СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ottmar H., Eberle H., Daures P., et al. Dedicated K-Edge/XRF Instrumentations for Euratom Safeguards – A Review of Present and Future Applications // Proc. 19th Annual ESARDA Symp. – Montpellier, France. – May 13–15, 1997. – Montpellier, 1997. – P. 211–219.
- Berlizov A.N., Sharikov D.A., Ottmar H., Eberle H., Galy J., Luetzenkirchen K. A quantitative Monte-Carlo modelling of the uranium and plutonium X-ray fluorescence (XRF) response from a hybrid K-edge/K-XRF densitometer // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A. – 2010. – V. 615. – № 1. – P. 127–135.
- Berlizov A.N., Dreher R. Web-Accessible Gamma-Spectrum Simulator with On-Line Monte-Carlo for Voluminous and Shielded Gamma-Sources: First Results of Experimental Validation // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A. 2009. V. 609. № 1. P. 19–23.
- Briesmeister J.F. MCNP a general Monte Carlo N-particle transport code. – LA-12626-M. – Los Alamos, 1997. – 741 p.
- Perkins S.T., Cullen D.E. ENDL Type Formats for the LLNL Evaluated Atomic Data Library (EADL), Evaluated Electron Data Library (EEDL), and Evaluated Photon Data Library (EPDL) // OECD NEA Evaluated Nuclear Reaction Data. 2012. URL:

http://www-nds.iaea.org/epdl97/document/endl.pdf (дата обращения: 10.02.2012).

- Cullen D.E., Hubbel J.H., Kissel L.D. EPDL97: The Evaluated Photon Data Library, '97 Version, UCRL-50400, Vol. 6, Rev. 5, 1997 // IAEA Nuclear Data Services. 2012. URL: http://www-nds.iaea.org/epdl97/document/epdl97.pdf (дата обращения: 10.02.2012).
- Firestone R. Table of Isotopes, 8th edition, Vers. 1.0, New York: Wiley-InterScience, 1996. [Электронный ресурс]. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
- Deslattes R.D., Kessler E.G. Jr., Indelicato P., de Billy L., Lindroth E., Anton J. X-ray transition energies: new approach to a comprehensive evaluation // Reviews of Modern Physics. 2003. V. 75. № 1. P. 35–99.
- Brunetti A., Sanchez de Rio M., Golosio B., Simionovici A., Somogyi A. A library for X-ray-matter interaction cross sections for X-ray fluorescence applications // Spectrochimica Acta B. – 2004. – V. 59. – № 10–11. – P. 1725–1731.
- Storm E., Israel H.I., Photon cross sections from 1 keV to 100 MeV for elements Z=1 to Z=100 // Nuclear Data Tables. – 1970. – V. 6. – № 7. – P. 565–688.

Поступила 24.04.2012 г.

УДК 620.179.15

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЕТЕКТОРОВ С НЕОДНОРОДНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬЮ В СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ

В.А. Удод*, В.И. Солодушкин, В.А. Клименов, А.К. Темник

*Томский государственный университет Томский политехнический университет E-mail: udod@ef.tsu.ru

Для сканирующих систем цифровой рентгенографии, содержащих линейку детекторов с неоднородной (экспоненциальной) пространственной чувствительностью по направлению сканирования, решена задача оптимального выбора длины апертуры и параметра неоднородности пространственной чувствительности отдельного детектора из линейки, времени регистрации излучения и импульсного отклика цифрового фильтра. Критерием оптимальности служил максимум пространственной разрешающей способности системы по направлению сканирования. По результатам решения оптимизационной задачи оценена эффективность использования в данных системах детекторов с неоднородной (экспоненциальной) чувствительностью.

Ключевые слова:

Цифровая рентгенография, сканирующая система, детектор, неоднородная пространственная чувствительность, пространственная разрешающая способность.

Key words:

Digital radiography, scanning system, detector, inhomogeneous spatial sensitivity, spatial resolution.

