

Диапазон измерения вихретокового преобразователя BAW M12MG-UAC80F-S04G для объекта контроля плоской формы из стали (от 0,5 мм до 4,2 мм) больше, чем цилиндрической формы из стали (от 1 мм до 4 мм). Диапазон измерения вихретокового преобразователя BAW M18MG-UAC80F-S04G для объекта контроля плоской формы из стали (от 1,8 мм до 8 мм) больше, чем цилиндрической формы из стали (от 1,9 мм до 6,8 мм), (рис.6).

Для бесконтактного измерителя отклонения от соосности сварных соединений бурильных труб необходим диапазон линейной чувствительности от 1.5 мм до 3.5 мм и объектом контроля будет являться стальная труба. Для решения данной задачи эффективней использовать датчик BAW M12MF2-UAC40F-BP03 (с диапазоном линейной чувствительности от 1 мм до 4 мм). Датчик BAW M18MF2-UAC40F-BP03 (с диапазоном линейности от 2 мм до 8 мм) эффективней использовать для решения задачи отстройки от влияния изменения зазора на сигнал вихретокового дефектоскопа.

### **Список информационных источников**

1. Датчик расстояния индуктивный BAW M18MG-UAC80F-S04G // [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.murri.fi/documents/balluff/BAW/BAWM18MG\\_UAC80F\\_S04G\\_en.pdf](http://www.murri.fi/documents/balluff/BAW/BAWM18MG_UAC80F_S04G_en.pdf), свободный. - Заглавие с экрана- Яз. рус. Дата обращения: 03.03.2016г.

2. Датчик расстояния индуктивный BAW M12MG-UAC80F-S04G // [Электронный ресурс]. – URL: [http://www.sensotronik.se/pdf/01ind/BUF/BAWM12MF2\\_UAC40F\\_BP03\\_en.pdf](http://www.sensotronik.se/pdf/01ind/BUF/BAWM12MF2_UAC40F_BP03_en.pdf), свободный. - Заглавие с экрана- Яз. рус. Дата обращения: 04.03.2016г.

### **ЦИФРОВАЯ РАДИОГРАФИЯ СТАЛЬНЫХ КАНАТОВ**

*Жумабекова Ш.Т.<sup>1</sup>, Осипов С.П.<sup>1</sup>, Ядренкин И.Г.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Томский политехнический университет, г. Томск*

*<sup>2</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет,  
г. Томск*

*Научный руководитель: Осипов С.П., к.т.н., ведущий научный  
сотрудник Российско-китайской научной лаборатории  
радиационного контроля и досмотра*

#### **1 Введение**

От качества стальных канатов зависит безопасность и надёжность подъемно-транспортных машин (ПТМ) и оборудования различного

назначения. В настоящее время ужесточаются требования к уровням безопасности и надёжности ПТМ и, особенно, лифтов и подъёмников. Обеспечение требований к уровням безопасности и надёжности ПТМ невозможно без применения методов неразрушающих испытаний при изготовлении стальных канатов и в процессе эксплуатации. К основным методам неразрушающих испытаний, предназначенных для обнаружения производственных и эксплуатационных дефектов стальных канатов, относятся различные реализации оптических, магнитных, ультразвуковых, электрических и других методов [1–3]. Появление высокочувствительных линеек (панелей) радиометрических детекторов, позволяющих формировать радиографические изображения, геометрическое разрешение которых приближается к классической радиографии, и расширение номенклатуры высокоэффективных источников рентгеновского излучения обуславливают применимость цифровой радиографии для неразрушающих испытаний стальных канатов большого диаметра [4–8].

## 2 Геометрическая схема сканирования стального каната

На рис. 1 приведена геометрическая схема [8] непрерывного сканирования стального каната щелевым пучком рентгеновского излучения. Радиографический комплекс состоит из: источника рентгеновского излучения – 1, биологической защиты – 2 со встроенным коллиматором источника – 3, объекта контроля – 4, коллиматора – 5 линейки детекторов – 6.

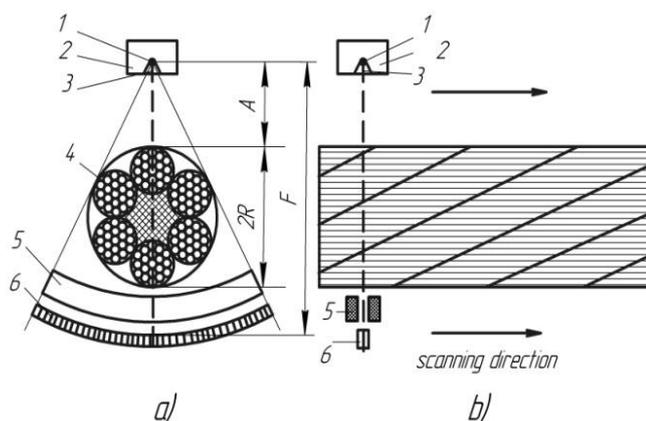


Рис. 1. Геометрическая схема сканирования стального каната:  
*a* – поперечное сечение; *b* – сечение в направлении сканирования

