

УДК 539.21, 535.317.61-34, 548.732

## ЦИФРОВАЯ РЕНТГЕНОГРАФИЯ СЛАБОПОГЛОЩАЮЩИХ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ

Дудчик Ю.И., Субач А.А.

НИУ «Институт прикладных физических проблем имени А.Н.Севченко» БГУ  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Описана методика цифровой рентгенографии слабопоглощающих рентгеновское излучение объектов с использованием лабораторных источников рентгеновского излучения. Методика включает получение двух изображений объекта под различными углами к оси рентгеновского пучка и последующую цифровую обработку изображений путем вычитания одного изображения из другого. Применение указанной методики позволило существенно повысить контраст изображения объекта.

**Ключевые слова:** рентгеновские лучи, цифровая рентгенография.

## DIGITAL RADIOGRAPHY OF WEAKLY ABSORBING X-RAY OBJECTS

Dudchik Y., Subach A.

A.N. Sevchenko Scientific-Research Institute of Applied Physics Problems of BSU  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** A technique for digital radiography of weakly absorbing X-ray objects using laboratory X-ray sources is described. The technique involves obtaining two images of an object at different angles to the X-ray beam axis and subsequent digital image processing by subtracting one image from the other. The use of this technique made it possible to significantly increase the contrast of the object image.

**Key words:** X-rays, X-ray radiography.

Адрес для переписки: Дудчик Ю.И., ул. Курчатова, 7, Минск 220045, Республика Беларусь  
e-mail: dudchik@bsu.by

Рентгеновские лучи широко используются для просвечивания изделий с целью определения внутренних неоднородностей. Для этих целей используются, например, проекционные рентгеновские микроскопы. Для получения контрастного изображения объекта необходимо, чтобы различные участки объекта по-разному поглощали излучение. Это условие, как правило, не выполняется для материалов с небольшим порядковым номером – полимеров, пластиков, полимерных композитов, которые слабо поглощают рентгеновские лучи. Изображения таких объектов получают методом фазового контраста [1]. В таких материалах показатель преломления рентгеновского излучения, как правило, больше, чем показатель ослабления. Поэтому задача состоит в том, чтобы выделить из общего потока излучения, формирующего изображение объекта, ту часть, которая получается в результате преломления излучения на границах раздела неоднородностей объекта. Известны несколько методов практической реализации метода фазового контраста: с использованием микрофокусных рентгеновских аппаратов; с использованием квазипараллельного рентгеновского пучка, с использованием кодирующей диафрагмы. Основным недостатком вышеуказанных методов является то, что для получения изображения объектов требуется длительная экспозиция из-за малой интенсивности рентгеновского пучка.

Нами разрабатывается метод получения изображения обсуждаемых объектов, который включает получение двух изображений объекта под различными углами к оси рентгеновского пучка и последующую цифровую обработку изображений путем вычитания одного изображения из другого.

Этот метод близок к описанному нами ранее методу рентгеновской стереофотографии [2].

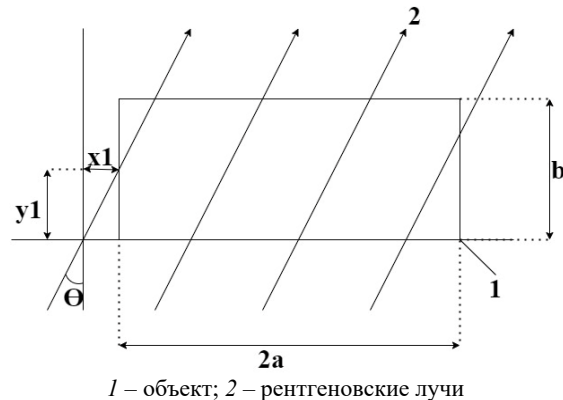


Рисунок 1 – Расположение объекта относительно рентгеновского пучка

Суть методики поясняет рис. 1, на котором показан объект в виде прямоугольника (1), на который падают рентгеновские лучи 2. Длина прямоугольника в направлении оси  $x$  равна  $2a$ , в направлении оси  $y$  –  $b$ . Рентгеновские лучи падают на объект под углом  $\theta$  к оси  $y$ . Интенсивность пучка  $I$ , прошедшего через объект определяется как  $I = I_0 T$ , где  $I_0$  – интенсивность падающего пучка,  $T$  – пропускание объекта. Пропускание объекта  $T$  зависит от угла падения  $\theta$  рентгеновских лучей и от расстояния  $x_1$  между точкой пересечения лучом оси  $x$  и объектом (рис. 1). Для рентгеновских лучей, которые пересекают объект под углом  $\theta = 0$  пропускание  $T_1 = \exp(-kb)$ , при  $-a < x < a$  и  $T = 1$  для лучей, которые не пересекают объект, где  $k$  – показатель ослабления рентгеновских лучей для материала объекта. Контраст изображения объекта  $K$  определяется по Веберу как  $K = (I_{max} - I_{min}) / I_{max}$ , где