Введение

Среди различных типов систем цифровой рентгенографии (на основе оцифровки традиционных рентгенограмм, усилителей радиационных изображений, запоминающих люминофоров и т. д. [1–6]) одними из наиболее перспективных являются сканирующие системы цифровой рентгенографии (ССЦР) на основе линейки детекторов [1–3]. Их принцип действия, согласно [3, 4, 7], состоит в следующем. Узкий (за счет щелевой коллимации источника) веерный пучок рентгеновского (фотонного) излучения, проходя через объект контроля (OK), облучает коллимированную линейку детекторов, сигналы каждого из которых усиливаются и предварительно обрабатываются (интегрируются либо пересчитываются и т. п.), а затем поступают через аналого-цифровые преобразователи в компьютер, где они нормализуются и хранятся, формируя тем самым соответствующую строку отсчетов радиационного изображения просвечиваемого OK. Затем эти отсчеты визуализируются на экране дисплея, образуя строку полутонового изображения. Полное полутоновое изображение формируется путем однократного сканирования OK горизонтальным веерным пучком по вертикали либо вертикальным пучком по горизонтали.

При проектировании вновь создаваемых ССЦР вполне закономерно возникает задача оптимизации значений их основных параметров и характеристик. В [8] получены соотношения для оптимального выбора значений основных параметров ССЦР из условия максимума их пространственной разрешающей способности (РС) по направлению сканирования для случая использования в ССЦР детекторов излучения с однородной пространственной чувствительностью и применения цифровой фильтрации результатов регистрации излучения. Вместе с тем значительный потенциальный интерес представляет также и задача оценки эффективности использования в данных системах детекторов излучения с неоднородной пространственной чувствительностью. В частности, - задача оценки влияния таких детекторов на РС ССЦР. Ее решению и посвящена настоящая работа.

Выражение для пространственной разрешающей способности ССЦР

Общее выражение для продольной (вдоль оси *Ox*) РС *R* ССЦР может быть представлено согласно [8] в следующем виде

$$R = \begin{cases} \sup \{ \overline{\nu} \mid \overline{\nu} \ge 0, \inf_{0 \le \nu \le \overline{\nu}} G(\nu) \ge K \}, 0 < K \le 1; \\ 0, \qquad K > 1. \end{cases}$$
(1)

Здесь v, \overline{v} – пространственные частоты; G(v) – частотно-контрастная характеристика ССЦР вдоль оси *Ох* или продольная частотно-контрастная характеристика ССЦР;

$$G(v) = D(v,0), \tag{2}$$

где $D(v_x, v_y)$ – двумерная частотно-контрастная характеристика ССЦР; v_x , v_y – пространственные частоты вдоль соответствующих координатных осей; K – относительный пороговый контраст.

Перейдем к выводу подробного выражения для продольной частотно-контрастной характеристики ССЦР. Для этого, по аналогии с [9], предположим, что:

- распределение квантового выхода источника излучения по направлениям вылета квантов (угловое распределение источника) азимутально-симметрично и носит плавный характер;
- распределение квантового выхода источника излучения по поверхности его фокусного пятна не зависит от углового распределения источника;
- ОК постоянной толщины и однородный за исключением тонкого слоя, в пределах которого содержится инородное включение (неоднородность) с малым радиационным контрастом;
- ОК перемещается вдоль оси Ох непрерывно с постоянной скоростью, а система источник – линейка детекторов неподвижна;
- толщина ОК намного меньше фокусного расстояния, а сам ОК располагается в непосредственной близости от линейки детекторов;
- детекторы излучения идентичны;

