

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЛИМАЦИИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Данилова И.Б., Милойчикова И.А.

Научный руководитель: Стучебров С.Г., к.ф.-м.н., ассистент

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: irisna2809@gmail.com

SIMULATION OF THE X-RAY COLLIMATION

Danilova I.B., Miloichikova I.A.

Scientific Supervisor: Assistant, PhD Stuchebrov S.G.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050,

E-mail: irisna2809@gmail.com

Введение

В настоящее время рентгеновские источники применяются повсеместно, например, для проведения радиографических исследований для задач неразрушающего контроля и медицинских обследований [1–6]. При работе с рентгеновским излучением очень важными являются методы, дающие возможность формировать поле пучка, то есть управлять параметрами пучка в соответствии с конкретными задачами. Известно, что численное моделирование позволяет провести более быструю оценку параметров рентгеновского пучка в сравнении с экспериментальными измерениями. На сегодняшний день, разработка теоретической модели рентгеновского пучка является актуальной задачей.

В данной работе был проведен теоретический анализ пучка импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5. Первой задачей было создание модели соответствующей реальному рентгеновскому пучку в соответствии с данными полученными ранее [7]. Модель пучка импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5 разработана в программе «Компьютерная лаборатория (PCLab)». Следующей задачей было провести теоретический анализ коллимированного рентгеновского пучка (материалы коллиматора: гипс, нано-керамика, свинец).

Материалы и методы

Источник излучения

В данном исследовании были использованы следующие параметры пучка импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5: материал анода – медь; размер фокусного пятна $1,2 \times 1,2$ мм; угловая расходимость пучка 40° ; анодное напряжение варьируется от 40 до 160 кВ; анодный ток варьируется от 0,4 до 5 мА [8].

Программа для моделирования

Для создания модели импульсного рентгеновского пучка в работе использовалась программа «Компьютерная лаборатория (PCLab)» версии 9.6. Моделирование осуществляется с помощью метода Монте-Карло. Программный пакет позволяет рассчитывать процессы распространения электронов, позитронов, фотонов и протонов в веществе с заданными характеристиками [9].

Геометрия эксперимента

В данном исследовании использовался расчетный спектр меди. В модели использовался нормальный плоский дисковый (диаметр 2,0 мм) моноэнергетический источник рентгеновского излучения с энергией 70 кэВ, соответствующий реальному пучку импульсного рентгеновского

генератора РАП-160-5. Источник расположен перед выходным окном из пластика толщиной 2,0 мм и диаметром 40,0 мм.

На рисунке 1(а, б) представлена расчетная геометрия для неколлимированного и коллимированного рентгеновского пучка.

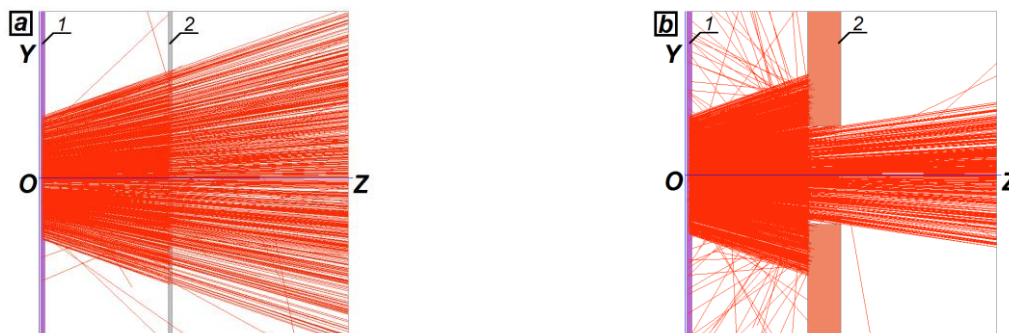


Рис. 1. Расчетная геометрия: а – неколлимированный рентгеновский пучок (1 – выходное окно; 2 – алюминиевый фильтр); б – коллимированный рентгеновский пучок (1 – выходное окно; 2 – коллиматор).

На первом этапе исследования расчетная геометрия соответствует геометрии эксперимента, представленной в статье [7]. На 35 мм от выходного окна аппарата расположен алюминиевый фильтр (толщина – 1,1 мм) для снижения вклада мягкого излучения рентгеновского спектра.

Во второй части данного исследования был проведен анализ коллимированного рентгеновского пучка. При проведении численного моделирования коллимированного рентгеновского пучка выходное окно аппарата перекрывалось пластиной (длина коллимационного канала – 5 мм и 20 мм) с цилиндрическим отверстием (диаметр отверстия – 30 мм). Материалы коллиматора: гипс, нано-керамика, свинец. Анализ формы пучка проводился в воздушной среде.

