ОТЗЫВ
официального оппонента на диссертацию Тарасовой Прасковьи Николаевны «Разработка композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, алюмосиликатов подгруппы каолинита и шпинели магния», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов

Полимерные композиционные материалы (ПКМ) триботехнического назначения достаточно давно применяются в узлах трения машин и технологического оборудования, обеспечивая высокую надежность и долговечность трибосопряжений. Несмотря на появление разработок по созданию подобных материалов на основе так называемых суперконструкционных полимеров, ПКМ триботехнического назначения на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) по-прежнему широко применяются в технике и разрабатываются новые износостойкие ПТФЭ-композиты. Стабильный интерес к ПТФЭ-композитам обусловлен уникальным сочетанием их физико-механических, химических и триботехнических свойств, что обеспечивается рациональным выбором параметров технологического процесса и наполнителей. В связи с этим особый интерес в качестве наполнителей представляют неорганические и минеральные наполнители. Среди минеральных наполнителей алюмосиликаты подгруппы каолинита представляют интерес благодаря совокупности их структурных, химических и морфологических особенностей, включая развитую удельную поверхность, высокую диспергируемость в полимере, термическую и химическую стабильность, эффект самосмазывания. Применение комплексных наполнителей, в частности на основе глинистых минералов и наноразмерных неорганических частиц, позволяет обеспечить повышение эксплуатационных характеристик ПТФЭ-композитов, в том числе износостойкости, прочности, жесткости и других характеристик. Сравнительно небольшое количество разработок ПКМ на основе ПТФЭ со слоистыми силикатами (алюмосиликатами каолинитовой подгруппы) обусловлено в первую очередь сложностью обеспечения адгезионного взаимодействия между матрицей и наполнителем. Применение в ПТФЭ-композитах помимо алюмосиликатов синтетической шпинели магния как перспективного наполнителя также вызывает научный и практический интерес. В целом, комплексное исследование влияния наполнителей с различной морфологией и химической природой на процессы формирования структуры, физико-механических и триботехнических свойств ПТФЭ-композитов обладает высокой научной и практической значимостью.

В связи с вышеизложенным **тема диссертации Тарасовой Прасковьи Николаевны «Разработка композиционных материалов на основе**

политетрафторэтилена, алюмосиликатов подгруппы каолинита и шпинели магния» является актуальной. Актуальность темы диссертации подтверждается связью работы с научными программами, поддержанными в рамках государственного задания.

Содержание диссертации и ее завершенность.

Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованной литературы из 256 источников. Объем работы составляет 195 страниц, включая 88 рисунков, 32 таблицы и 2 приложений (акты внедрения).

Во **введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цели и задачи, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, изложены основные положения, выносимые на защиту; представлены сведения о методологии и методах исследования, сведения о достоверности результатов; приведены сведения об апробации результатов и публикациях по теме диссертации; указан личный вклад автора и соответствие диссертации паспорту специальности; приведены сведения о структуре диссертационной работы.

Первая глава содержит анализ современного состояния исследований в области разработки ПТФЭ-композитов. Рассмотрены физико-химические и эксплуатационные свойства политетрафторэтилена, а также подходы к повышению его износостойкости. Систематизированы данные об эффективности слоистых силикатов и алюмосиликатов каолинитовой группы в качестве наполнителей и выявлены особенности их структурного строения, влияющие на формирование свойств композитов. Проведенный анализ определяет цель и задачи работы.

Вторая глава содержит описание объектов исследования, технологии получения композитов на основе ПТФЭ и методов исследования. Описанные методы в комплексе позволяют достичь поставленной цели и решить сформулированные задачи.

Третья глава содержит описание результатов исследований физико-химических свойств и структуры алюмосиликатов подгруппы каолинита, обоснован выбор оптимального режима механической активации. Приведены результаты исследования влияния алюмосиликатов и шпинели магния на физико-механические, термодинамические и термомеханические свойства ПТФЭ, а также на процессы формирования ПКМ.

Определена оптимальная продолжительность механоактивации каолинита, обеспечивающая максимальное диспергирование частиц, которая составляет 2 мин.

Установлено, что введение в ПТФЭ каолинита совместно со шпинелью магния обеспечивает формирование ПКМ с уровнем механических свойств, сопоставимым с ненаполненным ПТФЭ, тогда как добавление галлуазита со шпинелью магния увеличивает жесткость композита. Показано, что установленные закономерности обусловлены морфологическими особенностями алюмосиликатов.

Выявлено, что совместное введение в ПТФЭ алюмосиликатов и шпинели магния вызывает изменение термодинамического состояния системы, что проявляется в повышении энтальпии плавления и степени кристалличности.

