

**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 05.06.2026 № 5

О присуждении Шкалею Ивану Владимировичу, Российская Федерация, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Трибологические и механические свойства модифицированных вязкоупругих полимерных материалов с микро- и наноразмерными поверхностными слоями» по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах принята к защите 23.03.2026 г. (протокол заседания № 3) 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, пл. Ростовского Стрелкового Полка Народного Ополчения, зд. 2, Приказ Минобрнауки РФ № 561/нк от 03.06.2021, далее – ФГБОУ ВО РГУПС.

Соискатель Шкалей Иван Владимирович, 19 сентября 1990 года рождения, в 2015 г. окончил Научный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС») по направлению подготовки 22.03.02 Metallургия. В 2017 г. с отличием окончил магистратуру НИТУ «МИСиС» по направлению подготовки 22.04.02 Metallургия. В 2025 г. окончил очную аспирантуру ФГБУН Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН) по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в лаборатории трибологии в ИПМех РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории трибологии ИПМех РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор РАН Торская Елена Владимировна, ведущий научный сотрудник лаборатории трибологии ИПМех РАН.

Официальные оппоненты:

- Панин Сергей Викторович – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий лабораторией механики полимерных композиционных материалов ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск);

- Зайцев Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры МТ1 «Металлорежущие станки» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва).

Ведущая организация – Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт конструкционных материалов

«Прометей» имени И.В. Горынина Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей») г. Санкт-Петербург – в своем положительном отзыве, подписанном Лишевичем Игорем Валерьевичем, кандидатом технических наук, начальником научно-производственного комплекса № 11, и утвержденном Фоминой Ольгой Владимировной, доктором технических наук, первым заместителем генерального директора по научной работе НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей», указала, что диссертация Шкалей Ивана Владимировича «Трибологические и механические свойства модифицированных вязкоупругих полимерных материалов с микро- и наноразмерными поверхностными слоями» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые, научно обоснованные технические, технологические решения и разработки новых полимерных композиционных материалов для узлов трения машин, эксплуатируемых в условиях холодного климата, а также для биомедицинских применений, что имеет существенное значение для повышения надежности узлов трения и развития робототехники, текстильного оборудования и машиностроительных областей страны, в частности, арктической зоны, и материаловедения. Диссертация соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Шкалей Иван Владимирович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

Соискатель имеет 65 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 9 работ, в частности, 5 работ опубликованы в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки, 2 из них – в журналах, индексируемых в базе данных Scopus. Объем опубликованных работ по теме диссертации составляет 7,52 п.л. Авторский вклад – 2,69 п.л. Все публикации достаточно полно отражают основные результаты исследований. Они посвящены развитию теоретико-экспериментальных методов для оценки трибологических и механических свойств модифицированных полимерных материалов с микро- и наноразмерными поверхностными слоями и целесообразности их применения в парах трения. В работе имеются ссылки на авторов и источники заимствования.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Шкалей, И. В. Влияние поверхностной ионно-плазменной обработки на триботехнические характеристики полиуретана / И. В. Шкалей, Е. В. Торская // Трение и износ. – 2023. – Т. 44, № 4. – С. 376-384. – DOI 10.32864/0202-4977-2023-44-4-376-384.

2. Исследование зависимости свойств модифицированных полиуретанов от температуры методом индентирования / Е. В. Торская, А. А. Яковенко, И. В. Шкалей, А. Л. Свистков // Физическая мезомеханика. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 29-38. – DOI 10.55652/1683-805X\_2023\_26\_3\_29.

3. Шкалей, И. В. Влияние старения на триботехнические характеристики двухслойного композита «морозостойкая резина – сверхвысокомолекулярный полиэтилен» / И. В. Шкалей // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 3(99). – С. 231-238. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_231.

4. Using Thin Ultra-High-Molecular-Weight Polyethylene Coatings to Reduce Friction in Frost-Resistant Rubbers / E. Torskaya, I. Shkalei, F. Stepanov [et al.] // *Polymers*. – 2024. – Vol. 16, No. 20. – P. 2870. – DOI 10.3390/polym16202870.

