

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.234.03,
созданного на базе Федерального государственного бюджетного учреждения
науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр
Сибирского отделения Российской академии наук»,
по диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14. 03 2025 № 4

О присуждении Марковой Марфе Алексеевне, гражданке РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка композиционных материалов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена, модифицированного углеродным волокнистым наполнителем» по научной специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки) принята к защите 24 декабря 2024 г. (Протокол № 3) диссертационным советом 24.1.234.03, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», (ФИЦ ЯНЦ СО РАН) (ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, адрес: 677000, г. Якутск, ул. Петровского, д. 2, приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации о создании диссертационного совета № 2142/нк от 27 ноября 2023 г.

Соискатель, Маркова Марфа Алексеевна, 1994 года рождения, в 2016 году окончила специалитет Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (диплом № 101404 0001679 от 10.06.2016 г.).

В период выполнения диссертационной работы Маркова Марфа Алексеевна являлась с 1 ноября 2016 года аспирантом Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук, с 7 февраля 2019 года по 31 октября 2020 года после реорганизации Института – аспирантом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» по направлению подготовки 22.06.01 Технологии материалов, по научной специальности 05.16.09 Материаловедение (по отраслям), что в настоящее время соответствует научной специальности 2.6.17. Материаловедение (технические науки) согласно Приказу Минобрнауки РФ от 24 августа 2021 г. №786. Маркова М.А. с 01.12.2016. по 09.06.2019, с 10.06.2019 по 31.03.2021 являлась инженером, а с 01.04.2021 по настоящее время работает младшим научным сотрудником лаборатории материаловедения Института проблем нефти и газа СО РАН (ИПНГ СО РАН), обособленном подразделении ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Диссертация выполнена в лаборатории материаловедения ФГБУН «Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук» с 1 ноября 2016 года до 7 февраля 2019 года, а далее, после реорганизации Института, в лаборатории материаловедения Института проблем нефти и газа СО РАН, обособленном подразделении ФИЦ ЯНЦ СО РАН, ведомственная принадлежность: Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент **Петрова Павлина Николаевна**, ведущий научный сотрудник лаборатории материаловедения ИПНГ СО РАН, обособленного подразделения ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Официальные оппоненты: **Адаменко Нина Александровна**, доктор технических наук, профессор ВАК, профессор кафедры «Материаловедение и композиционные материалы» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волгоградский государственный технический университет» и **Бауман Юрий Иванович**, кандидат химических наук, старший научный сотрудник отдела материаловедения и функциональных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук в своем положительном отзыве, подписанном заведующим лабораторией химии полимеров, заместителем директора по научной работе, доктором химических наук, доцентом Бурдуковским Виталием Федоровичем и утвержденном директором Гармаевым Ендоном Жамьяновичем, указала, что диссертация выполнена на актуальную тему, результаты имеют научную новизну, достоверность результатов и выводов вполне обоснованы; подчеркнула теоретическую и практическую значимость полученных результатов; проанализировала структуру и содержание работы; подтвердила соответствие содержания автореферата тексту диссертации; дала рекомендации по использованию результатов диссертации; сделала замечания, не затрагивающие основные выводы и защищаемые положения работы и не оказывающие существенного влияния на достоверность результатов диссертационного исследования; указала, что диссертационная работа Марковой М.А. является завершенным научным квалификационным исследованием, в котором решена важная научно-практическая задача разработки композитов функционального назначения на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ или фторопласт), повышающих ресурс работы изделий триботехнического назначения, и соответствует требованиям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 (со всеми изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 – Материаловедение (технические науки).

Основное содержание диссертации изложено в 25 работах, в том числе 8 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК по специальности 2.6.17 – «Материаловедение», 3 статьях в других научных изданиях, 1 патенте РФ. Публикации посвящены разработке ПТФЭ-композитов с улучшенным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств, исследованиям влияния модифицирования углеродным волокнистым наполнителем марки УВИС-АК-П с применением различных приемов механоактивации компонентов на процессы структурообразования, изменение деформационно-прочностных и триботехнических показателей, а также исследованиям механизмов изнашивания

при трении. Наличие в диссертации недостоверных сведений об опубликованных соискателем ученой степени работах не выявлено.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1) **Маркова М.А.**, Петрова П.Н. Исследование влияния углеродных волокон и технологий получения композитов на свойства ПКМ на основе политетрафторэтилена // Перспективные материалы. – 2020. – № 11. – С. 59-68;

2) **Маркова М.А.**, Петрова П.Н., Федоров А.Л. Исследование влияния режимов трения на триботехнические свойства композитов на основе ПТФЭ и углеродных волокон // Нефтегазовое дело. – 2020. – Т. 18, № 4. – С. 92-101;

3) Петрова П.Н., **Маркова М.А.**, Тихонов Р.С. Триботехнические характеристики полимерных композитов на основе политетрафторэтилена и УВИС-АК-П при нагружении // Вестник машиностроения. – 2022. – № 1. – С. 65-70;

4) Петрова П.Н., **Маркова М.А.**, Готовцева М.Е. Разработка материалов триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена и углеродных волокон марки УВИС-АК-П // Вопросы материаловедения. – 2017. – № 4 (92). – С. 90-99.

