

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

44.2.005.01, 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 12.03.2025 №1

О присуждении Азоян Анаид Иосиповне, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Повышение эксплуатационных свойств функционального полимерного материала путем его модификации» по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах принята к защите 23.12.2024 г. (протокол заседания № 11) диссертационным советом 44.2.005.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения», РОСЖЕЛДОР, 344038, Ростовская область, городской округ город Ростов-на-Дону, город Ростов-на-Дону, площадь Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2., Приказ Минобрнауки РФ № 561/нк от 03.06.2021, далее – ФГБОУ ВО РГУПС.

Соискатель Азоян Анаид Иосиповна, 30 мая 1992 года рождения, в 2015 г. с отличием окончила федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» по специальности «Электрический транспорт железных дорог» с присуждением квалификации инженер путей сообщения. С 2015 г. по 2019 г. проходила очное обучение в аспирантуре ФГБОУ ВО РГУПС по направлению 01.06.01 «Математика и механика», специальность: «Механика деформируемого твердого тела». С 2024 года обучается (на компенсационной основе) в аспирантуре ФГБОУ ВО РГУПС по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах. В настоящее время работает в должности научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории «Нанотехнологии и новые материалы» научно-испытательного центра «Нанотехнологии и трибосистемы» научно-исследовательской части ФГБОУ ВО РГУПС (РОСЖЕЛДОР).

Диссертация выполнена на кафедре «Теоретическая механика» ФГБОУ ВО РГУПС, РОСЖЕЛДОР.

Научный руководитель – Иваночкин Павел Григорьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВО РГУПС.

Официальные оппоненты: Елагина Оксана Юрьевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Трибология и технология ремонта нефтегазового оборудования» ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» (ФГАОУ ВО РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина (НИУ)), г. Москва;

- Бурлакова Виктория Эдуардовна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Химия» ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (ФГБОУ ВО ДГТУ), г. Ростов-на-Дону.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Российский

государственный политехнический университет имени М.И. Платова» (ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова), г. Новочеркасск – в своем положительном заключении, подписанном Исаковым Владимиром Семеновичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Автомобили и транспортно-технологические комплексы», Гринько Дмитрием Александровичем, кандидатом технических наук, доцентом, и.о. заведующего кафедрой «Технология машиностроения, технологические машины и оборудование», ученым секретарем совета вуза Холодковой Ниной Николаевной и утвержденном Пузиным Владимиром Сергеевичем, кандидатом технических наук, доцентом, проректором по научной работе и инновационной деятельности ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова», указала, что диссертация Азоян А.И. «Повышение эксплуатационных свойств функционального полимерного материала путем его модификации» представляет собой самостоятельную, завершенную научно-квалификационную работу, в которой изложены новые научно обоснованные технические, технологические решения и разработки, обеспечивающие повышение эксплуатационных свойств функционального полимерного материала путем его модификации, что имеет существенное значение для повышения долговечности узлов трения и развития станкостроения, авиационной промышленности, сельхозмашиностроения и других машиностроительных областей страны. Содержание диссертации достаточно полно отражено в автореферате и в опубликованных работах. Диссертация соответствует паспорту специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах. Диссертация соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Азоян Анаид Иосиповна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Соискатель имеет 23 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации – 18 работ, из них в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ – 3 работы. Объем опубликованных работ по теме диссертации составляет 6,03 п.л. Авторский вклад – 3,05 п.л. Все публикации достаточно полно отражают основные результаты исследований. Они посвящены расширению области применения модифицированных функциональных полимерных материалов, используемых при восстановлении поверхности тяжело нагруженных узлов трения, путем установления основных закономерностей физико-химических процессов, происходящих в их зоне трения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации. В работе имеются ссылки авторов и источники заимствования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Механические и трибологические характеристики модифицированной эпоксидной смолы наноразмерной шпинелью железа / П.Г. Иваночкин, Д.С. Мантуров, **А.И. Азоян** [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 3. – С. 6–17. – DOI 10.46973/0201–727X_2022_3_6.

