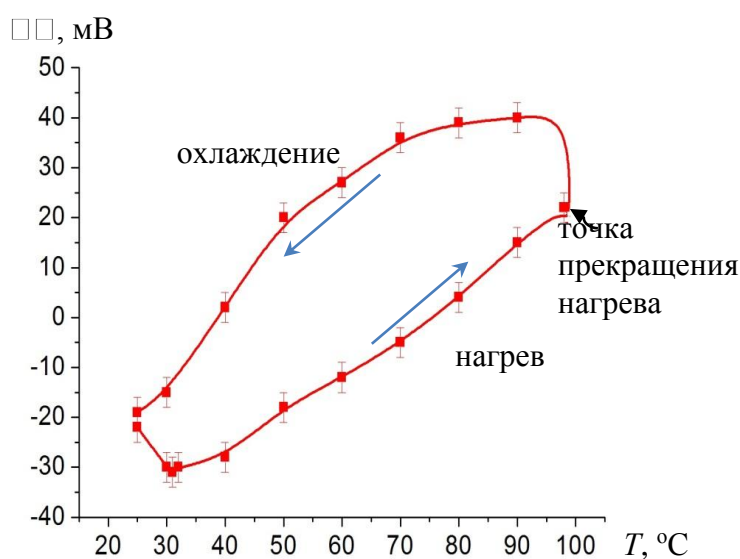


1 – при нагрузке 40 кг; 2 – при нагрузке 20 кг  
Рисунок 2. – Зависимость диаметра пятна износа ( $d_{и}^{сп}$ ) шаров от содержания графита в смазочном материале

Очевидно, что данная концентрация наполнителя является наиболее оптимальной и обеспечивает материалу реологические характеристики, при которых он попадает в зону трения и эффективно уменьшает коэффициент трения. Результаты, приведенные на рисунке 2, также подтверждают сделанное выше заключение. Отличие в глубине минимума при содержании графита 15 масс. % свидетельствует о способности смазочного слоя проникать в зону контакта и уменьшать величину износа. При больших нагрузках проникновение смазки значительно затрудняется. Поскольку смазка ранее эксплуатировалась и подвергалась воздействию высоких температур, она содержит продукты деструкции. Для улучшения антикоррозионных свойств смазочного материала

в смазку вводили ингибитор Витал в количестве 1 масс. %.

**В четвертой главе** исследовано влияние разности температур на кинетику коррозионного процесса. Исследование механизма его протекания позволяет выявить оптимальные методы минимизации последствий коррозионных повреждений металлов и способствует разработке эффективных методов защиты от разрушения. Результаты исследования температурной зависимости разности потенциалов приведены на рисунке



**Рисунок 3. – Зависимость разности потенциалов от температуры электродов (ст. 50) в 0,1н растворе NaCl**

3. Рост температуры приводит к значительному изменению разности потенциалов. При повышении температуры от 35 °C до 95 °C наблюдается, практически, линейный рост зависимости напряжения от температуры. Используя уравнение Нернста с учетом постоянства в нем всех параметров кроме температуры, можно получить выражение для разности потенциалов катода и анода, зависящее только от разности температур. Полученная зависимость объясняет практически линейность графика на участке нагрева. При нагревании раствора до температуры кипения (98 °C) рост разности потенциалов уменьшается. Следует учесть, что в электрохимическом процессе скрыто участвует конвекция жидкости, вызываемая нагревом. По-видимому, она препятствует переносу зарядов. При прекращении нагрева фактор, препятствующий перемещению зарядов, устраняется, и разность потенциалов резко возрастает. Это объясняет стремительный рост разности потенциалов сразу после прекращения нагрева. При охлаждении температурный фактор в уравнении Нернста уменьшается. Снижение температурного фактора приводит к постепенному возврату разности потенциалов к исходному значению.

Данное исследование подтверждает предположение о влиянии разности температур на протекание коррозионных процессов.Metalлоизделия в зависимости от условий эксплуатации могут сами служить источниками интенсификации коррозионного процесса. Если различные участки металлических изделий находятся в разных температурных условиях, то градиент температур создает разность потенциалов, которая является причиной коррозии. Устранить разность температур сложно, обычные методы антикоррозионной защиты являются не эффективными. В таком случае необходим материал, который реагировал бы на изменение температуры, усиливая или, наоборот, ослабляя свою защитную функцию. Показано, что таким материалом может быть полимер, содержащий в качестве носителя ингибитора пластификатор, ограниченно совместимый с полимером.

