УТВЕРЖДАЮ:

И.о. проректора по научной работе и инновациям Национального исследовательского Томского политехнического университета, кандидат химических наук

Эствальд Роман Вячеславович

«5» июня 2018 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Диссертация «Формирование дозных полей индивидуальной конфигурации клинических пучков электронов с помощью полимерных изделий, изготовленных посредством технологий трехмерной печати»

выполнена на кафедре прикладной физики физико-технического института (ныне отделение ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Милойчикова Ирина Алексеевна обучалась в очной аспирантуре Национального исследовательского Томского политехнического университета и работала в должности ассистента на кафедре прикладной физики и затем в отделении ядерно-топливного цикла инженерной школы ядерных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

В 2013 г. окончила магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по направлению подготовки «Физика» профиль «Медицинская физика».

Справка об обучении в аспирантуре и сдаче кандидатских экзаменов выдана в 2017 г. федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Научный руководитель – Потылицын Александр Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность диссертационной работы

Для современного общества проблема онкологических заболеваний остается приоритетной. Применение пучков электронов при проведении лучевой терапии позволяет достичь хороших терапевтических результатов при лечении широкого спектра опухолей.

С повышением требований к точности доставки дозы при проведении сеансов лучевой терапии пучками электронов актуальным становится вопрос формирования полей облучения. В базовую комплектацию современных клинических ускорителей входят стандартные наборы аппликаторов и блоков, позволяющие формировать поля только круглой или прямоугольной формы с заданными размерами и равномерным распределением дозы в объеме мишени.

Однако при проведении лучевой терапии пучками электронов в случаях облучения новообразований неправильной формы и расположенных близко к критическим органам существует необходимость формирования сложных полей, с учетом анатомических особенностей пациентов, и возникает необходимость применять дополнительные средства.

В различных онкологических центрах, как в России, так и за рубежом применяются специально изготовляемые индивидуальные металлические коллиматоры сложной формы. Для их создания используется плавка или резка металла. Необходимо отметить, что работа с такими установками накладывает значительные ограничения, связанные с токсичностью металлических паров, стоимостью оборудования, необходимостью проведения работ в специальных помещениях с системой вентиляции, необходимой квалификацией персонала и временными затратами на изготовление металлических изделий.

В рамках диссертационной работы предложен альтернативный метод формирования терапевтических полей электронов, основанный на применении полимерных изделий в качестве формирующих элементов, изготовленных посредством технологий трехмерной печати.

Современный уровень развития технологий трехмерной печати отвечает требованиям к точности и качеству изготовления изделий, и, благодаря своей доступности, находит широкое применение в медицине. Скорость и простота трехмерной печати из полимеров на современных устройствах обеспечивают преимущества перед методами, в основе которых лежит использование металла.

Предложенный подход позволит быстро и качественно решать клинические задачи и повысить эффективность методов лечения, использующих пучки электронов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработан и апробирован способ формирования дозных полей индивидуальной конфигурации клинических пучков электронов с помощью полимерных изделий, изготовленных посредством технологий трехмерной печати.
2. Проведено сравнение экспериментальных и расчетных распределений дозы электронного пучка с энергией 6 – 20 МэВ в АБС- и HIPS-пластиках, пригодных для изготовления изделий с помощью технологий трехмерной печати, и показано их хорошее согласие.
3. Впервые разработан и изготовлен при помощи технологий трехмерной печати выравнивающий фильтр из АБС-пластика. Показана возможность применения подобных элементов для формирования однородного поля облучения.
4. Исследована радиационная стойкость АБС-пластика. Показано, что в диапазоне поглощенных доз до 150 кГр материал сохраняет свои свойства, влияющие на процесс формирования электронного поля облучения.
5. Впервые разработан и изготовлен при помощи технологий трехмерной печати коллиматор сложной формы из HIPS-пластика для случая дистанционного облучения злокачественного новообразования. Проведено сравнение характеристик дозных полей электронов, полученных с помощью полимерного и металлического коллиматоров, показано их хорошее согласие. Обоснована эффективность предложенного способа для формирования терапевтических пучков электронов в клинических условиях.
6. Впервые разработан и изготовлен при помощи технологий трехмерной печати компенсатор из HIPS-пластика для процедур интраоперационного облучения. Показана возможность модификации профиля пучка для формирования заданного распределения дозы в объеме мишени.

Практическая значимость работы

Предложенный и апробированный в работе, способ формирования полей электронов индивидуальной конфигурации с помощью полимерных изделий, изготовленных посредством применения технологий трехмерной печати, найдет применение для решения клинических и производственных задач по модификации профиля пучка и распределения дозы в объеме мишени.

Разработанные программные коды, выполненные с использованием инструментария GEANT4 и программы PCLab «Компьютерная лаборатория», учитывающие параметры пучка электронов и характер взаимодействия частиц с пластиковыми материалами (АБС и HIPS), позволят рассчитывать необходимые характеристики поля облучения и геометрические параметры формирующего элемента.