5) Петрова П.Н., **Маркова М.А.**, Черных В.Д. Исследование свойств композитов на основе политетрафторэтилена и углеродных волокон в зависимости от технологии получения // Материаловедение. – 2023. – № 3. – С. 22–32.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы, все положительные:

1. В отзыве д.т.н., профессора **Кропотина Олега Витальевича**, заведующего кафедрой «Физика», и к.т.н., доцента **Рогачева Евгения Анатольевича**, директора Научно-образовательного ресурсного центра «Нанотехнологии» ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет», содержатся замечания: 1. В описании второго способа введения углеродных волокон (УВ) в полимерную матрицу (стр. 9 автореферата) указано, что исходный ПТФЭ смешивается с заранее подготовленной композиционной смесью ПТФЭ и УВ. Третий способ предполагает смешение ПТФЭ с «предварительно активированной смесью» ПТФЭ-УВ. Так как не ясно, как именно готовилась смесь ПТФЭ-УВ при реализации второго способа, становится неясной идея «активации» в третьем способе. Смешение УВ с ПТФЭ в лопастом смесителе (способ № 1) в определенной степени также можно расценивать как этап активации. 2. В таблицах 1 и 2 (стр. 10) приведены механические и триботехнические характеристики ПТФЭ-композитов. С учетом указанных погрешностей измерений можно утверждать, что некоторые характеристики композитов, полученных одним способом, не зависят от концентрации наполнителя. Возможно, это объясняется небольшими концентрациями. В таком случае, почему не были исследованы большие концентрации для установления закономерностей изменения этих характеристик? 3. На стр. 11 в обсуждении рис. 1в указано, что реализация способа № 3 «приводит к образованию сферолитоподобных структур с центрами кристаллизации на поверхности частиц УВ». На основании чего эти структуры идентифицированы как сферолитоподобные? Целесообразно было бы для выявления характера воздействия УВ на надмолекулярную структуру матрицы при различных способах получения композитов определить их степень кристалличности. 4. На стр.12 указано: «Использование способа № 3 приводит к повышению устойчивости закрепления волокна на полимерном основании». Что это значит и из чего следует (как доказано)? 5. На стр. 14 указано: «разрушение материала ... при использовании способа № 4 идет не только по межфазным границам, но и по полимерной матрице вблизи частиц

наполнителя, что свидетельствует о повышении адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз «ПТФЭ-УВ». Не вполне ясно, как из особенностей характера разрушения следует повышение адгезионного взаимодействия. 6. В описании пятой главы приводятся результаты «математического моделирования теплового процесса трения». Что означает «тепловой процесс трения»? Модель или ее описание не приводится, что затрудняет оценку полученных результатов.

2. В отзыве д.т.н. **Голых Романа Николаевича**, профессора кафедры методов и средств измерений и автоматизации Бийского технологического института (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», содержатся замечания: 1. Необходимо сравнение триботехнических и механических характеристик получаемого полимерного композиционного материала, модифицированного углеродным волокном, с материалами, полученными при использовании других модификаторов (волластонит, 2-меркаптобензол и т.д.). Например, широкий спектр аналогичных работ выполнен в СВФУ им. М.К. Аммосова (лаборатория «Полимерные композиты для Севера»). 2. В актуальности соискателем отмечена потребность в разработке материалов для экстремальных климатических условий северных регионов РФ. На основании обнаруженных механизмов влияния углеродного волокна необходимы хотя бы оценки и/или предположения, как предложенный способ модификации ПКМ изменит триботехнические характеристики при экстремально низких температурах. При каких температурных условиях проводились эксперименты? 3. Не приведены начальные и граничные условия модели теплового процесса (рисунок 9 автореферата).

