

УДК 621.386.8:339.56.018.2

**ИНСПЕКЦИОННО-ДОСМОТРОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ  
ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ – ИСТОРИЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
В ТАМОЖЕННОМ ДЕЛЕ****Афонин Д.Н.***Санкт-Петербургский имени В.Б. Бобкова филиал  
Российской таможенной академии***BACKSCATTER INSPECTION COMPLEXES –  
THE HISTORY OF THEIR USE IN CUSTOMS****Afonin D.N.***St. Petersburg named after V.B. Bobkov Branch of the Russian Customs Academy***Аннотация**

В статье представлен исторический обзор развития инспекционно-досмотровых комплексов обратного рассеяния (бекскаттерных ИДК) – передовой технологии, используемой в таможенном деле для обеспечения безопасности и борьбы с контрабандой. Рассматриваются основные принципы работы ИДК, основанные на эффекте комптоновского рассеяния, и их эволюция от экспериментальных разработок до современных высокотехнологичных решений. Анализируется история применения ИДК, начиная с 1970-х годов, с акцентом на ключевых этапах, инновациях и влиянии технологических достижений на эффективность таможенного контроля. Обсуждаются преимущества и ограничения технологии, современные тенденции развития, включая интеграцию с искусственным интеллектом и использование низкодозовых технологий, а также перспективы дальнейшего совершенствования.

**Ключевые слова:** инспекционно-досмотровые комплексы, ИДК, обратное рассеяние, бекскаттерные ИДК, рентгеновское излучение, таможенный контроль, безопасность, контрабанда, комптоновское рассеяние, неразрушающий контроль.

**Abstract**

The article presents a historical overview of the development of backscatter X-ray inspection systems (backscatter X-ray inspection systems - backscatter X-ray systems), a cutting-edge technology used in customs to ensure security and combat smuggling. The basic principles of operation of X-ray systems, based on the Compton scattering effect, and their evolution from experimental developments to modern high-tech solutions are considered. The history of the application of X-ray systems, starting from the 1970s, is analyzed, with an emphasis on key stages, innovations, and the impact of technological advances on the efficiency of customs control. The advantages and limitations of the technology, current development trends, including integration with artificial intelligence and the use of low-dose technologies, as well as the prospects for further improvement are discussed.

**Keywords:** inspection and screening complexes, X-ray inspection system, backscatter, backscatter X-ray systems, X-ray radiation, customs control, security, smuggling, Compton scattering, non-destructive testing.

**Ссылка для цитирования:** Афонин Д.Н. Инспекционно-досмотровые комплексы обратного рассеяния – история применения в таможенном деле // Бюллетень инновационных технологий. – 2025. – Т. 9. – № 3 (35). – С. 5-8. – EDN NULYPG.

Инспекционно-досмотровые комплексы (далее – ИДК) обратного рассеяния (бекскаттерные ИДК) представляют собой передовую технологию, использующую эффект комптоновского рассеяния для формирования изображений, позволяющих выявлять скрытые объекты внутри транспортных средств и грузовых контейнеров [1]. Бекскаттерные ИДК нашли широкое применение в задачах обеспечения безопасности, таможенного контроля и борьбы с контрабандой благодаря их способности эффективно обнаруживать органические материалы, такие как взрывчатые вещества и

наркотики, даже в условиях сложной геометрии объектов. История развития и применения ИДК обратного рассеяния для таможенного контроля транспортных средств и контейнеров охватывает несколько десятилетий, в течение которых технология претерпела значительные изменения, от первых экспериментальных разработок до современных высокотехнологичных решений.

Истоки технологии рентгеновского обратного рассеяния уходят корнями в середину XX века, когда физики начали активно изучать взаимодействия рентгеновских лу-

чей с веществом. Комптоновское рассеяние, открытое Артуром Комптоном в 1923 году, стало теоретической основой для будущих разработок. Эффект Комптона, при котором рентгеновский фотон теряет часть энергии при столкновении с электроном и рассеивается под различными углами, включая обратное направление, оказался особенно полезным для неразрушающего контроля. Однако практическое применение комптоновского рассеяния в системах интроскопии началось значительно позже, в 1970-х годах, когда прогресс в области рентгеновских источников и детекторов сделал возможным создание первых прототипов [2].

Первоначально рентгеновские технологии для таможенного контроля грузов фокусировались на ИДК, где детекторы регистрировали излучение, прошедшее через объект. Такие ИДК были эффективны для обнаружения металлических предметов, но плохо справлялись с идентификацией органических материалов, которые имеют низкую плотность и слабое поглощение рентгеновских лучей [3]. В 1980-х годах исследователи обратили внимание на обратное рассеяние как способ повысить чувствительность к материалам с низким атомным номером, как пластиковая взрывчатка и наркотики. Именно тогда начались первые эксперименты по применению ИДК обратного рассеяния для досмотра грузов.

