



Рис.2. Зависимость термоЭДС от сопротивления нагрузки, при температурах 100 °С (а), 200 °С (б), 300 °С (в), сплошная линия – моделирование, пунктирная линия – экспериментальные данные.

Заключение

Получено аналитическое выражение функции, описывающей зависимость эквивалентной термоЭДС двух параллельно соединенных термопар от сопротивления нагрузки. Аналитическое выражение будет использовано для дальнейшего моделирования термоэлектрического метода контроля при многоточечном контакте электродов с контролируемым образцом.

Список литературы:

- [1] C. Stuart, *Thermoelectric Differences Used for Metal Sorting* // *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 15, No. 4, 1987, pp. 224-230, <https://doi.org/10.1520/JTE11013J>. ISSN 0090-3973.
- [2] P. E. Mix., *Introduction to Nondestructive Testing: A Training Guide, Second Edition* // 27 Jan 2005. Print ISBN: 9780471420293. Online ISBN: 978-0-471-42029-3. DOI: 10.1002/0471719145.
- [3] A.I. Soldatov, A.A. Soldatov, P.V. Sorokin, E.L. Loginov, A.A. Abouellail, O.A. Kozhemyak, S.I. Bortalevich, [Control system for device «thermotest](#) \ 2016 International Siberian Conference on Control and Communications, SIBCON 2016 – Proceedings, 7491869
- [4] A.I. Soldatov, *Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом* // дис. канд. техн. наук / А.А. Солдатов. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 155с.
- [5] A.I. Soldatov, *Аппаратно-программный комплекс для контроля пластически деформированных металлов дифференциальным термоэлектрическим методом*. дис. канд. техн. наук / А.А. Солдатов. – Томск: НИ ТПУ, 2014. – 155с.
- [6] A.I. Soldatov, A.A. Soldatov, M.A. Kostina, O.A. Kozhemyak, H.M. Kroning, [Modelling of the thermal field of hot electrode and the controlled sample at thermoelectric testing of metals](#) \ Proceedings of 2015 International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, MEACS 2015, 7414922
- [7] J. Hu, P.B. Nagy, *On the role of interface imperfections in thermoelectric nondestructive materials characterization* // *Applied Physics Letters*, 73, 467-469 (1998), DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.121902>
- [8] Ahmed Abouellail, et al., *Surface inspection problems in thermoelectric testing*, MATEC |Web Conf., 102 (2017) 01001, DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710201001>

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ДУАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЙ

Осипов Сергей Павлович, Удод Виктор Анатольевич, Ван Яньчжао
 Национальный исследовательский Томский политехнический университет
 Национальный исследовательский Томский государственный университет
osip1809@rambler.ru

Радиационные методы неразрушающего контроля, испытаний и диагностики на современном этапе своего развития являются высокоразвитым научно-техническим направлением, охватывающим разнообразные сферы жизнедеятельности человека – промышленность, медицину, досмотр и т.д. Требуемая

эффективность контроля во многих случаях достигается посредством применения специализированных физических методов. Одним из них в настоящее время является метод дуальных энергий (МДЭ). Суть МДЭ заключается в формировании двух цифровых радиационных изображений объекта контроля (ОК) для двух максимальных энергий рентгеновского излучения и их последующей обработке с целью получения изображений параметров МДЭ. Один из параметров МДЭ несет информацию о массовой толщине ОК, а второй помимо массовой толщины зависит и от эффективного атомного номера. Дополнительной опцией МДЭ является возможность оценки эффективного атомного номера материала ОК [1–3] или параметра, связанного с ним. Существуют различные модификации, реализующие этот метод, например, однократное просвечивание ОК с регистрацией излучения двумя детекторами, расположенными один за другим по ходу рентгеновских лучей [4], однократное просвечивание ОК с чередованием импульсов рентгеновского излучения с меньшей максимальной энергией (low energy) с импульсами с большей максимальной энергией (high energy). В качестве источников рентгеновского излучения в МДЭ используются радионуклиды, рентгеновские аппараты, бетатроны и линейные ускорители [5]. МДЭ позволяет распознавать (дискриминировать) материалы ОК и их структурных фрагментов методом соотнесения оценок эффективных атомных номеров с одним из нескольких классов материалов, например, металл – неметалл (или органика – неорганика), что имеет очень важное значение, в частности, в досмотровом контроле.