2. Исследование кинетики и механизма формирования вторичных структур модифицированной эпоксидной смолы / Д.С. Мантуров, П.Г. Иваночкин, **А.И. Азоян** [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4. – С. 41–51. – DOI 10.46973/0201–727X_2022_4_41.

3. Экспериментальное исследование влияния температуры на физико-механические свойства композиционного материала / **А.И. Азоян**, Д.С. Мантуров, Д.Н. Шишияну [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – №1 (93). – С. 186–195. – DOI 10.46973/0201–727X_2024_1_186.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

– **ведущей организации** – ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет имени М.И. Платова» (ФГБОУ ВО ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова). Отзыв положительный. Замечания: **1.** Автором диссертации представлена модель контактного взаимодействия в прямой паре взаимодействия жесткого штампа и изотропного упругого двойного слоя с коэффициентом перекрытия меньше 1. Согласно приведенной схеме под действием штампа может происходить пластическое оттеснение покрытия с образованием валика, которое затрудняет перемещение штампа по упругому покрытию. Автору следовало бы рассмотреть модель контактного взаимодействия жесткого штампа и изотропного упругого двойного слоя в обратной паре трения, в которой пластическое оттеснение покрытия с образованием валика не затрудняет перемещение штампа по упругому двойному слою. **2.** Автором решена задача термоупругости с использованием уравнений Дюгамеля-Неймана и стационарного уравнения теплопроводности. Приведено уравнение распределение температуры верхнего слоя покрытия. Однако не определена суммарная температура вспышки и температура в зоне контакта трибосопряжения штамп-покрытие. **3.** В диссертации приведен закон трения Амонтона-Кулона. Автор рассматривает двухслойное покрытие как основание Фусса-Винклера и не приводит в диссертации информации о составляющих коэффициента трения – адгезионной и деформационной (гистерезисной) составляющих. По этой причине не ясно: деформационная или гистерезисная составляющие влияют на коэффициент трения трибосопряжения с предлагаемым покрытием. **4.** В работе применены термины, не соответствующие ГОСТ 27674-88 «Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения» и имеют место неудачно сформулированные фразы. Так, на стр. 26, 27, 37 приведены термины «смазка», «пленки смазок», «сухое трение», а согласно ГОСТ 27674-88 должно быть «смазочный материал», «пленки смазочных материалов», «трение без смазочного материала»; на стр. 27 приведено «окисные плёнки», а должно быть «оксидные плёнки»; на стр. 31 «улучшение адгезии» нужно использовать «уменьшение адгезии»; на стр.43 приведено «переходящей в тепло», но нужно использовать «переходящей в теплоту» и др. **5.** В литературном обзоре диссертации отсутствуют ссылки на научные работы профессоров, докторов технических наук Дорофеева Ю.Г. по материаловедению порошковых материалов, Кутькова А.А., Авдеева Д.Т., Гоголева А.Я. по трибологии полимерных материалов и покрытий.

– **официального оппонента** – д.т.н., профессора, заведующей кафедрой «Трибология и технологии ремонта нефтегазового оборудования» ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина» (г. Москва) **Елагиной Оксаны Юрьевны**. Отзыв положительный. Замечания: **1.** Расчет напряженно-деформированного и теплового состояний узла трения «накладка направляющей поворотного стола – станина станка» горизонтально-расточного станка 2А622, выполненный в разделе 5.1 на основе численного решения контактной задачи раздела 2.4, показал, что применение состава смола ЭД-20 + 6 % шпинель + 6 %

