



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»
(НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ)

мкр. Орлова роща, д. 1, г. Гатчина, Ленинградская область, 188300
Телефон: (81371) 4-60-25, факс: (81371) 3-60-25. E-mail: dir@npi.nrcki.ru
ОКПО 02698654, ОГРН 1034701242443, ИНН 4705001850, КПП 470501001

УТВЕРЖДАЮ

№ 13

«28» ноября 2018 г.

Заместитель директора по научной работе
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ



____ д.ф.-м.н. В.В. Воронин

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» на диссертацию **Милойчиковой Ирины Алексеевны «Формирование дозных полей индивидуальной конфигурации клинических пучков электронов с помощью полимерных изделий, изготовленных посредством технологий трехмерной печати»,** представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника».

Актуальность темы диссертационной работы

В связи с ростом числа онкологических заболеваний все большее внимание в мире уделяется совершенствованию методов терапии злокачественных новообразований. Одним из наиболее эффективных методов лечения является лучевая терапия, которая использует различные виды излучений. Наряду с уничтожением злокачественных клеток обязательным условием проведения лучевой терапии является минимизация повреждения

здоровых тканей, также находящихся под действием ионизирующих излучений. Для защиты от такого воздействия применяются методы, позволяющие создать профиль пучка максимально близкий к форме опухоли и, как правило, имеющий неравномерное распределение плотности потока и энергии частиц по поперечному сечению. Подобрать необходимые устройства (коллиматоры, фильтры, болюсы) из стандартного набора устройств, поставляемых с медицинскими ускорителями, для формирования пучка для каждого пациента не всегда возможно из-за сложности реальных профилей.

Диссертационная работа Милойчиковой И.А. посвящена исследованию возможности применения новых материалов и современной технологии трехмерной печати для создания различных устройств с целью формирования полей поглощенной дозы требуемого профиля при лучевой терапии с использованием ускорителей электронов. Успешное решение этих задач позволит не только ускорить процесс изготовления необходимых устройств, но и существенно снизит вероятность негативных последствий лучевой терапии. Поэтому актуальность темы диссертации и важность рассмотренных в ней задач не вызывают сомнения.

Научная новизна диссертации заключается в следующем.

Впервые разработаны, изготовлены и исследованы различные устройства, созданные при помощи технологии трехмерной печати, для формирования полей поглощенной дозы:

- выравнивающий фильтр из АБС-пластика. На базе микротрона показана возможность применения подобных элементов для формирования однородного поля электронов;
- тестовые изделия из АБС и HIPS-пластиков для формирования сложного поля поглощенной дозы электронов. Исследования на базе клинических медицинских ускорителей показали, что полимерные образцы, изготовленные с помощью технологии трехмерной печати, могут быть использованы для формирования клинических пучков электронов;
- коллиматор сложной формы из HIPS-пластика для случая дистанционного облучения злокачественного новообразования. На базе клинического линейного ускорителя проведено сравнение характеристик дозных полей электронов, полученных с помощью полимерного и металлического коллиматоров, показано их хорошее согласие;
- компенсатор из HIPS-пластика для процедур интраоперационного облучения. На базе интраоперационного бетатрона показана возможность модификации профиля пучка для формирования заданного распределения дозы в объеме мишени.

Впервые исследована радиационная стойкость АБС-пластика к воздействию электронов относительно возможности его использования для создания устройств формирования полей облучения. Показано, что в диапазоне поглощенных доз до 150 кГр материал сохраняет свои свойства, влияющие на процесс формирования электронного поля облучения.

Таким образом, в результате проведенных исследований Милойчиковой И.А. обоснована эффективность нового способа формирования терапевтических пучков электронов в клинических условиях. Анализ проведенных расчетных и экспериментальных исследований позволил автору выработать требования к материалам и параметрам трехмерной печати с учетом их планируемого использования. Применение данного способа может существенно упростить, повысить скорость и точность изготовления формирующих устройств для проведения лучевой терапии с использованием ускорителей электронов при лечении опухолей, расположенных близко к поверхности тела пациента.

