

Путем измерения размеров сечения рентгеновского пучка на различных расстояниях от линзы нами установлено, что два указанных пучка (проходящий и рассеянный) фокусируются линзой в одно пятно, что приводит к увеличению интенсивности рабочего пучка. Этот результат может быть использован при создании мощных источников гамма излучения.

УДК 535-3, 535.314

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБРАТНОРАСSEЯННОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОСВЕЧИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Дудчик Ю.И., Хилько Г.И., Кучинский П.В., Новик А.Н., Субач А.А.

*Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ  
Минск, Республика Беларусь*

Рентгеновские лучи широко используются для просвечивания изделий и материалов с целью определения внутренних неоднородностей. Традиционно объект располагают между источником излучения и фотопленкой или 2D- детектором. В этом случае получается теневое изображение объекта в прямом пучке. Существует и другой способ получения изображения объектов в обратнорассеянных рентгеновских лучах, когда для получения изображения объекта, он сканируется узконаправленным рентгеновским пучком, а рассеянное излучение регистрируется детектором, который располагается со стороны источника излучения [1]. Процесс построения изображения заключается в том, что, перемещая по заданной траектории рентгеновский луч, можно произвести поточечное считывание двумерного изображения, рассчитанного на наблюдение в отраженном излучении. Рассеянное излучение, приобретающее при этом амплитудную модуляцию вследствие взаимодействия с объектом, преобразуется в электрический сигнал. При считывании изображения сканер дискретизирует его в виде совокупности отдельных точек (пикселей) разного уровня оптической плотности. Информация об уровнях оптической плотности этих точек анализируется, преобразуется в цифровую форму и вводится для дальнейшей обработки в компьютер. Преимущества такой методики получения информации об объекте связаны с односторонним доступом к объекту, поэтому разработка рентгеновского сканера, работающего на основе обратнорассеянного излучения, является актуальной проблемой.

Нами модернизирован ранее разработанный рентгеновский сканер на основе обратнорассеянного рентгеновского излучения [2]. Сканер, фотография которого приведена на рисунке 1, содержит рентгеновскую трубку, механическое сканирующее устройство для формирования рентгеновского пучка и детектор для измерения интенсивности обратнорассеянных рентгенов-

### Литература

1. Refractive Index of Silicon at  $\gamma$  Ray Energies / Habs, D., Günther, M.M., Jentschel, M., Urban, W. // Phys. Rev. Lett., 108, 184802 (2012).
2. Compton effect based on a secondary source of hard x-ray beams / Yu. I. Dudchik, R. Rademacher, J.T. Cremer, R.H. Pantell, C.K. Gary, and M.A. Piestrup // Proc. SPIE 11108, Advances in X-Ray/EUV Optics and Components XIV, 111080Q (9 September 2019).

ских лучей. В устройстве сканирования использованы шаговые двигатели типа ДШИ 200. Применение шаговых двигателей позволило осуществлять позиционирование узконаправленного рентгеновского пучка на исследуемый объект и осуществлять сканирование без применения датчиков обратной связи. Точность позиционирования рентгеновского пучка на исследуемом объекте при его удалении от источника излучения на расстояние 500 мм составляет 0,5–3 мм.

Работа сканера обратнорассеянного рентгеновского излучения осуществляется следующим образом. После включения источника рентгеновского излучения (стационарная рентгеновская установка типа ДРОН-2) осуществляется сканирование исследуемого объекта рентгеновским пучком. Система позиционирования приводится в действие шаговыми двигателями под управлением модулей управления шаговыми двигателями и по командам, поступающим от микроконтроллера, что обеспечивает перемещение коллиматора по заданной траектории и соответственно направление потока рентгеновского излучения от источника рентгеновского излучения на исследуемый объект в заданное место и в строго определенное время.

Функциональная схема сканера обратнорассеянного рентгеновского излучения показана на рисунке 2. Регистрация обратнорассеянного рентгеновского излучения осуществляется сцинтилляционным детектором на основе монокристалла NaI(Tl) и фотоэлектронного умножителя, входящими в состав счетно-вычислительного устройства ЭВУ-1-4. Персональный компьютер (ПК) посредством микроконтроллера (МК) обеспечивает управление и синхронизацию работы сканирующего устройства, осуществляет подсчет импульсов, поступающих от детектора обратнорассеянного рентгеновского излучения, накопление, хранение и обработку информации. Полученное изображение выводится на экран монитора компьютера (ПК).

