

УДК 338.242.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ, НЕЙТРОННОЙ И МЮОННОЙ ТОМОГРАФИИ ТОВАРОВ И ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТАМОЖЕННОГО КОНТРОЛЯ

Пантелеева В.В., Афонин Д.Н.

Санкт-Петербургский филиал Российской таможенной академии

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF X-RAY, NEUTRON AND MUON TOMOGRAPHY OF GOODS AND VEHICLES FOR THE PURPOSES OF CUSTOMS CONTROL

Panteleeva V.V., Afonin D.N.

St. Petersburg Branch of the Russian Customs Academy

Аннотация

В статье рассматриваются возможности применения рентгеновской, нейтронной и мюонной томографии для целей таможенного контроля, а также достижения последних исследований в этой области.

Ключевые слова: рентгеновская томография, нейтронная томография, мюонная томография, неинтрузивный досмотр, таможенный контроль.

Abstract

This article discusses the possibilities of applying X-ray, neutron and muon tomography for customs control purposes, as well as the achievements of recent research in this area.

Keywords: X-ray tomography, neutron tomography, muon tomography, non-intrusive inspection, customs control.

На сегодняшний день в мире 70% сканирующих устройств основаны на использовании рентгеновского излучения [1]. Основной целью проведения рентгеновского контроля является интроскопия объекта, т. е. исследование его внутренней структуры без осуществления ручного досмотра. Рентгеновская техника успела зарекомендовать себя в качестве незаменимого средства осуществления оперативного неразрушающего таможенного контроля товаров, транспортных средств, контейнеров, ручной клади и багажа, международных почтовых отправлений и т. д. Но, существует ряд задач таможенного контроля, которые невозможно решить путем использования рентгеновских установок и комплексов.

1. Трудности идентификации материалов с очень похожим составом и плотностью [2]. Также, изображения могут быть сильно загромождены, часто объекты перекрывают друг друга, что затрудняет поиск незаконно перемещаемых грузов [3].

2. Несмотря на достаточно высокую энергию рентгеновского излучения, по-

прежнему невозможно проникнуть через очень большие плотные грузы и экранирующие материалы, включая медь, сталь или свинец [4].

3. Необходимость обеспечения радиационной защиты не только для водителей, работников или операторов, но и для самих грузов. Более того, определенные товары не допустимо сканировать с использованием рентгеновских лучей. Например, живые животные, живая рыба, оплодотворенная икра различных видов рыб и др. [5].

4. Высокая стоимость обслуживания, эксплуатации установок и необходимость обустройства инфраструктуры.

5. Влияние «человеческого фактора» при анализе теневых рентгеновских изображений.

Решить поставленные задачи позволит комбинирование методов рентгеновского, нейтронного и мюонного сканирования.

Принцип нейтронного анализа основан на использовании нейтронного генератора, позволяющего производить нейтроны с энергией 14 МэВ [6], при этом производится

регистрация вторичного излучения гамма-квантов от ядер облучаемого вещества. Методы сканирования на основании использования быстрых нейтронов привлекательны для применения, так как обладают достаточной проникающей способностью, их можно использовать для определения элементарного состава вещества [7].

С точки зрения эффективности, наиболее полную информацию о контролируемом объекте можно получить путем использования методов нейтронного и рентгеновского анализа в сочетании. Комбинированная нейтронно-фотонная компьютерная томография позволяет получить сведения о составе материала, о форме объекта, а также трехмерное изображение содержимого контейнера [8]. Соотношение между источниками нейтронов с энергией 2,5 МэВ и 14 МэВ и источниками фотонов с энергией 3 МэВ и 6 МэВ позволяет оценить состав вещества, в то время как компьютерная томография дает возможность представить форму объекта [8]. Однако подобные системы являются дорогостоящими, требуют достаточной радиационной защиты и обустройства инфраструктуры.

Мюонная томография – это новая методика визуализации содержимого контейнеров, которая может использоваться для получения изображения больших громоздких объектов, в том числе с сильным экранированием, где другие методы сканирования, такие как рентгеновское КТ-сканирование, часто не работают [9]. Это связано с тем, что космические лучи обладают высокой проникающей способностью. На сегодняшний день не существует искусственных источников мюонного излучения, поэтому мюонная томография основывается на использовании космических лучей. Частицы мюона возникают в результате взаимодействия космических лучей с атомами верхней атмосферы, и они непрерывно достигают Земли со скоростью, близкой к свету, и потоком около 10000 на м² в минуту [10]. Важным преимуществом данной технологии является отсутствие дополнительной лучевой нагрузки [11]. Мюонны уже применяются для исследований архитектурных сооружений, в геологии, при добыче полезных ископаемых, для обнаружения ядерных отходов и др. В таможенных целях космические мюоны можно использовать следующим образом:

1. Для обнаружения экранированных ядерных материалов. Данная технология основана на том, что, проникая в объекты,

мюоны взаимодействуют с атомами разных материалов, в основном электромагнитно [12]. Они более сильно отклоняются или рассеиваются материалами с высоким атомным номером, включая ядерные материалы, такие как уран и плутоний, и материалы, защищающие от гамма-излучения, такие как свинец, вольфрам или золото [12]. За счет использования чувствительности к объектам с различными атомными номерами можно получить контрастное изображение содержания контейнера и сделать выводы о наличии или отсутствии ядерных материалов. В рамках исследований, проведенных в университете Южной Каролины были получены трехмерные изображения легкового автомобиля путем использования мюонного рассеяния космических лучей [12].