В конце 1980-х и начале 1990-х годов несколько компаний, преимущественно в США и Европе, начали разработку ИДК обратного рассеяния для крупногабаритных объектов. Одной из пионеров в данной области стала американская компания American Science and Engineering (AS&E), которая в 1991 году представила первую коммерческую систему Z Backscatter, который использовал метод «летающего пятна» (flying spot), когда узкий пучок рентгеновских лучей сканировал объект, а детекторы регистрировали рассеянное излучение. Z Backscatter изначально разрабатывалась для досмотра грузовых контейнеров на таможенных пунктах и быстро доказала свою эффективность в обнаружении контрабанды, включая наркотики и сигареты, спрятанные в стенках контейнеров [4].

Применение технологии для транспортных средств стало следующим логическим шагом. В 1990-х годах угроза терроризма, связанная с использованием автомобилей для перевозки взрывчатых веществ, стала

актуальной проблемой, что стимулировало разработку мобильных ИДК. AS&E и другие компании, такие как Rapiscan Systems, начали адаптировать свои технологии для сканирования грузовиков и легковых автомобилей. Ранние ИДК были громоздкими и требовали стационарной установки, что ограничивало их использование в полевых условиях. Тем не менее, они обеспечивали беспрецедентную способность выявлять органические материалы, что делало их ценным инструментом для таможенных служб и правоохранительных органов [5].

Начало XXI века ознаменовалось бурным развитием ИДК обратного рассеяния, что было обусловлено несколькими факторами. Во-первых, теракты 11 сентября 2001 года резко повысили спрос на технологии обеспечения безопасности, включая досмотр транспортных средств и грузов. Во-вторых, прогресс в области микроэлектроники и вычислительных систем позволил создавать более компактные и эффективные устройства. В-третьих, международные стандарты по борьбе с контрабандой и незаконной торговлей подтолкнули правительства к инвестициям в передовые технологии досмотра [6].

В начале XXI века ИДК обратного рассеяния стали более универсальными. Компания AS&E представила мобильный ИДК обратного рассеяния Z Backscatter Van (ZBV), которая размещалась в фургоне и могла использоваться для быстрого досмотра транспортных средств на контрольно-пропускных пунктах, в портах и на границах. ZBV использовала рентгеновскую трубку с энергией около 120 кэВ и сцинтилляционные детекторы для регистрации рассеянного излучения. ИДК обратного рассеяния позволял оператору получать изображение в реальном времени, где органические материалы, такие как взрывчатые вещества, выделялись яркими областями на фоне металлических конструкций. ZBV стала революционным решением, поскольку обеспечивала высокую мобильность и простоту использования, что было особенно важно для досмотра в условиях ограниченного времени.

Параллельно развивались стационарные ИДК для досмотра контейнеров. В портах и крупных логистических центрах начали устанавливать портальные комплексы, способные сканировать целые контейнеры за несколько минут. Стационарные ИДК комбинировали обратное рассеяние с

пропускающей рентгенографией, что позволяло получать более полную информацию о содержимом груза. Например, пропускающая рентгенография выявляла металлические объекты, а обратное рассеяние подчеркивало органические материалы. Такие гибридные ИДК стали стандартом для таможенных служб в США, Европе и Азии.

С 2010-х годов ИДК обратного рассеяния для таможенного контроля транспортных средств и контейнеров продолжили совершенствоваться. Одним из ключевых направлений стало повышение разрешения изображений и скорости сканирования. Современные ИДК используют более мощные рентгеновские трубки и высокочувствительные детекторы, что позволяет получать детализированные изображения даже при наличии плотных грузов. Кроме того, внедрение алгоритмов обработки изображений на основе искусственного интеллекта значительно повысило точность обнаружения. Нейронные сети, обученные на больших наборах данных, способны автоматически идентифицировать подозрительные объекты, такие как взрывчатые вещества или спрятанные полости, что снижает зависимость от квалификации оператора [7].

Еще одним важным направлением стало снижение радиационной нагрузки. В ответ на общественные опасения по поводу безопасности ИДК разработчики начали использовать низкодозовые технологии, которые минимизируют воздействие излучения на людей и грузы. Например, современные ИДК автоматически регулируют интенсивность излучения в зависимости от типа сканируемого объекта, что делает их пригодными для использования вблизи жилых зон.

Интеграция с другими технологиями также сыграла важную роль в развитии ИДК обратного рассеяния. Современные комплексы часто комбинируются с системами анализа следов взрывчатых веществ, терагерцовой спектроскопией и нейтронным сканированием. Такая мультимодальная подход позволяет повысить надежность обнаружения и снизить количество ложных срабатываний. Например, в портах США и Сингапура применяются ИДК, которые одновременно используют обратное рассеяние для выявления органических материалов и нейтронный анализ для обнаружения ядерных материалов.

Несмотря на значительный прогресс, ИДК обратного рассеяния имеют определенные ограничения, которые сопровож-

дали их развитие на протяжении всей истории. Одной из главных проблем является сложность сканирования объектов с высокой плотностью, таких как металлические контейнеры, заполненные тяжелыми грузами. В таких случаях рентгеновское излучение сильно поглощается, что снижает интенсивность обратного рассеяния и ухудшает качество изображения. Для решения указанной проблемы разработчики начали использовать более высокие энергии излучения, что увеличивает стоимость ИДК и радиационные риски [8].