3. В отзыве д.т.н., профессора РАН **Панина Сергея Викторовича**, заведующего лабораторией механики полимерных композиционных материалов ФГБУН «Институт физики прочности и материаловедения СО РАН», и к.ф.-м.н. **Корниенко Людмилы Александровны**, старшего научного сотрудника этой же лаборатории, содержатся замечания: 1. При анализе механизмов изнашивания разрабатываемых композитов совсем не обсуждается роль контртела в формировании износостойкости трибопары (не указана величина шероховатости контртела и пленки переноса фторопласта, сглаживающей его поверхность и снижающей износ полимера). 2. Снижение скорости изнашивания в 425-2020 раз по сравнению с аналогичными показателями исходного ПТФЭ не совсем корректно трактовать только за счет изменения конформаций молекулярной структуры при использовании механической активации и вальцевании компонентов композиции (ПТФЭ-УВ).

4. В отзыве д.т.н., профессора **Люкшина Бориса Александровича**, заведующего кафедрой механики и графики ФГАОУ ВО «Томский университет систем управления и радиоэлектроники», содержатся замечания: 1. При описании процесса активации с применением вальцевания выражение «с зазором между валками менее 1 мм» выглядит как качественная оценка. 2. На с. 16 автореферата указано, что «использовано математическое моделирование теплового процесса трения.» без ссылок на конкретные описания модели. Сопоставление расчетных и экспериментальных расчетных данных на рис. 9, с. 17, неубедительно говорит о согласовании.

5. В отзыве к.х.н., доцента **Соломянского Александра Ефимовича**, ведущего научного сотрудника лаборатории микро- и наноструктурированных систем Государственного научного учреждения «Институт химии новых материалов

Национальной Академии Наук Беларуси», содержатся замечания: 1. В автореферате желательно было бы разместить информацию о преимуществах активированного материала УВИС-АК-П производства ООО НПЦ УВИКОМ по сравнению с отечественными и зарубежными аналогами, а также о способе его начальной активации.

6. В отзыве к.т.н., доцента **Ворончихина Василия Дмитриевича**, заведующего кафедрой химической технологии твердых ракетных топлив, нефтепродуктов и полимерных композиций ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева», содержатся замечания: в автореферате, при рассмотрении способов введения УВ в полимерную матрицу, к сожалению, не представлено время смешения по способу № 1, № 2 и № 3, а также критерии, по которым выбрано время активации углеродного наполнителя. В автореферате не отражены трибологические свойства полимерных композитов на основе ПТФЭ в среде жидких смазок, тогда как в списке опубликованных работ представлена статья в журнале Сибирского федерального университета серия «Техника и технологии», посвященная данному исследованию.

7. В отзыве к.х.н. **Широковой Евгении Сергеевны**, доцента кафедры химии и технологии переработки полимеров ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», содержатся замечания: 1. Не указан размер частиц использованного фторопласта - 4 ПН и условия получения образцов для испытаний (температурные и временные режимы спекания). 2. Не указано обоснование выбора массового соотношения концентрат-полимер 50/50. Были ли исследованы иные соотношения? 3. Была ли проведена какая-либо количественная оценка качества диспергирования наполнителя (в п. 1 выводов указывается, что предлагаемый автором способ обеспечивает эффективное диспергирование агломератов наполнителя)? 4. Проводилось ли сравнение предлагаемого наполнителя с традиционно используемыми для этих целей дисперсными и волокнистыми наполнителями для ПТФЭ в идентичных условиях? 5. Проводилась ли оценка экономической эффективности использования предлагаемого наполнителя?

8. В отзыве д.ф.-м.н., доцента **Курзиной Ирины Александровны**, заведующей кафедрой природных соединений, фармацевтической и медицинской химии химического факультета ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», содержатся замечания: 1. В автореферате приведено: «Структурными исследованиями (рис.5) выявлено, что разрушение материала с 5 и 7 мас. % УВ при использовании способа № 4 идет не только по межфазным границам, но и по полимерной матрице вблизи частиц наполнителя, что свидетельствует о повышении адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз «ПТФЭ-УВ». А как происходит разрушение композита с содержанием УВ в количестве 10 мас. %, микрофотография которого приведена на этом же рисунке. В тексте автореферата этот процесс не раскрыт. 2. Показано, что ПКМ с содержанием 7 мас. % УВ характеризуется снижением ползучести в 3-30 раз по сравнению с композитами, содержащими 5 и 10 мас. % УВ. Чем объясняется такое существенное различие ползучести? 3. Провели ли вы сравнение свойств разработанных ПТФЭ-композитов с промышленно выпускаемыми аналогами, например, с Ф4К20?