2. Для идентификации наркотических и взрывчатых веществ. Мюонные томографы можно использовать, чтобы идентифицировать объекты со средними и низкими атомными номерами, но получение достоверной информации зависит от времени измерения. При сокращении времени исследования контролируемого объекта точность результатов снижается (погрешность 12,9 % при измерении в течение минуты, погрешность около 1 % – время исследования от 10 до 30 минут) [4].

Технология мюонного сканирования находится в разработке в первую очередь из-за плохой статистики мюонов за короткий промежуток времени. В 2014 году Lingacom и Rapiscan предложили использовать мюоны на стадии вторичного осмотра. Подход объединяет две технологии: рентгеновскую систему, которая выполняет сканирование груза с высокой пропускной способностью на предмет общей контрабанды (получение информации о форме и плотности объектов), и более специфичную систему обнаружения мюонов, которая служит для обнаружения материалов с высоким атомным номером [13].

На сегодняшний день в Российской Федерации (далее – РФ) для целей неинтрузивного таможенного контроля применяется техника на основе рентгеновского излучения. Разработку новых промышленных технологических решений контроля элементного состава веществ на основе нейтронных методов анализа осуществляет группа компаний РАТЭК. Данные установки создаются по заказам ФСБ РФ и в таможенных органах не применяются. Но, в СанПин 2.6.1.3488-17 «Гигиенические требования

по обеспечению радиационной безопасности при обращении с лучевыми досмотровыми установками» от 04.09.2017 впервые в РФ появились требования к нейтронным лучевым установкам, что свидетельствует о реальных перспективах их более широкого использования, в том числе и в таможенных органах России.

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы. Технология сканирования с использованием рентгеновских лучей несовершенна, основной недостаток заключается в том, что рентгеновские системы строят изображение на основании удельного веса материала, что допускает возможность ложных тревог, перекрытия и маскировки опасных объектов. Нейтронные установки являются более чувствительны к веществам с низким

и средним атомными номерами. Комбинирование данных методов сканирования даст возможность получить более полную информацию о перемещаемом объекте. Мюонная томография представляется достаточно перспективным методом контроля крупногабаритных грузов, и отсутствие дополнительных лучевых нагрузок на персонал является одним из главных преимуществ такой технологии. Но отсутствие искусственного источника излучения мюонов является следствием увеличения времени исследования, что на данный момент не позволяет внедрить мюонные томографы в качестве самостоятельного средства таможенного контроля в практическую деятельность таможенных органов.

Список литературы

1. Andreeva N.S., Budnik S.V., Bryazgin A. A. and others. Radiation technologies: view from Russia // Radiation technologies, RVC, Moscow, 2015. pp. 26-27.
2. Min H. Challenges and opportunities for implementing X-ray scanning technology at the Korean hub ports // Int. J. Logistics Systems and Management. 2016. Vol. 25, № 4. pp. 513-531.
3. Jaccarda N., Rogers T.W., Morton E.J. Tackling the X-ray cargo inspection challenge using machine learning // Anomaly Detection and Imaging with X-Rays (ADIX). 2016. Vol. 9847, № 98470. pp. 1-13.
4. Yifan Z. Research on material discrimination method by cosmic ray muon tomography // Master thesis, dual diploma program advanced level, School of Science Tsinghua University, Stockholm – Beijing. 2018. pp. 25.
5. Приказ Федеральной таможенной службы России от 09.12.2010 № 2354 (ред. от 05.09.2014) «Об утверждении Инструкции о действиях должностных лиц таможенных органов при таможенном контроле товаров и транспортных средств с использованием инспекционно-досмотровых комплексов» // СПС «Консультант Плюс».
6. Guidelines for the procurement and deployment of scanning/NII equipment // World customs organization.
7. Eberhardt J., Liu Y. Fast Neutron and Gamma-Ray Interrogation of Air Cargo Containers // Proceeding of science. 2006. pp. 1-11.
8. Hartmann J., Yazdanpanah A., Barzilov A. and others. 3D imaging using combined neutron-photon fan-beam tomography: A Monte Carlo study // Applied Radiation and Isotopes, Elsevier, ScienceDirect. 2016. pp. 110-116.
9. Yang G., Ireland D., Kaiser R. and others. Machine Learning for Muon Imaging // Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences. 2018. № 377. pp. 808-817.
10. Morishima K., Nishio A., Kuno M. and others. Discovery of a big void in Khufu's Pyramid by observation of cosmic-ray muons // Nature. 2017. № 552. pp. 386-390.
11. Афонин Д.Н. Перспективы применения мюонной томографии при таможенном контроле // Бюллетень инновационных технологий. 2018. Т. 2, № 2(6). С. 18-20.
12. Borozdin K., Asaki T., Chartrand R. and others. Cosmic-ray muon tomography and its application to the detection of high-z materials // Los Alamos National Laboratory, University of South Carolina. 2014. pp. 1-8.
13. Bendahan J. Vehicle and Cargo Scanning for Contraband // Physics Procedia 2017. № 90. pp. 242-255.

Поступила в редакцию 08.02.2019

Сведения об авторах:

Пантелеева Валерия Викторовна – студент факультета таможенного дела Санкт-Петербургского филиала Российской таможенной академии, e-mail: tstk@spbta.ru

Афонин Дмитрий Николаевич – доктор медицинских наук, профессор кафедры технических средств таможенного контроля и криминалистики Санкт-Петербургского филиала Российской таможенной академии, e-mail: tstk@spbta.ru

Электронный научно-практический журнал "Бюллетень инновационных технологий" (ISSN 2520-2839) является сетевым средством массовой информации регистрационный номер Эл № ФС77-73203 по вопросам публикации в Журнале обращайтесь по адресу bitjournal@yandex.ru