ПТФЭ обеспечивает наименьшее значение температуры разогрева полимерного слоя. Это, согласно выводу раздела 5.1, «способствует улучшению механических свойств и повышению устойчивости к термическому разложению». Однако анализ результатов трибологических испытаний главы 4 показывает, что снижение температуры разогрева приводит к существенному росту коэффициента трения, что также отмечено в работах [181–182] (см. раздел 4.2). Остается не ясно, каким образом рост коэффициента трения при снижении температуры разогрева контактного слоя приведет к повышению износостойкости накладки. **2.** При выборе компонентов для состава композиционного материала в разделе 3.2 указан ряд термопластичных полимеров, из которых была выбрана эпоксидно-диановая смола марки ЭД-20. Однако остается не ясным, на основании каких данных был сделан данный выбор и какие критерии были взяты для его обоснования. Также отсутствует сравнение армирующих наполнителей при обосновании выбора шпинели металлов (Mn, Mg, Fe). **3.** При проведении трибологических испытаний на трибометре TRB (Anton Paar) по схеме испытаний «шар – диск» и машине трения торцевого типа по схеме «палец – плоский диск» образцы исследованных композитов изнашивались при разном контактном давлении: 58,8 – 88,8 МПа (стр. 67) и 0,3 МПа (стр. 70) соответственно. Результаты испытаний показали, что диапазоны значений коэффициента трения существенно отличаются: 0,08-0,15 (рисунок 4.1) и 0,18-0,76 (рисунок 4.2) соответственно. Это указывает на существенный вклад в формирование антифрикционных свойств температуры разогрева контактной поверхности. Однако из итоговых выводов по работе не ясно, как был учтен этот факт при оценке эффективности разработанного полимерного материала. **4.** В диссертации имеются незначительные погрешности оформления, в частности, видимо, допущена опечатка в подрисуночной подписи к рисунку 4.1.

– **официального оппонента** – д.т.н., профессора, заведующей кафедрой «Химия» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» (г. Ростов-на-Дону) **Бурлаковой Виктории Эдуардовны**. Отзыв положительный. Замечания: **1.** В п. 2.1 в граничных условиях постановки контактной задачи указан конвективный теплообмен с окружающей средой. Учитывая, что горизонтально-расточной станок имеет сложную конструкцию с множеством деталей, автором не указано влияние температуры узла трения «накладка направляющей поворотного стола – станина станка» на отдельные узлы системы. **2.** В главе 4 проведена оценка морфологии поверхности и элементного состава вторичных структур с использованием высокоточного метода растровой электронной микроскопии. На рисунке 4.12 (стр. 94) представлен общий вид сформированного образования на поверхности дорожки трения, а также характерный электронный спектр и концентрация перенесенных химических элементов. Однако не указаны размеры «островков» вторичных структур и общая площадь заполнения продуктами фрикционного переноса дорожки трения стального контртела. **3.** При оценке физико-механических характеристик исследуемых композиционных материалов автор определяет ряд необходимых показателей: твердость, модуль упругости, коэффициент упругого восстановления, индекс упругости и индекс пластичности. Не ясно, почему автор не определил прочность на разрыв (стандартный для полимеров параметр), что позволило бы сравнить этот показатель со свойствами других композитов. **4.** В определении влияния температуры на физико-механические

свойства исследовался композит ЭД-20 + 6 % шпинели + 6 % ПТФЭ. Автору следовало бы провести сравнительные испытания двух других составов, чтобы оценить разницу анализируемых материалов. **5.** При анализе процесса формирования вторичных структур методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии не совсем ясно, почему происходит дублирование информации в обзорных спектрах.

На автореферат поступило 13 отзывов. Все отзывы положительные.

1. Отзыв д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника «Лаборатория механики деформируемых тел и конструкций» ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» **Чебакова Михаила Ивановича.** Замечания: **1.** Из текста автореферата не понятно, проводился ли статистический анализ данных относительного изменения глубины индентирования S_{IT} (не указана дисперсия, доверительный интервал и прочее). **2.** При описании промышленных испытаний накладок направляющих горизонтально-расточного станка типа 2А622 следовало бы указать толщину нанесенного покрытия и ее соответствие размерам допуска.

