

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 218.010.02, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР),

по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 23.12.2019 № 6

О присуждении Больших Ивану Валерьевичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Идентификация металлополимерных трибосистем с композиционным покрытием холодного отверждения» по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах» принята к защите 11.10.2019 г., протокол № 5, диссертационным советом Д 218.010.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РОСЖЕЛДОР, 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, д. 2. Приказ Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012), далее – ФГБОУ ВО РГУПС.

Соискатель Больших Иван Валерьевич, 1990 г. р., в 2012 г. с отличием окончил Ростовский государственный университет путей сообщения по специальности «Локомотивы» с присуждением квалификации инженер путей сообщения. С 2014 г. по 2018 г. обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС) по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах». С 2013 г. работает в ФГБОУ ВО РГУПС в должности ассистента, старшего преподавателя, а с 2019 г. и по настоящее время – доцента кафедры «Тяговый подвижной состав».

Диссертация выполнена на кафедре «Технология металлов» в ФГБОУ ВО РГУПС.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Кохановский Вадим Алексеевич, профессор кафедры «Технология металлов» ФГБОУ ВО РГУПС.

Официальные оппоненты: Бутенко Виктор Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ); Памфилов Евгений Анатольевич – доктор технических наук, профессор заведующий кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО БГТУ) – дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова»), в своем положительном заключении, подписанном заведующим кафедрой «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» кандидатом технических наук, доцентом Сиротиним Павлом Владимировичем и профессором кафедры «Автомобили и транспортно-технологические комплексы» доктором технических наук Шульгой Геннадием Ивановичем и утвержденном проректором по научной работе и инновационной деятельности Кравченко О.А., указала, что диссертация Больших И.В. является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения и разработки идентификации металлополимерных трибосистем с композиционным покрытием холодного отверждения, повы-

ющих надежность, долговечность трибосопряжений современных машин и механизмов, что имеет существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны. Диссертация отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Больших Иван Валерьевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.04 «Трение и износ в машинах».

Соискатель имеет 14 опубликованных печатных работ, в том числе по теме диссертации 14 работ, из них опубликованных в изданиях из перечня ВАК – 4 работы, в издании, включенном в базу данных Web of Science и Scopus – 1 работа. Все публикации достаточно полно отражают основные результаты исследований как триботехнических параметров разработанных композиционных покрытий, так и их физико-механические и технологические свойства. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Кохановский В.А. Технология нанесения композиционных покрытий / В.А. Кохановский, И.В. Больших, Д.В. Глазунов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. - № 4(60). – С. 8 - 13.

2. Кохановский В.А. Антифрикционные композиционные покрытия с эпоксидной матрицей / В.А. Кохановский, И.В. Больших, Е.С. Новиков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. - № 1(61). – С. 8 - 13.

3. Кохановский В.А. Адгезия антифрикционных полимерных покрытий на основе фенилона / В.А. Кохановский, И.В. Больших, Д.С. Мантуров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. - № 4(68). – С. 16 - 20.

4. Больших И.В. Зависимость параметров композита от нагрузки отверждения / И.В. Больших, В.А. Кохановский, Д.С. Мантуров // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2018. - № 4(72). – С. 25 - 31.

5. Kokhanovskii V.A. Lubricator casings for Locomotive wheel rims / V.A.Kokhanovskii, I.A. Maiba, D.V Glazunov, I.V. Bol'shikh // Russian Engineering Research. 2016. Т. 36. № 5. С. 364 – 365.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

- **ведущей организации** – ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова» (ФГБОУ ВО «ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова»). Отзыв положительный. Замечания: **1.** Неясно, почему автор вводит понятие контактной температуры в трибосопряжении при нанесении на одну из контактирующих поверхностей разработанное антифрикционное полимерное покрытие. Им не приводятся расчеты температурной вспышки на контакте для тяжелонагруженных трибосопряжений и не используется понятие средней температуры поверхности трения. Автор недостаточно обоснованно использует формулу Ньютона-Рихмана для определения количества теплоты с поверхности наружного кольца подшипника в окружающую среду и использует ее для определения контактной температуры. **2.** Автором разработано композиционное полимерное покрытие, армированное тканями – саржей и атласом с выплетенными фторопластовыми нитями с добавками порошка меди и турбинного масла Тп-22-с, которые влияют на механизм трения данного покрытия. Приведены коэффициенты трения в трибосопряжении композиционное покрытие–металл, равные 0,015...0,050, и близкие к гидродинамическому трению. Однако автор не дает объяснения полученным

