

## Список информационных источников

1. Дубровский С.Л. Как собрать металлоискатель своими руками. – Спб.: Наука и Техника, 2010. – 256 с.: ил.
2. <http://cxem.net/mc/mc131.php>
3. <http://detstandart.ru/articles/metalloiskateli-istoriya-razvitiya.html>
4. Ермошин Н. И., Миляев Д. В. Вихретоковый металлоискатель с повышенной чувствительностью // Информационно-измерительная техника и технологии: материалы IV Научно-практической конференции, Томск, 15-17 Мая 2013. – Томск: ТПУ, 2013 – С. 134—137.
5. Адаменко М.В. Металлоискатели. М.: Издательский дом «ДМК-пресс», 2006. – 128 с.: ил.
6. Щедрин А.И. Новые металлоискатели для поиска кладов и реликвий. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 176 с.
7. Chi Y.M. Wireless non-contact cardiac and neural monitoring. Proceeding WH '10 Wireless Health, 2010. P. 15-23.
8. Лебедев В. В., Основы технологии конструирования приборов измерения и анализа биопотенциалов.
9. Кардиомониторы. Аппаратура непрерывного контроля ЭКГ: Учеб. Пособие для вузов / А. Л. Барановский, А. Н. Калиниченко, Л. А. Манило и др.; Под ред. А. Л. Барановского и А. П. Немирко. — М.: Радио и связь, 1993. — 248 с.

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ДЛЯ ДОСМОТРОВОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ

*Ван Яньчжао*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Удод В.А., д.т.н., профессор, ведущий  
научный сотрудник Российско-китайской научной лаборатории  
радиационного контроля и досмотра*

### Введение

Главнейшей проблемой третьего тысячелетия является безопасность, вследствие появления новой деструктивной силы – международного терроризма [1, 2]. Эффективность решения этой

проблемы неразрывно связана с уровнем оснащенности служб безопасности системами досмотрового контроля.

Согласно многочисленным публикациям (в частности - [3, 4]), на современном этапе развития среди различных видов досмотровых систем одно из лидирующих положений занимают системы цифровой рентгенографии (СЦР). Ниже представлено описание данных систем и основных направлений их совершенствования.

### **Системы цифровой рентгенографии для досмотрового контроля объектов**

Основной принцип действия СЦР заключается в просвечивании объекта контроля (ОК) потоком рентгеновского излучения с последующей регистрацией и преобразованием прошедшего через ОК излучения (радиационное изображение ОК) в цифровой массив измерительных данных, который может подвергаться различным видам цифровой обработки и в дальнейшем воспроизводится на экране дисплея для визуального восприятия оператором [3].

Значительные усилия специалистов в сфере радиационного досмотрового контроля направлены на создание высокоэффективных источников и детекторов ионизирующего излучения, а также на разработку алгоритмов и программного обеспечения для обработки результатов регистрации излучения [5].

Для повышения эффективности досмотрового контроля во многих СЦР применяется метод дуальных энергий (МДЭ), основанный на оценке ослабления рентгеновского излучения ОК для двух источников, максимальные энергии которых подбираются специальным образом [6 - 8]. При помощи этого метода в содержимом ОК удается разделять предметы по эффективному атомному номеру.

В [9] предложен способ определения параметров метода дуальных энергий, основанный на использовании предварительно рассчитанных или определенных экспериментальным путем зависимостей правых частей систем двух интегральных параметрических уравнений от двух искомых параметров в интересующих диапазонах их изменения.

В [10] приведены основы алгоритма, предназначенного для идентификации вещества ОК высокоэнергетическим методом дуальных энергий. Рассматриваются этапы алгоритма: формирование исходных цифровых радиографических изображений; калибровки; формирование конечных изображений метода дуальных энергий; классификация веществ различных фрагментов ОК.

В [11] разработано программное обеспечение, позволяющее осуществлять необходимую обработку интроскопических изображений и визуализацию результатов распознавания. Программный комплекс для восстановления интроскопических изображений с определением Z-функции на основе метода дуальных энергий дает возможность распознавания не менее четырех групп элементов и проведения детального анализа содержимого просвеченных объектов с помощью различных функций фильтрации, коррекции и улучшения интроскопических изображений.

В [12] предложен метод для мультивидного обнаружения предметов в рентгеновских изображениях дуальных энергий. Приведен эскиз для 4-видного рентгеновского сканера. 4 рентгеновских генератора сканируют ОК из разных точек, после чего получаются 2 изображения с высокой и низкой энергиями, соответственно, для каждого из 4 видов, т.е. получаются всего 8 энергетических изображений. Проведенные эксперименты подтвердили высокую эффективность предложенного мультивидного метода.

В [13] описана разработка СЦР на основе линейного ускорителя 3 МэВ / 6 МэВ для обнаружения контрабанды в авиационных контейнерах. Для ускоренного обнаружения подозрительного груза осуществляется просвечивание контейнеров под несколькими направлениями (мультивид). Для регистрации излучения используется линейка детекторов с размерами апертуры отдельного детектора  $6 \times 6$  мм<sup>2</sup>. Скорость перемещения (сканирования) составляет около 0,2 м/с. Время, затрачиваемое на получение изображений контейнера в двух ортогональных видах, примерно равно 40 с.