Результаты и обсуждения

На первом этапе исследования проведено сравнение профилей рентгеновского пучка полученные с помощью моделирования и в эксперименте [7]. На рисунке 2 (а, б) показаны результаты сравнения формы рентгеновского пучка для данных, полученных экспериментально и с помощью моделирования на расстоянии 30 см от фокуса рентгеновской трубки. Полученные данные усреднены и нормализованы на максимальное значение в слое.

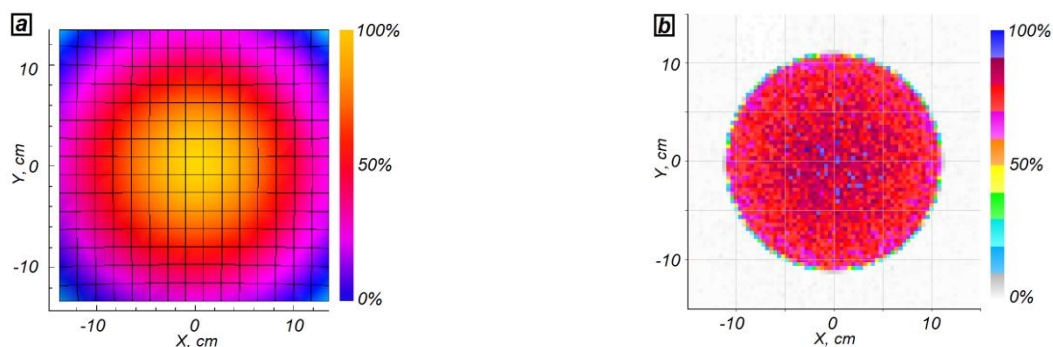


Рис. 2. Форма рентгеновского пучка на расстоянии 30 см от фокуса рентгеновской трубки (энергия – 70 кВ): а – экспериментальные результаты; б – результаты моделирования.

На рисунке 3 приведены результаты сравнения профилей рентгеновского пучка для данных, полученных экспериментально и с помощью моделирования на расстоянии 30 см от фокуса рентгеновской трубки.

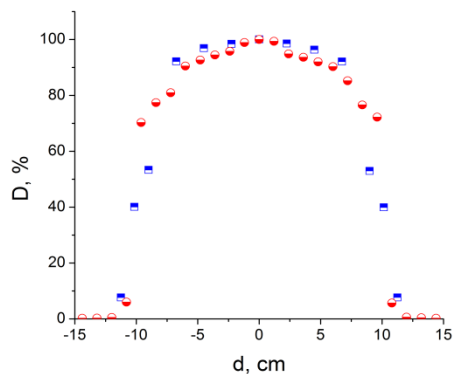


Рис.3. Профиль рентгеновского пучка на расстоянии 30 см от фокуса рентгеновской трубки (энергия – 70 кВ):
● – экспериментальные результаты;
■ – результаты моделирования.

Из рисунков 2, 3 видно, что результаты моделирования пучка импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5 находятся в хорошем согласии с экспериментом. Как следствие данная программа может быть использована для анализа реального рентгеновского пучка.

Незначительное расхождение между полученными рентгеновскими профилями на рисунке 3 можно объяснить следующими факторами: влияние геометрических размеров чувствительной области плоскопараллельной камеры типа 23342; погрешность в воспроизведении геометрии эксперимента; идеальная среда моделирования.

На следующем этапе данного исследования был проведен анализ коллимированного рентгеновского пучка. На рисунке 4 показаны результаты расчета формы пучка импульсного рентгеновского генератора коллимированного гипсом, nano-керамикой и свинцом с длиной коллимационного канала 5 мм.

На рисунке 5 показаны результаты расчета формы пучка импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5 коллимированного гипсом, nano-керамикой и свинцом с длиной коллимационного канала 20 мм.

Расчетная модель (рисунки 4, 5) показывает, что гипсовый коллиматор может быть использован при длине коллимационного канала равной или более 20 мм, керамический и свинцовый коллиматоры могут быть использованы при длине коллимационного канала равной или более 5 мм, так как данных толщин достаточно для поглощения рентгеновского излучения с энергией 70 кВ. Полученные данные показывают, что распределение дозы в коллимационной области достаточно равномерное.