- поверхности приема излучения (апертуры) всех детекторов плоские и наведены на источник;
- линейные размеры апертур детекторов и фокусного пятна источника малы по сравнению с фокусным расстоянием (расстоянием от источника до линейки детекторов вдоль оси Oz);
- линейка детекторов ориентирована вдоль оси Оу симметрично относительно оси Oz (оси пучка излучения);
- линейка детекторов плотно упакована;
- применяется аналоговый режим регистрации излучения;
- вклад рассеянного в ОК излучения в результаты регистрации пренебрежимо мал (вследствие коллимирования источника и линейки детекторов);
- в качестве временных интеграторов применяются идеальные интеграторы со сбросом;
- шаг квантования отсчетов выходных процессов с временных интеграторов аналого-цифровыми преобразователями мал по сравнению со среднеквадратическими отклонениями отсчетов;
- в компьютере осуществляется нормализация первичного цифрового изображения и его последующая цифровая фильтрация;
- амплитудная характеристика ССЦР линейна.
 С учетом принятых предположений согласно
 будем иметь

$$D(v_{x}, v_{y}) = \frac{\left| \tilde{\varepsilon}_{u} \left(v_{x}, \frac{v_{y}}{\cos \alpha} \right) \right|}{\left| \tilde{\varepsilon}_{u}(0, 0) \right|} \times \left| \frac{\sin \pi v_{x} \upsilon T}{\pi v_{x} \upsilon T} \right| \cos(\pi v_{x} \upsilon T) \cos\left(\pi v_{y} \frac{g}{\cos \alpha}\right) \times \left[\left\{ \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(m, k) \cos\left[2\pi \left(\frac{v_{x} m \upsilon T + }{+v_{y} k \frac{g}{\cos \alpha}} \right) \right] \right\}^{2} + \left\{ \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(m, k) \sin\left[2\pi \left(\frac{v_{x} m \upsilon T + }{+v_{y} k \frac{g}{\cos \alpha}} \right) \right] \right\}^{2} \right|^{2}$$
(3)

Здесь $\tilde{\varepsilon}_{u}(v_{x},v_{y})$ – преобразование Фурье функции $\varepsilon_{u}(x,y)$, описывающей эффективность регистрации излучения центральным детектором из линейки (с учетом ее коллимирования);

$$\tilde{\varepsilon}_{u}(v_{x}, v_{y}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_{u}(x, y) \exp[-2\pi i(v_{x}x + v_{y}y)] dxdy;$$
$$\operatorname{rect}(z) = \begin{cases} 1, |z| \le \frac{1}{2}, \\ 0, |z| > \frac{1}{2}; \end{cases}$$

 α — угол между осью *Oz* (осью симметрии рабочего пучка излучения от источника) и направлением от источника на крайний (любой из крайних) детектор линейки (фактически угол α совпадает с половинным углом раствора рабочего пучка излучения); υ — скорость сканирования (перемещения) OK; *T* — время регистрации излучения (постоянная времени каждого из временных интеграторов); *g* ширина апертуры (ее размер вдоль оси *Oy*) отдельного детектора из линейки; {*c*(*m*,*k*)} — импульсный отклик цифрового фильтра, который предполагается удовлетворяющим условию нормировки

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty}\sum_{k=-\infty}^{\infty}c(m,k) = 1.$$
 (4)

Предположим, что используемые в ССЦР детекторы имеют прямоугольную апертуру, но неоднородную по направлению сканирования (то есть вдоль оси Ox) пространственную чувствительность, описываемую функцией экспоненциального вида. Тогда

$$\varepsilon_{u}(x, y) = \varepsilon_{0} \exp\left[-a\left(\frac{x}{b} + \frac{1}{2}\right)\right] \operatorname{rect}\left(\frac{x}{b}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{y}{g}\right),$$
 (5)

где ε_0 — максимальная эффективность регистрации излучения центральным детектором из линейки в пределах его апертуры; b — длина апертуры (ее размер вдоль оси Ox, т. е. по направлению сканирования) центрального (равно как и любого друго-

го) детектора из линейки;
$$\exp\left[-a\left(\frac{x}{b}+\frac{1}{2}\right)\right]$$
 – апо-

дизирующая функция для описания эффективности регистрации излучения, т. е. функция, «создающая» неоднородную пространственную чувствительность (реакцию); $a(a \ge 0)$ – параметр (параметр неоднородности пространственной чувствительности детектора).

