

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук **Варлачева Валерия Александровича** на диссертационную работу **Романюка Дмитрия Сергеевича** на тему: «**Полимерные радиационно-защитные композиты, наполненные соединениями висмута и бора**», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (технические науки).

Для обеспечения радиационной безопасности персонала и оборудования в различных областях техники и медицины, где используются источники ионизирующего излучения, требуются материалы, обладающих высокими защитными свойствами. Кроме того, необходимо отметить, что радиационная опасность является одной из ключевых проблем длительных космических полётов. Вопросы защиты от ионизирующего излучения, в том числе нейтронного и гамма-излучения в космическом пространстве, имеют особое значение. Для защиты оборудования космических аппаратов от действия ионизирующего излучения и снижения радиационной нагрузки на космонавтов необходимо создание материалов, обладающих высокими защитными характеристиками. Особый интерес представляют компактные и эффективные радиационно-защитные материалы на полимерной основе, сочетающие высокие защитные характеристики с пониженной массой, технологичностью и возможностью формования изделий сложной геометрии. В прикладном аспекте актуальность исследования определяется необходимостью создания композиционных материалов, обеспечивающих ослабление гамма- и нейтронного излучения в условиях ограниченного пространства. В фундаментально-научном плане работа направлена на выявление закономерностей формирования структуры и свойств полимерных композитов, наполненных соединениями висмута и бора, а также на установление взаимосвязи между составом, структурой и радиационно-защитными, физико-механическими характеристиками таких материалов. Таким образом, исследования Романюка Д.С. на тему «Полимерные радиационно-защитные композиты, наполненные соединениями висмута и бора» являются **актуальными**, а результаты исследований **практически значимыми**.

Научная новизна положений, выводов и рекомендаций заключается в том, что:

– Впервые предложен и научно обоснован механизм гомогенизации компонентов смеси полиэтилена высокой плотности, оксида висмута и карбида бора в процессе криогенной механоактивации, обеспечивающий равномерное распределение частиц наполнителей в объеме полимерной матрицы и формирование активных межфазных поверхностей взаимодействия. Показано, что данный подход способствует повышению радиационно-защитных и физико-механических характеристик композитов.

– Впервые выявлены различия в механизмах ослабления нейтронного излучения в полимерных композитах оптимального состава в зависимости от энергетического диапазона нейтронов. Установлено, что в области тепловых нейтронов основную роль играет поглощение за счет (n, α) -реакций в карбиде бора, тогда как в области быстрых нейтронов существенный вклад в ослабление вносит неупругое рассеяние и частичное поглощение нейтронов ядрами висмута по каналам $(n, n' \gamma)$ и $(n, 2n)$, сопровождающееся генерацией вторичных γ -квантов.

– Впервые экспериментальным и расчетным путем показано, что введение оксида висмута в состав полимерных композитов обеспечивает существенное повышение эффективности защиты от гамма-излучения по сравнению с борированным полиэтиленом за счет возрастания вклада фотоэффекта, комптоновского рассеяния и процессов образования электронно-позитронных пар, что приводит к снижению плотности потока γ -квантов на десятки процентов в широком энергетическом диапазоне.

– На основе комплексных экспериментальных исследований и математического моделирования с использованием библиотеки GEANT4 впервые обоснован оптимальный состав полимерного радиационно-защитного композита, обеспечивающий эффективную комплексную защиту от нейтронного и гамма-излучения при сохранении технологичности и приемлемых эксплуатационных характеристик.

– Получены новые данные о механизмах радиационной деградации структуры и свойств полимерных композитов под воздействием нейтронного и гамма-излучения, что позволило дать научно обоснованные рекомендации по применению разработанных материалов в условиях смешанных радиационных полей.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием комплекса современных экспериментальных методов исследования, применением аттестованных методик, а также проведением сопоставления экспериментальных данных с результатами расчетов и моделирования. Все основные выводы и положения диссертации логически вытекают из представленных экспериментальных результатов и не противоречат современным представлениям физики конденсированного состояния.