2. Отзыв д.т.н., заведующего лабораторией лазерно-индуцированных процессов Самарского филиала ФГБУН Физического института им. Лебедева РАН к **Ярьско Сергея Игоревича.** Замечания: **1.** Из текста автореферата не понятно, на каком основании автор ограничивается регрессионными моделями для двух факторов, хотя на стр. 11 речь идет о трех варьируемых факторах. Для трех варьируемых факторов при построении модели второго порядка число опытов должно быть, как минимум, равно сумме числа опытов в ядре плана плюс один опыт в центре плана и еще по два опыта в «звездных» точках плана на каждый фактор. У автора речь идет о девяти опытах. Явно недостаточно обоснования для перехода к модели с двумя варьируемыми факторами. Кроме того, судя по автореферату, нет данных по оценке адекватности построенной регрессионной модели по критериям Фишера и Стьюдента. Не обоснован переход к модели второго порядка. Ну и наконец, об оптимальности (по какому критерию?) концентрации наполнителей позволили бы судить специальные методы проведения эксперимента в выбранной области изменения факторов, например, градиентный метод «крутого восхождения». Поэтому суждение об оптимальности выбранной концентрации наполнителей, скорее всего, преждевременно. Об оптимальности состава ПКМ весьма категорично заявление на стр. 19 (вывод №2). Да, при составе ПКМ: смола + 6 % шпинель + 6 % ПТФЭ все характеристики лучше, чем для ПКМ без наполнителя, но нигде речь об оптимальности не идет. И последнее: как результат весьма убедительнее бы выглядели уравнения регрессии в натуральном выражении (стр. 11). **2.** На стр. 11 читаем: «...На основании полученных графиков регрессионной модели было установлено, что при увеличении нагрузки наименьшим значением коэффициента трения обладает образец с концентрацией наполнителей 6 % ...». Как в этих 6 % распределено содержание шпинели и ПТФЭ? Далее на стр. 12 говорится о 6 % шпинели и 6 % ПТФЭ. Как это соотносить с вышеприведенными данными, и на каком основании делается вывод о минимальном значении коэффициента трения, никаких дополнительных экспериментов, как отмечалось выше, для этой цели сделано не было.

3. Отзыв к.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ФГБОУ ВО «Омский государственный университет путей сообщения» **Обрывалина Алексея**

Викторовича и к.т.н., доцента кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» ФГБОУ ВО ОмГУПС **Муравьева Дмитрия Валерьевича**. Замечание: **1.** Из текста автореферата непонятно, проверялись ли для двухфакторного ортогонального плана эксперимента уравнения регрессии на адекватность по критерию Фишера, а также на однородность дисперсий параллельных опытов по критерию Кохрена. **2.** На рисунке 13 (стр. 17 автореферата) идет наложение линий относительного изменения глубины индентирования для температуры 25 и 60 °С, что мешает оценить изменение значений при разной температуре с учетом статистических параметров. Автору следовало бы провести анализ влияния температуры на вязкоупругие свойства материала для большего температурного диапазона. **3.** Из текста автореферата непонятно, для какого фиксированного значения концентрации фторопласта (фактор $K_{\phi}(X_2)$) получено уравнение регрессии математической модели (9).

4. Отзыв к.т.н., доцента, заведующего кафедрой «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Приволжский государственный университет путей сообщения» **Свечникова Андрея Александровича**. Замечания: **1.** Из текста автореферата непонятно, на каком основании автор применяет двухфакторный ортогональный план эксперимента, хотя варьируются три фактора: концентрация шпинели, концентрация фторопласта и усилие на инденторе. Кроме того, проверялась ли однородность дисперсии параллельных опытов и уравнений регрессии на адекватность. **2.** На рисунке 9 (стр. 14) представлены результаты оценки морфологии поверхности и анализ элементного состава образованных вторичных структур. Автором не указана средняя занимаемая площадь «островков» вторичных структур на поверхности контртела.