Научная и практическая значимость результатов

Предложенный и апробированный в работе способ формирования полей электронов индивидуальной конфигурации с помощью полимерных изделий, изготавливаемых по технологии трехмерной печати, будет способствовать существенному повышению качества лучевой терапии с использованием ускорителей электронов, в том числе и снижению негативных последствий лучевой терапии.

Разработанные программы расчетов, выполненные на основе программ GEANT4 и 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 формирующих элементов.

Предложенные в диссертации способы создания формирующих устройств, по всей видимости, могут быть полезны и для протонной (ионной) лучевой терапии.

Следует также отметить, что в настоящее время ускорители электронов широко применяются в различных прикладных технологиях, для которых разработанный способ формирования профилей пучков электронов представляет несомненный интерес.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, двух приложений и списка цитируемой литературы, содержащего 204 библиографические ссылки. Общий объем диссертации составляет 155 страниц и включает 81 рисунок и 14 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, проведен краткий обзор литературы по методике лучевой терапии с использованием пучков электронов. Описана структура диссертации и сформулированы основные задачи, решаемые в ней, новизна, практическая значимость и положения, выносимые на защиту.

В первой главе проанализированы программы расчета прохождения электронов через вещество и выбрана оптимальная программа. Проведены расчетные и экспериментальные исследования с целью определения реальных энергетических и угловых характеристик пучков физических и клинических

установок (микротрон ТПУ, терапевтические линейные ускорители ONCOR Impression Plus фирмы Simens и TrueBeam 2.0 фирмы Varian). На основе полученных данных разработаны численные модели выведенных электронных пучков этих ускорителей. Выполнено численное моделирование и экспериментальное определение глубинного распределения дозы терапевтического пучка электронов клинического линейного ускорителя в водном фантоме. На основе сравнения полученных результатов автором сделан вывод о возможности использования выбранной программы для последующих расчетов величин и пространственного распределения поглощенной дозы.

Во второй главе исследуются особенности взаимодействия пучков ускоренных электронов с объектами из АБС- и HIPS-пластиков, в том числе, полимерными материалами, изготовленными при помощи трехмерной печати. В качестве основных результатов этой главы следует отметить:

- экспериментальное определение глубинных дозных распределений клинических пучков электронов ускорителей TrueBeam 2.0 и ONCOR Impression Plus для диапазона энергий от 6 до 20 МэВ в полимерных материалах, изготовленных из АБС- и HIPS-пластиков с применением технологии послойного наплавления;
- численное моделирование распространения пучков электронов с энергиями 6 – 20 МэВ в полимерных материалах;
- сравнение расчетных и экспериментальных данных, что позволило провести корректировку программы моделирования с учетом фактической плотности материалов, изготовленных с помощью послойного наплавления.

В третьей главе описывается эксперимент по формированию дозного профиля выведенного электронного пучка микротрона ТПУ с использованием пластикового фильтра, изготовленного при помощи трехмерной печати. Показана эффективность применения данного изделия для поставленной задачи. Проведена оценка радиационной стойкости испытываемых изделий по отношению к пропусканию электронов и изменению формы образца.

В четвертой главе описываются эксперименты по формированию поперечных профилей и глубинных распределений доз выведенных электронных пучков медицинских ускорителей. Результаты экспериментальных исследований тестовых полимерных объектов в качестве болусов и компенсаторов для модификации дозного распределения полей электронов клинических ускорителей TrueBeam 2.0 (Varian) и ONCOR Impression Plus (Simens) показывают эффективность созданных устройств.

