

УДК 519.24

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛУБИННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ УГЛЕРОДНЫХ ПУЧКОВ В ПЛАСТИКАХ,
ПРИГОДНЫХ ДЛЯ МЕТОДОВ ТРЕХМЕРНОЙ ПЕЧАТИ**

Чернова О.С.(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»), **Булавская А.А.**(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»), **Григорьева А.А.**(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»), **Милойчикова И.А.**(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Научно-исследовательский институт онкологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук»)
Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Стучебров С.Г.
(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»)

В данной работе представлены результаты численного моделирования взаимодействия углеродных пучков с тканеэквивалентными материалами и пластиками, которые могут использоваться в качестве материала для печати дозиметрических фантомов. В ходе исследования были получены расчётные глубинные распределения энергетических потерь углеродных пучков в различных тканях человека и пластиках различной плотности. С целью определения пластиков, эквивалентных тканям человеческого организма, был проведён сравнительный анализ результатов расчётов.

Введение. Исследование и развитие новых методов лечения онкологических заболеваний составляет главную задачу современной медицины. Поскольку традиционная лучевая терапия имеет ряд ограничений в применении, одним из наиболее перспективных и эффективных терапевтических методов является адронная лучевая терапия.

Адронные пучки высоких энергий, проходя через вещество, теряют большую часть своей энергии на некоторой глубине, определяемой положением пика Брэгга. Это позволяет точно воздействовать на поражённые участки, не нарушая при этом функциональность здоровых клеток организма.

Для экспериментального планирования и верификации расчетных планов терапевтических процедур могут использоваться тканеэквивалентные фантомы, изготовленные методами трёхмерной печати. Высокая точность изготовленных изделий, а также простота применения методов трёхмерной печати позволяют им занимать лидирующие позиции в области изготовления тканеэквивалентных дозиметрических фантомов.

Поскольку различные виды ионизирующего излучения имеют разный характер взаимодействия с веществом, для решения различных задач необходимо проводить численное моделирование. Моделирование взаимодействия адронных пучков с тканями человека и пластиками, пригодными для методов трёхмерной печати, позволяет определить материал, эквивалентный тому или иному виду ткани человеческого организма в отношении его взаимодействия с ионизирующим излучением конкретного вида.

Основная часть. В данной работе было проведено численное моделирование в инструментарии Geant4, позволяющем воспроизводить прохождение элементарных частиц через вещество, с целью определения возможности изготовления тканеэквивалентного

дозиметрического фантома методами трёхмерной печати. В процессе моделирования был использован метод Монте-Карло, поскольку характер испускания ионов углерода является стохастическим.

В ходе исследования были получены расчётные глубинные распределения энергетических потерь углеродных пучков в таких структурах человеческого организма, как мышечная, жировая, костная ткани и головной мозг, а также в пластиках различной плотности, используемых в 3D-печати. С целью определения пластиков, эквивалентных тканям человеческого организма, был проведён сравнительный анализ результатов расчёта поглощенной дозы, нормированных на максимум поглощённой дозы. Для обработки экспериментальных данных применялся программный пакет Origin.

Выводы. В результате исследования были получены расчетные глубинные распределения углеродного пучка в мышечной, жировой, костной, мозговой тканях и PLA-пластике, пригодном для изготовления изделий методами трехмерной печати. Вследствие того, что для печати фантомов могут быть использованы пластики различных плотностей, были подобраны такие плотности материалов, чтобы положения пиков Брэгга глубинных распределений поглощенной дозы пластиков совпадали с тканеэквивалентным материалом в пределах погрешности расчета. Выбранные в ходе данного исследования материалы предлагается использовать для создания тканеэквивалентных медицинских фантомов методами трёхмерной печати.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект № 19-79-10014.

Чернова О.С. (автор)

Стучебров С.Г. (научный руководитель)