5. Отзыв д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории трибологии ФГБУН «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН» (ИПМех РАН) **Торской Елены Владимировны** и к.т.н., старшего научного сотрудника лаборатории трибологии ФГБУН ИПМех РАН **Морозова Алексея Владимировича**. Замечания: **1.** В автореферате отсутствует информация, которая поясняет выбор армирующих полимер наполнителей, а именно: шпинели металлов и фторопласта в качестве антифрикционной добавки. Так, например, довольно распространено армирование полимеров угле- или стекловолокном, сажей, графитом, молибденом и другими модификаторами, а с целью повышения допустимой температуры эксплуатации эпоксидной смолы часто используется кремний. **2.** В качестве основы полимерного композита выбрана эпоксидная смола с температурой эксплуатации без наполнителей до 150 °С. Почему в работе не используются более стойкие к повышенной температуре полимеры, например, полиэфирэфиркетон с температурой эксплуатации без наполнителей до 250 °С? Отметим, что данный полимер может использоваться в 3D печати, а его модификации малыми добавками наполнителей (в том числе рассматриваемые соискателем) позволят в случае удачной разработки печатать тяжело нагруженные узлы трения под задачи производства. **3.** На рис. 3 а, б на правой нижней оси стоит обозначение а, при этом должно стоять обозначение нагрузки – Р. **4.** В тексте автореферата допущена вводящая в заблуждение неточность: «усилие на штифте было выбрано 0,5, 1,0, 1,5 Н», должно быть: «усилие на шарик диаметром ... было выбрано 0,5, 1,0, 1,5 Н». **5.** На рис. 5 продемонстрировано увеличение твердости и

модуля упругости при добавлении фторопласта в композит (кривая 3) в сравнении с композитом с шпинелью без фторопласта (кривая 2). Почему наблюдается такое поведение? Кривая 3 на рис.5 должна быть между кривой 1 и 2, тогда не будет противоречия с рис.6. **6.** Физико-механические характеристики композита определяются на наноинденторе при нагрузке 10 г на предположительно пирамиду Берковича (тип индентора не указан в автореферате). Почему выбраны малые нагрузки? Вопрос возникает из-за несогласованности рисунков 5 и 6, ответ на который мы предположительно знаем, но хотим услышать его от соискателя. Почему несогласованность между рисунками 5 и 6 должна исчезнуть при использовании больших нагрузок для определения физико-механических свойств данного композита методом индентирования? **7.** На стр. 14 введен неизвестный нам термин «релаксационная твердость». Что понимается под этим термином? Было бы интересно «релаксационную твердость» заменить на общепринятую ползучесть путем смены индентора Берковича на индентор в виде штампа (если позволят держатели NanoTest600) и изучить ползучесть разработанного композита при более высоких температурах, например, до +250 °С.

6. Отзыв д.т.н., профессора, заведующего отделом «Трение, износ, смазка. Трибология» ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» **Албагачиева Али Юсуповича**. Замечания: **1.** Из текста автореферата не ясно, какой именно твердый сплав использовался в исследованиях в качестве контртела. **2.** На рис. 13 автореферата приведены средние значения относительного изменения глубины индентирования композита от 25 до 100 °С. Автору следовало бы провести исследования до полного термического разложения материала (499 °С), чтобы оценить всю динамику процесса влияния температуры на вязкоупругие свойства.

7. Отзыв д.ф.-м.н., профессора, главного научного сотрудника научно-исследовательского института физики ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет» **Козакова Алексея Титовича**. Замечания: **1.** Подписи на некоторых рисунках (рис. 3, 6, 9, 11, 12) и обозначения на них чересчур мелкие, содержат ошибки (например, подпись к рис. 12). **2.** Из текста автореферата остается неясным, какой размер шпинели использовал соискатель.

8. Отзыв д.т.н., профессора кафедры «Дизайн и проектирование в машиностроении» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет» **Тихомирова Виктора Петровича** и д.т.н., доцента, врио заведующего кафедрой «Дизайн и проектирование в машиностроении» ФГБОУ ВО БГТУ **Измерова Михаила Александровича**. Замечания: **1.** В автореферате на стр. 9 говорится, что численное решение контактной задачи осуществлено на основе программы, написанной на макроязыке APDL ANSYS, результаты расчета которой представлены в главе 5, но в описании главы 5 автореферата (стр. 18) представлены только экспериментальные данные анализируемой трибологической системы в режиме трения скольжения, а не решение контактной задачи. **2.** На рис. 3 (стр. 11 автореферата) график а) показывает рост коэффициента трения с ростом нагрузки (при постоянной концентрации фторпласта), а график б) показывает снижение коэффициента трения с ростом нагрузки (при постоянной концентрации шпинели). Как это можно объяснить с физической точки зрения? **3.** Кроме того, не совсем понятно, оказывает ли на процесс трения и изнашивания исходная шероховатость

сопряжённых поверхностей, или она для всех режимов трения устанавливается на уровне некоторой равновесной с одинаковыми параметрами?