Разработан композиционный полимерный материал на основе ПЭНД, пластифицированного отработанный железнодородной смазкой Буксол<sub>отр</sub>, в состав которой входит смесь минеральных масел, и введен дополнительно ингибитор коррозии. Показано, что полученный материал, помимо барьерной функции, способен выделять пластификатор, содержащий инги-

битор, что позволяет минимизировать воздействие агрессивной среды на смазываемый материал. Изучен механизм выделения жидкой фазы из композита в зависимости от температуры его эксплуатации, что позволяет управлять данным процессом (рисунок 4). Определяющим фактором скорости протекания процесса синерезиса является температура эксплуатации композиционного материала. Установлено, что в диапазоне температур от 50 °С до 70 °С интенсивность выделения жидкой фазы является максимальной, что обусловлено интенсифицированием диффузионных процессов, протекающих в композиционном материале. Увеличение температуры выше 70 °С ведет к замедлению процесса синерезиса. Это обусловлено тем, что облегчается движение структурных элементов (макромолекул), что затрудняет диффузию молекул пластификатора, и уменьшаются внутренние напряжения, ответственные за явление

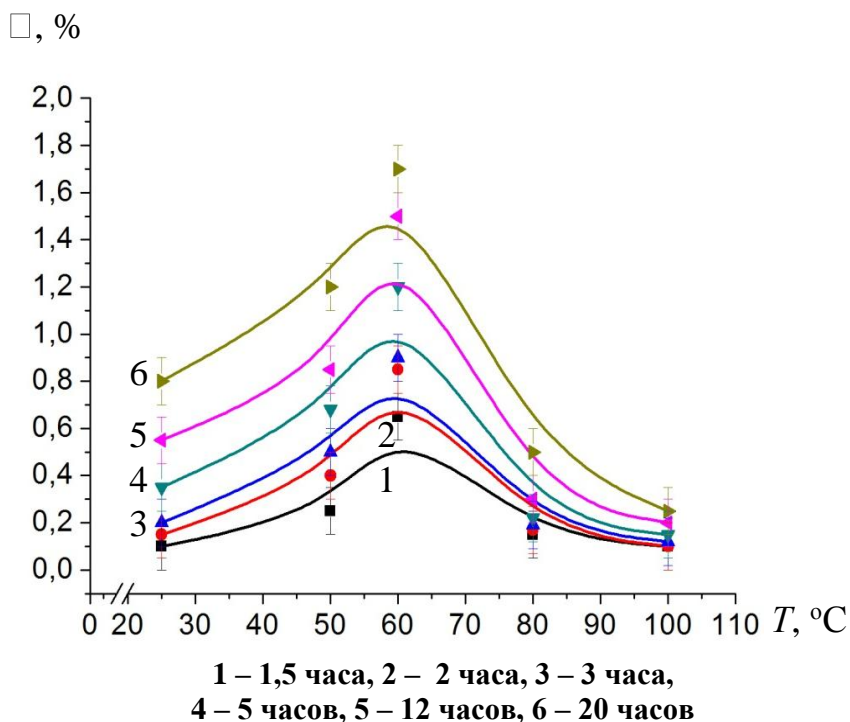


Рисунок 4. – Интенсивность процесса синерезиса, в зависимости от температуры и времени эксплуатации композиционного материала

синерезиса. Установлено, что в диапазоне температур от 50 °С до 70 °С интенсивность выделения жидкой фазы является максимальной, что обусловлено интенсифицированием диффузионных процессов, протекающих в композиционном материале. Увеличение температуры выше 70 °С ведет к замедлению процесса синерезиса. Это обусловлено тем, что облегчается движение структурных элементов (макромолекул), что затрудняет диффузию молекул пластификатора, и уменьшаются внутренние напряжения, ответственные за явление

ния синерезиса. Таким образом, процесс синерезиса – управляемый процесс. Нагревание или охлаждение больше влияет на процесс выделения жидкости, чем выдержка при постоянной температуре. При возрастании температуры какой-либо части детали или узла выше комнатной из защитной пленки выделение пластификатора с содержащимся ингибитором происходит более интенсивно, чем протекание процесса синерезиса у более холодной части.

Исследована структура материала в зависимости от содержания пластификатора. Анализ полученных данных позволяет выделить несколько типов структур в зависимости от содержания низкомолекулярной жидкости. Установлены закономерности диффузионного перераспределения жидкой фазы в матрице материала. Показано, что наличие резкой концентрационной границы образования открытых пор и соответствующее скачкообразное изменение в этой концентрационной области ряда физико-механических характеристик пластифицированных материалов не связано с фазовыми переходами и обусловлено статистическим характером распределения жидкой фазы в объеме материала.