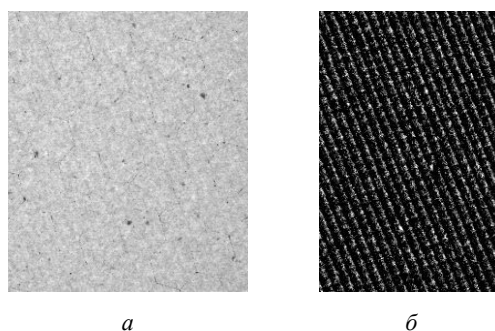
$I_{max}$  и  $I_{min}$  – интенсивность прямого и прошедшего пучка соответственно, или яркость изображения и фона. Для случая  $\vartheta = 0$  контраст  $K_1 = (1 - \exp(-kb))$ . Для рентгеновских лучей, которые пересекают объект по заданным углом  $\vartheta > 0$  и на расстоянии  $x_1$  от границы объекта (рис. 1) пропускание для малых углов  $\vartheta$  определяется как  $T_2 = \exp(-k(b-x_1/\vartheta)) = \exp(-kb)\exp(kx_1/\vartheta)$ , где  $x_1 < b\vartheta$ . Для рентгеновских лучей, пересекающих ось  $x$  из интервала  $-a < x < (a-b\vartheta)$  при малых  $\vartheta$  пропускание  $T_2 \approx \exp(-kb)$ . Для изображения объекта, которое получается путем вычитания изображения при угле  $\vartheta = 0$  из изображения, полученного при  $\vartheta \neq 0$  значение параметра  $I_{min}$  близко к нулю для интервала значений  $x$ :  $(-a) < x < (a-b\vartheta)$ . Для  $x$  из интервала  $(-b\vartheta - a) < x < (-a)$  и  $(a-b\vartheta) < x < a$  значение яркости изображения больше нуля и приблизительно определяется как  $I_0 \exp(-k(b-x/\vartheta))$ . Таким образом, в результате вычитания двух изображений, полученных при различных углах  $\vartheta$ , получается более контрастное изображение с контрастом  $K \approx 1$ .

Рассмотрим конкретный пример. Пусть источником излучения служит рентгеновская трубка с медным анодом. Энергия фотонов  $K_\alpha$ -линии атомов меди равна  $8 \text{ keV}$ . Пусть в качестве объекта используется параллелепипед из полипропилена толщиной  $b = 200 \text{ мкм}$ . Химическая формула полипропилена  $(C_3H_6)_n$ , плотность  $0,9 \text{ г/см}^3$ , длина пробега  $(1/k)$  фотонов с энергией  $8 \text{ keV}$  в полипропилене составляет  $2920 \text{ мкм}$ . При нулевом угле падения квазипараллельного рентгеновского пучка на образец ( $\vartheta = 0$ ) его пропускание пучка  $T_1 = \exp(-kb) = 0,93$ . Для угла падения  $\vartheta = 1^\circ$  значение расстояния  $x = b\vartheta = 35 \text{ мкм}$ . Для фотонов, пересекающих образец под углом  $\vartheta = 1^\circ$  и в интервале от  $x = -b\vartheta - a$  до  $x = -a$  пропускание образца меняется от 1 до 0,93.

Необходимо отметить, что предлагаемый метод получения изображений объектов применим именно для объектов из материала с малым порядковым номером и соответственно с большим значением пробега фотонов в веществе. Например, пробег фотонов  $(1/k)$  с энергией  $8 \text{ кэВ}$  в полипропилене составляет  $2920 \text{ мкм}$ , в стекле –  $130 \text{ мкм}$ , в меди –  $22 \text{ мкм}$ , в молибдене –  $6,4 \text{ мкм}$ . Для таких материалов параметр  $(1/k)\vartheta$  мал, и заметить изменения в яркости изображения на пленке или матрице камеры затруднительно.

В качестве объекта исследования выбрана сетка из пластика, изображение которой получено с использованием рентгеновских лучей от рентгеновской трубки с медным анодом, напряжение

на аноде составляло  $16 \text{ кВ}$ , ток  $2 \text{ мА}$ . Изображение было записано с помощью рентгеновской камеры Photonic Science: число пикселей камеры равно  $4008 \times 2670$ . Размер пикселя камеры составляет  $4,5 \text{ мкм}$ . При съемке объекта использовалась функция биннинга. Расстояние от источника до объекта =  $700 \text{ мм}$ , расстояние от объекта до камеры  $10 \text{ мм}$ . Были получены два снимка объекта: один при угле ориентации относительно пучка  $\vartheta$ , равном  $0^\circ$ , второй – при  $\vartheta$ , равном  $1^\circ$ .



$a$  – изображение сетки в рентгеновских лучах;  
 $b$  – субтракционное изображение сетки

Рисунок 2 – Изображения пластиковой сетки в рентгеновских лучах

На рис. 2 показано исходное изображение пластиковой сетки в рентгеновских лучах ( $a$ ) (контраст  $K = 0,59$ ) и изображение ( $b$ ) (контраст  $K = 0,98$ ). Контраст  $K$  изображения сетки рассчитывался по методу, предложенному Михельсоном:  $K = (I_{max} - I_{min}) / (I_{max} + I_{min})$ , где  $I_{max}$  и  $I_{min}$  – максимальное и минимальное значение яркости пикселя в матрице данных изображения.

Таким образом, показано, что использование разработанной субтракционной методики для получения изображений объектов позволяет повысить контраст изображения.

**Благодарности.** Работа частично поддержана Министерством образования Республики Беларусь в рамках задания 3.07 ГПНИ «Механика, металлургия, диагностика в машиностроении», подпрограмма «Техническая диагностика».

#### Литература

1. Endrizzi, M. X-ray phase-contrast imaging / M. Endrizzi // Nucl. Instr. Meth. A. – 2018. – V. 878. – P. 88–98.
2. Дудчик, Ю. И. Получение изображения объектов в рентгеновских лучах методом стереофотографии / Ю. И. Дудчик // Материалы двенадцатой Международной научно-технической конференции «Приборостроение-2019». – Минск, БНТУ. – 2019. – С. 19–20.