9. Отзыв к.т.н., ведущего научного сотрудника лаборатории «Исследования износа при граничной смазке» ФГБУН «Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН» (ИМАШ РАН) **Прожеги Максима Васильевича**. Замечания: **1.** В тексте автореферата не представлено описание испытания, при котором производилась оценка образования вторичных структур методом ИК-спектроскопии. **2.** При исследовании образования вторичных структур следовало бы осуществить оценку температур в контактной зоне фрикционного сопряжения, при которых осуществлялся процесс их формирования и функционирования.

10. Отзыв к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника Лаборатории технологии и материалов ФГБУН «Институт машиноведения имени Э.С. Горкунова Уральского отделения РАН» (ИМАШ УрО РАН) **Филиппова Артема Александровича**. Замечания: **1.** В автореферате не приведено сравнение результатов расчётов тепловыделения в процессе контакта по предложенным аналитическим моделям с полученными экспериментальными данными. **2.** В автореферате не приведено обоснование определения теплового состояния узла трения «накладка направляющей поворотного стола – станина станка» при помощи разработанной конечно-элементной модели. **3.** В автореферате недостаточно обоснован используемый в экспериментальных исследованиях диапазон вносимых добавок мелкодисперсной шпинели и частиц фторопласта.

11. Отзыв д.т.н., профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет» **Бутенко Виктора Ивановича**. Замечания: **1.** При разработке расчётной модели контактной задачи и определении напряжённо-деформированного и теплового состояния узла трения (глава 2) автором не сформулированы принятые им ограничения и допущения. **2.** В автореферате не приведена информация об экономических затратах, связанных с практическим использованием разработанного композиционного материала на поверхностях тяжело нагруженных деталей узлов трения.

12. Отзыв д.т.н., профессора кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы» ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» **Кононова Дмитрия Павловича**. Замечания: **1.** Данные, полученные при исследовании термической устойчивости и влияния положительной температуры на вязкоупругие свойства материала, следовало бы дополнить результатами при отрицательных температурах. **2.** Для исследования процесса формирования вторичных структур автором методом рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) на системе анализа SPECS представлен анализ химического состава продуктов фрикционного переноса при трении, но не показано кинетики и последовательного в процессе трения переноса тех или иных элементов на поверхность металлического контртела.

13. Отзыв д.т.н., профессора кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование» ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» **Ивахненко Александра Геннадьевича**. Замечания: **1.** Не указана группа использованных шпинелей металлов. **2.** Не раскрыт разный характер влияния усилия на инденторе на коэффициент трения в выражениях (9) и (10).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их значительным опытом в научно-исследовательской работе и подготовке научных кадров в области трения, изнашивания и упрочнения узлов трения машин и механизмов, а также в области машиноведения, систем приводов и деталей машин и широким кругом публикаций в ведущих специализированных изданиях.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- **разработана** методология выбора компонентного состава и технология модифицирования полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы для металлополимерных трибосистем с возвратно-поступательным движением;
- **предложена** рецептура состава, позволяющая улучшить эксплуатационные свойства полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы, для использования в тяжело нагруженных узлах трения;
- **доказана** практическая применимость разработанного модифицированного полимерного композиционного материала в ремонтном производстве узлов трения, работающих в условиях возвратно-поступательного движения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказана** эффективность применения расчетов напряженно-деформированного и теплового состояния взаимодействующих поверхностей узла трения, позволяющая расширить границы применения покрытий из полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы;
- **применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** программный комплекс численно-аналитических расчетов и лабораторное оборудование, с использованием которого была проведена оценка влияния эксплуатационных режимов работы модифицированного полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы на триботехнические характеристики;
- **изложены** результаты анализа процесса формирования вторичных структур и их влияние на трибологические свойства композита как основа разработки новых высокоэффективных модифицированных полимерных композиционных материалов;
- **раскрыты** основные закономерности влияния наполнителей на структуру и свойства разработанного модифицированного полимерного композиционного материала;
- **изучен** механизм влияния температуры на реологические и трибологические свойства металлополимерной трибосистемы;
- **приведены** результаты расчета температурного и напряженно-деформированного состояния взаимодействующих поверхностей узла трения.