В [14] для повышения точности автоматического распознавания ядерных и взрывчатых материалов в досматриваемых объектах (контейнеры в морских портах и т.п.) с использованием МДЭ и высокоэнергетических источников рентгеновского излучения (с максимальной энергией от 2,5 МэВ до 9 МэВ) предложено осуществлять просвечивание объекта тремя веерными пучками. При этом каждый пучок формируется от отдельного источника излучения и регистрируется соответствующей линейкой детекторов, а центральные лучи двух из трех пучков взаимно ортогональны. Наряду с этим авторами также отмечается повышение актуальности задачи - оптимизации производительности и надежности досмотровых систем.

## Выводы

1. Повышение эффективности СЦР для досмотрового контроля объектов связано с совершенствованием источников и детекторов рентгеновского излучения и разработкой специализированных алгоритмов цифровой обработки радиационных изображений.

2. Информативность досмотра может быть значительно увеличена при использовании в СЦР многоракурсного просвечивания объекта (схема мультивид) с одновременным использованием нескольких источников излучения и детекторных массивов.

3. Для повышения надежности обнаружения несанкционированных вложений в объектах целесообразно дальнейшее совершенствование алгоритмов идентификации веществ на основе методов дуальных энергий.

## Список информационных источников

1. Ковалев А.А., Ковалев А.В. Технические средства антитеррористической и криминалистической диагностики / Под общей редакцией академика РАН В.В. Клюева. – Учебное пособие. – М. – 2011. – 200 с.

2. Клюев В.В., Бобров В.Т. Техническая диагностика – основа безопасности страны // Контроль. Диагностика. – 2011. – № 5. – С. 55–61.

3. Лебедев М.Б., Сидуленко О.А., Удод В.А. Анализ современного состояния и развития систем цифровой рентгенографии // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 2. – С. 47–55.

4. Буклей А.А. Исследования и создание портативной досмотровой рентгеновской техники и оборудования НК. Разработка технологии их применения // Контроль. Диагностика. – 2009. – № 4. – С. 76–80.

5. Клименов В.А., Касьянов В.А., Лебедев М.Б., Москалев Ю.А., Темник А.К., Штейн М.М., Чахлов С.В. / Современное состояние и перспективы создания конкурентоспособных на мировом рынке систем цифровой радиографии (СЦР) // Контроль. Диагностика. – 2011. – Специальный выпуск. – С. 25–29.

6. Macdonald Richard D.R. Design and implementation of a dual-energy X-ray imaging system for organic material detection in an airport security application. — Proc. SPIE, 2001, v. 4301, p. 31–41.

7. Park J.S., Kim J.K. Calculation of effective atomic number and normal density using a source weighting method in a dual energy X-ray inspection system. — Journal of the Korean physical society, 2011, v. 59, No. 4, p. 2709–2713.

8. Клименов В.А., Осипов С.П., Темник А.К. Идентификация вещества объекта контроля методом дуальных энергий.— Дефектоскопия, 2013, № 11, с. 40–50.

9. Osipov, S., Libin, E., Chakhlov, S., Osipov, O., Shtein, A. Parameter identification method for dual-energy X-ray imaging / // NDT and E International. – 2015. pp. 38-42.

10.Высокоэнергетический метод дуальных энергий для идентификации веществ объектов контроля / Чахлов С.В., Осипов С.П. // Контроль. Диагностика. 2013. № 9. С. 9-17.

11.Гавриш Ю.Н., Бердников Я.А., Спирин Д.О., Передерий А.Н., Сафонов М.В., Романов И.В. / Программный комплекс для восстановления интроскопических изображений с использованием метода дуальной энергии// Вопр. атом. науки и техн. — 2010. — № 3. — с. 123-125.

12.Multi-view object detection in dual-energy X-ray images / Baştan, M. // Machine Vision and Applications 26 (7-8), 2015. pp. 1045-1060.

13.X-ray cargo container inspection system with few-view projection imaging / Xinhui Duan, Jianping Cheng, Li Zhang, Yuxiang Xing, Zhiqiang Chen, Ziran Zhao // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2009. – V. 598. – № 2. – P. 439–444.

14. Frosio I., Borghese N.A., Lissandrello F., Venturino G., Rotondo G. Optimized acquisition geometry for X-ray inspection.— Conference Record –IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference 2011 – 5944195, p. 300–305.

## **ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКИ СЕКТОРНОЙ ЖИЛЫ НАКЛАДНЫМ ВТП**

*Ван Юй*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д. т. н., профессор кафедры  
физических методов и приборов контроля качества*

Кабели и провода это важнейшие изделия. Кабельную промышленность отличают высокая технологичность, энергоёмкость, ресурсоёмкость и высокая степень автоматизации производства.

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 60811-1-1-98 «Измерение толщин и наружных размеров - Измерение толщины и наружных размеров изоляции и оболочек кабелей», для жил секторной формы проводят