# ХІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВЫВЕДЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА МИКРОТРОНА ТПУ

<u>И.А. Милойчикова</u>, С.Г. Стучебров, Г.К. Жаксыбаева Научный руководитель: д.ф.-м.н. А.П. Потылицын Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050 E-mail: miloichikova@gmail.com

### THE PARAMETERS SIMULATION OF THE EXTRACTED ELECTRON BEAM OF THE TPU MICROTRON

I.A. Miloichikova, S.G. Stuchebrov, G.K. Zhaksybayeva Scientific Supervisor: Dr. A.P. Potylitsyn Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050 E-mail: miloichikova@gmail.com

Annotation. In this paper the model of the extracted electron beam of the TPU microtron developed in the program «Computer Laboratory (PCLab)» are described. The simulation results of the beam profile and shape, and depth dose distribution in the air of the noncollimated and collimated electron beam of the microtron are shown in two variants: with taking into account the internal beam divergence and without taking into account the internal beam divergence.

Введение. В настоящее время электронные пучки различных энергий широко применяются как в медицинских, так и в технологических сферах, например, при проведении дистанционной и интраоперационной лучевой терапии злокачественных новообразований, для стерилизации медицинских изделий и радиационной обработки пищевого сырья, для контроля качества сварных швов и для модификации поверхностных свойств материалов [1–3]. При работе с электронным пучком в сферах промышленности и медицины необходимо иметь точное представление о профиле и форме пучка и уметь управлять ими в соответствии с конкретными задачами. В этой связи актуальным является разработка модели и теоретическая оценка электронного пучка.

В рамках данного исследования планируется провести теоретический анализ и экспериментальную оценку формы и профиля выведенного электронного пучка микротрона ТПУ. Так же разработать и апробировать модели модуляции формы пучка для конкретных практических задач, в целях дальнейшего применения полученных результатов моделирования для различных электронных пучков, например, выведенного пучка бетатрона.

Одной из целей данной работы является разработка модели выведенного электронного пучка микротрона ТПУ в программе «Компьютерная лаборатория (PCLab)» [4]. В этой связи были поставлены следующие задачи: моделирования выведенного электронного пучка микротрона без учета внутренней расходимости пучка и с учетом внутренней расходимости пучка; моделирования выведенного коллимированного электронного пучка микротрона с четом внутренней расходимости пучка.

## ХІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

**Источник излучения.** В работе используются следующие параметры выведенного электронного пучка микротрона ТПУ: энергия электронов – 6,1 МэВ; длительность макроимпульса – 4 мкс; частота повторения – 1-8 ГЦ; размер пучка на выходе ≈ 2,0 мм<sup>2</sup>; расходимость пучка – 0,1 рад.

**Моделирование.** Для создания модели выведенного электронного пучка микротрона ТПУ в работе использовалась программа «Компьютерная лаборатория (PCLab)» версии 9.4. Моделирование осуществляется посредством применения метода Монте-Карло. Программный пакет позволяет рассчитывать процессы распространения электронов, позитронов, фотонов и протонов в веществе с заданными характеристиками [4].

**Геометрия эксперимента.** В модели использовался нормальный плоский дисковый (диаметр 2,0 мм) моноэнергетический источник электронов с энергией 6,1 МэВ, соответствующий реальному пучку микротрона ТПУ. Источник расположен перед выходным окном из бериллия толщиной 50 мкм и диаметром 40,0 мм. Анализ формы пучка проводился в воздушной среде. В модели с коллимированным электронным пучком выходное окно перекрывалось свинцовой пластиной толщиной 10,0 мм с конусообразным отверстием (диаметр конуса увеличивался от 0,5 мм до 1,5 мм). На рисунке 1 (а, б) приведены расчеты траекторий в геометриях с неколлимированным и коллимированным электронным пучком, соответственно, с учетом образования фотонов.



Рис. 1. Расчетные траектории частиц: а – неколлимированный пучок электронов; б – коллимированный пучок электронов; синие линии – траектории электронов; красные линии – траектории фотонов

**Результаты.** На рисунке 2 (а, б) приведены результаты моделирования формы и профиля выведенного электронного пучка микротрона ТПУ на расстоянии 2 см от выходного окна без учета и с учетом внутренней расходимости пучка, соответственно. На рисунке 2 (в) приведены результаты моделирования формы и профиля выведенного коллимированного электронного пучка микротрона ТПУ с учетом внутренней расходимости пучка непосредственно после выходного края коллиматора.



Рис. 2. Форма и профиль выведенного электронного пучка микротрона ТПУ на расстоянии 2 см от выходного окна: а – без учета внутренней расходимости пучка; б – с учетом внутренней расходимости пучка; в – коллимированный электронный пучок с учетом внутренней расходимости

## ХІІ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

На рисунке 3 (а, б) приведены результаты моделирования глубинного распределения дозы в воздухе выведенного электронного пучка микротрона ТПУ без учета и с учетом внутренней расходимости пучка, соответственно. На рисунке 3 (в) приведены результаты моделирования глубинного распределения дозы в воздухе выведенного коллимированного электронного пучка микротрона ТПУ с учетом внутренней расходимости пучка.



Рис. 3. Глубинное распределение дозы в воздухе выведенного электронного пучка микротрона ТПУ: а – без учета внутренней расходимости пучка; б – с учетом внутренней расходимости пучка; в – коллимированный электронный пучок с учетом внутренней расходимости

Полученные расчеты позволяют оценить размеры электронного пучка и распределение мощности дозы на выбранных расстояниях от выходного окна. Глубинное распределение позволяет оценить значение дозы от пучка в направлении распространения электронов.

Такие данные позволят в дальнейшем проводить моделирование коллиматоров для формирования параметров электронного пучка необходимых для конкретных практических задач. Учет расходимости пучка электронов внутри ускорителя, что характерно для реальных установок, существенно влияет на результаты расчетов. Расчеты показывают, что наличие коллиматора влияет не только на поперечные размеры пучка, но и его глубинное распределение.

Заключение. В данной работе была рассчитана теоретическая модель выведенного электронного пучка микротрона ТПУ в программе «Компьютерная лаборатория (PCLab)». Полученные результаты показывают пригодность данной программы для анализа реальных пучков электронов, так же для проведения виртуальной модуляции формы пучка с помощью различных коллимирующих устройств.

Работа частично выполнена за счет средств субсидии в рамках реализации Программы повышения конкурентоспособности ТПУ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Интраоперационная электронная и дистанционная гамма-терапия злокачественных новообразований / Под ред. Член-корр. РАМН проф. Е.Л. Чойзонова и проф. Л.И. Мусабаевой. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. – 216 с.
- Довбня А.Н., Закутин В.В., Пархоменко А.А., Репихов О.А., Решетняк Н.Г., Волколупов Ю.Я., Красноголовец М.А., Семенец Т.А., Коваленко Т.А. Электронные пучки для радиационных технологий // Вопросы атомной науки и техники. – 2002. – 82. – №6. – С. 152–153
- Павлов Ю.С., Ершов Б.Г., Фоменко Ю.Л., Поляков А.А. Реализованные и проектируемые электронно-лучевые технологии в ИФХЭ РАН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.phyche.ac.ru/wp-content/uploads/001.pdf
- 4. Беспалов В.И. «Компьютерная лаборатория» (Версия 9.4). Томск, 2015. 116 с.