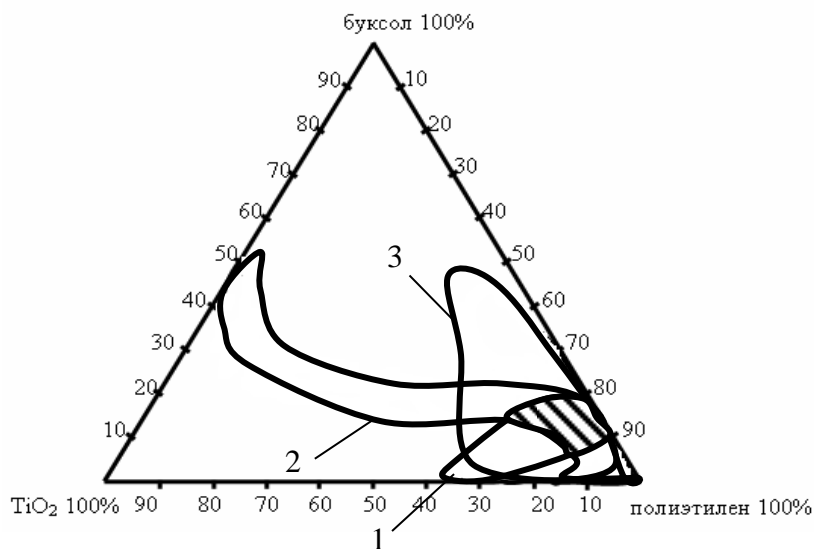
Исследованы физико-механические свойства композиционного материала на основе ПЭНД. Показано, что в системе полиэтилен-пластификатор (Буксол<sub>отр</sub>) однофазные твердые растворы внедрения существуют при содержании пластификатора до 30 масс. %. Наличие в материале пластификатора и ингибитора снижает прочностные показатели материала. Это обуславливает необходимость определения оптимального содержания пластификатора для создания материала с удовлетворительными физико-механическими характеристиками. Зависимость прочности композита от содержания пластификатора имеет практически линейный характер. Увеличение в составе композита содержания пластификатора более 30 масс. % снижает прочность материала в 2 раза. Установлено, что оптимальное содержание пластификатора в материале составляет от 5 до 20 масс. %. При данной концентрации пластификатора прочность композита снижается не более чем на 30 % по сравнению со значением для исходного ПЭНД.

Изготовление полимерной пленки с добавлением дисперсных наполнителей осложнено низкой текучестью расплава. Введение пластифицирующего вещества позволяет увеличить текучесть и получить материал, способный помимо барьерной функции, выделять пластификатор с растворенным в нем ингибитором и защищать металлическую поверхность от воздействия агрессивных сред, уменьшая ее коррозионное разрушение. Методами потенциостатического и гравиметрического анализа исследовано влияние ингибиторов на скорость коррозии металлов в различных средах. Осуществлен подбор ингибированных составов для создания антикоррозионного материала. Наиболее эффективным ингибитором, с учетом условий технологического процесса, является дистиллят талового масла (Витал). Эффективность ингибитора обусловлена высокой устойчивостью к температурам переработки (150 °С), при которой многие ингибиторы подвержены разложению.

Установлено, что материалы, в состав которых входит оксид титана, обладают улучшенными прочностными характеристиками. По-видимому, это обусловлено его равномерным распределением в объеме связующего, приводящему к образованию однородного материала. Оптимизирован состав композиционного материала на основе ПЭНД, который включает компоненты (масс. %): полиэтилен низкого давления – 85-90, Буксол<sub>отр</sub> – 10-15 и оксид титана – 1-5 (рисунок 5).

Установлено, что введение в состав материала дисперсных оксида алюминия и мела приводит к снижению прочности и площади растекания расплава формируемого образца.

На основе анализа свойств оптимизированных составов показано, что материал на основе ПЭНД, наполненный оксидом титана и пластифицированный отработанным Буксолом, обладает наиболее



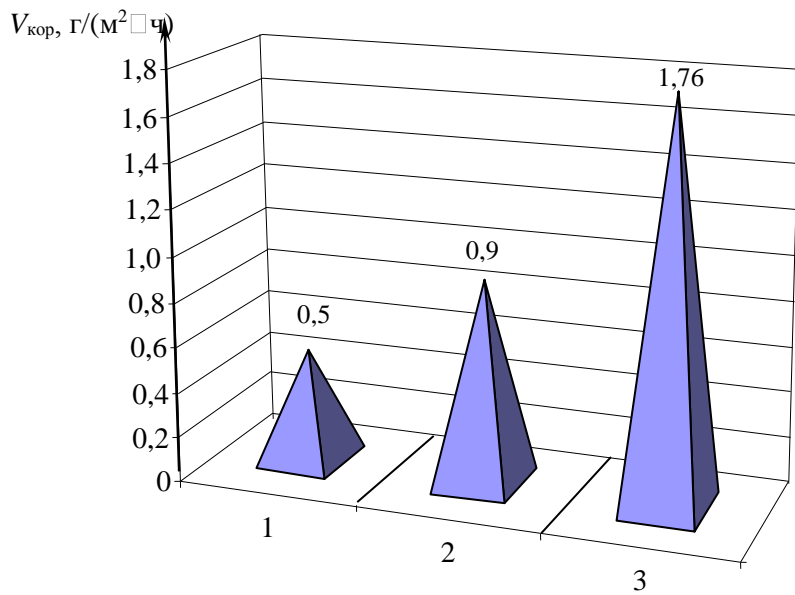
**1 – изолиния прочности, 2 – изолиния растекаемости состава при формировании, 3 – изолиния деформации**

**Рисунок 5. – Определение оптимального состава композиционного материала**

высокими эксплуатационными свойствами. Экспериментально показано, что введение в материал дополнительно ингибитора коррозии позволяет получать антикоррозионный и гидроизоляционный материал, превосходящий известные аналоги.

