

Исследование неравномерности потока излучения рентгеновской трубки с помощью трейсинга лучей

С.Р. Абульханов

Самарский национальный исследовательский университет им.
академика С.П. Королева
Самара, Россия
abulkhanov.sr@ssau.ru

Ю.С. Стрелков

Институт систем обработки изображений – филиал ФНИЦ
«Кристаллография и фотоника» РАН
Самара, Россия
ghost_strelkov@mail.ru

Аннотация—Современный рентгеноструктурный анализ позволяет исследовать строение кристаллических решеток, структуру фазового состава поверхности исследуемого объекта и структуру биологических тканей. Поток рентгеновского излучения на этапе его формирования имеет неравномерную плотность, что приводит к искажению формируемого изображения. Отклонение энергетической плотности рентгеновского излучения от равномерной плотности зависит от многих факторов, среди которых шероховатость анода источника рентгеновского излучения и точность выполнения отверстия диафрагмы. Используя трейсинг рентгеновских лучей, была получена оценка влияния шероховатости поверхности анода и точность изготовления отверстия диафрагмы на равномерность плотности генерируемого рентгеновского потока. С помощью предлагаемой методики были получены изображения сечения рентгеновского потока с неравномерной плотностью, которая определялась различной шероховатостью поверхности анода и различными отклонениями диаметра диафрагмы от номинального размера.

Изображения плотности сечения рентгеновского потока имели разрешающую способность, которая недоступна для разрешения оптической системы глаза человека. Для визуализации всей информации на изображении использовалось его преобразование. С помощью преобразованного изображения определялись параметры, которые индивидуализировали каждое изображение плотности рентгеновского потока.

Предлагаемая методика позволяет исследовать формируемую плотность рентгеновского излучения для конкретного источника рентгеновского излучения.

Ключевые слова— *неравномерность потока излучения, рентгеновские лучи, зрительное восприятие изображения, преобразование изображения плотности излучения, параметризация.*

1. ВВЕДЕНИЕ

Физическое металловедение позволяет исследовать структуру и свойства металлов и сплавов с помощью ионизирующего излучения рентгеновского спектра. Современный рентгеноструктурный анализ позволяет изучать кристаллическую решётку и структуру фазового состава поверхности исследуемого объекта. Различная прозрачность для рентгеновского излучения (РИ) биологических тканей также позволяет распознавать и успешно лечить заболевания в 80-85% случаев [1].

Источником первичной информации о исследуемом объекте являются процессы поглощения и рассеивания энергии РИ исследуемой средой. Результат

взаимодействия РИ и объекта исследования регистрируется матричным детектором, выход которого оцифровывается и визуализируется. Современные средства визуализации имеют разрешающую способность, которая превышает разрешение оптической системы глаза человека [2], поэтому часть информация на цифровом изображении будет не доступна для зрительного восприятия [3]. Для того, чтобы вся информация с выхода матричного детектора была доступна для зрительного восприятия, цифровое изображение было преобразовано в соответствии с методикой [4], которая позволяет фиксировать изменения на изображении менее 0,001%.

Та часть информации изображения, которая не доступна для зрительного восприятия, может быть искажена помехами различной природы. Первичное искажение формируемого цифрового изображения происходит на этапе формирования потока РИ, который имеет неравномерную плотность. Причиной этого являются геометрические искажения формируемого потока РИ и физические явления, сопровождающие генерацию потока РИ [5].

В работе будет рассматриваться влияние геометрических параметров и структуры шероховатости неподвижного и вращающегося анода рентгеновской трубки [6]. Кроме того, исследовалось влияние допустимых отклонений от номинальных размеров диафрагмы источника РИ.

Исследование проводилось на 3D моделях рентгеновских трубок, выпускаемых российской промышленностью. Моделям были приданы размеры и физико-технические свойства реальных рентгеновских трубок. Свойства и характеристики генерируемого РИ исследовались с помощью трейсинга рентгеновских лучей.

На рис. 1 показан пучок рентгеновских лучей, отраженный от шероховатой поверхности неподвижного анода и прошедший через диафрагму диаметром 1 мм. Шероховатость моделировалась в виде пирамид с равномерно распределенными высотами и равномерно расположенными на поверхности анода. Усредненные на модели параметры шероховатости Ra и Rz составляли соответственно 0,25 и 2,3 мкм.