Проведены исследования параметров рентгеновского сканера на основе обратнорассеянного рентгеновского излучения. Получены изображения исследуемых объектов, располагаемых за преградой, путем их сканирования рентгеновским пучком и регистрации обратнорассеянного излучения. В качестве преграды использовалась пластина из алюминия. При сканировании пучок рентгеновского излучения проходит сквозь преграду и попадает на исследуемый объект. Обратнорассеянное излучение проходит через преграду и регистрируется детектором рентгеновского излучения.

В качестве источника рентгеновского излучения использовалась рентгеновская трубка БСВ - 18 с медным анодом. Напряжение на трубке составляло 20 кВ, ток 4 мА. Диаметр отверстия в диафрагме составлял 0,5–1 мм. Расстояние от сканера рентгеновского излучения до исследуемого объекта – 180 мм. Расстояние от преграды до исследуемого объекта составляло 50 мм. Для регистрации обратнорассеянного рентгеновского излучения использовалось указанное выше счетно-вычислительное устройство. Изображение объекта формировалось по заданному алгоритму и выводилось на экран монитора компьютера. Управление сканером, подсчет отраженных импульсов производится посредством микроконтроллера AtMega2560. Передача данных и команд управления осуществляется по USB-2 интерфейсу. Программное обеспечение разработано на базе Си/C++.

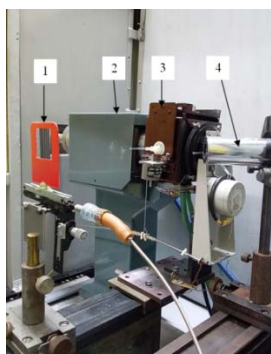


Рисунок 1 – Фотография рентгеновского сканера:  
1 – объект исследования, 2 – источник рентгеновского излучения, 3 – система позиционирования, 4 – детектор обратнорассеянного рентгеновского излучения

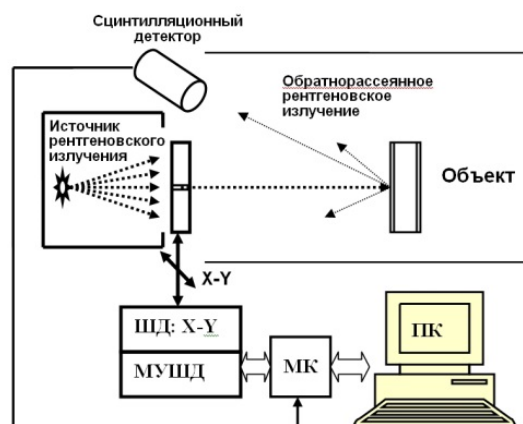
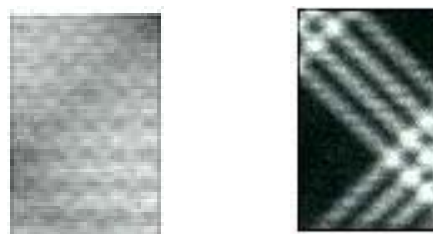


Рисунок 2 – Функциональная схема сканера

На рисунке 3 приведены полученные изображения исследуемых объектов, располагаемых за преградой в виде пластины из алюминия.



а б

Рисунок 3 – Изображения объектов, расположенных за алюминиевой преградой в обратнорассеянном рентгеновском излучении:  
а – изображение железной пластины с отверстиями;  
б – изображение железных стержней

Из рисунка 3 видно, что разработанный сканер позволяет получать изображения объектов в рентгеновских лучах, расположенных за преградой.

#### Литература

1. Забродский В.А. Применение обратнорассеянного рентгеновского излучения в промышленности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 120 с.
2. Получение изображения объектов с использованием обратнорассеянного рентгеновского излучения / Ю.И. Дудчик, Г.И. Хилько, П.В. Кучинский, А.Н. Новик, О.В. Крעותень // Материалы 10-ой Межд. научно-техн. конференции «Приборостроение – 2017» БНТУ. – Минск, 2017. – С. 23–25.