Заметим, что при *a*=0 функция (5) становится равной функции

$$\varepsilon_{uo}(x, y) = \varepsilon_0 \operatorname{rect}\left(\frac{x}{b}\right) \operatorname{rect}\left(\frac{y}{g}\right),$$
 (6)

что соответствует детектору с однородной пространственной чувствительностью и прямоугольной апертурой размером $b \times g$.

Для функции (5) будем иметь:

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \varepsilon_{u}(x, y) dx dy = \tilde{\varepsilon}_{u}(0, 0) = \varepsilon_{0} bg \frac{1 - \exp(-a)}{a}; \quad (7)$$

$$\tilde{\varepsilon}_{u}(v_{x}, v_{y}) =$$

$$= \varepsilon_{0} \frac{b \begin{bmatrix} (1 - \exp(-a))\cos \pi v_{x} b + \\ +i(1 + \exp(-a))\sin \pi v_{x} b \end{bmatrix}}{a + 2i\pi v_{x} b} \times$$

$$\times g \frac{\sin \pi v_{y} g}{\pi v_{y} g};$$

$$\left| \tilde{\varepsilon}_{u}(v_{x}, v_{y}) \right| =$$

$$= \frac{\varepsilon_0 bg \sqrt{1 - 2\exp(-a)\cos(2\pi v_x b) + \exp(-2a)}}{\sqrt{a^2 + (2\pi v_x b)^2}} \times \frac{\left|\frac{\sin \pi v_y g}{\pi v_y g}\right|}{(8)}$$

Предположим, что цифровая фильтрация также является продольной (осуществляется вдоль оси *Ox*), т. е.

$$c(m,k) = \begin{cases} c(m), \ k = 0; \\ 0, \ k \neq 0. \end{cases}$$
(9)

Заметим, что в силу соотношения (4) будет верно равенство (условие нормировки импульсного отклика продольного цифрового фильтра):

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} c(m) = 1.$$
 (10)

При подстановке (3) в (2) с учетом (7)–(9) получим развернутое выражение для описания продольной частотно-контрастной характеристики ССЦР

$$G(v) = \frac{a\sqrt{1-2\exp(-a)\cos(2\pi vb) + \exp(-2a)}}{\sqrt{a^2 + (2\pi vb)^2}(1-\exp(-a))} \times \left|\frac{\sin \pi v \upsilon T}{\pi v \upsilon T}\right| \cos(\pi v \upsilon T) \operatorname{rect}(v \upsilon T) \times \left\{ \left\{ \sum_{m=-\infty}^{\infty} c(m)\cos[2\pi v m \upsilon T] \right\}^2 + \left| + \left\{ \sum_{m=-\infty}^{\infty} c(m)\sin[2\pi v m \upsilon T] \right\}^2 \right\}^2 \right\}^2 \right].$$
 (11)

Предположим, что относительный пороговый контраст обусловлен преимущественно зашумленностью полутонового изображения. Тогда применительно к ССЦР согласно [9] и (7), (9) будем иметь

$$K = \frac{M_{nop}\delta}{k_0} = \frac{L\sqrt{\sum_{m=-\infty}^{\infty}\sum_{k=-\infty}^{\infty}c^2(m,k)}}{\sqrt{\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\varepsilon_u(x,y)dxdyT}} = \frac{L\sqrt{\sum_{m=-\infty}^{\infty}c^2(m)}}{\sqrt{\varepsilon_0 bg \frac{1-\exp(-a)}{a}T}} = \frac{L_0\sqrt{a}\sqrt{\sum_{m=-\infty}^{\infty}c^2(m)}}{\sqrt{b(1-\exp(-a))T}}.$$
 (12)