5. Effect of Climatic and Thermal Aging on Friction of Frost-Resistant Rubber With and Without Ultra-High Molecular Weight Polyethylene Coating / I. Shkalei, J. H. Horng, E. Torskaya [et al.] // *Coatings*. – 2025. – Vol. 15, No. 5. – P. 514. – DOI 10.3390/coatings15050514.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

– **ведущей организации** – НИЦ «Курчатовский институт» – ЦНИИ КМ «Прометей». Отзыв положительный. Замечания: **1.** В работе не представлены результаты исследований интенсивности изнашивания полученных композитов, в том числе, в зависимости от нагрузки. Несмотря на то, что во фрикционном взаимодействии разработанных образцов участвует исключительно хорошо изученный СВМПЭ, для широкого практического применения необходимо уточнение данных зависимостей. **2.** В работе не рассмотрены композиции с использованием СВМПЭ с УФ-стабилизаторами, использование материалов без данных добавок серьезно сокращает возможности практического применения разработанных материалов. **3.** В работе отсутствуют данные о твердости исследуемого полиуретана. При разработке материалов для пар трения с металлическими контртелами твердость полиуретанов влияет на коэффициент страгивания и интенсивность изнашивания материала в дальнейшем. **4.** В диссертационной работе требуются пояснения, какой физический смысл вложен в термин «мгновенный модуль упругости».

– **официального оппонента** – доктора технических наук, член-корреспондента РАН, профессора, заведующего лабораторией механики полимерных композиционных материалов ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск) **Панина Сергея Викторовича**. Отзыв положительный. Замечания: **1.** При описании практической значимости работы автор сообщает: «определена оптимальная комбинация жесткости (длительный приведенный модуль упругости 6,1 МПа, мгновенный – 8,8 МПа) и поверхностной ионно-плазменной обработки (флюенс  $10^{15}$  ионов/см<sup>2</sup>) полиуретана, которая обеспечивает его стабильно высокие фрикционные свойства (отношение касательной силы к нормальной варьируется от 1,82 до 2,44 при контакте с керамическим шаром) в широком диапазоне нагрузки (0,05 – 1 Н)». Все-таки фрикционные свойства – это, прежде всего коэффициент трения и интенсивность изнашивания; поэтому увязывать напрямую жесткость (реализуемый при заданной величине флюенса) с коэффициентом трения без учета процессов на поверхности трибоконтакта (включая износ), не совсем правильно. **2.** В работе использованы крайне короткие времена или дистанции испытаний, например, 10 минут или 1,5 м. Для получения оценки коэффициента трения – это удобно; однако, при таких условиях испытаний стадии приработки может даже не закончиться. Кроме того, узлы трения традиционно предназначены для длительной эксплуатации, поэтому выбранные условия трибоиспытаний являются дискуссионными. Более того, в методической главе сообщается, что при трибоиспытаниях «износ не оценивался». Это весьма странно, поскольку он может оказывать существенное влияние на значение коэффициента трения, величина которого была использована как для оценки эффективности