Существуют две разновидности алгоритмов обработки исходных радиационных изображений с целью получения изображений параметров МДЭ и (или) эффективного атомного номера. Первая разновидность базируется на решении систем интегрально-параметрических уравнений, параметры которых и являются параметрами МДЭ. На практике для описания связи исходных пар цифровых радиометрических сигналов с параметрами МДЭ используется сравнение различных теоретических и экспериментальных характеристик ослабления потоков рентгеновского излучения – коэффициентов ослабления и радиационных толщин ОК. Вариант сравнения теоретических и экспериментальных оценок радиационных толщин является более предпочтительным с точки зрения численной реализации алгоритма обработки информации, визуализации изображений и физической интерпретации оцениваемых промежуточных и конечных параметров ОК. Во второй разновидности на основе просвечивания специальных тестовых объектов, диапазоны характеристик которых совпадают с предельными диапазонами потребительского интереса, формируются калибровочные таблицы соответствия теоретических значений параметров МДЭ и экспериментальных характеристик ослабления потоков рентгеновского излучения. Полученные калибровочные таблицы могут быть использованы для построения соответствующих регрессионных моделей либо для оценок параметров МДЭ методом, предложенным в [2]. Точность оценки параметров МДЭ зависит от его технической реализации, включая разновидности алгоритмов обработки информации. На точность оценки параметров МДЭ существенным образом влияет ряд физических и технических факторов [6, 7]. При использовании первой разновидности МДЭ точность оценки соответствующих параметров определяется:

- точностью представления массового коэффициента ослабления (МКО) фотонного излучения в виде суммы двух слагаемых, каждое из которых соотносится с одним из превалирующих эффектов взаимодействия фотонов с веществом (фотоэффект и эффект Комптона для низкоэнергетического рентгеновского излучения, эффект Комптона и эффект рождения пар для высокоэнергетического рентгеновского излучения);
- точностью аппроксимаций энергетических зависимостей МКО излучения для каждого из превалирующих эффектов взаимодействия;
- точностью описания связи параметров МДЭ с характеристиками ОК – эффективным атомным номером ОК и его массовой толщиной;
- точностью цифровых сигналов, определяемой разрядностью аналогово-цифровых преобразователей и статистическими погрешностями, обусловленными квантовой природой излучения;
- точностью задания максимальной энергии рентгеновского излучения;
- точностью описания энергетического спектра рентгеновского излучения, генерируемого источником;
- точностью энергетической зависимости среднего значения поглощённой энергии, зарегистрированного фотона;
- точностью оценки эффективности регистрации излучения детектором;
- точностью решения систем интегрально-параметрических уравнений, зависящей от погрешностей численного интегрирования и метода решения нелинейных уравнений;
- точностью математических моделей, положенных в основу МДЭ.

В докладе рассмотрены современные подходы к оценке параметров МДЭ и эффективного атомного номера материала ОК, различные технические реализации систем радиационного контроля на основе МДЭ и перспективы их дальнейшего совершенствования.