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их многолетним опытом, профессионализмом и компетентностью в научно-исследовательских направлениях по тематике диссертации, что подтверждается рядом публикаций оппонентов и сотрудников ведущей организации в

рецензируемых журналах. Официальный оппонент Адаменко Н.В. является признанным высококвалифицированным специалистом в области разработки полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ. Официальный оппонент Бауман Ю.И. является ведущим специалистом в области разработки углеродных волокнистых материалов и механоактивационных технологий. Оба оппонента не имеют совместных публикаций с соискателем. Ведущая организация широко известна своими научными достижениями в области разработки фторполимерных композиционных материалов, в том числе, на основе ПТФЭ. Соискатель и научный руководитель соискателя не работают в данной организации и не являются участниками научно-исследовательских работ, ведущихся в этой организации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция использования комбинаций механоактивационного воздействия на полимерную матрицу и волокнистый наполнитель для повышения деформационно-прочностных, триботехнических характеристик ПКМ на основе ПТФЭ-матрицы, модифицированной углеродным волокнистым наполнителем марки УВИС-АК-П;

предложены новые технологические приемы создания ПКМ, позволившие получить новые ПТФЭ-композиты с повышенными до 2000 раз износостойкостью и в 1,7-4 раза сопротивляемостью деформациям ползучести по сравнению с аналогичными показателями для исходного полимера;

установлены закономерности влияния состава и способа получения ПКМ на последовательность процессов разрушения при трении, определяющую скорость изнашивания полимерных композитов с дискретными углеродными волокнами;

доказана высокая эффективность комбинации технологии поэтапного смешения компонентов с активацией порошковой смеси путем вальцевания, способствующая реализации структурной активности частиц углеродных волокон и интенсификации адгезионного взаимодействия на границе раздела фаз полимер-наполнитель;

введены новые представления о механизмах изнашивания, определяющихся влиянием количества углеродного волокнистого наполнителя и способа получения ПКМ на последовательность процессов разрушения при трении.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что,

доказаны положения, вносящие вклад в развитие понимания закономерностей влияния количественного состава и технологических приемов введения наполнителей в полимер на структуру, механические и триботехнические характеристики ПКМ на основе ПТФЭ;

применительно к проблематике диссертации результативно использована разработанная математическая модель трибопроцесса, позволившая определять нагрузочно-скоростные параметры трения разработанных материалов;

изложены условия упрочнения поверхности трения при повышении подаваемой на ПКМ нагрузки за счет изменения спиральной конформации макромолекул ПТФЭ с переходом от конформации 13_6 к более стабильной конформации 15_7 , что обеспечивает улучшение триботехнических характеристик разработанных ПКМ;

изучена взаимосвязь деформационно-прочностных, триботехнических характеристик и структуры разрабатываемых ПКМ в зависимости от концентрации

наполнителя, режимов и вида активации компонентов, что позволило получить новые результаты в области создания материалов на основе ПТФЭ и углеродного волокнистого наполнителя УВИС-АК-П с высоким уровнем эксплуатационных свойств.

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

разработаны и внедрены в эксплуатацию на промышленном предприятии АО «Водоканал» (г. Якутск) новые композиты на основе ПТФЭ и УВ марки УВИС-АК-П, характеризующиеся улучшенными деформационно-прочностными и триботехническими показателями;

создана система практических рекомендаций, позволяющих определять предельные нагрузочно-скоростные параметры эксплуатации разработанных ПКМ в режиме сухого трения;

представлены перспективы применения разработанных комбинированных способов активации компонентов для создания ПТФЭ-композитов, содержащих не только углеродные, но и другие виды волокон;

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

экспериментальные данные получены на сертифицированном оборудовании с применением стандартизованных методов определения свойств; в вычислительных экспериментах использовано лицензионное программное обеспечение;

показана воспроизводимость результатов исследования с проведением их статистической обработки;

теория построена на совокупности известных и проверенных отечественных, мировых представлений и научно-технических данных по теме диссертации, с которыми согласуются ее результаты;

идея базируется на анализе практики и обобщении передового опыта в области разработки полимерных композитов, модифицированных волокнистыми наполнителями, а также методов проведения механоактивации компонентов;

использованы сравнения авторских данных и данных, полученных ранее по тематике создания ПТФЭ-композитов;

установлено качественное совпадение основных авторских результатов с представленными в независимых литературных источниках результатами по исследованию структуры и свойств ПТФЭ-композитов в том, что разработанный подход к проектированию дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов позволяет получать композиты с заданным типом структуры и прогнозируемыми свойствами.

Личный вклад соискателя заключается в постановке и обсуждении целей и задач исследования, разработке подходов к их решению, в сборе и анализе данных из литературных источников, обосновании и подборе рецептуры композита, подготовке образцов для испытаний, а также в проведении экспериментальных исследований, статистической обработке и интерпретации полученных данных, обобщении результатов, формулировке выводов и практических рекомендаций на их основе, подготовке публикаций и докладов на конференциях по итогам работы.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было. Соискатель Маркова М.А. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