созданных материалов, так и для теоретических исследований. **3.** На стр. 51 текста диссертации указано: «Структура поверхности СВМПЭ и покрытия отличается из-за различий в технологии формирования», что хорошо коррелирует с данными на рис. 2.3. В этой связи возникает вопрос, насколько корректно проводить сравнения трибологических свойств, когда менялись не только условия опирания (толщина СВМПЭ-покрытия составляла 300 и 600 мкм), но и структура объемного СВМПЭ (имела пористое строение)? **4.** На стр. 63 приведены данные о количестве вводимых в полиуретан нанотрубок (5 %) и фуллеренов (2%). Далее, по тексту диссертации делается вывод что нанотрубки увеличивают жесткость «растворного полиуретана», а фуллерены уменьшают. Во-первых, в работе не обоснован выбор содержания каждого из наполнителей, тем более, что он отличался. Во-вторых, не совсем очевидно, какую цель преследовал автор, упрочнить или разупрочнить композит, учитывая тот факт, что исследования по введению данных типов наполнителей в литературе встречаются. **5.** На стр. 73 текста диссертации приведены диаграммы наноиндентирования образцов с карбонизированным слоем толщиной 80 нм, в то время как глубина проникновения индентора составляет 40 мкм, что в 50 раз более заявленной толщины. В подобных условиях с методической точки зрения не совсем корректно обсуждать влияние столь тонкого слоя на результаты наноиндентирования. Кроме того, облучение могло повлиять не только на тонкий поверхностный слой, что в работе не исследовано. **6.** На стр. 75 диссертации в таблице 3.2 приведены средние значения длительного модуля упругости, времен релаксации и ползучести. Однако не указаны величины разброса каждого из параметров, что существенно затрудняет понимание статистической ценности приведенных данных. **7.** На стр. 78 на рис. 3.7 приведено «АСМ-изображение поверхности площадью 400 мкм<sup>2</sup>, обработанной ионами азота с энергией 20 кэВ с флюенсом 10<sup>16</sup> ионов/см<sup>2</sup>». Видно, что помимо обсуждаемого автором образования функциональных групп на поверхности возникают складчатые структуры. Их возникновение может иметь и термическую природу. Кроме того, это заметно влияет на топографию поверхности, и, следовательно, на трибологические свойства. К сожалению, в работе это не обсуждается.

– **официального оппонента** – кандидата технических наук, доцента кафедры МТ1 «Металлорежущие станки» ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (г. Москва) **Зайцева Андрея Николаевича**. Отзыв положительный. Замечания: **1.** В тексте главы 2 нет четкого объяснения выбора толщины сверхвысокомолекулярного полиэтилена. Чем обусловлен выбор толщин покрытия СВМПЭ 300 и 600 мкм? **2.** На стр. 54 представлен рисунок 2.6 «Деформационная составляющая сила трения от скорости скольжения». Целесообразно представить в работе методику расчета деформационной составляющей силы трения. **3.** Применяемая автором упрощенная модель трения (адгезионная, деформационная) не учитывает различные виды фрикционной взаимодействия. Например, возможные процессы разрушения исходной модификации СВМПЭ (изменения сетки молекулярных зацепления, надмолекулярной структуры и др.), связанные с химическими и структурными превращениями в результате фрикционного нагрева. Также не следует исключать микрорезание поверхности композиционных резиновых образцов с СВМПЭ

покрытием. **4.** Анализируемые трибологические испытания следовало бы дополнить анализом дорожек трения, спектральным анализом продуктов износа. В случае невозможности фиксации изменений поверхностей СВМПЭ после испытаний (качественные, количественные методики), необходимо указать в тексте диссертации причину отсутствия разделов, связанных с анализом процессов износа исследуемых пар трения.

**На автореферат поступило 8 отзывов. Все отзывы положительные.**

**1. Отзыв** доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой трибологии и технологий ремонта нефтегазового оборудования ФГАУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина» **Елагиной Оксаны Юрьевны**. Замечания: **1.** При испытаниях по схеме кольцо-диск не приведено обоснование выбора диапазона нагрузок и скоростей скольжения относительно реальных условий эксплуатации. **2.** В модели контакта не учтены возможные температурные зависимости вязкоупругих свойств материалов, при том, что в испытаниях температура варьировалась в широком диапазоне. **3.** Не приведено сравнение результатов инструментального индентирования с данными других методов (например, динамического механического анализа), что могло бы повысить достоверность определения вязкоупругих характеристик материалов.

**2. Отзыв** доктора технических наук, профессора, руководителя международного научно-образовательного Центра «BaltTribology-Polytechnic» Института машиностроения, материалов, и транспорта ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» **Скотниковой Маргариты Александровны**. Замечания: **1.** Из автореферата, при изучении влияния толщины покрытия на коэффициент трения при различных скоростях скольжения по схеме «шар-диск», неясно, почему неподвижный стальной шарик (ШХ15, диаметр 10 мм) нагружался в зависимости от материала: 10 Н для объемного СВМПЭ и 20 Н для материалов с покрытиями. Почему в обоих случаях нельзя было выбрать одинаковую нагрузку 10 Н. **2.** На рисунке 2 автореферата сравнивается ширина дорожек трения. Показано, что дорожка трения на поверхности покрытия 600 мкм шире, чем на объемном СВМПЭ. Однако, оптические изображения этих дорожек представлены при разных увеличениях, что затрудняет их истинную оценку.

