

«Утверждаю»



29» 05 2025

директор по науке и инновациям

Е.В. Хайдуков

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Мохаммада Хуссома «Тепло-электропроводящие композиционные материалы на основе полисульфона полученный по растворной технологий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17- «Материаловедение».

Актуальность темы диссертационного исследования.

Диссертационная работа Мохаммада Хуссома посвящена комплексному исследованию композиционных материалов на основе полимерной матрицы и углеродных наполнителей. Отличительной особенностью работы является направленность на изготовление высоконаполненных композиционных материалов с учетом возможности использования несколько наполнителей одновременно, чтобы сбалансировать изменения свойств. В представленном исследовании изучается влияние на свойства композитных материалов на основе полисульфона, наполненного графитом, добавок таких углеродных материалов как технический углерод, природный, искусственный и терморасширенный графиты. Возможность регулировать тепло- и электропроводность с учетом возможных дополнительных требований по механическим свойствам, а также с учетом анизотропии этих характеристик очень востребовано в таких приложениях, как электроды накопителей энергий, теплоотводящие пластины в электронных устройствах, в авиационной индустрии.

В этом смысле цель исследования разработка композиционных материалов с термопластичной матрицей, обладающих высокими значениями тепло- и электро- проводимости является крайне актуальной.

Структура и объем диссертационной работы.

Диссертация изложена на 141 странице, в том числе введения, 7 глав, заключения, списка литературы из 127 источников и приложение. Текст диссертации содержит 53 рисунка и 15 таблицы. Кроме того, представлен

автореферат на 27 страницах, в котором дополнительно приведены основные публикации автора по теме диссертации и выступления на конференции.

Научная новизна сформулирована во введении. К числу наиболее важных научных результатов можно отнести следующие:

Показано, что растворение термопластичного матричного полимера в органическом растворителе позволяет получать низковязкие пропиточные растворы, введение в которые различных функциональных наполнителей с последующим удалением растворителя, позволяет получать плотные высоконаполненные композиционные материалы. При этом содержание упрочняющих и функциональных наполнителей может достигать до 70 масс. %. Такая величина наполнения является близкой к максимальной, при обеспечении эффективного смачивания частиц для используемых углеродных наполнителей.

Разработаны научные подходы к формированию композиционных материалов на основе непроводящего термопластичного полимера и функциональных углеродных наполнителей, обеспечивающие высокие значения электро- и теплопроводности материала за счет перколяционных связей частиц наполнителей в структуре.

Получены композиционные материалы на основе термопластичного полимера – полисульфона содержащие 30–70 масс. % функциональных углеродных наполнителей со значениями электропроводности до 55.5 См/см и теплопроводности до 37.1 Вт/м*К. Эти значения существенно, более чем на 20%, превосходят данные описанные в научной и патентной литературе.

Установлены закономерности формирования механических, тепловых, электрических свойств в зависимости от технологических параметров производства, вида, морфологии, и содержания функциональных углеродных наполнителей, введенных в термопластичную матрицу – полисульфон.

По совокупности этих результатов видно, что данная работа соответствует высокому научному уровню, а достигнутые показатели выше, чем представленные в современной научной и патентной литературе.

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что: разработаны рецептуры полимерматричных композиционных материалов на основе полисульфона и углеродных наполнителей обладающие с высокими значениями электропроводности и теплопроводности соответственно;

Предложен метод получения полимерматричных композиционных материалов, обеспечивающий введение до 70 масс. % углеродных функциональных и упрочняющих наполнителей;

Установлены взаимосвязи между рецептурами, технологическими режимами производства композиционных материалов особенностями их микроструктуры, упруго-прочностными характеристиками, тепловыми и электрическими характеристиками, что позволяет при необходимости проектировать и изготавливать материалы с заданным набором характеристик, управлять анизотропией теплопроводности и электропроводности композиционных материалов, получаемых по растворной технологии

Потенциальной областью применения разработанных в диссертационной работе материалов является их использование при изготовлении моно и биполярных пластин промышленных электрохимических накопителей энергии, таких как к примеру редокс- батареи, производство которых в настоящий момент разворачивается в промышленно развитых странах. Использование предложенных композиционных материалов с термопластичной матрицей позволяет изготавливать методом термопрессования крупногабаритные пластины необходимые для накопителей с мощностью 50 КВт – 100 МВт. Еще одним из возможных направлений является производство легких тепловых радиаторов для использования в радиоэлектронике, авиационной и космической технике.