Другой проблемой является высокая стоимость производства и эксплуатации. Сложные компоненты, такие как рентгеновские трубки и сцинтилляционные детекторы, требуют значительных затрат, что делает ИДК недоступными для некоторых стран и организаций. Кроме того, обслуживание и калибровка оборудования требуют квалифицированного персонала, что создает дополнительные расходы.

Общественное восприятие рентгеновских технологий также оказало влияние на их внедрение. В некоторых странах использование ИДК для досмотра транспортных средств вызывало опасения по поводу радиационной безопасности водителей и операторов, что привело к ужесточению нормативных требований и необходимости разработки низкодозовых ИДК, что замедлило внедрение технологии в ряде регионов.

История применения ИДК обратного рассеяния демонстрирует их трансформацию из экспериментальных разработок в ключевой инструмент обеспечения безопасности. В будущем ожидается дальнейшее развитие технологии в нескольких направлениях: во-первых, совершенствование источников рентгеновского излучения, таких как компактные синхротроны или лазерные системы, может повысить качество изображений и снизить энергопотребление; во-вторых, интеграция с технологиями искусственного интеллекта и большими данными позволит создавать полностью автоматизированные системы досмотра, способные работать без участия человека; в-третьих, развитие портативных и модульных ИДК откроет новые возможности для использования в полевых условиях, например, при контроле временных контрольно-пропускных пунктов.

Глобальные вызовы, такие как рост трансграничной преступности и террористических угроз, продолжают стимулировать

спрос на ИДК обратного рассеяния. Ожидается, что в ближайшие годы технология станет более доступной благодаря снижению стоимости компонентов и упрощению производства [9, 10]. Кроме того, международное сотрудничество в области стандартизации и сертификации ИДК обратного рассеяния будет способствовать их более широкому распространению.

ИДК обратного рассеяния прошли долгий путь от первых экспериментальных установок до современных высокотехнологичных комплексов, используемых для таможенного контроля транспортных средств и контейнеров. Их развитие было обусловлено как технологическими прорывами, так

и изменяющимися потребностями в области безопасности. Несмотря на ограничения, связанные с высокой стоимостью и сложностью сканирования плотных объектов, ИДК обратного рассеяния доказали свою незаменимость в борьбе с контрабандой, терроризмом и другими угрозами. Будущее технологии связано с дальнейшей миниатюризацией, автоматизацией и интеграцией с другими методами досмотра, что обеспечит еще большую эффективность и доступность. История ИДК обратного рассеяния служит примером того, как научные открытия могут трансформироваться в практические решения, обеспечивающие безопасность в глобальном масштабе.

### Список литературы

1. An G., Park J., Seo H. Design optimization of backscatter X-ray security scanner based on pencil-beam scanning // J. Instrum. 2023. – Vol. 18. – P. C01004.

2. Dwivedi S.K., Vishwakarma M., Soni A. Advances and researches on non-destructive testing: a review // Mater. Today Proc. 2018. – Vol. 5. P. – 3690–3698.

3. Афонин Д.Н., Афонин П.Н., Гамидуллаев С.Н. и др. Мобильный инспекционно-досмотровый комплекс СТ-263ОМ: Учебное пособие. Санкт-Петербург: РИО Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, 2018. – 100 с.

4. Hen G., Bjorkholm P., Fox T.R. et al. X-Ray Cargo Inspection: Status and Trends // Applications of Accelerators in Research and Industry: Twentieth International Conference, 2009. – Vol. 1099. – P. 570–573.

5. Kolkoori S., Wrobel N., Osterloh K. et al. Novel X-ray backscatter technique for detection of dangerous materials: Application to aviation and port security // Journal of Instrumentation. – 2013. – Vol. 8. – P. 1–18.

6. Harding G. X-ray scatter tomography for explosives detection // Radiat. Phys. Chem. – 2004. – Vol. 71. – P. 869–881.

7. Афонин Д.Н. К вопросу о повышении эффективности работы операторов анализа изображений досмотровых рентгеновских аппаратов // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7, № 3(27). – С. 5-8.

8. Афонин Д.Н. Обеспечение радиационной безопасности при применении источников ионизирующих излучений (генерирующих): Учебник. [б. м.]: Общество с ограниченной ответственностью «Издательские решения», 2023. – 140 с.

9. Афонин Д.Н. Таможенные органы на пути международного терроризма. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Русайнс", 2025. – 212 с.

10. Афонин Д.Н. Контрабанда оружия: современное состояние проблемы // Бюллетень инновационных технологий. – 2023. – Т. 7, № 2(26). – С. 8–11.

Поступила в редакцию 02.07.2025

### Сведения об авторе:

Афонин Дмитрий Николаевич – профессор кафедры таможенного дела Санкт-Петербургского имени В.Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии, доктор медицинских наук, доцент, e-mail: dnafonin@gmail.com



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](mailto:bitjournal@yandex.ru)