**3. Отзыв** кандидата физико-математических наук, заместителя директора по научной работе ФГБУН «Институт физики высоких давлений им. Л.Ф. Верещагина Российской академии наук» (ИФВД РАН) **Усейнова Алексея Серверовича**. Замечания: **1.** Автор указывает, что введение наполнителей (фуллеренов и углеродных нанотрубок) в полиуретан приводит к появлению заметной зависимости механических свойств от температуры в диапазоне 24-45°C, тогда как у немодифицированного полимера такой эффект отсутствует. К сожалению, в автореферате не приводится подробное физическое объяснение природы этого явления на надмолекулярном уровне строения полимерной матрицы. **2.** В ходе трибологических испытаний по схеме «шар – диск» автором не производилась количественная оценка износа (линейного или массового), контролировалось лишь отсутствие макродеформаций и трещин. Введение количественных параметров

износа сделало бы картину более полной. **3.** При определении вязкоупругих параметров модифицированных полиуретанов (длительного модуля упругости, времен релаксации и ползучести) автор использует расчетно-экспериментальную методику, основанную только на обработке кривых нагружения. В традиционной практике инструментального индентирования вязкоупругих материалов критически важную информацию о процессах ползучести и упругого восстановления несут также стадии выдержки под максимальной нагрузкой и разгрузки. Исключение этапа разгрузки из процедуры решения обратной задачи оставляет открытым вопрос о степени однозначности разделения мгновенного упругого и избыточного вязкоупругого откликов полимерной матрицы. **4.** В третьей главе работы метод индентирования применяется для оценки механических свойств полиуретанов с поверхностным карбонизированным нанослоем толщиной всего 80 нм. При этом, судя по приведенным экспериментальным диаграммам (рисунки 8 и 9), максимальная глубина внедрения сферического наконечника составляет от 40 до 70 мкм, что на два-три порядка превышает толщину самого измененного слоя. При столь значительных глубинах вдавливания вклад наноразмерного поверхностного слоя в интегральное усилие сопротивления материала становится исчезающе малым на фоне объемных свойств податливой полиуретановой подложки, что несколько ограничивает чувствительность метода при оценке влияния различных доз облучения (флюенса) непосредственно на свойства самой поверхности.

**4. Отзыв** доктора технических наук, главного научного сотрудника АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» **Гершмана Иосифа Сергеевича**. Замечания: **1.** Автор называет двухслойные материалы композитными. Однако, композитные и двухслойные это разные типы материалов. Композитные – не обязательно двухслойные и наоборот. **2.** Недостатком работы является то, что автор не провел трибологические испытания материалов, с которыми он сравнивал двухслойные полимеры.

**5. Отзыв** доктора технических наук, профессора передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» **Задорожной Елены Анатольевны**. Замечания: **1.** Обычно при исследовании фрикционных свойств поверхностей трения рассматривают интенсивность изнашивания, как одну из характеристик. Из автореферата не ясно, были ли в ходе исследований выполнены оценки интенсивности изнашивания. **2.** Можно ли экстраполировать представленные результаты на эффективность работы сопряжений, применяемых для машин, которые работают в северных регионах России, где температуры значительно ниже, приведенных в автореферате?

**6. Отзыв** кандидата физико-математических наук, доцента кафедры Механика композиционных материалов и конструкций ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» **Зайцева Алексея Вячеславовича**. Замечания: **1.** В тексте указывается, что ионно-плазменная обработка поверхности полиуретана приводит к образованию карбонизированного слоя толщиной 80 нм. Однако не приведены данные о его сплошности и структуре, что позволило бы связать структурные и морфологические особенности с их

влиянием на трение. **2.** В автореферате приведены значения времен релаксации и ползучести. Для образца 1-Ф (с фуллеренами) отношение времен составляет около 6–7, для образца 1-Н (с нанотрубками) — 4–5, что указывает на существенную разницу между мгновенными и длительными свойствами. В тексте следовало бы дать физическое объяснение влияния наполнителей на реологию полиуретана.

