

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ДУАЛЬНЫХ ЭНЕРГИЙ ДЛЯ МАЛЫХ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ

Абашкин А. Д., Осипов С. П., Чахлов С. В., Штейн А. М.

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Осипов С. П., к.т.н., в. н.с. лаборатории

Технической томографии и интроскопии

Распознавание материалов, из которых состоит объект досмотрового контроля (ОДК) и его фрагменты, остается одной из важнейших проблем, решаемых таможенными и пограничными органами стран мира и службами обеспечения безопасности пассажирских и грузовых перевозок. Под распознаванием материалов применительно к досмотровому контролю традиционно понимают сопоставление материалов ОДК или его фрагментов по эффективному атомному номеру или связанному с ним параметру к одному из широких классов веществ. Все материалы делят на ряд классов, причем каждый из этих классов соотносится со своим диапазоном изменения эффективного атомного номера и ассоциируется с наиболее типичным своим представителем. К классу органических материалов относят, например, воду, графит, полиэтилен, полипропилен и т.п., любой из указанных материалов может быть выбран в качестве типичного представителя класса. Класс материалов с малым значением эффективного атомного номера ассоциируется с алюминием. Типичным представителем класса металлов и сплавов со средним значением эффективного атомного номера является сталь. Класс материалов с большим значением эффективного атомного номера ассоциируют со свинцом. В настоящее время для распознавания материалов объектов досмотрового контроля и их фрагментов широко применяют различные реализации метода дуальных энергий [1–4]. Для контроля крупногабаритных объектов используют инспекционные досмотровые комплексы на основе бетатронов и линейных ускорителей электронов. Одним из возможных путей повышения производительности досмотрового контроля является сканирование транспортных средств вместе с водителем. Такой подход обуславливает формирование первичных радиографических изображений объекта досмотрового контроля при двух уровнях мощности дозы излучения: низкого уровня – для сканирования кабины с водителем; высокого уровня – для сканирования оставшейся части транспортного средства. Низкий

уровень определяется нормами радиационной безопасности. Из сказанного выше следует необходимость в экспериментальной проверке возможности распознавания материалов ОДК и их фрагментов высокоэнергетическим методом дуальных энергий для низких уровней мощности дозы рентгеновского излучения.

Экспериментальные исследования проводили на инспекционном досмотровом комплексе Томского политехнического университета. Первичные радиографические изображения формировали для пары максимальных энергий рентгеновского излучения – 4 МэВ и 7,5 МэВ. Сканировали фрагменты тестового объекта досмотрового контроля из органических материалов (вода, плексиглас, полиамид, дерево), алюминия, обыкновенной стали и свинца с массовой толщиной от 20 до 120 г/см². Тестовый объект со сканером располагали в наиболее проблемной зоне – на максимальном удалении от оси пучка высокоэнергетического рентгеновского излучения. Для более точной оценки параметров калибровочных линий тестовые объекты сканировались на скорости 4 см/с. Изображения формировались в режиме 1 импульс меньшей энергии, 1 импульс большей энергии. На первом этапе необходимо оценить диапазон изменения уровней радиометрических сигналов при уменьшении мощности поглощенной дозы излучения, а на следующем этапе – исследовать, как указанное изменение сказывается на качестве распознавания материалов из всех четырех классов материалов – органики, алюминия, стали и свинца.

В процессе исследований мощность экспозиционной дозы излучения P на оси пучка уменьшали от 2,4 до 0,3 сГр/мин. Мощность дозы в зоне сканирования примерно в 4 раз меньше чем в центре.

Из анализа данных, полученных опытным путем, можно сделать вывод о сужении диапазона массовой толщины фрагментов, для которых уверенно распознается материал ОДК при уменьшении мощности дозы излучения. При $P \approx 0,266$ сГр/мин все анализируемые материалы уверенно распознаются в диапазоне массовых толщин от 20 до 100 г/см², исключением являются фрагменты свинца толщиной до 30 г/см². Указанный факт объясняется менее значительным вкладом рассеяния в радиометрических сигналах для свинца, чем для железа, алюминия и органических материалов.