Методом РСА установлено, что в композитах, содержащих каолинит и шпинель магния, формируется эксфолиированная структура, о чем свидетельствует исчезновение базальных рефлексов каолинита на рентгенораммах ПКМ.

Выявлены закономерности формирования мелкосферолитной структуры ПТФЭ в исследованных композитах.

Установлено, что при понижении температуры испытаний повышаются прочность при растяжении и модуль упругости ПТФЭ-композитов, что сопровождается снижением относительного удлинения при разрыве. Также установлено существенное увеличение прочности при сжатии ПКМ с понижением температуры. Наибольшее увеличение прочности при сжатии характерно для композитов, содержащих галлуазит и шпинель магния.

В четвертой главе обобщены результаты триботехнических испытаний и структурно-химического анализа поверхностей трения ПКМ, полученные методами СЭМ, ИКС и РФЭС.

Установлено, что совместное введение в ПТФЭ каолинита и шпинели магния обеспечивает повышение износостойкости ПТФЭ в 1380 раз, а сочетание галлуазита и шпинели магния – в 205 раз. При этом совместное использование галлуазита и шпинели магния обеспечивает более низкий коэффициент трения композитов.

Выявлены и описаны отличия морфологии фрикционных поверхностей ПКМ, содержащих галлуазит, от морфологии композитов, содержащих каолинит. Определен элементный состав поверхностного слоя.

На ИК-спектрах ПКМ после трения идентифицированы полосы поглощения, соответствующие колебаниям окисленных функциональных групп, что связывается с окислением фрагментов трибораспада ПТФЭ под действием фрикционного напряжения с участием кислорода воздуха.

Кроме этого, методом РФЭС установлено, что в ходе фрикционного взаимодействия активируются реакции фторирования. Показано участие частиц наполнителей и контртела в формировании износостойкого слоя вторичной структуры на поверхности трения ПКМ.

Выявлены основные закономерности трибохимических превращений в зоне металлополимерного фринционного контакта. Предложен механизм процессов, согласно которому трибоокисление и фторирование приводят к образованию солей перфторкарбоновых кислот, а также фторидов и оксидов металлов.

Проведено сравнение разработанных ПКМ с промышленными аналогами по эксплуатационным характеристикам, приведены сведения о практическом использовании полученных результатов и разработанных композитов.

В **заключении** приведены выводы и обобщения, сформулированные по результатам проведенных исследований. **Выводы полно и адекватно отражают полученные в диссертационном исследовании результаты.**

Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Основное содержание работы изложено в 15 публикациях, в том числе, 4 статьях в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, 2 статьях в журналах, индексируемых в базах Web of Science и Scopus, 1 патенте РФ, 8 тезисах и докладах в сборниках материалов конференций.

Работа представляет завершенное научное исследование, в котором достигнута поставленная в работе цель и решены сформулированные задачи исследования.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, обоснованы и аргументированы, их достоверность не вызывает сомнений. Это обеспечено использованием общепризнанного методологического подхода к решению научно-технических задач в рассматриваемой области, применением современных экспериментальных методов исследования, взаимной согласованностью результатов, полученных различными методами. Материал в диссертации излагается логично и последовательно с необходимой степенью аргументации, что также обеспечивает обоснованность положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Диссертационная работа Тарасовой Прасковьи Николаевны соответствует паспорту специальности 2.6.11 Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов: п. 2, 3, 6.

Научная новизна результатов диссертационного исследования.

1. Исследованы процессы формирования структуры композитов на основе ПТФЭ в зависимости от концентрации и морфологии частиц алюмосиликатов (каолинит – пластинчатая, галлуазит – трубчатая). Впервые, на примере ПКМ на основе ПТФЭ и каолинита показана возможность формирования композитов с эксфолиированной структурой, обладающих высокой износостойкостью и оптимальными физико-механическими свойствами.

2. Выявлены закономерности изнашивания ПТФЭ, модифицированного алюмосиликатами и шпинелью магния, в зависимости от содержания наполнителей и морфологии алюмосиликатов. Впервые установлено, что использование алюмосиликата с пластинчатой морфологией (каолинита) обеспечивает формирование материала с улучшенными триботехническими характеристиками. Установлены механизмы изнашивания ПКМ, базирующиеся на образовании защитного слоя вторичной структуры из продуктов

трибохимической деструкции ПКМ, состав и структура которой определяются содержанием и типом алюмосиликатного наполнителя.

