

УДК 681.777:620.179.152.1

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТБОРА
И ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
МНОГОКАНАЛЬНОГО КОЛЛИМАТОРА
ДЛЯ КОМПТОНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ**

Д.С. Белкин, Б.И. Капранов

Томский политехнический университет

E-mail: belkin@tpu.ru

Белкин Денис Сергеевич,
директор Регионального центра аттестации, контроля и диагностики Института неразрушающего контроля ТПУ.
E-mail: belkin@tpu.ru

Область научных интересов: неразрушающий контроль, радиационный метод неразрушающего контроля, разрушающие испытания, аттестация персонала и лабораторий неразрушающего контроля, аттестация персонала в области разрушающих испытаний, экспертиза промышленной безопасности.

Капранов Борис Иванович,
д-р техн. наук, профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества Института неразрушающего контроля ТПУ.

E-mail: belkin@tpu.ru

Область научных интересов: неразрушающий контроль, радиационный метод неразрушающего контроля, разрушающие испытания, аттестация персонала и лабораторий неразрушающего контроля, аттестация персонала в области разрушающих испытаний, экспертиза промышленной безопасности.

В работе приведены результаты исследования по современному направлению радиационного метода неразрушающего контроля – томография на обратно рассеянном излучении. Проведен патентный анализ и изучена ситуация, посвященная данной тематике и системам отбора. В процессе работы проводился обзор применения систем коллимации для комптоновской томографии, изучение научных статей, посвященных тематике обратного рассеяния и визуализации. Авторами разработана конструкция и технология сборки устройства многоканального коллиматора, построена апертурная функция системы отбора. Результаты работ по исследованию системы пространственного отбора рассеянного излучения на базе многоканального коллиматора послужат основой для разработки и исследования систем коллимации и пространственного отбора рассеянного излучения и комптоновской томографии.

Ключевые слова:

Комптон-эффект, излучение, система, отбор, визуализация, апертура, томограф, изображение, слой.

Вычислительная томография – получение послойного изображения внутренней структуры объекта контроля при помощи математических методов и алгоритмов реконструкции его внутренней структуры по проекционным данным, полученным путем многократного просвечивания этого объекта в различных пересекающихся направлениях. При ограниченном доступе к объекту, связанному с его габаритами, невозможностью отключения или удаления узла из производственного цикла, появляется необходимость контроля в условиях одностороннего доступа к поверхности объекта.

В таких случаях целесообразно воспользоваться методом томографии, основанным на обратном комптоновском рассеянии. К числу объектов контроля, исследование которых возможно лишь с применением томографии на рассеянном излучении, можно отнести следующие: контроль многослойных корпусов торпедных катеров, поиск за корпусом или под палубой несущих балок, ребер жесткости, исследование динамики внешнего воздействия на защитные оболочки в авиации, судостроении, корпуса изделий в ракетно-космической технике и др. [1].

Комптоновское рассеяние – один из основных физических процессов взаимодействия рентгеновского и гамма-излучения с материалами, имеющими малый атомный номер. В области энергий от 0,01 до 1,0 МэВ оно является основным процессом взаимодействия излучения с веществом, приводящим к формированию рассеянных квантов [2].

В отличие от трансмиссионной томографии, характеризуемой относительной универсальностью аппаратного и программного обеспечения, конструктивные и алгоритмические особенности томографов на обратном рассеянии определяются конкретным обликом объекта и

задачей реконструкции. Преимущество использования рассеянных квантов состоит в информации, которую несет каждая рассеянная частица о положении точки взаимодействия на первичном луче, т. е. точную позиционную информацию. Если первичный пучок локализован в плоскости, перпендикулярной ему, то локализация вторичного (однократно рассеянного) излучения однозначно определяет третью координату. Коллимация первичных и рассеянных потоков позволяет получить трехмерное распределение электронной плотности среды без использования сложных математических преобразований. Линейная зависимость сигнала от электронной плотности и связь с объемной плотностью материала являются дополнительным преимуществом томографии на обратном рассеянии.