Из разработанных материалов изготовлена экспериментальная партия упаковочной пленки для защиты стальных образцов, которые подвергались ускоренным коррозионным испытаниям. Анализ результатов исследований позволил установить, что введение в материал на основе ПЭНД оксида титана в качестве наполнителя приводит к получению пленочного материала более высокого качества: однородного и без дефектов. Установлено, что независимо от вида коррозионной среды защитные свойства материала не ухудшаются. Однако наличие дефекта в пленочном покрытии приводит к увеличению скорости коррозии в 3-5 раз. Установлено, что из исследованных наполнителей, оксид титана обеспечивает материалу наиболее высокие антикоррозионные свойства. Это обусловлено тем, что наличие в упаковке дефектов способствует увеличению проницаемости материала для среды и материал, как следствие, становится малоприспособленным для консервации. Однако, введение в состав композиционного материала дистиллята талового масла (Витал) позволяет ограничить площадь повреждения разме-

ром дефекта. Анализ полученных результатов показывает, что оптимальными антикоррозионными свойствами обладает консервационный материал на основе полиэтилена низкого давления, пластифицированного отработанной пластичной смазкой Буксол, наполненного оксидом титана и ингибированного дистиллятом талового масла. Результаты коррозионных испытаний упаковочного материала с дефектом приведены на рисунке 6.



1 – NaCl, 2 – H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 3 – HCl

**Рисунок 6. – Скорость коррозии стальных (ст. 50) образцов в покрытии с дефектом 1 мм в различных средах**

**Пятая глава** посвящена технологическим и технико-экономическим аспектам производства и применения разработанных материалов.

Проведено сравнение эксплуатационных характеристик разработанных композиционных материалов с широко применяемыми материалами. Разработанный смазочный материал применяли для защиты от износа узлов трения комбинированного почвообрабатывающего агрегата АКШ-3,6 при эксплуатации в жестких полевых условиях в «ГУО «Областной аграрно-производственный профессиональный лицей». Испытания в полевых условиях показали, что эксплуатационный срок разработанного материала в два раза выше, чем используемого ранее материала (Литол). Анализ узлов трения после испытания показал, что узлы находятся в хорошем состоянии (линейный износ подшипников не превышает 0,1-0,2 мм на диаметр) и могут эффективно эксплуатироваться. На основании успешных опытно-промышленных испытаний разработанная смазка рекомендована к применению. Ожидаемый экономический эффект от внедрения в узлах трения сельскохозяйственной техники разработанной пластичной смазки антифрикционного и антикоррозионного действия на основе отработанной железнодорожной смазки Буксол состоит из снижения себестоимости разработанной смазки и увеличения срока ее эксплуатации и составляет в расчете на одну единицу техники 31,79 денонмированных рублей в год. Экономический эффект от применения разработанного смазочного материала для аналогичной техники, используемой в сельскохозяйственных предприятиях Республики Беларусь в 2015 году, для 1497 единиц составил 47 555 денонмированных руб./год. Смазочный материал на основе отработанной железнодорожной пластичной смазки,



наполненной графитом успешно прошел производственные испытания на «Транспортном республиканском унитарном предприятии «Лидская дистанция пути Барановичского отделения Белорусской железной дороги» и рекомендован к применению в качестве защиты тяжело нагруженных узлов трения железнодорожного транспорта от износа боковых поверхностей рельс в кривых пути.

Установлено, что нанесение разработанного антифрикционного материала на поверхность рельс приводит к уменьшению уровня шума при торможении вагонов с горки башмаком. Применение разработанного смазочного материала в реальных условиях позволяет снизить на 3 дБА эквивалентный уровень звука на рабочем месте регулировщика скорости движения вагонов, что значительно улучшает экологическую обстановку. Разработанная пластичная смазка успешно прошла опытно-промышленные испытания на станции Полоцк Витебского отделения Белорусской железной дороги.