Основные положения диссертационной работы изложены в 19 научных публикациях, в том числе: 6 работ – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 2 – в зарубежных изданиях, индексируемых международными библиографическими базами Scopus и Web of Science (Q1). Получен патент на изобретение РФ № 2799773.

Теоретическая и практическая значимость представленной работы Романюка Д.С. заключается в развитии и уточнении научных представлений о механизмах формирования структуры и радиационно-защитных свойств полимерных композиционных материалов, наполненных соединениями висмута и бора.

В работе получены новые данные о закономерностях взаимодействия нейтронного и гамма-излучения с полимерными композитами сложного состава, учитывающими совместный вклад процессов замедления, поглощения и рассеяния ионизирующего излучения. Существенным теоретическим результатом является выявление различий в механизмах ослабления нейтронов в зависимости от их энергетического диапазона, а также установление роли тяжелых ядер висмута и борсодержащих фаз в формировании комплексной радиационной защиты.

Результаты численного моделирования, выполненные с использованием библиотеки GEANT4 и верифицированные экспериментально, расширяют существующие модели описания радиационных процессов в полимерных композиционных материалах и могут быть использованы при дальнейшем развитии теории радиационного взаимодействия сложных многокомпонентных систем с ионизирующим излучением.

Полученные в диссертации теоретические выводы вносят вклад в развитие физики конденсированного состояния и радиационного материаловедения и могут служить научной основой для последующих исследований в области создания полимерных радиационно-защитных материалов.

Диссертационная работа Романюка Д.С. содержит введение, 5 глав, заключение, библиографию, 5 приложений. Общий объем работы - 203 страницы, включая 55 рисунков и 17 таблиц. Библиография содержит 111 наименований.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и основные задачи работы, определены объект и предмет исследования. Также во введении отражены научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту, и дана характеристика апробации результатов исследования.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена анализу современного состояния исследований в области радиационно-защитных материалов. В ней рассмотрены физические основы взаимодействия гамма- и нейтронного излучения с веществом, проанализированы традиционные и перспективные материалы, используемые для радиационной защиты, а также обоснован выбор полимерных композитов в качестве объекта исследования. Проведенный анализ литературных источников позволил автору выявить существующие проблемы и определить основные направления дальнейших исследований.

Во второй главе приведена характеристика исходных материалов, использованных при создании полимерных радиационно-защитных композитов, включая полимерные матрицы и функциональные наполнители на основе соединений висмута и бора. Подробно описаны методы получения композитов, а также экспериментальные методики исследования их структурных, физико-механических, теплофизических и радиационно-защитных свойств. Данный раздел создает необходимую методическую основу

для анализа и интерпретации результатов, представленных в последующих главах.

Третья глава посвящена исследованию влияния состава и концентрации наполнителей на структуру и основные эксплуатационные свойства полимерных композитов. В ней представлены результаты анализа микроструктуры материалов, а также данные по изменению физико-механических и теплофизических характеристик в зависимости от содержания висмут- и борсодержащих компонентов.

В четвертой главе изложены результаты численного моделирования процессов ослабления гамма- и нейтронного излучения в разработанных композитах. Проведен анализ эффективности радиационной защиты в зависимости от состава материала и энергетических характеристик излучения, а также выполнено сопоставление расчетных и экспериментальных данных.

Пятая глава посвящена экспериментальному исследованию радиационно-защитных свойств полимерных композитов при воздействии нейтронного и гамма-излучения. Рассмотрено влияние радиационного облучения на изменение физико-механических характеристик и структуры материалов, а также приведено сравнение полученных результатов с характеристиками существующих аналогов.

В заключении представлены обобщенные выводы диссертационной работы, рекомендации и перспективы дальнейших исследований.

Личный вклад автора. Результаты, представленные в диссертации, получены лично автором или при его непосредственном участии. При выполнении диссертационной работы автор принимал участие в постановке задач, выполнении всех экспериментов и анализе полученных экспериментальных результатов, в том числе в разработке программ экспериментов по радиационному облучению и исследованию образцов из полимерных композитов. За достижение особых успехов в научно-исследовательской деятельности в области пилотируемой космонавтики ракетно-космической отрасли РФ награжден персональной стипендией им. Ю.А. Гагарина по итогам всероссийского конкурса НИИ Центра подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина (ГК «Роскосмос») на 2023/2024 уч. г.