Следующим этапом экспериментально оценивалось качество распознавания следующих материалов: органические материалы – мука, плексиглас, вода; легкие металлы и неорганические материалы – алюминий, цемент, поваренная соль; металлы со средним значением эффективного атомного номера – сталь, медь; тяжелые металлы – свинец. Массовые толщины фрагментов близки к 40 г/см². Все прочие

условия измерений такие же, как и в предыдущем разделе. Всего было проведено 9 циклов сканирований тестовых объектов. В каждом цикле изменялась мощность дозы излучения P – 3 сГр/мин; 2 сГр/мин; 1 сГр/мин; 0,5 сГр/мин. Тестовые объекты от цикла к циклу отличались взаимным расположением фрагментов из различных материалов по высоте. Нижние блоки детекторов работали при более низких уровнях мощности дозы излучения, чем центральные блоки.

Из анализа полученных и обработанных изображений, можно сделать ряд выводов:

1. С уменьшением мощности дозы возрастают уровни шумов полутонных изображений и цветовые шумы;
2. С уменьшением мощности дозы нарушается цвет значительной части фрагментов;
3. Искажения более выражены для нижней части изображений;
4. Граничные эффекты, обусловленные усреднением и кластеризацией, в большей степени проявляются для фрагментов, расположенных в верхней части тестовых объектов;
5. Размер фрагмента, материал которого распознается с заданной вероятностью, зависит от положения фрагмента по вертикали и от его размера в направлении распространения рентгеновских квантов;
6. Фрагмент из меди в значительной части случаев относится к классу тяжелых металлов.

По результатам исследования можно сделать вывод о возможности использования информации об эффективном атомном номере для коррекции распознавания материалов фрагментов из меди. Это связано с тем, что оценки эффективного атомного номера для медных фрагментов ближе к оценкам эффективного атомного номера для фрагментов из стали, чем к оценкам эффективного атомного номера для фрагментов из свинца. Увеличение размеров фрагментов из муки в направлении сканирования, существенно уменьшающее граничный эффект, приводит к правильному распознаванию материала указанных фрагментов. С учетом того, что мощность дозы рентгеновского излучения на периферии в 2–3 раза меньше, чем по центру пучка, можно сделать заключение о правильности распознавания материалов фрагментов объектов контроля при уменьшении мощности дозы до уровня 0,25–0,3 сГр/мин. Разумеется, сказанное выше справедливо при должном поперечном размере фрагментов объектов контроля и толщине фрагментов объекта около 40 г/см^2 .

Заключение

В данной работе показаны основные проблемы распознавания материалов ОДК методом дуальных энергий, связанные с уменьшением

мощности поглощенной дозы излучения. Доказано, что для рассматриваемой задачи существенно изменяется диапазон изменения радиометрических сигналов, в результате чего уменьшается толщина фрагментов, материалы которых распознаются с заданной вероятностью. Указанный фактор наиболее значим для периферийных блоков радиометрических детекторов, то есть расположенных на значительном удалении от оси пучка рентгеновского излучения. Введен инвариант способа распознавания материалов, позволяющий связать качество распознавания с производительностью контроля и площадью фрагмента объекта контроля, материал которого распознается с заданной вероятностью. Показано, что в рамках поставленной задачи единственным подходом, позволяющим сохранить качество распознавания на заданном уровне, является увеличение минимальной площади фрагмента. Экспериментально доказана возможность удовлетворительного распознавания материалов объектов досмотрового контроля при уровнях мощности дозы рентгеновского излучения около 0,25 сГр/мин. Доказано существенное влияние граничных эффектов на качество распознавания материалов.

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

Список информационных источников

1. Kolkoori S, Wrobel N, Deresch A, Redmer B, Ewert U. Dual high-energy X-ray digital radiography for material discrimination in cargo containers // 11th European Conference on Non-Destructive Testing (ECNDT 2014), October 6–10, 2014, Prague, Czech Republic.

2. Klimenov V.A., Osipov S.P., Temnik A.K. Identification of the substance of a test object using the dual-energy method // Russian journal of nonde-structive testing. – 2013, Vol. 49, No. 11, pp. 642–649.

3. Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П. Исследование возможности применения малогабаритных бетатронов для идентификации веществ объектов контроля методом дуальных энергий // Контроль. Диагностика. – 2008, № 8, С. 46–52.

4. Nedavnii I. O., Osipov S. P. Use of the two-energy X-ray method for detection and classification of inclusions in an inspected object with fluctuating parameters // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2005, Vol. 41, No. 4, pp. 260–265.