Для реального медицинского случая дистанционного облучения злокачественного новообразования проведена оценка эффективности формирования терапевтического пучка электронов полимерным коллиматором сложной формы из HIPS-пластика в сравнении со стандартным металлическим коллиматором. На базе клинического ускорителя ONCOR Impression Plus (Siemens) показано, что эффективность полимерных коллиматоров не хуже металлических.

На базе интраоперационного бетатрона МИБ-6Э отделения радиотерапии Научно-исследовательского института онкологии Томского НИМЦ показана возможность использования компенсатора из HIPS-пластика при формировании заданного распределения дозы в объеме мишени для процедур интраоперационного облучения.

На основании проведенных исследований выработаны требования к полимерным материалам и параметрам трехмерной печати при изготовлении различных формирующих устройств.

В Заключение излагаются основные результаты диссертации.

В приложениях 1 и 2 представлены копии актов о внедрении результатов научных исследований соискателя для практического использования в медицинских и прикладных целях.

Степень достоверности и обоснованности полученных результатов и выводов работы подтверждается:

- использованием хорошо апробированных программ теоретических расчетов;
- проведением экспериментов на ускорителях электронов с отлаженной методикой дозиметрических измерений;
- систематическим сравнением экспериментальных и расчетных результатов;
- выполнением теоретических расчетов и экспериментов в соответствии с международными протоколами по проведению клинической дозиметрии.

По диссертационной работе имеются следующие **замечания**:

1. Практически во всех экспериментах по измерению продольного распределения поглощенной дозы наблюдается спад величины дозы у поверхности фантома на расстояниях до 1 см. В диссертации дано лишь качественное объяснение этого результата, хотя стоило бы исследовать данный эффект детальнее.
2. В диссертации мало внимания уделено методическим вопросам определения конфигураций устройств для формирования конкретных профилей поглощенной дозы при облучении электронами.
3. Первый бетатрон был создан Д. В. Керстом в 1940 г., а не в конце 40-х.

Отмеченные недостатки не влияют на качество полученных результатов и не снижают научной и практической ценности диссертации.

Заключение

Диссертация И.А. Милойчиковой является завершённой научно-квалификационной работой, в которой содержатся решения актуальных проблем лучевой терапии с использованием ускорителей электронов. Она выполнена на высоком научном уровне и свидетельствует о хорошей подготовке автора к исследовательской деятельности. Работа соответствует указанной специальности. Основные положения и выводы диссертационной работы достаточно широко и полно апробированы на профильных международных конференциях. По теме диссертации опубликованы 24 работы, из которых 3 статей в изданиях, включенных в списки ВАК, 6 статей индексируются базой

Web of Science и SciVerse Scopus, а также 8 тезисов докладов на международных конференциях. В рамках исследований получены два акта о внедрении результатов исследований диссертанта на предприятиях реального сектора экономики. Автореферат соответствует тексту диссертации.

Диссертация И.А. Милойчиковой «Формирование дозных полей индивидуальной конфигурации клинических пучков электронов с помощью полимерных изделий, изготовленных посредством технологий трехмерной печати» соответствует всем требованиям, предъявляемым к диссертационным работам на соискание учёной степени кандидата наук, установленным в «Положении о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а её автор, Милойчикова Ирина Алексеевна, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.20 – «Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника».

Доклад Милойчиковой И.А. по материалам диссертации заслушан, обсужден и одобрен на семинаре Отделения перспективных разработок. Отзыв составлен с учетом мнений и замечаний, высказанных сотрудниками при обсуждении на ученом совете Отделения перспективных разработок, протокол № 8 от 21 ноября 2018 г.

Отзыв подготовил:

Ведущий научный сотрудник
лаборатории радиационной физики
Отделения перспективных разработок
НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ,
д.ф.-м.н.

Иванов
Николай Арсеньевич
ivanov_na@pnpi.nrcki.ru

Контакты ведущей организации:

ФГБУ «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».
188300, Ленинградская область, г. Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1.
Тел.: +7 (81371) 460-25, E-mail: dir@pnpi.nrcki.ru.