

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.385.01,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ДИЗАЙНА»,  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 21.12.23 № 3

О присуждении Вольновой Диане Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Математическое и структурное моделирование электропроводящих свойств композитных нитей с углеродными наночастицами» по специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки), принята к защите 17 октября 2023 (протокол № 2), диссертационным советом 24.2.385.01, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, расположенного по адресу 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, приказ о создании диссертационного совета № 525/нк от 25 мая 2022 г; приказ о внесении частичных изменений от 24 марта 2023 г № 547/нк.

Соискатель Вольнова Диана Владимировна, 3 марта 1987 года рождения, в 2009 году окончила федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» по специальности

«прикладная математика и информатика», получила квалификацию «Математик. Системный программист»; в 2020 году окончила обучение в аспирантуре федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» по направлению подготовки 29.06.01 Технологии легкой промышленности. Справка о сдаче кандидатских экзаменов по специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов (технические науки) выдана в 2023 году федеральным государственным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна». С 2012 г по настоящее время работает старшим преподавателем кафедры математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре инженерного материаловедения и метрологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор Цобкалло Екатерина Сергеевна, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, заведующий кафедрой инженерного материаловедения и метрологии.

Официальные оппоненты:

Рымкевич Павел Павлович, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное военное образовательное

учреждение высшего образования «Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, профессор кафедры физики;

Резник Александр Сергеевич, кандидат технических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, доцент Высшей школы высоковольтной энергетики, дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановский государственный химико-технологический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации – в своем положительном отзыве, подписанном Агеевой Татьяной Арсеньевной, кандидатом химических наук, доцентом, заведующим кафедрой химии и технологии высокомолекулярных соединений и утвержденном Гушиным Андреем Андреевичем, доктором химических наук, доцентом, проректором по науке и инновациям, указала, что диссертационная работа Вольновой Д.В. «Математическое и структурное моделирование электропроводящих свойств полимерных композитных нитей с углеродными наночастицами» является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение научной задачи - моделирование перколяционного процесса, протекающего в композиционном материале полимер-углеродные нанонаполнители, имеющей существенное значение для специальности 2.6.11. - Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов. По своей актуальности, научной новизне, практической значимости полученных результатов, личному вкладу автора представленная диссертация соответствует паспорту специальности 2.6.11. - Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов и п. 9. Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением

Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Вольнова Диана Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. - Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Соискатель имеет 20 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ, 4 из них – в изданиях, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science), 4 – в журналах из перечня ВАК.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Tsobkallo, E.S. Relationship of mathematical and structural modeling of the electrical conducting properties of composite film fibers with isotropic and anisotropic carbon nanofillers / E.S. Tsobkallo, D.V. Vol'nova, G.P. Meshcheryakova // *Fibre Chemistry*. –2020. –Vol. 52. –№ 3. –P. 141-147.

Авторский вклад 70%.

2. Moskalyuk, O.A. Modeling of the electrotransport process in PP-based and PLA-based composite fibers filled with carbon nanofibers / O.A. Moskalyuk, D.V. Volnova, E.S. Tsobkallo // *Polymers*. –2022. –Vol.14. –№12. –2362.

Авторский вклад 65%.

3. Вольнова, Д.В. Влияние ориентационной вытяжки на электрические свойства полимерных композитных мононитей, наполненных углеродными нановолокнами. / Д.В. Вольнова // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. –2023. –Т.59. –№2. –С. 66-70.

Авторский вклад 100%.

4. Вольнова, Д.В. Математическое моделирование концентрационных зависимостей процесса электропереноса в полимерной композитной мононити, наполненной углеродными нановолокнами, от структуры матрицы / Д.В. Вольнова // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. –2023. –Т.59. –№2. –С. 83 – 86. Авторский вклад 100%.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы без принципиальных замечаний от: доктора экономических наук, кандидата физико-математических наук, профессора кафедры информационных систем в экономике федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» Министерства науки и высшего образования РФ В.Г. Халина; кандидата физико-математических наук, инженера-программиста 2 категории АО «Концерн «Научно-производственное объединение «Аврора»» Д.Б. Утенковой-Якушевой.