На основании проведенных исследований и разработки технологии рециклинга отработанных железнодорожных смазок создан защитно-герметизирующий упаковочный материал на основе ПЭНД. Оптимизация состава материала позволила переработать его в пленку на рукавно-пленочных агрегатах. Получена опытная партия материала площадью 20 м<sup>2</sup> на РУП СКТЬ «Металлополимер». Формирование пленочного материала, содержащего гидрофобную жидкость, способную заполнять дефекты его структуры, приводит к снижению влаго- и кислородопроницаемости пленки, что позволяет использовать ее для гидроизоляции.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Основные научные результаты диссертации**

1. Разработан способ комплексной утилизации отработанных смазочных материалов, состоящий в использовании, во-первых, в качестве основы для создания нового антифрикционного смазочного материала с повышенными противоизносными свойствами [7, 11], и, во-вторых, в качестве модификатора антикоррозионного композиционного пленочного материала на основе ПЭНД с улучшенными эксплуатационными характеристиками [4].

2. Установлена нелинейная зависимость вязкости смазочного материала от концентрации наполнителя [3, 12]. Увеличение вязкости при введении графита до 10 масс.%, сменяется резким снижением при введении графита в количестве 15 масс. % в интервале температур от 50 °С до 90 °С [8]. Это обусловлено достижением предела насыщения дисперсными частицами графита ячеек каркаса, образованного молекулами загустителя и приводит к снижению коэффициента трения до 3–5 раз в зависимости от нагружения узла трения [17, 18].

3. Установлен эффект интенсификации процесса синерезиса пластификатора композиционного материала, полученного на основе ПЭНД, при контакте с нагретым металлическим изделием [1, 2, 9], динамика которого обусловлена тем-

пературой композиционного пленочного материала [4]. Это явление, при наличии в пластификаторе растворенного ингибитора коррозии, позволяет антикоррозионному материалу реагировать на изменение температуры, усиливая или, наоборот, ослабляя защитную функцию. Показано, что наличие в структуре материала резкой концентрационной границы перехода системы закрытых капилляров в открытую систему обусловлено статистическим распределением выделяющегося избытка жидкости, а не фазовым переходом [16].

4. Изучены технологические особенности совместимости ПЭНД с отработанными смазочными материалами и целевыми добавками [6, 20]. Установлены оптимальные режимы переработки композиционных материалов на основе ПЭНД и отработанных железнодорожных смазок [5, 13–15]. Оптимизированный состав разработанного композиционного пленочного материала включает 85-70 % ПЭНД, 10-15 % Буксола и 1-5 % оксида титана [10]. Такой состав обеспечивает улучшение эксплуатационных свойств: повышение прочности в 1,5 раза и уменьшение скорости коррозии защищаемого материала в 3 раза [20–21, 23].

5. Разработаны составы антифрикционных смазок с улучшенными эксплуатационными характеристиками (обеспечивают снижение износа в 2 раза) [22]. Разработанные материалы, защищены патентами на изобретение Республики Беларусь и Российской Федерации, успешно прошли опытно-промышленную проверку на машиностроительных предприятиях Республики Беларуси и рекомендованы к применению.

**Рекомендации по практическому использованию результатов.** Практическая значимость диссертационной работы заключается в разработке двух видов материалов путем целевого рециклинга отработанных смазок. Предполагаемый годовой объем производства смазочного материала для узлов трения сельскохозяйственной техники в натуральном выражении составляет 7,5 тонн, эквивалентно стоимости – 47 555 деноминированных рублей. Разработанный пластичный смазочный материал (патент РФ 2599005) рекомендуется для применения в тяжело нагруженных узлах трения сельскохозяйственной техники, а также в тяжело нагруженных узлах трения железнодорожного транспорта (технологический регламент на изготовление и применение пластичной смазки СПРС для смазывания тяжело нагруженных узлов трения от 25 февраля 2011 г.). Разработанная пластичная смазка может быть использована для улучшения экологической обстановки, в частности, снижения шума. Разработанные составы антикоррозионных пленок (патенты РБ 17784, 19966 и РФ 2542098) на основе полимерных матриц, пластифицированных отработанными пластичными смазочными материалами (технологический регламент на изготовление и применение ингибированных полимерных материалов от 4 января 2014 г.), могут эффективно использоваться для консервации металлоизделий.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Неверов, А. С. Влияние градиента температуры на электрохимическую коррозию / А. С. Неверов, И. В. Приходько, Ж. Н. Громько // *Материалы. Технологии. Инструменты.* – 2009. – Т. 14, №4. – С. 77–80.
2. Неверов, А. С. Влияние внешних факторов на процесс коррозии алюминиевого сплава АД–31 / А. С. Неверов, И. В. Приходько, А. П. Павленко // *Вестник ГГТУ им. П. О. Сухого.* – 2010. – Т. 40, №1. – С. 49–54.
3. Неверов, А. С. Композиционные материалы смазочно-охлаждающего действия на основе коллоидных растворов полиэтилена в жидких углеводородах / А. С. Неверов, И. В. Приходько, Ю. А. Воробьев, Ж. Н. Громько // *Вестник Белорусско-Российского университета.* – 2010. – Т. 29, №4. – С. 84–89.
4. Приходько, И. В. Композиционный материал для защиты от термоградиентной коррозии / И. В. Приходько // *Горная механика и машиностроение.* – 2012. – №1. – С. 99–108.
5. Приходько, И. В. Влияние состава композиционного материала на его физико-механические и эксплуатационные свойства / И. В. Приходько, А. С. Неверов // *Горная механика и машиностроение.* – 2013. – №4. – С. 57–61.
6. Приходько, И. В. Особенности коррозионных процессов в ингибированных средах / И. В. Приходько, А. С. Неверов, А. В. Белкин // *Вестник Гродненского государственного университета им. Я. Купалы.* – Сер. 6. Техника. – 2013. – №3(158). – С. 63–69.
7. Приходько, И. В. Реологические и трибологические свойства пластичного смазочного композиционного материала на основе отработанной смазки / И. В. Приходько, А. С. Неверов, А. П. Приходько // *Горная механика и машиностроение.* – 2014. – №4. – С. 94–100.