Разработанные рецептуры и методики изготовления композиционных материалов могут быть использованы в ОАО «Композит», НИЦ «Курчатовский институт», на предприятиях входящих в структуру государственной корпорации Росатом, а также в электронной и авиационной промышленности в рамках работ по созданию перспективных электрохимических систем хранения и накопления энергии в рамках направлений высокоэффективная и ресурсосберегающая энергетика и интеллектуальные транспортные и телекоммуникационные системы, включая автономные транспортные средства в соответствии с указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529.

Полученные результаты, методики и подходы могут стать основой для проведения последующих НИР и ОКР направленных на разработку новых композиционных материалов на основе других систем полимер – растворитель, что позволит заменить аналогичные импортные материалы.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием сертифицированного метрологически аттестованного оборудования, применялись аттестованные и стандартизованные методики выполнения измерений. Испытания проведены на представительных выборках образцов,

выполнены испытания на сериях образцов, полученных в разное время для проверки воспроизводимости данных. Показано, что научные результаты, не противоречат данным, представленным в современной научной литературе.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации.

При анализе диссертационной работы возникли следующие вопросы и замечания:

1. Насколько предложенная технология жидкофазного получения композиционного материала может быть масштабируема для промышленного производства. В тексте диссертации не прослеживается ответа на этот вопрос.
2. Автор рассматривает изменение нескольких параметров при изменении содержания наполнителя. Есть ли критерии, которые обеспечивают возможность выбора типа и содержания наполнителей для решения конкретной задачи?
3. Работа имеет практическую направленность. Автор подчеркивает (и справедливо) достижение достаточно высоких показателей по тепло- и электропроводности. Но в работе не приводится сравнение комплекса свойств с тем набором показателей, которые выпускаются сейчас в России и в мире. Это тем более важно, что для разных приложений эти наборы будут различны.
4. Автор, приводя данные по краевым углам смачивания, делает вывод о стабильности систем в водных средах. Однако в тексте не обсуждается как связана устойчивость систем в средах с краевым углом смачивания.
5. Насколько приведенные точности результатов измерений соответствуют поставленной задаче. Как были рассчитаны диапазоны для изменения средней величины.
6. В заключении автор делает вывод о стабильности полученных материалов в среде концентрированной кислоты. Однако, обоснования этого вывода нет ни в автореферате, ни в основном тексте диссертации.

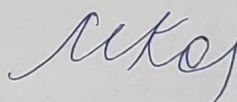
Несмотря на замечания, приведенные выше, диссертационная работа Мохаммада Хуссома заслуживает достаточно высокой оценки и обладает как научной, так и практической значимостью. Совокупность результатов представляет собой значимое научное достижение в области материаловедения, позволяя расширить предсказательную способность относительно свойств для многофазных композиционных материалов. Диссертационная работа Мохаммада Хуссома соответствует научной специальности 2.6.17 «Материаловедение». По актуальности, научной

новизне и объему выполненных исследований диссертация представляет собой завершённую научную работу.

Диссертационная работа отвечает всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС П 710.05-22, предъявляемым к диссертации на соискание степени кандидата технических наук, а ее автор, Мохаммад Хуссом, заслуживает присуждения ему степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17 - «Материаловедение».

Диссертационная работа, автореферат и отзыв были обсуждены и одобрены на заседании кафедры Наноматериалы и нанотехнологии РХТУ им. Д.И. Менделеева 19 мая 2025 года. Присутствовали 5 сотрудников. Результаты голосования 5 – «за», 0 – «против». Протокол № 12 от 19 мая 2025 г.

Профессор кафедры наноматериалов и нанотехнологии
РХТУ им. Д.И. Менделеева,
Профессор, Д.х.н.



/М.Ю. Королёва/