Список литературы:

- [1] Удод В. А., Ван Я., Осипов С. П., Чахлов С. В., Усачев Е. Ю., Лебедев М. Б., Темник А. К. // Современное состояние и перспективы развития систем цифровой рентгенографии для дефектоскопии, диагностики и досмотрового контроля объектов (обзор). Дефектоскопия. – 2016. – № 9. – С. 11–28.
- [2] Osipov S. P., Libin E. E., Chakhlov S. V., Osipov O. S., Shtein A. M. // Parameter identification method for dual-energy X-ray imaging. NDT & E International. – 2015. – Vol. 76. – P. 38–42.
- [3] 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. – Vol. 59. – No. 4. – P. 2709–2713.
- [4] Iovea M., Neagu M., Dului O. G., Oaie G., Szobotka S., Mateiasi G. // A dedicated on-board dual-energy computer tomograph. Journal of Nondestructive Evaluation. – 2011. – Vol. 30. – No. 3. – P. 164–171.
- [5] Li L., Li R., Zhang S., Zhao T., Chen Z. // A dynamic material discrimination algorithm for dual MV energy X-ray digital radiography. Applied Radiation and Isotopes. – 2016. – Vol. 114. – P. 188–195.
- [6] Клименов В. А., Осипов С. П., Темник А. К. // Идентификация вещества объекта контроля методом дуальных энергий. Дефектоскопия. – 2013. – № 11. – С. 40–50.
- [7] Осипов С. П., Темник А. К., Чахлов С. В. // Влияние физических факторов на качество идентификации веществ объектов контроля высокоэнергетическим методом дуальных энергий. Дефектоскопия. – 2014. – № 8 – С. 69–77.

КОММУНИКАЦИОННЫЙ СИМУЛЯТОР БЕТАТРОНА

Чжун Ян, Чахлов Сергей Владимирович, Ван Яньчжао

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

yan.tchzhun@yandex.ru

Успешное применение бетатронов в досмотровых системах [1] делает актуальной проблему создания специализированного оборудования, облегчающего их сервисное обслуживание. Так как доступ к бетатрону, работающему в реальной системе, по многим причинам затруднен, а свободного бетатрона у пользователя нет из-за высокой стоимости. Поэтому нам нужно создать устройство для проверки управляющего бетатроном программного обеспечения досмотровой системы. По назначению этого устройства, назовем его коммуникационный симулятор бетатрона. Функции создаваемого устройства должны повторять как можно больше функций бетатрона.

С учетом функций бетатрона [2,3], мы должны:

- Моделировать рабочее состояние бетатрона с помощью сигнальных ламп, управляемых микропроцессором: состояние Ready – свечение зеленой лампы, состояние Countdown – свечение желтой лампы, состояния Standby и Radiation On – свечение красной лампы.
- Моделировать при свечении красной лампы ток инжекции в диапазоне 0-12В и сигнал обратной связи $\pm 5В$.
- Моделировать сигнал дозы, и на выходе получать напряжение в диапазоне 0,1-5В с малым шумом.

Мы спроектировали все электронные схемы, выполняющие заданные функции и соединили все схемы в одну и собрали печатную плату. Проведена проверка готовой печатной платы. Результаты проверки показали, что плата выполняет все заданные функции и может применяться для отладки управляющего бетатроном программного обеспечения досмотровой системы.

Список литературы:

- [1] Chakhlov S. V., Kasyanov S. V., Kasyanov V. A., Osipov S. P., Stein M. M., Stein A. M., Sun Xiaoming. // Betatron Application in Mobile and Relocatable Inspection Systems for Freight Transport Control. 2016. J. Phys.: Conf. Ser. 671. С. 5.
- [2] Москалев В.А., Чахлов В.Л., Бетатроны: монография. Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – С. 267.
- [3] В.А. Москалев, Г.И. Сергеев. Индукционный ускоритель электронов - бетатрон: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – С. 330.
- [4] Hu Bin, Hu Song. Electronics Engineer Essentials – Component Application Collection. Beijing: Posts & Telecom Press. 2012. – С. 798.

ЭКРАННЫЙ ВИХРЕТОКОВЫЙ ДАТЧИК УРОВНЯ РАСПЛАВА В КРИСТАЛЛИЗАТОРЕ

Савин Игорь Сергеевич, Славинская Екатерина Андреевна

Московский энергетический университет