### Статьи в научных журналах

8. Неверов, А. С. Применение ресурсосберегающих технологий в создании модифицированных смазочных материалов / А. С. Неверов, О. А. Ермолович, И. В. Приходько // *Композитные материалы.* – 2009. – Т. 3, №2. – С. 51–54.
9. Неверов, А. С. Некоторые особенности преподавания раздела «электрохимия» студентам технических специальностей / А. С. Неверов, И. В. Приходько // *Хімія: проблеми викладання.* – 2012. – № 4. – С. 44–50.

### Статьи в сборниках научных трудов и материалов конференций

10. Неверов, А. С. Применение метода симплекс-решетчатого планирования в учебной работе и научных исследованиях / А. С. Неверов, И. В. Приходько //

Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях: материалы XIII междунар. науч. конф. студентов и аспирантов, Гомель, 15–17 марта 2010 г. / УО «Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины»; редкол.: О. М. Демиденко (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2010. – Ч.2. – С. 53–55.

11. Неверов, А. С. Создание модифицированного смазочного материала антикоррозионного и антифрикционного действия / А. С. Неверов, И. В. Приходько // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-технич. конф.*, Могилев, 22–23 апреля 2010 г. / ГУ ВПО «Белорус.-Рос. ун-т»; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2010. – Ч.1. – С. 224–225.

12. Приходько, И. В. Реологические и теплофизические свойства наполненных смазок / И. В. Приходько // *Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. конф. молодых ученых*, Могилев, 18–19 ноября 2010 г. / ГУ ВПО «Белорус.-Рос. ун-т»; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2010. – С. 64.

13. Романович, И. Н. Влияние пластификаторов на физико-механические свойства композиционных материалов / И. Н. Романович, И. В. Приходько // *Актуальные вопросы физики и техники: материалы первой Республиканской научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов* / Гомель, 17 апреля 2012 г. / УО «Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины»; редкол.: А. В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2012. – С. 53–55.

14. Белкин, А. В. Антикоррозионный композиционный материал на основе полиолефинов и отработанной смазки / А. В. Белкин, И. В. Приходько // *Актуальные вопросы физики и техники: материалы первой Республиканской научн. конф. студентов, магистрантов и аспирантов* / Гомель, 17 апреля 2012 г. / УО «Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины»; редкол.: А. В. Рогачев (гл. ред.) [и др.]. – Гомель: 2012. – С. 10–12.

15. Приходько, И. В. Зависимость физико-механических свойств материала от состава композиции / И. В. Приходько, А. С. Неверов // *Актуальные проблемы естественных наук и их преподавания: материалы междунар. научн.-практич. конф. посвященной 100-летию МГУ им. А. А. Кулешова*, Могилев, 20–22 февраля 2013 г. / Могилевский гос. ун-т им. А. А. Кулешова; редкол.: Т. Ю. Герасимова [и др.]. – Могилев, 2013. – С. 15–18.

16. Приходько, И. В. Математическое моделирование структуры полимерного композиционного материала / И. В. Приходько, А. С. Неверов, А. П. Приходько // *Математическое образование: современное состояние и перспективы: материалы междунар. конф. посвященной 95-летию со дня рождения А. А. Столяра*, Могилев, 19–20 февраля 2014 г. / Могилевский гос. ун-т имени А. А. Кулешова; ред.: В. В. Казаченок [и др.]. – Могилев, – 2014. – С. 355–358.

17. Приходько, И. В. Применение ресурсосберегающих технологий на транспорте / И. В. Приходько // X междунар. науч.-практ. конф. «TRANS-MECH-ART-CHEM», Москва, 18 мая 2014 г. / Московский гос. ун-т путей сообщения; под общ. ред. В. Н. Глазкова [и др.]. – Москва, 2014. – С. 91–92.