Также поступили положительные отзывы, содержащие следующие замечания:

1. от доктора технических наук, профессора, профессора кафедры материаловедения, товароведения, стандартизации и метрологии федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ивановский государственный политехнический университет» Министерства науки и высшего образования РФ Б.Н. Гусева «на рис. 1 не обозначены степени ориентационной вытяжки, что усложняет понимание читаемого текста. Также из текста автореферата не ясно, каким образом экспериментальные данные получены соискателем или они взяты из соответствующей научной литературы»;

2. от доктора технических наук, профессора, профессора кафедры технологии переработки полимеров и композиционных материалов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный технологический университет» Министерства науки и высшего образования РФ М.Ф. Галиханова «с какими конкретно технологическими особенностями изготовления композитного материала связано отличие зависимости удельного объемного электрического сопротивления (от чего?) в полимерных композитных мононитях, наполненных проводящими углеродными наночастицами, и в полимерных композитных пленочных нитях?»;

3. от доктора технических наук, профессора, директора центра химической инженерии федерального государственного автономного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО» Министерства науки и высшего образования РФ М.В. Успенской «1) из автореферата не понятно какими параметрами (молекулярная масса, дисперсность, степень чистоты и т.п.) характеризовались используемые в работе полимеры и влияют ли эти параметры на свойства получаемых композиционных материалов при введении различных видов углеродных наполнителей; 2) также из автореферата не понятно были ли исследованы влияние технологических параметров (температуры переработки и т.д.) получения лабораторных образцов на электропроводящие свойства композитных нитей. И возможно ли построение математических моделей этих зависимостей отнести к перспективам дальнейшего научного исследования?».

4. от доктора технических наук, профессора, профессора кафедры строительной механики и теории сооружений федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования РФ Б.М. Языева «1. чем основан выбор автором для описания зависимости  $\rho V(K)$  именно сигмоидальной функции Больцмана (соотношение (1))? 2. В формуле (5) автореферата приведена двойная функция Больцмана:

$$R = \boxed{R_2} + \frac{R_1 - R_2}{1 + e^{\frac{K - K_1}{\Delta K_1}}} + \frac{R_2 - R_3}{1 + e^{\frac{K - K_2}{\Delta K_2}}} + R_3. \text{ Почему отсутствует слагаемое } R_2? \text{»}.$$

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными учеными по специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов и имеют публикации в данной области; ведущая организация и оппоненты известны своими

достижениями в научной и практической деятельности по тематике диссертации.

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

**разработаны** новые математические модели зависимостей удельного объемного электрического сопротивления композитных пленочных нитей на основе полипропилена от вида углеродного нанонаполнителя, его концентрации и степени ориентационной вытяжки и композитных мононитей (полипропилен-углеродные нановолокна и полилактид-углеродные нановолокна) от структуры матрицы и степени ориентационной вытяжки;

**предложены** оригинальные методы моделирования процесса формирования проводящего кластера в композитных полимерных волокнистых материалах;

**доказана** адекватность предложенных математических моделей концентрационных зависимостей удельного объемного электрического сопротивления неориентированных пленочных нитей на основе полипропилена, наполненных углеродными нанонаполнителями и подвергнутых ориентационной вытяжке в 4 и 8 раз, с помощью аппарата теории графов и теории вероятностей;

**введены** расширенные понятия о перколяционном процессе в композитных полимерных материалах, основанные на предложенных математических моделях и состоящие в наличии двух порогов перколяции в композитных полимерных мононитях, наполненных углеродными наночастицами.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:** **доказано** математически положение о выходе значения удельного объемного электрического сопротивления на насыщение при определенной концентрации наполнителя;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы** методы математического моделирования, математического

анализа, теории вероятностей, теории графов и случайных графов для анализа и обработки накопленной базы данных экспериментальных исследований перколяционного процесса, протекающего в композитном полимерном материале;

**изложены** новые подходы к оценке зависимости удельного объемного электрического сопротивления композитных полимерных нитей от длины частицы наполнителя и к моделированию формирования проводящего кластера на основе теории вероятностей и теории графов;

**раскрыто** влияние ориентации надмолекулярной структуры композитных полимерных нитей на электропроводящие свойства получаемого материала, что углубляет представления о взаимосвязи особенностей структуры и свойств композитных материалов;

**изучены** взаимосвязи параметров построенных математических моделей концентрационных зависимостей удельного объемного электрического сопротивления композитных полимерных нитей с их структурными характеристиками и видом перколяционных зависимостей.