**7. Отзыв** кандидата технических наук, старшего научного сотрудника ФГБУН Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН) **Корнева Юрия Витальевича**. Замечания: **1.** Определялась ли шероховатость поверхности образцов перед экспериментами по индентированию? И как она влияет на полученные характеристики при индентировании? **2.** Оценивались ли отдельно механические характеристики покрытия? Существенно ли отличаются механические характеристики покрытия от материала подложки? **3.** Сколько индентирований проводилось для каждого образца и как оценивался разброс данных? **4.** Действительно ли радиус закругления индентора на нанотвердомере составляет 1,7 мм?

**8. Отзыв** кандидата физико-математических наук, заведующей лабораторией физического материаловедения Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПМ РАН) **Царевой Ириной Николаевной** и доктора физико-математических наук, профессора, директора ИПМ РАН **Ерофеева Владимира Ивановича**. Замечания: **1.** При обсуждении результатов трибологических исследований неоднократно говорится об образовании карбонизированного слоя на поверхности модифицированных полимеров. Однако, экспериментального подтверждения в автореферате не приводится. В методах исследования также не указаны методы структурного анализа. Возможно, это есть в тексте диссертации. С точки зрения трибологического материаловедения было бы целесообразным привести подтверждение данному факту.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их областью научных интересов, который соответствует тематике и направлению специальности диссертационной работы и заключается в разработке и исследовании полимерных композиционных материалов, трения и износа, а также подготовкой научных кадров в области трибологии и смежных областей и значительным вкладом в научно-исследовательскую работу, в частности, опубликованием многочисленных научных и учебно-методических работ в отечественных и зарубежных журналах.

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

– **разработана** теоретико-экспериментальная методика, позволившая выявить закономерности при определении оптимальной толщины покрытия из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) двухслойного композиционного полимера «резина – СВМПЭ» с учетом фрикционного нагрева, расширяющая границы применимости в выборе уплотнительных материалов для трибосопряжений, работающих в условиях отрицательных температур;

– **предложен** способ определения зависимости механических и реологических свойств вязкоупругих материалов от температуры по данным индентирования, в

частности, полиуретанов с углеродными наномодификаторами и карбонизированными поверхностными нанослоями;

– **доказана** возможность управления фрикционными свойствами полиуретана путем сочетания типа полимера и режима поверхностной ионно-плазменной обработки, обеспечивающая стабильно высокий коэффициент трения в широком диапазоне нагрузок и скоростей в условиях сухого трения.

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

– **установлены** основные закономерности контактного взаимодействия керамической гладкой сферы и полиуретана, учитывающие молекулярно-механическую природу трения и позволяющие расширить представления о фрикционном поведении полимеров;

– **применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использован** комплекс численных и экспериментальных методик в исследовании композиционных полимерных вязкоупругих материалов;

– **изложены** экспериментальные данные с их анализом и оценкой на основе математического моделирования напряженно-деформированного состояния вязкоупругих полимерных материалов в условиях сухого трения;

– **раскрыты** основные закономерности влияния поверхностной обработки при контактном взаимодействии полиуретана и керамики, которые отвечают за его стабильно высокие фрикционные свойства в рассматриваемом диапазоне нагрузок и скоростей;

– **изучено** влияние температуры на механические и реологические свойства модифицированных полиуретанов по данным инструментального индентирования, а также влияние толщины покрытия и термического старения на трибологические характеристики композита «резина – СВМПЭ»;

– **проведена модернизация** математических моделей контактного взаимодействия, разработанных для определения оптимальной толщины СВМПЭ покрытия двухслойного композиционного полимера резина – СВМПЭ с учетом фрикционного нагрева для выбранного типа нагружения.