Здесь M_{nop} – пороговое отношение сигнал/шум; δ – относительное среднеквадратическое значение шума на выходе системы; k_0 – исходный контраст; L – обобщенный параметр ССЦР;

=

$$L = \frac{M_{nop}\eta}{k_r \sqrt{\left\{ \exp\left[-\frac{\mu(E_{s\phi\phi})H}{\cos\alpha}\right] \times + F^{-2}\cos^2\alpha\psi(\alpha)\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}P(x,y)dxdy\right\}}}$$

где n – коэффициент амплитудного разброса электрических импульсов с выхода отдельного детектора линейки; k_r – радиационный контраст; μ – линейный коэффициент ослабления излучения для материала OK; $E_{s\phi\phi}$ – эффективная энергия излучения за OK; H – толщина OK; F – фокусное расстояние; $\psi(\theta) - \phi$ ункция, описывающая угловое распределение источника излучения, которая считается нормированной на 1 квант в телесный угол $() = \frac{1}{4\pi}; \theta -$

4_р*ср* (для изотропного источника

угол между осью симметрии пучка излучения (осью O_{z}) и направлением вылета квантов; P(x,y) - cpedнее число квантов излучения, испускаемых в единицу времени с единицы поверхности фокусного пятна коллимированного источника, центрированной в точке (x, y, 0), во всё пространство (распределение квантового выхода по фокусному пятну кол-

лимированного источника);
$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} P(x, y) dx dy -$$

суммарный квантовый выход источника в единицу времени во всё пространство; $L_0 = \frac{L}{\sqrt{\varepsilon_0 g}}$ – преоб-

разованный обобщенный параметр ССЦР.

При подстановке (11) и (12) в (1) окончательно получаем развернутое выражение для продольной РС исследуемой ССЦР, а именно:

$$R = \begin{cases} \sup \left\{ \overline{v} \mid \overline{v} \ge 0, \inf_{0 \le v \le \overline{v}} \left\{ \frac{a \sqrt{\left[1 - 2\exp(-a)\cos(2\pi vb) + \right]}}{\sqrt{a^2} + (2\pi vb)^2 (1 - \exp(-a))} \times \left[\frac{\sin \pi v v T}{\pi v v T} \right] \cos(\pi v v T) \times \left[\frac{\sin \pi v v T}{\pi v v T} \right] \cos(\pi v v T) \times \left[\left\{ \sum_{m = -\infty}^{\infty} c(m)\cos[2\pi v m v T] \right\}^2 \right]^2 \right] \right\} \\ + \left\{ \sum_{m = -\infty}^{\infty} c(m)\sin[2\pi v m v T] \right\}^2 \right]^2 \right] \\ \ge \frac{L_0 \sqrt{a} \sqrt{\sum_{m = -\infty}^{\infty} c^2(m)}}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} \right\}, \\ e_{C\Pi H} 0 < \frac{L_0 \sqrt{a} \sqrt{\sum_{m = -\infty}^{\infty} c^2(m)}}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} \le 1; \\ 0, \\ e_{C\Pi H} \frac{L_0 \sqrt{a} \sqrt{\sum_{m = -\infty}^{\infty} c^2(m)}}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} > 1. \end{cases}$$
(13)

Прежде чем приступить к дальнейшему анализу отметим одно немаловажное обстоятельство, которое заключается в следующем. Аналитическое исследование зависимости РС (13) от импульсного отклика $\{c(m)\}$ цифрового фильтра в общем случае

весьма сложно, а численное - практически невозможно. Поэтому, в последующем ограничимся случаем, когда импульсный отклик $\{c(m)\}$ содержит лишь конечное число ненулевых отсчетов (элементов) c(m) (цифровой фильтр с таким импульсным откликом называют КИХ-фильтром (фильтром с конечной импульсной характеристикой) [10]). Формально указанное ограничение (условие применения КИХ-фильтра) можно учесть, например, следующим образом [8]:

$$c(m) = 0$$
 при $|m| > M - 1$, (14)

где М – некоторое натуральное число. Величина 2М-1 интерпретируется как длина апертуры цифрового фильтра, а случай, когда М=1, является вырожденным и означает, что цифровая фильтрация не применяется (в этом случае импульсный отклик соответствующего цифрового фильтра будет содержать единственный ненулевой отсчет с (0)=1).