Было установлено: для диаметра отверстия диафрагмы с погрешностью формы отверстия в пределах $\pm 5\%$ и для смоделированной шероховатости отклонение плотности рентгеновского потока от равномерной плотности составляет менее 1%.

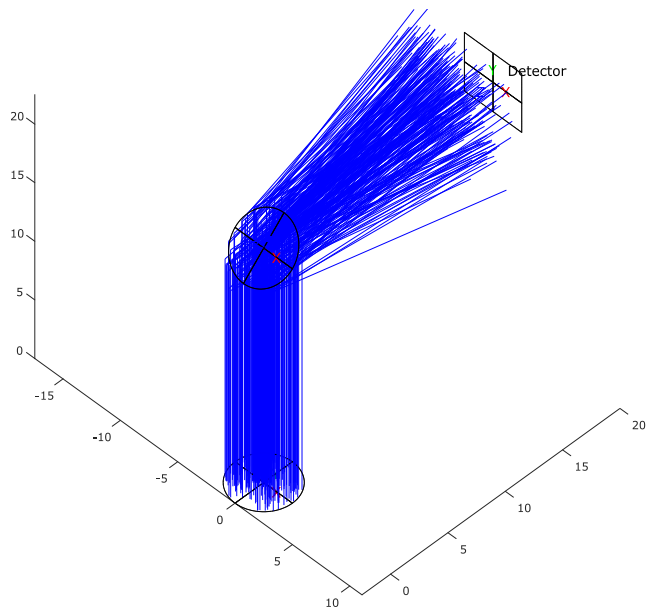


Рис. 1. Пучок рентгеновских лучей, отраженный от шероховатой поверхности ($R_a = 0,25$ мкм и $R_z = 2,3$ мкм) неподвижного анода и прошедший через диафрагму диаметром 1 мм

2. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая модель позволяет оценить влияние шероховатости поверхности анода рентгеновской трубки на неравномерности потока РИ в любом сечении. Шероховатость может иметь различный интервал изменения высот и различный характер, обусловленный технологическим воздействием.

На размеры сечения потока РИ и на его плотность влияют отклонения формы и размер диафрагмы

рентгеновской трубки. Использование трейсинга рентгеновских лучей позволило оценить неравномерность плотности потока РИ для различных отклонений диаметра диафрагмы от номинального значения.

Разработанная методика позволяет оценивать погрешности на изображении, сформированном РИ, обусловленные следующими геометрическими параметрами: проекционное увеличение; излучения, выходящее за пределы фокусного пятна анода; рефракцию РИ на границе двух сред и др.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Chatterjee, P. Survey on Techniques used in Medical Imaging Processing / P. Chatterjee, D.S. Rani // Journal of Physics Conference Series. – 2021. – Vol. 2089(1). – P. 012013.
- [2] Mostafapoor, M. Evaluation of the accuracy values of cone-beam CT regarding apical periodontitis: a systematic review and meta-analysis / M. Mostafapoor, S. Hemmatian // Oral Radiology. – 2022. – Vol. 38(3). – P. 309-314. DOI: 10.1007/s11282-021-00549-z.
- [3] Applegate, R.A. Optics of aberroscopy and super vision / R.A. Applegate, L.N. Thibos, G. Hilmantel // Journal of Cataract & Refractive Surgery. – 2001. – Vol. 27(7). – P. 1093-1107.
- [4] Abul'khanov, S.R. Information Pattern in Imaging of a Rough Surface / S.R. Abul'khanov, N.L. Kazanskiy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 302. – P. 012068.
- [5] Rajeswari, P. Denoising X-Ray Image Using Discrete Wavelet Transform and Thresholding / P. Rajeswari, K. K.Thyagarajan, V.S. Prabhu, G. Shree Devi // Lecture Notes in Electrical Engineering. – 2022. – Vol. 792. – P. 191-198.
- [6] Siller, M. Geometrical model for calculating the effect of surface morphology on total x-ray output of medical x-ray tubes / M. Siller, M. Minkinen, P. Bogust, A. Jelinek, J. Schatte, N. Bostrom, K. Greenland, W. Knabl, H. Clemens, R. Pippa, V. Maier-Kiener // Medical Physics. – 2021. – Vol. 48(4). – P. 1546-1556.