3. Впервые предложены механизмы трибохимических реакций, протекающих в зоне трения металлополимерных систем с исследованными композитами, включающие процессы окисления с образованием солей перфторкарбоновых кислот, оксидов металлов и фторирования с образованием фторидов металлов, в зависимости от содержания и типа наполнителя. Образующиеся продукты трибохимических превращений являются ингибиторами изнашивания и обеспечивают формирование устойчивого, самоорганизующегося износостойкого трибослоя, повышающего ресурс работы ПКМ в условиях сухого трения

Практическая и теоретическая значимость полученных результатов.

Разработаны и оптимизированы составы полимерных композиционных материалов на основе ПТФЭ, алюмосиликатов каолинитовой подгруппы и магниевой шпинели, обеспечивающие повышенную износостойкость. Полученные композиции предназначены для изготовления уплотнительных и герметизирующих деталей гидравлических систем, сохраняющих работоспособность в широком температурном диапазоне. По предложенным технологиям и рецептурам получен патент РФ № 2699109. Разработанные материалы внедрены в качестве уплотнительных колец для редуктора газового баллона ООО «МИП Графен» (г. Якутск) и резьбового соединения на краны газового адсорбера АО «Сахатранснефтегаз» (г. Якутск).

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при разработке и исследовании композиционных материалов на основе ПТФЭ триботехнического назначения в научных центрах (ИФПМ СО РАН, ВИАМ и др.), в учебном процессе учреждений высшего образования при подготовке бакалавров и магистров, в том числе в Северо-Восточном федеральном университете имени М. К. Аммосова, Томском политехническом университете, Новосибирском государственном техническом университете, Омском государственном техническом университете и в других образовательных учреждениях высшего образования.

Разработанные и оптимизированные составы ПКМ обладают потенциалом для использования при изготовлении уплотнений в различных пневмо- и гидроустройствах, например при изготовлении сальниковых уплотнений, поршневых колец и других элементов технических систем.

Замечания и вопросы по диссертации:

1. Каков размер ячеек сита, которое использовалось при просеивании порошка ПТФЭ (страница 41), и на основании чего был осуществлен выбор?

2. Средние размеры частиц наполнителей до и после механоактивации представлены в таблице 11 (страница 50) и в таблице 12 (страница 54). Как можно объяснить различия в средних размерах частиц одних и тех же образцов при использовании различных методик?

3. При исследовании ПКМ методом РСА целесообразно было бы определить средние размеры кристаллитов в матрице для сопоставления со значениями степени кристалличности и уточнения влияния наполнителей на кристаллическую структуру ПТФЭ.

4. На странице 112 высказано предположение о том, что скачкообразные колебания коэффициента трения (рисунок 56 на странице 111) вызваны участием шпинели магния в трибохимических процессах. Маловероятно, что такие процессы могут протекать скачкообразно и приводить к подобным колебаниям.

5. В таблице 32 на странице 157 приводятся характеристики отечественных промышленно выпускаемых композитов на основе ПТФЭ и разработанных ПКМ. Сопоставимы ли приведенные данные по параметру PV? В качестве пожелания: целесообразно было бы в рамках задач импортозамещения привести данные для зарубежных материалов, которые часто используются на высокотехнологичном производстве.

Перечисленные выше замечания и вопросы не снижают научной новизны и практической ценности полученных результатов и диссертационной работы в целом.

Диссертация Тарасовой Прасковьи Николаевны является завершенной научно-квалификационной работой, которая содержит результаты комплексного исследования влияния алюмосиликатов подгруппы каолинита (каолинита и галлуазита) и шпинели магния на структуру, физико-механические и триботехнические характеристики ПТФЭ, а также результаты разработки триботехнических композиционных материалов на основе ПТФЭ с повышенными эксплуатационными характеристиками.

Результаты, полученные диссертантом, должным образом обоснованы, апробированы и опубликованы.

Диссертационная работа Тарасовой Прасковьи Николаевны «Разработка композиционных материалов на основе политетрафторэтилена, алюмосиликатов подгруппы каолинита и шпинели магния» по своей актуальности, научной новизне, уровню выполнения, объему, научной и практической значимости полученных результатов полностью отвечает требованиям п. 9 Положения о порядке

присуждения ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Тарасова Прасковья Николаевна достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Выражаю согласие на обработку персональных данных.

Официальный оппонент,
заведующий кафедрой «Физика» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ),
https://www.omgtu.ru, e-mail info@omgtu.ru
Адрес: Российская Федерация, 644050, г. Омск, пр. Мира, д. 11,
тел. 8(3812)65-34-07

Доктор технических наук (05.16.09 – Материаловедение (машиностроение)), доцент

_____ Кропотин Олег Витальевич
01.10.2026

Подпись О. В. Кропотина удостоверяю:

Ученый Секретарь университета _____ А. Ф. Немцова

Вход. № 05-9205
«16» 10 2026 г.
Подпись