**проведена** модернизация функции Больцмана для моделирования перколяционного процесса в композитных полимерных моноволокнах.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что разработаны и внедрены**

- новые математические модели зависимостей удельного объемного электрического сопротивления мононитей состава полипропилен-углеродные нановолокна и полилактид-углеродные нановолокна от структуры матрицы и степени ориентационной вытяжки;

- новые методы прогнозирования электропроводящих свойств композитных полимерных нитей;

- новые методы вычисления параметров перколяционного процесса в композитных полимерных нитях (порога перколяции и значения конечного удельного объемного электрического сопротивления);



указанные методы реализованы при разработке текстильных материалов с требуемым уровнем электропроводящих свойств для систем обогрева в ООО «АрктикТекс». Ожидаемый эффект от внедрения – повышение в 2 раза скорости разработки нового продуктового решения для создания новых гибких греющих модулей на основе электропроводящих тканей для обеспечения защиты от переохлаждения при пониженных температурах;

**определены** перспективы практического использования модели для создания композитных полимерных материалов с требуемыми электропроводящими свойствами и способы вычисления минимального значения концентрации наполнителя, необходимой для получения этих свойств;

**создан** эффективный механизм оценки электропроводящих свойств, приобретаемых композитным полимерным материалом в зависимости от технологии изготовления нити, структуры выбранной матрицы, вида и концентрации наполнителя и ориентационной вытяжки;

**представлены** методики математического моделирования зависимостей удельного объемного электрического сопротивления композитных полимерных нитей от вида и концентрации наполнителя и степени ориентационной вытяжки.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** построена на экспериментальных данных, полученных на современном оборудовании и сертифицированных измерительных приборах путем многократных измерений и статистической обработки и на результатах всестороннего анализа современных представлений о перколяции; использует различные методы математического анализа, теории вероятностей, теории графов и случайных графов и полностью согласуется с известными по теме диссертации результатами исследований;

**идея базируется** на анализе и обобщении современных подходов и методов изучения перколяционного процесса в композитных полимерных структурах;

**использованы** сравнения методов теории графов, теории вероятностей и математического анализа, а также полученных другими авторами данных по рассматриваемой тематике для построения математической модели всего перколяционного процесса, протекающего в композиционных полимерных волокнистых материалах;

**установлено** качественное и количественное совпадение результатов прогнозирования удельного объемного электрического сопротивления композитных нитей с результатами эксперимента, а также с данными, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** современные методы сбора и обработки экспериментальной информации, информационные технологии и вычислительная техника.

**Личный вклад соискателя состоит в** непосредственном участии в формулировании задач исследования, теоретическом и методическом обосновании путей их решения; предложенном и реализованном комплексном решении задачи моделирования концентрационных зависимостей удельного объемного электрического сопротивления композитных пленочных нитей от структуры матрицы, вида углеродного нанонаполнителя, степени ориентационной вытяжки; личном выполнении научных исследований, формулировании основных результатов, положений и выводов исследования; участии в апробации результатов исследования; участии в подготовке публикаций.

Соискатель Вольнова Д.В. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют пунктам 2, 4, 6 паспорта научной специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

Диссертационная работа Вольновой Дианы Владимировны на тему «Математическое и структурное моделирование электропроводящих свойств полимерных композитных нитей с углеродными наночастицами», по

актуальности, научной новизне и практической значимости соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, так как является законченной научно-квалификационной работой, в которой, на основании выполненных автором исследований, содержится решение научной задачи по разработке методов математического моделирования и прогнозирования электропроводящих свойств полимерных композитных материалов, имеющей существенное значение для развития полимерного материаловедения.

Автор диссертационного исследования Вольнова Диана Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.11. – Технология и переработка синтетических и природных полимеров и композитов.

На заседании 21 декабря 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Вольновой Диане Владимировне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 8 человек, из них 3 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 11 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 8, против – 0, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель

диссертационного совета

Сашина Елена Сергеевна

Ученый секретарь

диссертационного совета

Михаилиди Александра Михайловна

21.12.2023