К основным факторам, снижающим качество радиографического контроля, относятся: вклад рассеяния в радиометрический сигнал и ужесточение пучка излучения. Вклад рассеяния уменьшают

применением щелевых и (или) пинхольных коллиматоров источника и (или) регистратора рентгеновского излучения [9]. Эффект ужесточения учитывается калибровкой, позволяющей оценить зависимость интегрального линейного коэффициента ослабления излучения от толщины барьера [10].

### **3 Формирование цифровых радиографических изображений**

В настоящее время используется значительное количество типов канатов, отличающихся друг от друга не только диаметром, но и конструкцией. На рис. 2.*a* для иллюстрации сложности внутренней структуры стального каната диаметром 25 мм приведено изображение его сечения [11], полученное методом рентгеновской вычислительной томографии (РВТ).

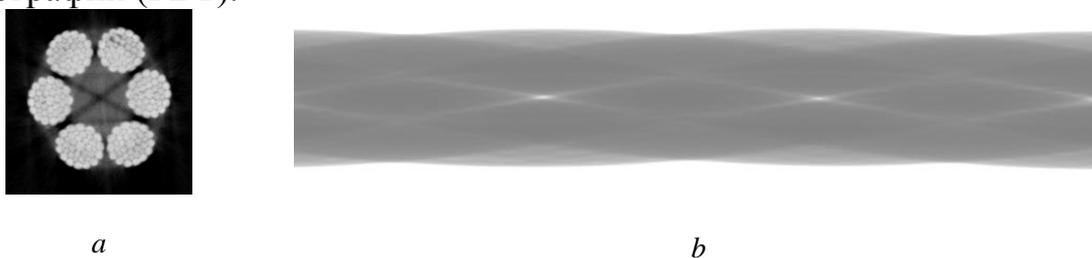


Рис. 2. Изображения внутренней структуры стального каната:

*a* – рентгеновская вычислительная томография; *b* – цифровая радиография

Анализ радиографических изображений стальных канатов оператором затруднён неоднородностью распределения яркости по изображению каната. Указанная неоднородность приводит к различию вероятностей обнаружения дефектов в центральной и периферической областях. Упомянутые сложности устраняются с помощью применения специализированных алгоритмов обработки радиографических изображений, например, [8].

Был получен ряд радиографических изображений для различных максимальных энергий рентгеновского излучения. В качестве объекта контроля использовали канат, внутренняя структура которого представлена на рис. 2.*a*. На рис. 2.*b* приведено типичное радиографическое изображение стального каната [11].

### **4 Анализ радиографических изображений стальных канатов**

Из анализа типичного радиографического изображения стального каната, приведённого на рис. 2.*b*, можно сделать замечания.

*Замечание 1.* Существует ось симметрии теневого изображения стального каната.

Наличие указанной оси симметрии порождает существование целого ряда инвариантов (информативных параметров) цифровых

радиографических изображений стальных канатов. На изображении стального каната введём прямоугольную систему координат  $OXY$ . Ось  $OX$  является осью симметрии теневого изображения каната. Введём функции  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$ , ограничивающие изображение стального каната сверху и снизу. Можно сформулировать следующее замечание относительно функций  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$ .

*Замечание 2.* Функции  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  являются периодическими, они связаны друг с другом соотношением  $f_1(x) = -f_2(x)$ .

К инвариантам (см. табл. 1), определяемым по функциям  $f_1(x)$  и  $f_2(x)$  относятся [12]: максимальный поперечный размер тени каната на изображении  $D_{max}$ ; минимальный поперечный размер тени каната на изображении  $D_{min}$ ; расстояние  $L$  между положениями соседних максимумов и минимумов анализируемых функций.