18. Приходько, И. В. Влияние добавки графита на реологические свойства отработанной железнодорожной смазки / И. В. Приходько, А. С. Неверов, Л. В. Самусева // VII междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы безопасности на транспорте», Гомель, 26 – 27 ноября 2015 г. / Белорус. гос. ун-т трансп.; редкол.: В. И. Сенько (гл. ред.) [и др.]. – Гомель, 2015. – С. 151–152.

### **Тезисы докладов**

19. Печерский, Г. Г. Создание и исследование полимерных антикоррозионных композиционных материалов / Г. Г. Печерский, И. В. Приходько, А. С. Неверов // Полимерные композиты и трибология (ПОЛИКОМТРИБ-2011): тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф., Гомель, 27 – 30 июня 2011 г. / ИММС НАН Б; редкол.: В. Н. Адери́ха [и др.] – Гомель. 2011. – С. 177.

### **Патенты**

20. Полимерная композиция для изготовления антикоррозионного и гидроизоляционного материала: пат. ВУ 17784 / А. С. Неверов, Ж. Н. Громько, И. В. Приходько. – Оpubл. 30.12.2013.

21. Полимерная композиция для изготовления электро-гидроизоляционного материала: пат. RU 2542098 / А. С. Неверов, И. В. Приходько. – Оpubл. 20.02.2015.

22. Модификатор трения : пат. RU 2599005 / А. С. Неверов, И. В. Приходько, В. В. Макеев, А. П. Приходько. – Оpubл. 08.09.2016.

23. Полимерная композиция для изготовления электро- и гидроизоляционного материала : пат. ВУ 19966 / А. С. Неверов, И. В. Приходько. – Оpubл. 30.04.2016.

## РЭЗІЮМЭ

Прыходзька Іван Васільевіч

### «Мадыфікаваны кампазіцыйны матэрыял для транспартнага машынабудавання на аснове адпрацаваных мінеральных змазак»

**Ключавыя словы:** рэцыклінг, пластычныя змазкі, антыфрыкцыйны матэрыял, дабаўка - мадыфікатар.

**Мэта працы:** распрацоўка новых шматфункцыянальных кампазіцыйных матэрыялаў шляхам мадыфікавання мэтавымі дадаткамі пластычных змазак чыгуначнага прызначэння, якія выпрацавалі свой тэхнічны рэсурс.

**Метады даследавання:** склад, марфалогію і структуру кампазіцыйных матэрыялаў ацэньвалі метадам пластаметрыі (сцісківаючы пластаметр), вісказіметрыі (вісказіметр Брукфільда), вывучалі трыбалагічныя ўласцівасці, выкарыстоўвалі патэнцыястатычны метад, метады даследавання дэфармацыйна-трывальных і ахоўных характарыстык.

**Атрыманыя вынікі:** даследаваны фізіка-механічныя ўласцівасці адпрацаваных кансістэнтных чыгуначных змазак. Вызначана неманатоная змена вязкасці адпрацаваных чыгуначных змазак пры нападзенні графітам. Яе зніжэнне сведчыць аб дасягненні гранічнага запаўнення дысперснымі часціцамі графіту ячэяк каркасу кансістэнтнай змазкі, створанага малекуламі загушчальніка, з наступным яго разбурэннем. Устаноўлена, што адпрацаваная змазка можа знайсці прымяненне ў якасці асновы змазачных матэрыялаў для цяжнагружаных вузлоў трэння. Вызначаны аптымальныя рэжымы перапрацоўкі палімерных кампазіцыйных матэрыялаў на аснове паліэтылену нізкага ціску (ПЭНЦ) і пластычных адыходаў чыгуначнага транспарту. Вывучана залежнасць трываласці матэрыялу ад утрымання ў ім пластыфікатару. Устаноўлены ўплыў рознасці тэмператур на працяканне каразійных працэсаў. Паказана, што рэгулюючы тэмпературу асяроддзя можна кіраваць інтэнсіўнасцю працэсу аддзялення вадкай фазы, а галоўнае, рэгуляваць колькасць аддзяляемага пластыфікатару з распрацаваных матэрыялаў (палімерных плёнак). Вывучаны антыкаразійныя ўласцівасці плёнак. Тэарэтычна і эксперыментальна абгрунтаваны рэцыклінг адпрацаваных чыгуначных змазак, выкарыстанне якіх у якасці асновы пры стварэнні новых антыфрыкцыйных змазак дазволіла павысіць у 2 разы іх проціізносныя ўласцівасці, а ў якасці мадыфікатару плёнкавага ўпакаванага антыкаразійнага матэрыялу палепшыць эксплуатацыйныя характарыстыкі: у 1,5 разы павысіць трываласць і паменшыць хуткасць карозіі абараняемых вырабаў у 3 разы.