результатам. **3.** Автор производил моделирование тепловых процессов пары трения с антифрикционным композиционным покрытием в компьютерном комплексе COMSOL Multiphysics. На рис. 2.7, 2.8, 2.9 диссертации представлены картины тепловых полей, из которых неясно, как происходит разделение потоков в покрытии и контртеле и какие контактные температуры возникают в трибосопряжении антифрикционное композиционное покрытие–металл при различных режимах испытания. **4.** Автор использовал симплекс-решетчатые планы для определения оптимальных свойств; прочности образцов на изгиб, адгезионной прочности клеевого шва, образованного матричным связующим с металлическим субстратом, вязкоупругих. Однако им не оценивалось влияние на эти свойства армирующих тканей. **5.** В диссертации имеются неточности в указании ГОСТ, неудачно сформулированные термины. На стр.79 приведен ГОСТ101821-2001 на турбинное масло Тп-22-с, а следовало указать ТУ 38.10821-2013. На стр.4 приведен неудачно сформулированный термин «старящиеся сплавы», следовало указать «сплавы, подверженные старению». На стр. 5, 55 приведен термин «копсулированный смазочный материал». В диссертации применялось турбинное масло Тп-22-с в виде добавок к композиционному покрытию без капсул. По этой причине применять данный термин не следовало. На стр.35, 36, 37 и др. применяется термин «тепло», следовало применять термин «теплота». На стр.40, 41, 44 и др. указана марка стали «ШХ-15», следовало указать «ШХ15». На стр.61 указана размерность «об/мин», следовало указать «мин-1» и др.;

**- официального оппонента – д.т.н., профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ) Бутенко Виктора Николаевича.** Отзыв положительный. Замечания: **1.** В научном плане диссертационная работа была бы более значимой, если бы автор во второй главе сформулировал рабочую гипотезу или выдвинул положение о возможности разработки фторопластсодержащих антифрикционных покрытий повышенной технологичности, обеспечивающих возможность нанесения их на крупногабаритные детали трибосистем без термообработки. **2.** Не ясна цель двух способов расчёта температуры в зоне контакта пар трения (глава 2); отсутствуют комментарии по графической интерпретации влияния режимного параметра  $PV$  на температуру в зоне контакта трибосистемы для разных материалов контртел (рис. 2.2). **3.** Из текста диссертации не ясно, чем обоснован выбор типов ткацких плетений для армирующей компоненты композиционного покрытия. **4.** По моему мнению, для повышения эффективности трибосистемы необходимо расширить номенклатуру масел, как компонента матричного связующего. **5.** В работе недостаточно полно освещены технологические вопросы покрытия, отсутствуют данные о времени отвержения (стр. 77–78). **6.** В работе указана адекватность регрессионных моделей (формулы 4.9, 4.13–4.19), но не приведены доказательства этого. Не указаны диапазоны изменения контактного напряжения  $\sigma$  и скорости скольжения  $V$ , при которых справедливы полученные зависимости (4.10), (4.11), (4.14), (4.16), (4.19). **7.** Из формулы (4.10) следует, что контактные напряжения в паре трения оказывают незначительное влияние на температуру. В диссертации этот факт не объяснён. **8.** В диссертации на стр. 69 автор отмечает, что поверхность образцов под нанесение покрытий после обработки наждачной бумагой имела  $Ra = 1,187 - 1,201$  мкм, но не даёт объяснение тому, как и на каком приборе была измерена шероховатость с такой точностью. **9.** В диссертации встречаются некорректные выражения и опечат-

ки. Например: «твёрдые шероховатости» (стр. 15), «общее среднее» (стр. 55), «необходимого требуемого класса точности» (стр. 66), стр. 10, 70, 110, 114. В нумерации формул имеются пропуски (нет формул (4.13), (4.15), (4.17), (4.18);

- **официального оппонента** – д.т.н., профессора заведующего кафедрой «Триботехническое материаловедение и технологии материалов» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО БГТУ) **Памфилов Евгения Анатольевича**. Отзыв положительный. Замечания: 1. Выбор образцов для исследований в виде радиально-упорных подшипников скольжения представляется недостаточно обоснованным. 2. При выполнении тепловых расчётов не были учтены увеличение длины контактов, происходящее вследствие наличия конусности отверстия во втулке. 3. Экспериментальные исследования проводились только на одном типе турбинного масла, тогда как представляется более перспективным в рассматриваемом случае использовать и более вязкие масла. 4. Главу, посвящённую обоснованию и разработке методики исследований, представляется целесообразным завершить содержательными выводами. 5. Не ясен принцип установления погрешности результатов экспериментов, представленных в таблице 3.1. текста диссертационной работы. 6. В работе отсутствуют результаты исследования влияния шероховатости контактирующих поверхностей на триботехнические параметры рассматриваемых фрикционных соединений.