Таблица 1. Соответствие инвариантов радиографических изображений стальных канатов с основными типами дефектов

| Основной инвариант  | Дефект  | Визуализация дефекта   |
|---|---|--|
| Плавное изменение яркости                                 | Обрыв проволоки   | Более светлое пятно на окружающем фоне   |
| Максимальный поперечный размер тени каната                | Расплющивание   | Текущий диаметр каната больше или меньше нормативного  |
| Масса сечения каната                                      | Износ   | Площадь сечения проволок меньше нормативного значения  |
| Максимальный поперечный размер тени каната на изображении | Местное увеличение диаметра каната                                  | Текущий диаметр каната больше или меньше нормативного, яркость центральной части каната меньше номинальной |
| Максимальный поперечный размер тени каната                | Коррозия внутренних областей каната                                 | Текущий диаметр каната больше нормативного значения  |
| Максимальный поперечный размер тени каната                | Местное уменьшение диаметра каната за счёт органического сердечника | Текущий диаметр каната меньше нормативного значения  |
| Симметрия изображения                                     | Излом каната  | Нарушение симметрии или появление более тёмных участков изображения, рекомендуется несколько ракурсов      |
| Максимальный поперечный размер тени каната                | Инородное включение   | Текущий диаметр каната больше нормативного значения  |
| Яркость фрагментов  | Выпирание отдельных прядей или проволок                             | Текущий диаметр каната больше нормативного значения, рекомендуется несколько ракурсов                      |

|  |                  |  |
|--|------------------|--|
| Расстояние между центрами светлых пятен, расположенных на оси изображения каната | Удлинение каната | Расстояние между центрами светлых пятен, расположенных на оси теневого изображения каната больше нормативного значения |
|--|------------------|--|

## 5 Заключение

Проектирование систем цифровой радиографии стальных канатов невозможно без корректного выбора и оценки параметров и характеристик анализируемых систем.

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

### Список информационных источников

1. Zhang D., Zhao M., Zhou Z., Pan S. Characterization of wire rope defects with gray level co-occurrence matrix of magnetic flux leakage images // *Journal of Nondestructive Evaluation*. – 2013. – Vol. 32. – No. 1. – pp. 37–43.

2. Krešák J., Kropuch S., Peterka P. The anchors of steel wire ropes, testing methods and their results // *Metalurgija-Zagreb*. – 2012. – Vol. 51. – No. 4. – pp. 485–488.

3. Hua-Ming L., Yi-Mei M. Fatigue testing and evaluation for coated steel belts based on electrical method // *Russian Journal of Nondestructive Testing*. – 2013. – Vol. 49. – No. 10. – pp. 602–609.

4. Liu H.P., Miao C.Y., Li X.G. An algorithm based on PFT for defect recognition of X-ray steel rope cord conveyor belt image // *Advanced Materials Research*. – 2013. – Vol. 722. – pp. 572–575.

5. Xian-Guo L., Chang-Yun M., Wen W., Yan Z. Fault automatic detection method for steel cord conveyor belt based on the regularity analysis // *International Journal of Digital Content Technology and its Applications*. 2012. – Vol. 6. – No. 1. – pp. 226–234.

6. Осипов С.П., Батрагин А.В., Воронова В.С., Шиндина А.В. Идентификация дефектов стальных канатов по цифровым радиографическим изображениям // *Технологии техносферной безопасности (Интернет-журнал)*. – 2013. – № 5. – 10 с.

7. Dai Y., Miao C., Rong F. Design of dual energy x-ray detector for conveyor belt with steel wire ropes // *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009*. – International Society for Optics and Photonics. – 2009. – p. 738528.

8. Осипов С.П. , Темник А.К. , Воронова В.С. Неразрушающий контроль стальных канатов методом дуальных энергий (Интернет-журнал) // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 4(44). – 10 с.

9. Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. Щелевые и пинхольные коллиматоры в цифровой рентгенографии // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2007. – № 3. – С. 62–64.

10. Недавний О.И., Осипов С.П. Аппроксимация зависимостей интегрального и дифференциального коэффициента ослабления тормозного излучения от толщины поглощающего фильтра // Дефектоскопия. – 1994. – № 9 – С. 92–95.

11. Осипов, С.П., Клименов, В.А., Батрагин, А.В., Штейн, А.М., Прищепа, И.А. Применение цифровой радиографии и рентгеновской вычислительной томографии при исследовании строительных конструкций и в строительном материаловедении // Вестник ТГАСУ. – 2015. – № 6. – С. 116–127.

12. Осипов, С.П., Чахлов, С.В, Батрагин, А.В., Жумабекова, Ш.Т., Ядренкин, И.Г. Выбор оптимальных энергий рентгеновского излучения в системах цифровой радиографии стальных канатов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2016. – № 5. – С. 37–45.

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБРАБОТКЕ РАДИОГРАФИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

*Журавский Е.Е., Осипов С.П.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Осипов С.П., к.т.н., ведущий научный сотрудник Российско-китайской научной лаборатории радиационного контроля и досмотра*

### **Введение**

В науке и промышленности широко применяются цифровая радиография в различных ее реализациях [1]. В работе [2] подчеркнута, что в настоящее время непревзойденным лидером по разрешающей способности является метод, основанный на оцифровке аналоговых радиографических изображений. Повышение качества радиографического контроля в части, связанной с расшифровкой