Содержание автореферата соответствует основному содержанию рукописи диссертационной работы.

В целом содержание текста диссертации последовательно и не противоречиво. Текст написан и оформлен хорошо.

Содержание диссертации, её цель, задачи и научные положения, выносимые на защиту, **соответствуют заявленной научной специальности** и её направлениям исследований:

1. Экспериментальное изучение физической природы и свойств металлов и их сплавов, неорганических и органических соединений, диэлектриков и, в том числе, материалов световодов как в твердом (кристаллы, поликристаллы), так и в аморфном состоянии в зависимости от их химического, изотопного состава, температуры и давления.

3. Экспериментальное исследование воздействия различных видов излучений, высокотемпературной плазмы на природу изменений физических свойств конденсированных веществ.

4. Разработка экспериментальных методов изучения физических свойств и создание физических основ промышленной технологии получения материалов с определенными свойствами.

Однако при ознакомлении с диссертацией и авторефератом возникли следующие вопросы и замечания:

1. В разделе, посвящённом методикам экспериментальных исследований и выбору режимов получения полимерных композитов (глава 2), представляется целесообразным несколько подробнее обосновать выбор технологических параметров криогенной механоактивации и формования образцов, в частности диапазоны времени обработки и концентрации наполнителей, что позволило бы облегчить восприятие методической части работы.

2. В главе 3, посвященной исследованию структуры и физико-механических свойств композитов, было бы полезно более подробно остановиться на влиянии степени дисперсности висмут- и борсодержащих наполнителей на однородность структуры и стабильность механических характеристик материалов.

3. При изложении результатов численного моделирования процессов ослабления нейтронного и гамма-излучения (глава 4) можно было бы более наглядно подчеркнуть сопоставление расчетных данных с результатами экспериментальных исследований, представленными в главе 5, например, путем дополнительных поясняющих комментариев и ссылок между соответствующими разделами текста.

4. В заключении и при обсуждении практической значимости полученных результатов (глава 5, заключение) представляет интерес более развернутое рассмотрение возможных направлений дальнейшего развития проведенных исследований, в том числе расширения области практического применения разработанных полимерных радиационно-защитных композитов в условиях различных типов радиационных полей.

5. При анализе радиационной стойкости разработанных композитов (глава 5) представляет интерес более детальное обсуждение возможного влияния длительного облучения и накопленных доз на долговременную эксплуатационную надежность материалов, что может быть учтено в дальнейших исследованиях.

Отмеченные недостатки не снижают ценности, полезности и общего высокого уровня диссертационной работы в целом.

Диссертационная работа **Романюка Дмитрия Сергеевича** является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, и содержит **решение научно-технической задачи**, имеющей значение для развития области физики конденсированного состояния и технологии радиационно-защитных материалов, а также имеет существенную **значимость**

для развития соответствующей отрасли. По своему содержанию и уровню выполнения диссертация соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (технические науки).

В связи с вышеизложенным считаю, что диссертационная работа на тему: **«Полимерные радиационно-защитные композиты, наполненные соединениями висмута и бора»** полностью соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. (в действующей редакции), предъявляемым к работам на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор **Романюк Дмитрий Сергеевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния (технические науки).

Официальный оппонент, доктор технических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, и.о. заведующего лабораторией №33 Ядерного реактора, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

«16» 02 2026 г  Варлачев Валерий Александрович

Согласен на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

 Варлачев В.А.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Телефон: +79138201147

E-mail: varlachev@tpu.ru,

Адрес университета: Российская Федерация, 634050, Томская область, г. Томск, проспект Ленина, д. 30.

Личную подпись официального оппонента В.А. Варлачева заверяю.

И.о. ученого секретаря ФГАОУ ВО НИ ТПУ

 Новикова В.Д.

