

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Кириллова Владислава Евгеньевича

«Функциональные полимерные композиционные материалы с наноразмерными металлсодержащими наполнителями»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения»

**Актуальность темы исследования.** Разработка полимерных нанокомпозитов наполненных металлсодержащими наноразмерными наполнителями является одним из приоритетных направлений современного материаловедения. Наноразмерные наполнители, введённые в полимерные матрицы, позволяют создавать композиционные материалы нового поколения с управляемыми электрофизическими, магнитными и биоцидными свойствами. Успешная реализация потенциала таких систем сдерживается фундаментальными и технологическими проблемами: склонностью наночастиц к агломерации, недостаточной изученностью взаимосвязи параметров синтеза и функциональных характеристик, а также дефицитом воспроизводимых и экологически безопасных методов стабилизации. Решение этих вопросов определяет высокую научную и практическую значимость представленной работы. Диссертация В.Е. Кириллова посвящена комплексному исследованию процессов синтеза, стабилизации и функционализации полимерных нанокомпозитов, что полностью соответствует современным запросам нанoeлектроники, биомедицины и производства функционального текстиля.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и списка литературы. Работа изложена на 181 странице, содержит 87 рисунков, 31 таблицу и 244 источника цитируемой литературы.

**Во введении** представлена информация раскрывающая актуальность темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, дано описание научной новизны и практической значимости работы.

**В первой главе** представлен анализ литературных источников по теме диссертации. В разделе описаны методы синтеза биметаллических наночастиц, способы их стабилизации полимерными матрицами, а также модификации полимерных волокон металлсодержащими наполнителями. Особое внимание уделено аналитическим методам исследования структуры и свойств нанокompозитов.

**Во второй главе** описана экспериментальная часть: перечислены использованные в работе исходные химические соединения и полимеры, представлена общая методика одностадийного синтеза (метод «класпол») использованная в работе, а также подробно охарактеризован комплекс физико-химических методов исследования (ПЭМ, СЭМ, РФА, XAS, ЭПР, мессбауэровская спектроскопия, ДСК, механические и биоцидные тесты).

**В третьей главе** приведено описание синтезов композиционных металлсодержащих полимерных материалов и результаты их структурных исследований. Детально охарактеризовано атомное строение наночастиц Pd, Au, Mn, Ni, ZnS, FeMn, CoFe, CuAg. Впервые экспериментально подтверждено формирование трехслойной модели  $\alpha\text{-Fe@Fe}_2\text{O}_3/\text{Mn}_2\text{O}_3$  для биметаллических систем и моделей «ядро–оболочка» для ряда нанокompозитов. Показано важное влияние типа полимерной матрицы (ПЭНП, ПЭВП и УПТФЭ) на размер, морфологию и фазовый состав наночастиц.

**В четвертой главе** исследованы электрофизические и магнитные свойства полученных материалов. Установлены закономерности изменения диэлектрической проницаемости, удельного сопротивления и СВЧ-потерь. Впервые выявлено аномальное магнитное поведение композитов с золотом, объясненное эффектом поверхностного орбитального магнетизма, а также специфические парамагнитные и суперпарамагнитные состояния для систем на основе Pd, Mn и Ni.

**В пятой главе** представлены данные по биоцидным свойствам нанокompозитов и описаны разработанные технологии модификации полипропиленовых волокон. Показано, что введение в полипропилен до 7,5 мас.% ПЭНП+Мп позволяет создать комплексное волокно у которого поверхностное электрическое сопротивление на 6 порядков ниже, а удельная разрывная нагрузка более чем в 2 раза выше, по сравнению с не содержащим наполнителей полипропиленовым волокном. Разработана технология поверхностного нанесения модификатора УПТФЭ+ZnS на полипропиленовые волокна, что обеспечило «залечивание» дефектов и рост модуля упругости комплексных волокон на 17%, по сравнению с не модифицированными полипропиленовыми волокнами. Количественно оценена селективная антимикробная активность при низких концентрациях наполнителя.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы, определены перспективы дальнейшего развития темы.