**На автореферат поступило 7 отзывов. Все отзывы положительные.**

1. **Отзыв** д.т.н., проф., главного научного сотрудника лаборатории транспорта, композиционных материалов и конструкций ФИЦ «Южный научный центр РАН» **Шевцова Сергея Николаевича**. Замечания: 1. Невозможность расшифровки картинки теплового поля в черно-белом исполнении на рис.2. 2. Отсутствие в автореферате данных о вкладке вязкоупругих свойств покрытия в формирование зазора сопряжения.

2. **Отзыв** д.т.н., профессора кафедры «Основы конструирования механизмов и машин» ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» **Шустера Лёвы Шмульевича**. Замечание: 1. Не указано, как определялась фактическая температура фрикционного контакта, у формулы (13) не указано время или путь изнашивания, у формулы (15) не указан критерий потери работоспособности и т.п.

3. **Отзыв** д.т.н., главного научного сотрудника ИМАШ РАН **Сахвадзе Геронтия Жоровича**. Замечания: 1. В автореферате не в полной мере описана методика исследования адгезионной прочности и вязкоупругих свойств композиционного покрытия. 2. Из автореферата не ясно, насколько широка область применения полученных регрессионных моделей для оценки триботехнических параметров покрытий.

4. **Отзыв** д.т.н., профессора кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ) **Задорожной Елены Анатольевны** и к.т.н., доцента **Леванова Игоря Геннадьевича**. Замечания: 1. В автореферате указано, что выполнен аналитический расчёт температуры в зоне трения радиально-упорных конических подшипников скольжения. Однако расчетная схема (рис. 1) соответствует радиальному подшипнику. 2. Не ясно, на каком основании принято допущение, что изменение температуры в осевом направлении отсутствует? 3. Из автореферата не следует, как был определен коэффициент теплопроводности нового материала, который используется в модели (8)? 4. В автореферате не указаны границы допустимой температуры для разработанных полимерных покрытий.

**5. Отзыв** к.т.н, доцента, заведующего кафедрой «Наземные транспортно-технологические средства» ФГБОУ ВО СамГУПС **Свечникова Андрея Александровича**. Замечание: **1.** На мой взгляд, допущена грамматическая неточность в формулировке научной новизны в п.3. и п.4. Не хватает глагола в предложение.

**6. Отзыв** д.т.н., профессора кафедры «Техническая эксплуатация автомобилей», ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет» **Копченкова Вячеслава Григорьевича**. Замечания: **1.** Недостаточно обоснован выбор компонентов матричного связующего. **2.** По моему мнению, выбранный угол конусности радиально-упорного подшипника может привести к заклиниванию. **3.** На рис. 3 автореферата, в качестве одного из эксплуатационных параметров выбрана ползучесть. Хочу заметить, что физико-механической характеристикой материала является не ползучесть, а вязкоупругая деформация.

**7. Отзыв** д.т.н., профессора, заведующего кафедрой «Трибологии и технологии ремонта нефтегазового оборудования» ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина» **Елагиной Оксаны Юрьевны**. Замечания: **1.** Из автореферата неясно точное процентное содержание антифрикционных фторопластовых нитей и прочных – полиимидных. **2.** Не в полной мере раскрыта природа деградиционных процессов, которые происходят в антифрикционных полимерных покрытиях, работающих в режиме граничного трения

Выбор ведущей организации определяется специализацией и достаточно высоким уровнем ее лабораторий в рассматриваемой области исследований, значительным количеством эффективных разработок и широким кругом публикаций ее сотрудников в ведущих специализированных изданиях. Выбор официальных оппонентов обосновывается их значительной публикационной активностью в области трения и изнашивания трибосистем, методов расчета и разработки узлов трения различных машин и механизмов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

- **разработаны:** оптимальный состав матричного материала холодного отверждения и технология его применения для антифрикционных фторопластосодержащих композиционных покрытий, а также концепция расширения области применения композиционных полимерных покрытий с матрицей холодного отверждения;

- **предложен:** аналитический расчёт для оценки допустимого теплового порога применимости полимерного покрытия в виде конечной формулы и результаты компьютерного моделирования в виде решения тепловой задачи методом конечных элементов;

- **доказана:** эффективность методики определения пороговой температуры в металлополимерной трибосистеме на основе результатов удовлетворительной сходимости теоретических расчётов с данными экспериментальных исследований;

- **введено** понятие: «методика многокритериальной оптимизации на основе симплекс-решётчатых планов с идентичными координатами».