С учетом ограничения (14) выражение для РС (13) и условие нормировки (10) соответственно преобразуются к виду:

$$R = \begin{cases} \sup \left\{ \overline{v} \mid \overline{v} \ge 0, \inf_{0 \le v \le v} \left[\frac{a \sqrt{\left[1 - 2 \exp(-a) \cos(2\pi v b) + \right]}}{\sqrt{a^2 + (2\pi v b)^2} (1 - \exp(-a))} \times \left[\frac{\sin \pi v v T}{\pi v v T} \right] \cos(\pi v v T) \times \right] \right] \\ \times \operatorname{rect}(v v T) \left[\left\{ \sum_{m=-(M-1)}^{M-1} c(m) \cos[2\pi v m v T] \right\}^2 + \left[+ \left\{ \sum_{m=-(M-1)}^{M-1} c(m) \sin[2\pi v m v T] \right\}^2 \right] \right] \right] \\ \ge \frac{L_0 \sqrt{a} \sqrt{\sum_{m=-(M-1)}^{M-1} c^2(m)}}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} \right\}, \\ = \operatorname{cnu} 0 < \frac{L_0 \sqrt{a} \sqrt{\sum_{m=-(M-1)}^{M-1} c^2(m)}}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} \le 1; \\ 0, \\ = \operatorname{cnu} \frac{L_0 \sqrt{a} \sqrt{\sum_{m=-(M-1)}^{M-1} c^2(m)}}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} > 1; \\ 0, \\ = \operatorname{cnu} \frac{\sum_{m=-(M-1)}^{M-1} c^2(m)}{\sqrt{b(1 - \exp(-a))T}} > 1; \end{cases}$$
(15)

Для последующей оценки эффективности использования в ССЦР детекторов с неоднородной (экспоненциальной) пространственной чувствительностью решим задачу оптимального выбора значений параметров ССЦР и импульсного отклика цифрового фильтра по критерию максимума PC.

Выбор параметров ССЦР и импульсного отклика цифрового фильтра

Результаты численного решения задачи по оптимальному выбору значений параметров *a*, *b*, *T* и импульсного отклика {c(m)} цифрового фильтра из условия максимума PC (15) (с заменой символов «sup» и «inf» соответственно на символы «max» и «min») представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1.	Завис	симости	опти	мальных	значений	отсчетов
	c(m)	импульс	ного	отклика	цифрового	фильтра
	от па	раметра і	Μ			

М	1	2	3	4	5	6
c(-5)	0	0	0	0	0	0,1267
c(-4)	0	0	0	0	-0,1209	-0,0467
c(-3)	0	0	0	-0,2525	-0,1829	-0,1962
c(-2)	0	0	-0,3877	0,0124	0,0552	-0,0258
c(-1)	0	0,3014	0,1614	0,4278	0,4057	0,3605
c(0)	1	0,3974	0,9339	0,6246	0,5882	0.5631
c(1)	0	0,3013	0,5128	0,4278	0,4563	0,3605
c(2)	0	0	-0,2203	0,0124	0,1149	-0,0258
c(3)	0	0	0	-0,2525	-0,1629	-0,1962
c(4)	0	0	0	0	-0,1536	-0,0467
c(5)	0	0	0	0	0	0,1267

Таблица 2. Зависимости максимума продольной РС ССЦР и оптимальных значений параметров a, b, T от параметра М