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

– **разработан** теоретико-экспериментальный метод определения оптимальной толщины СВМПЭ покрытия двухслойного композиционного полимера резина – СВМПЭ с учетом фрикционного нагрева, который использован при изготовлении опытных образцов из новых полимерных композиционных материалов резина – СВМПЭ для проведения натуральных испытаний;

– **определены** перспективы практического использования технологических режимов поверхностной модификации при производстве полиуретановых изделий с целью контроля их фрикционных характеристик;

– **создана** модель определения механических и реологических свойств по данным индентирования в зависимости от температуры;

– **представлены** методические рекомендации по использованию полиуретанов, модифицированных углеродными наполнителями.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

– для экспериментальных работ получены результаты на современном оборудовании на основе государственных стандартов испытаний с проведением не менее трехкратного повторения опытов, а также использовании методики полнофакторного эксперимента при учете статистических критериев;

– теория основана на фундаментальных подходах механики контактного взаимодействия сред, описываемых в рамках линейной теории термовязкоупругости;

– идея базируется на анализе практического применения и обобщении опыта для модифицированных вязкоупругих полимерных материалов с микро- и наноразмерными поверхностными слоями;

– использовано сравнение авторских результатов с полученными ранее литературными данными других исследователей по тематике диссертации и смежных областей;

– установлено качественное соответствие результатов теоретических исследований с полученными экспериментальными данными, а также количественное соответствие механических свойств полиуретанов с результатами, представленными в опубликованных работах других авторов;

– использованы современные методики сбора и обработки научной информации в совокупности с анализом результатов исследований, опубликованных в специализированных журналах.

**Личный вклад соискателя состоит** в самостоятельном получении основных положений диссертационной работы и в непосредственном участии на всех этапах исследования: в разработке, подготовке и проведении трибологических испытаний нового двухслойного полимерного композиционного материала, обработке и анализе полученных результатов; в разработке методики трибологических испытаний для определения зависимости коэффициента трения полиуретана в паре с керамическим контртелом от нагрузки и скорости скольжения; в разработке экспериментального метода индентирования для определения вязкоупругих свойств материалов; в обсуждении экспериментальных результатов и основных научных положений, а также в создании основных публикаций по теме диссертации.

**В ходе защиты были высказаны следующие критические замечания** об обоснованности выбора нижней границы диапазона, отрицательной температуры равной  $-20^{\circ}\text{C}$ , при исследовании композиционных полимерных материалов резина – СВМПЭ, поскольку в работе указано, что материалы предназначены для уплотнений, которые будут эксплуатироваться в северных регионах России; об отсутствии обоснованности выбора содержания каждого наполнителя при объемной модификации полиуретана с учетом того факта, что их концентрация отличается, а также обусловленности выбора толщин СВМПЭ покрытия двухслойного материала для испытаний.

**Соискатель Шкалей И.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:** выбор отрицательной температуры для испытаний двухслойных материалов обусловлен ограничениями аппаратной части установки, поэтому испытания были проведены при температуре близкой к средней в осенне-зимний период в северных регионах, также можно

отметить, что известные температуры стеклования резины и СВМПЭ позволяют предположить, что материал может эксплуатироваться и при более низких температурах; для определения механических и реологических свойств модифицированных полиуретанов в работе уже были отобраны наиболее перспективные объемные наполнители на основе предварительных испытаний на растяжение образцов с различными наполнителями и их объемным содержанием разработчиками материала; выбор толщин СВМПЭ покрытия двухслойного материала для испытаний обусловлен технологическими особенностями при их изготовлении, а также для демонстрации эффективности методики для анализа влияния толщины слоя на фрикционный контакт.

**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 «05» июня 2026 года диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация Шкаляева Ивана Владимировича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решается научная проблема установления основных закономерностей механизмов фрикционного взаимодействия новых перспективных модифицированных вязкоупругих полимерных материалов для узлов трения, 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 Шкаляеву Ивану Владимировичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.5.3. Трение и износ в машинах.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 14 человек, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 17 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

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 физ.-мат. наук, доцент

Сидашов Андрей Вячеславович

«05» июня 2026 г.