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

- **доказана:** возможность применения разработанных антифрикционных полимерных покрытий с матрицей холодного отверждения в рамках, установленных при исследованиях температурных границ.

- **применительно** к проблематике диссертации результативно использованы методы: аналитического и компьютерного моделирования в комплексе COMSOL Multiphysics для определения предельной стационарной контактной температуры покрытия;

- **изложены:** основные физико-механические свойства покрытий, определяющих триботехнические параметры их эксплуатации, в исследованном диапазоне нагрузочно-скоростных режимов;

- **раскрыты:** основные закономерности изменения технологических свойств покрытий (адгезионной прочности и вязкоупругой деформации) от температуры эксплуатации;

- **изучена:** зависимость триботехнических характеристик исследуемых покрытий от нагрузочно-скоростных и температурных режимов эксплуатации;

- **проведена модернизация:** технологических этапов подготовки и нанесения самосмазывающихся фторопластсодержащих покрытий на рабочие контактные поверхности трибосистем.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

- **определены:** нагрузочно-скоростные режимы и область рациональной эксплуатации металлополимерных трибосистем рассматриваемого класса с матрицей холодного отверждения;

- **создана:** оптимальная рецептура полимерного матричного материала холодного отверждения, обеспечивающая адгезионную прочность покрытия и его устойчивую работу в исследованном диапазоне эксплуатационных режимов;

- **представлены:** регрессионные модели зависимости адгезионных, вязкоупругих и триботехнических свойств полимерных фторопластсодержащих композиционных покрытий на основе матричного связующего холодного отверждения для интерполяционных инженерных расчётов;

- **разработаны и прошли удовлетворительные промышленные испытания:** радиально-упорные подшипники скольжения с антифрикционными полимерными композиционными покрытиями в опорном узле бандажировочного станка на Ростовском электровозоремонтном заводе.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

- **теоретические исследования** базируются на классических теплофизических зависимостях (законы Фурье, Ньютона – Рихмана) и на применении стандартной программы для определения контактной температуры методом конечных элементов;

- **экспериментальные исследования:** выполнялись по симплекс-решётчатым и полнофакторным планам с числом параллельных опытов 3-5 и последующей статистической обработкой;

- **идея базируется:** на использование методики многокритериальной оптимизации количественного состава композиционного полимерного материала для антифрикционных покрытий;

- **использованы** симплекс-решётчатые и полнофакторные экспериментальные планы, позволяющие оптимизировать состав покрытий и установить их основные триботехнические свойства;

- **установлена** удовлетворительная сходимость результатов теоретических и экспериментальных исследований порогового значения температуры для надёжного применения антифрикционных покрытий в узлах трения.

**Личный вклад соискателя состоит в:** планировании экспериментальных исследований для определения адгезии покрытий, вязкоупругих и триботехнических свойств композита и обработке полученных результатов; использовании методики многокритериальной оптимизации композиционного состава антифрикционного покрытия на основе симплекс-решётчатых экспериментальных планов; разработке композиционного полимерного покрытия с матричным материалом оптимального состава обеспечивающего устойчивую работу в исследованном диапазоне нагрузочно-скоростных режимов; обработке, обобщении полученных результатов и формировании практических рекомендаций для использования антифрикционных покрытий холодного отверждения.

**Диссертация охватывает** основные вопросы поставленных научных задач, обладает внутренним единством, что подтверждается корректной постановкой цели и задач исследований; содержит новые научные результаты, а также свидетельства личного вклада автора в науку. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

На заседании «23» декабря 2019 года диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Больших И.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научно обоснованные технические разработки по проектированию триботехнических систем с антифрикционными полимерными композиционными покрытиями, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие триботехники, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (ред. от 02.08.2016) «О порядке присуждения ученых степеней» к кандидатским диссертациям, и принял решение присудить Больших Ивану Валерьевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 05.02.04 – «Трение и износ в машинах».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящего в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя диссертационного  
совета Д 218.010.02  
д.т.н., профессор



Шаповалов Владимир Владимирович

Ученый секретарь диссертационного  
совета Д 218.010.02 д.т.н., профессор

Щербак Петр Николаевич