**Научная новизна работы.** Реализован одностадийный метод синтеза металлосодержащих наночастиц непосредственно в объеме или на поверхности полимеров без применения дополнительных стабилизаторов. Экспериментально подтверждено формирование сложных трехслойных и «ядро–оболочка» структур в биметаллических системах. Впервые описан эффект поверхностного орбитального магнетизма в композитах с золотом и выявлена определяющая роль полимерной матрицы как активного регулятора структуры наночастиц. Разработаны и апробированы методы модификации полипропиленовых волокон, позволившие одновременно повысить прочность, обеспечить антистатический эффект и селективную биоцидную активность.

**Практическая значимость.** Разработаны научно обоснованные, экологически безопасные и технологичные методы получения функциональных полимерных нанокompозитов и волокон, совместимые с существующим промышленным оборудованием. Полученные материалы перспективны для

производства антистатических тканей, медицинского текстиля с барьерными свойствами, элементов электромагнитного экранирования и сенсоров. Установленные корреляции «структура–свойства» создают методическую основу для целенаправленного синтеза композиционных материалов с заданным комплексом характеристик.

**Достоверность полученных данных.** Достоверность результатов обеспечивается строгим соблюдением современных методик синтеза и характеристики, применением широкого комплекса независимых физико-химических методов (ПЭМ, РФА, EXAFS/XANES, ЭПР, мессбауэровская спектроскопия), корректной статистической обработкой экспериментальных данных и хорошим согласованием теоретических представлений с полученными результатами и литературными данными.

**Соответствие автореферата диссертации.** Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы, дает исчерпывающее представление об объеме проведенных исследований и четко формулирует основные научные и практические результаты.

**Опубликованные работы.** Основные результаты диссертации отражены в 9 научных публикациях, включая 6 статей, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Результаты работы доложены на 13 конференциях.

**К работе есть замечания:**

1. Остается не ясным, за счет каких реакций металлосодержащие наночастицы закрепляются на поверхности микрогранул политетрафторэтилена и насколько прочно они там закреплены. Есть ли взаимодействие наночастиц с полиэтиленовой матрицей?
2. Отсутствует обоснование выбора комплекса физико-химических методов, примененных в работе.

3. Не ясно, чем обусловлен широкий набор разных полимеров в работе.
4. Не понятно, какие основные факторы влияют на магнитные свойства композиционных материалов.
5. Не для всех исследованных магнитных материалов приведены значения константы магнитной анизотропии.
6. На графиках, иллюстрирующих механические и электрофизические свойства, отсутствуют доверительные интервалы и значения погрешностей измерений, что затрудняет визуальную оценку статистической значимости полученных зависимостей.
7. Работа еще больше выиграла бы, если бы в ней была отражена термодинамика взаимодействий между компонентами синтезированных нанокompозитов и рассчитаны изменения энергии Гиббса, энтальпии и энтропии систем.
8. В тексте работы встречаются субъективные оценочные формулировки («слабый рост», «значительное увеличение»). Рекомендуется привести все физические величины к единой системе СИ и заменить качественные оценки на конкретные численные показатели для повышения точности изложения.

Приведенные замечания носят исключительно дискуссионный характер и не снижают высокой научной ценности работы В.Е. Кириллова.

**Содержание и результаты диссертации** соответствуют паспорту специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения» (направление исследований: пункт 9 паспорта – «Целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники»).

Диссертационная работа Кириллова Владислава Евгеньевича «Функциональные полимерные композиционные материалы с наноразмерными металлсодержащими наполнителями» является законченной

научно-квалификационной работой, в которой предложены новые научно обоснованные технологические решения по синтезу и функционализации полимерных нанокompозитов и волокон. Диссертация отвечает всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., а ее автор, Кириллов Владислав Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения».

Официальный оппонент:

Доктор химических наук (1.4.4 (02.00.04)  
– «Физическая химия»), профессор  
Центра фотоники и фотонных технологий  
Сколковского института науки и  
технологий (Сколтех)

Горин Дмитрий Александрович



«12» мая 2026 г.

Автономная некоммерческая образовательная организация высшего профессионального образования Сколковский институт науки и технологий (Сколтех), 121205, Москва, Большой бульвар, д. 30, стр. 1

Тел.: +7(495)280-14-81; e-mail: d.gorin@skoltech.ru, gorinda@mail.ru

Подпись д.х.н., профессора Горина Дмитрия Александровича заверяю

<i>менеджер по связям</i>		<i>Горин Д.А.</i>
---------------------------	---	-------------------