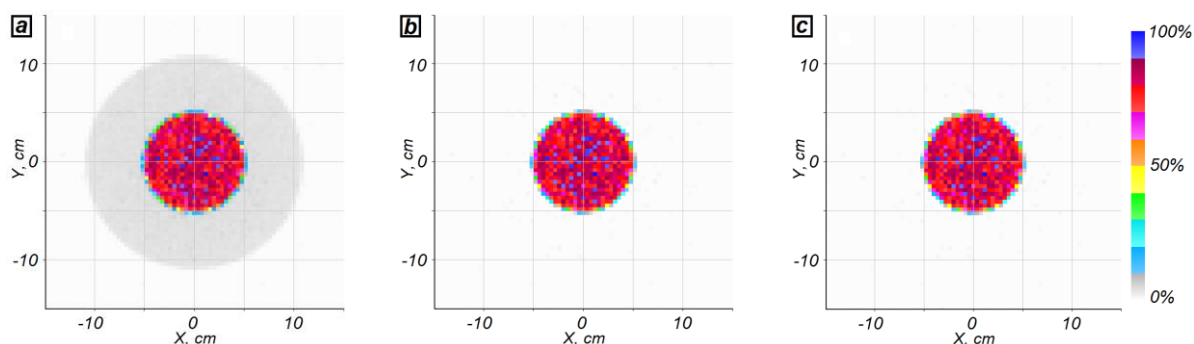


Рис. 4. Форма коллимированного рентгеновского пучка на расстоянии 30 см от фокуса рентгеновской трубки (длина коллимационного канала – 5 мм; диаметр отверстия – 30 мм; энергия – 70 кВ):
а – гипсовый коллиматор; б – керамический коллиматор; с – свинцовый коллиматор.

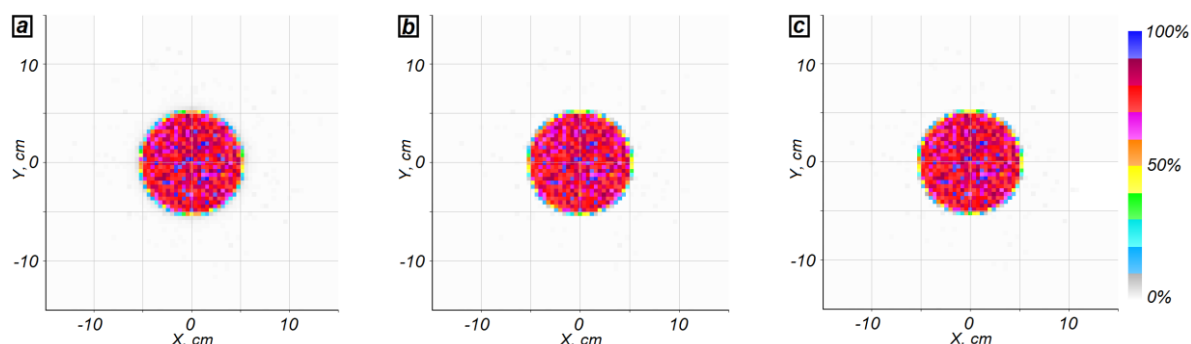


Рис. 5. Форма коллимированного рентгеновского пучка на расстоянии 30 см от фокуса рентгеновской трубки (длина коллимационного канала – 20 мм; диаметр отверстия – 30 мм; энергия – 70 кВ):

а – гипсовый коллиматор; б – керамический коллиматор; с – свинцовый коллиматор.

Заключение

В данной работе разработана модель реального пучка импульсного рентгеновского генератора РАП-160-5 в программе «Компьютерная лаборатория (PCLab)». Расчетные данные показывают возможность применения данной программы для анализа рентгеновского пучка. Полученные результаты позволяют модифицировать пучок в соответствии с конкретными задачами, используя коллимационные устройства. В дальнейшем необходимо провести экспериментальную апробацию полученных расчетных данных коллимированного рентгеновского пучка.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (5.1485.2015)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chair C-M Ma, Coffey C W, DeWerd L A, Liu C, Nath R, Seltzer S M and Seuntjens J P AAPM protocol for 40–300 kV X-ray beam dosimetry in radiotherapy and radiobiology// Med. Phys. . – 2001. – V. 28 (6). – P. 868-893
2. Cherepennikov Yu and Gogolev A Device for X-ray spectral absorption analysis with use of acoustic monochromator // J. Phys.: Conf. Ser. – 2014. – V. 517. – 012037.
3. Lifton J.J., Malcolm A.A. , McBride J.W. The Application of Beam Hardening Correction for Industrial X-ray Computed Tomography [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ndt.net/article/aero2013/content/papers/14_Lifton_Rev2.pdf
4. Cherepennikov Yu and Gogolev A Method to reduce radiation exposure in the medical X-ray diagnostics // 7th International Forum on Strategic Technology (IFOST – 2012) . – 2012. – V. 2. – P. 244-248.
5. Callera J. X-ray backscatter imaging: photography through barriers [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.icdd.com/resources/axa/vol49/v49_02.pdf
6. Gogolev A, Stuchebrov S, Wagner A, Cherepennikov Yu and Potylitsyn Acoustic “pumping effect” for quartz monochromators // J. Phys.: Conf. Ser. – 2012. – V. 357. – 012031.
7. Miloichikova I, Stuchebrov S, Krasnykh A and Wagner A Dose rate spatial distribution produced by the pulsed X-ray source in the radiographic examination // Advanced Materials Research. – 2015. – V. 1084. – P. 598-602.
8. Руководство по эксплуатации «Аппарат рентгеновский переносной для промышленного применения» –2008. – 34 с.
9. Беспалов В.И. Компьютерная лаборатория (Версия 9.5). – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. –115 с.