М	1	2	3	4	5	6
$\pi L_0 \sqrt{\nu} R_{\max}$	0,5124	0,6835	0,7468	0,8474	0,8744	0,9173
$b_{opt}/(L_0\sqrt{b})$	2,2769	1,7069	1,6758	1,5248	1,5851	1,4983
$(T_{opt}\sqrt{\upsilon})/L_0$	1,1390	0,5197	0,8502	0,5798	0,5256	0,6018
a _{opt}	0	0	0	0	0	0

Как следует из табл. 2, применение цифровой фильтрации позволяет существенно повысить максимум продольной РС ССЦР. В частности, такое повышение (выигрыш) может составлять порядка 79 %, что вытекает из сравнения величины R_{max} при M=1 (что соответствует случаю, когда цифровая

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Клюев В.В., Соснин Ф.Р. Современное состояние цифровой рентгенотехники // Дефектоскопия. – 1999. – № 4. – С. 56–66.
- Соснин Ф.Р. Современные методы и средства цифровой рентгенографии (обзор) // Заводская лаборатория. – 1994. – Т. 60. – № 6. – С. 28–34.
- Недавний О.И., Удод В.А. Современное состояние систем цифровой рентгенографии (обзор) // Дефектоскопия. – 2001. – № 8. – С. 62–82.
- Бару С.Е. Безопасная рентгенография // Наука в России. 1997. – № 4. – С. 12–16.
- Белова И.Б., Китаев В.М. Цифровые технологии получения рентгеновского изображения: принцип формирования и типы (обзор литературы) // Медицинская визуализация. – 2000. – № 1. – С. 33–40.
- Yaffe M.J., Rowlands J.A. X-ray detectors for digital radiography Review // Phys. Med. and Biol. – 1997. – V. 42. – № 1. – P. 1–39.

фильтрация не применяется) с величиной R_{max} при M=6. В то же время оптимальное значение параметра а оказалось равным нулю для всех рассматриваемых значений параметра М. Это означает, согласно (5) и (6), что при оптимальных значениях параметров системы и оптимальном импульсном отклике цифрового фильтра детекторы с неоднородной (экспоненциальной) пространственной чувствительностью «переходят» в детекторы с однородной пространственной чувствительностью. Следствием этого явился и тот факт, что найденное максимальное значение продольной РС ССЦР, а также оптимальные значения параметров b, T и оптимальный импульсный отклик цифрового фильтра оказались точно такими же, как и полученные ранее в работе [8] при решении такой же задачи, но только для детекторов с однородной пространственной чувствительностью.

Выводы

Получено выражение для продольной пространственной разрешающей способности сканирующей системы цифровой рентгенографии, содержащей линейку детекторов излучения, которые обладают неоднородной (экспоненциальной) пространственной чувствительностью по направлению сканирования.

Решена задача оптимального выбора значений основных параметров сканирующей системы из условия максимума ее продольной пространственной разрешающей способности с учетом цифровой фильтрации результатов регистрации излучения. Показано, что при оптимальных значениях параметров системы и оптимальном импульсном отклике цифрового фильтра использование детекторов с неоднородной (экспоненциальной) пространственной чувствительностью имеет такую же эффективность (по значению пространственной разрешающей способности системы) как и использование детекторов с однородной пространственной чувствительностью.

- Гусев Е.А., Фирстов В.Г., Петушков А.А. и др. Сканирующий рентгеновский интроскоп с одномерным матричным преобразователем на основе кремниевых детекторов излучения // Дефектоскопия. – 1989. – № 7. – С. 38–42.
- Лебедев М.Б., Сидуленко О.А., Удод В.А. Учет цифровой фильтрации при выборе параметров многоканальных непрерывно-сканирующих систем цифровой рентгенографии // Дефектоскопия. – 2008. – № 1. – С. 3–18.
- Лебедев М.Б., Сидуленко О.А., Удод В.А. Оптимальный выбор параметров многоканальных непрерывно-сканирующих систем цифровой рентгенографии // Дефектоскопия. – 2009. – № 10. – С. 58–77.
- Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 488 с.

Поступила 05.03.2012 г.