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

- **разработан и внедрен** на технологическом оборудовании предприятия ООО «РостИнТех» полимерный композиционный материал на основе эпоксидной смолы для применения в направляющих горизонтально-расточного станка, позволивший повысить износостойкость более, чем на 10 %;
- **определены** основные перспективы совершенствования работы тяжело нагруженных узлов трения путем восстановления контактных поверхностей

трибосистемы модифицированным полимерным композиционным материалом на основе эпоксидной смолы;

– **создана** методология разработки покрытий из модифицированного полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы для металлополимерных трибосистем с возвратно-поступательным движением;

– **представлены** новые научно обоснованные технические и технологические решения по разработке полимерных композиционных материалов с добавлением армирующих и антифрикционных полимерных наполнителей в полимерную матрицу.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

– для экспериментальных работ достоверность научных результатов обеспечивается применением высокоточных методов – ИК Фурье спектроскопии, индентирования, электронной микроскопии, рентгеноэлектронной спектроскопии и термического анализа на современном оборудовании;

– **теория** представлена аналитическими расчетными моделями, выполненными на базе решения термоупругих уравнений Дюгамеля-Неймана и стационарного уравнения теплопроводности;

– **идея базируется** на анализе практического применения модифицированного полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы и расширении его области использования в машиностроительном оборудовании;

– **установлено** соответствие результатов влияния температуры на вязкоупругие свойства полимерного композиционного материала данным других исследователей;

– **использованы** аналитические методы расчета, базирующиеся на основных законах физики и механики деформируемого твердого тела, современное программное обеспечение, модульный комплекс NanoTest 600; растровый электронный микроскоп Zeiss EVO MA 18; установка SPECS; анализатор термических превращений STA 449 F3 Jupiter; ИК Фурье-спектрометр Bruker ALPHA II; трибометр TRB; планетарная мономельница PULVERISETTE 6; дисковая центрифуга CPS Model DC24000.

Личный вклад соискателя состоит в обосновании актуальности темы научных исследований, основанных на анализе отечественного и зарубежного опыта применения модифицированных полимерных материалов; выполнении аналитических расчетов напряженно-деформированного и теплового состояний узла трения с применением программы аналитических преобразований и конечно-элементного моделирования; проведении экспериментальных исследований согласно структурной схеме испытаний с последующей обработкой результатов и формулировкой выводов, а также в подготовке основных публикаций по выполненной работе и апробации полученных результатов в ряде тематических научных конференций.

В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания о том, что следует провести эксплуатационные испытания разработанного модифицированного полимерного композиционного материала на основе эпоксидной смолы в других тяжело нагруженных узлах трения, а также высказано замечание о необходимости приведения информации об экономических затратах, связанных с практическим использованием разработанного композиционного материала на поверхностях тяжело нагруженных деталей узлов трения.

Соискатель Азоян А.И. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию: результаты эксплуатационных испытаний разработанного композиционного материала на основе эпоксидной смолы в направляющих горизонтально-расточного станка показали повышение износостойкости более, чем на 10 %. Полученные в настоящей работе результаты открывают широкую перспективу применения их в узлах трения подъемно-транспортных, строительных и других машин с соответствующим экономическим эффектом.

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 «12» марта 2025 года диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Азоян А.И. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решается научная проблема установления основных закономерностей процессов функционального взаимодействия в зоне узла трения «накладка направляющей поворотного стола – станина станка» с модифицированным композиционным покрытием, что соответствует критериям 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 Азоян Анаид Иосиповне ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 13, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель диссертационного совета
44.2.005.01 академик РАН
д-р техн. наук, профессор



Колесников Владимир Иванович

Ученый секретарь
диссертационного совета 44.2.005.01
д-р техн. наук, профессор

Щербак Петр Николаевич

«12» марта 2025 г