**Вобласць прымянення:** машынабудаванне, хімічная прамысловасць, станкабудаванне, чыгуначны транспарт.

## РЕЗЮМЕ

Приходько Иван Васильевич

### «Модифицированный композиционный материал для транспортного машиностроения на основе отработанных минеральных смазок»

**Ключевые слова:** рециклинг, пластичные смазки, антифрикционный материал, модифицирующая добавка.

**Цель работы:** разработка новых многофункциональных композиционных материалов путем модифицирования целевыми добавками пластичных смазок железнодорожного назначения, выработавших свой технический ресурс.

**Методы исследования:** состав и свойства композиционных материалов оценивали методом пластометрии (сжимающий пластометр), вискозиметрии (вискозиметр Брукфильда), исследовали трибологические свойства, применяли потенциостатический метод, методы исследования деформационно-прочностных и защитных характеристик.

**Полученные результаты:** исследованы физико-механические свойства отработанных консистентных железнодорожных смазок. Определено немонотонное изменение вязкости отработанных железнодорожных смазок при наполнении графитом. Ее снижение свидетельствует о достижении предельного заполнения дисперсными частицами графита ячеек каркаса консистентной смазки, образованного молекулами загустителя, с последующим его разрушением. Установлено, что отработанная смазка может найти применение в качестве основы смазочного материала для тяжело нагруженных узлов трения. Определены оптимальные режимы переработки композиционных полимерных материалов на основе ПЭНД и пластичных отходов железнодорожного транспорта. Изучена зависимость прочности материала от содержания в нем пластификатора. Установлено влияние разности температуры на протекание коррозионных процессов. Показано, что регулируя температуру среды можно управлять интенсивностью процесса отделения жидкой фазы, а главное, регулировать количество отделяемого пластификатора из разработанных материалов (полимерных пленок). Изучены антикоррозионные свойства пленок. Теоретически и экспериментально обоснован рециклинг отработанных железнодорожных смазок, использование которых в качестве основы при создании новых антифрикционных смазок позволило повысить в 2 раза их противоизносные свойства, а в качестве модификатора пленочного упаковочного материала антикоррозионного назначения улучшить эксплуатационные характеристики: в 1,5 раза повысить прочность и в 3 раза уменьшить скорость коррозии защищаемых изделий.

**Область применения:** машиностроение, химическая промышленность, станкостроение, железнодорожный транспорт.

## SUMMARY

Prihodko Ivan Vasilyevich

### **A modified composite material on the base of waste mineral greases for transport engineering**

**Keywords:** recycling, plastic lubricant, antifriction material, modifying additive.

**The aim** of the work was to: develop new multifunctional composite materials by modifying the target additive greases for railway purposes, to strengthen technical resources of the industry.

**Research methods:** composition, morphology and structure of the composites were estimated with the help of the method of plastometry (compressive plastometer), viscometry (using Brookfield viscometer), tribological properties were studied by the quiescent friction test machine, potentiostatic method and the research methods for determining deformation, strength and protective characteristics of the materials.

**The results:** physicomechanical properties of the waste train greases were studied. Non-monotonous changes in viscosity of the waste train lubricants filled by graphite were determined. The reduced viscosity proves that the cells of the grease skeleton formed by the molecules of the thickener have been filled to a maximum by the dispersed graphite particles after which said thickener undergoes subsequent destruction. The dependence of the material strength on the plasticizer content in it was studied. It was found out that the used grease can find application as a lubricant for friction units. By adjusting the temperature of the environment it is possible to control the separation process intensity of the liquid phase, and to regulate the amount of isolated plasticizer, which is a very important factor. Anticorrosion properties of the polymer films formed of these materials were examined. The effect of temperature difference on the course of corrosion processes was studied. The theoretical and experimental bases of recycling waste railroad lubricants were substantiated for application as the base for developing new antifriction lubricants. This has made possible to raise twice as much their wear resistance properties, and improve modifying capacity of anticorrosion packaging film materials: increase 1.5 times strength, and reduce 3 times the corrosion rate.

**Fields of application:** mechanical engineering, chemical industry, machine-tool industry, railway transport.



Научное издание

Приходько Иван Васильевич

**Модифицированные композиционные материалы  
для транспортного машиностроения на основе  
отработанных минеральных смазок**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)

Подписано в печать .04.2017 г. Формат бумаги 60×84 1/16.  
Бумага офсетная №1. Гарнитура Таймс. Напечатано на ризографе.  
Усл. Печ. Л. 1,4. Тираж 60 экз. Зак. № 4–17

---

ИММС НАН Беларуси, 246050, г. Гомель, ул. Кирова, 32А,  
Свидетельство о государственной регистрации издателя  
№ 1/244 от 25.03. 2014