Личный вклад автора

Личный вклад автора состоит в выборе применяемых методов исследований, решении задач, разработке программных кодов для численного моделирования, выборе клинических случаев, проведении экспериментальных и численных исследований, анализе и интерпретации полученных результатов, формулировке выводов и положений, выносимых на защиту, подготовке научных публикаций по теме исследования. Представленные в диссертации результаты получены автором лично. Вклад соавторов в основные публикации не превышал 30% от общего объема работы.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на следующих мероприятиях:

7. Конгресс молодых ученых «Актуальные вопросы фундаментальной и клинической медицины», г. Томск, Россия, 2018.
8. 52-я Зимняя Школа Петербургского Института Ядерной Физики НИЦ «Курчатовский Институт», пос. Рощино, Россия, 2018.
9. XII International Symposium «Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures», г. Гамбург, Германия, 2017.
10. XII Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц, посвященный памяти В.П.Саранцева, г. Алушта, Россия, 2017.
11. XII Всероссийская конференция молодых ученых-онкологов, посвященная памяти академика РАМН Н.В.Васильева «Актуальные вопросы экспериментальной и клинической онкологии», г. Томск, Россия, 2017.
12. 29th Annual Congress of the European Association of Nuclear Medicine, г. Барселона, Испания, 2016.
13. XXV Russian Particle Accelerators Conference, г. Петергоф, Россия, 2016.
14. VII Школа-конференция молодых атомщиков Сибири, г. Томск, Россия, 2016.
15. RACIRI Summer School 2016: Convergent Science and Technology for Society, пос. Репино, Россия, 2016.
16. XII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук», г. Томск, Россия, 2015.
17. XI Международный семинар по проблемам ускорителей заряженных частиц памяти В.П.Саранцева, г. Алушта, Россия, 2015.
18. VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири, г. Томск, Россия, 2015.
19. XXIV Russian Particle Accelerators Conference, г. Обнинск, Россия, 2014.
20. Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации», г. Новосибирск, Россия, 2013.

Список публикаций по теме диссертации

По материалам диссертации опубликовано 24 работы, в том числе 9 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных журналов, из них 3 статьи в изданиях, включенных в списки ВАК, 6 статей в зарубежных изданиях, индексируемых базами данных Scopus и Web of Science, 8 тезисов докладов на международных научных конференциях.

Основные публикации по теме диссертации:

1. **Miloichikova, I. A.** Analysis of Plane-Parallel Electron Beam Propagation in Different Media by Numerical Simulation Methods / I. A. Miloichikova, V. I. Bespalov, A. A Krasnykh, S. G. Stuchebrov, Yu. M. Cherepennikov, R. R. Dusaev // Russian Physics Journal: 2018. – Pp. 1-8.
2. **Милойчикова, И. А.** Анализ прохождения плоскопараллельных пучков электронов через различные среды методами численного моделирования / И. А. Милойчикова, В. И. Беспалов, А. А. Красных, С. Г. Стучебров, Ю. М. Черепенников, Р. Р. Дусаев // Известия вузов. Физика. – 2017 – Т. 60 – № 12. – С. 57–63.
3. **Милойчикова, И. А.** Анализ характера взаимодействия электронных пучков с модифицированным АБС-пластиком / А. А. Красных, И. А. Милойчикова, С. Г. Стучебров // Вестник Национального исследовательского ядерного университета МИФИ. – 2017 – Т. 6 – №. 2. – С. 108–112.
4. **Miloichikova, I. A.** Simulation of the microtron electron beam profile formation using flattening filters / I. A. Miloichikova, S. G. Stuchebrov, I. B. Danilova, G. A. Naumenko // Physics of Particles and Nuclei Letters. – 2016. – Vol. 17. – № 3. – Pp. 890–892.
5. **Miloichikova, I. A.** Formation of electron beam fields with 3D printed filters / I. A. Miloichikova, A. A Krasnykh, I. B. Danilova, S. G. Stuchebrov, V. A. Kudrina // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1772. – Article number 060016 – Pp. 1–7.
6. **Miloichikova, I. A.** Numerical simulation of the medical linear accelerator electron beams absorption by ABS-plastic doped with metal / S. G. Stuchebrov, I. A. Miloichikova, A. A Krasnykh // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 732. – Article number 012033 – Pp. 1–6.
7. **Miloichikova, I. A.** Numerical simulation of the microtron electron beam absorption by the modified ABS-plastic / S. G. Stuchebrov, I. A. Miloichikova, A. L. Melnikov, M. A. Pereverzeva // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – Vol. 671. – Article number 012036 – Pp. 1–5.
8. **Miloichikova, I. A.** Application of traditional and nanostructure materials for medical electron beams collimation: numerical simulation / I. A. Miloichikova, S. G. Stuchebrov, G. K. Zhaksybayeva, A. R. Wagner // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 98. – Article number 012011 – Pp. 1–6.

9. **Miloichikova, I. A.** Comparison of the calculated and experimental data of the extracted electron beam profile / I. A. Miloichikova, A. –. Povolná, S. G. Stuchebrov, G. A. Naumenko // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – Vol. 93. – Article number 012067 – Pp. 1–4.

Диссертация «Формирование дозных полей индивидуальной конфигурации клинических пучков электронов с помощью полимерных изделий, изготовленных посредством технологий трехмерной печати»

Милойчиковой Ирины Алексеевны

рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.20 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника»

Заключение принято на заседании исследовательской школы физики высокоэнергетических процессов федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 20 чел. Результаты голосования: «за» – 20 чел., «против» – нет, «воздержалось» – нет, протокол № 8 от «04» июня 2018 г.

Степанов Игорь Борисович,
доктор технических наук,
исследовательская школа физики высокоэнергетических процессов,
директор