В общем случае томографы на обратном рассеянии включают в себя источник и систему детектирования рассеянного излучения, как показано на рис. 1.

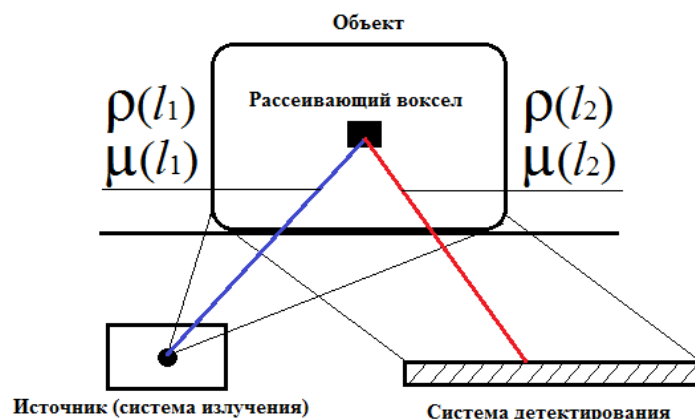


Рис. 1. Общий случай детектирования рассеянного излучения

Количество зарегистрированных фотонов, рассеянных от определенного вокселя, пропорционально его плотности ρ линейного коэффициента рассеяния μ_s и зависит от распределения плотности по исходному пути $\rho(l_1)$ и пути, по которому проходит до детектора рассеянное излучение $\rho(l_2)$. Проблема реконструкции заключается в селектировании фотонов, рассеянных от конкретного вокселя, и в компенсации влияния распределения плотности по путям распространения излучения на его ослабление [3]. Селекция осуществляется либо путем использования специальных систем коллимации источника и сцинтиллятора, либо с помощью координатно-чувствительных детекторов. Компенсация ослабления – только программным путем.

В качестве коллиматоров используются щелевые, цилиндрические, сотовые коллиматоры, пинхолы. Коллиматор обеспечивает однозначный перенос точки на объекте контроля в точку в пространстве наблюдений. В простейшем случае он выполняется в виде свинцовой пластины с отверстием, соответствующим размеру входного окна детектора. На рис. 2 показана схема просвечивания с использованием щелевого коллиматора источника излучения и пинхола входного окна детектора [4].

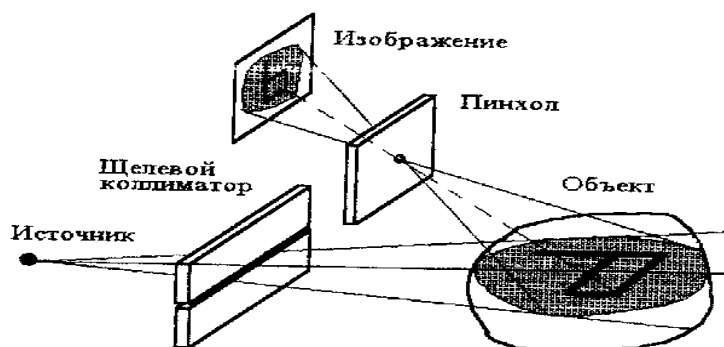


Рис. 2. Схема просвечивания с использованием систем коллимации

В настоящее время изучению и освоению новых коллимационных систем уделяется большое внимание научного сообщества, о чем свидетельствуют данные, представленные в [5]. На рис. 3 и 4 представлены некоторые конструкции и их способов сборки.

Устройство коллиматора, показанное на рис. 3, представляет собой совокупность поглощающих и пропускающих стержней. Кванты проходят только вдоль стержней, а поперек полностью поглощаются. Длинные стержни склеиваются между собой, нарезаются на части и собирается готовое устройство. Данная технология легла в основу проектировки многоканального коллиматора.

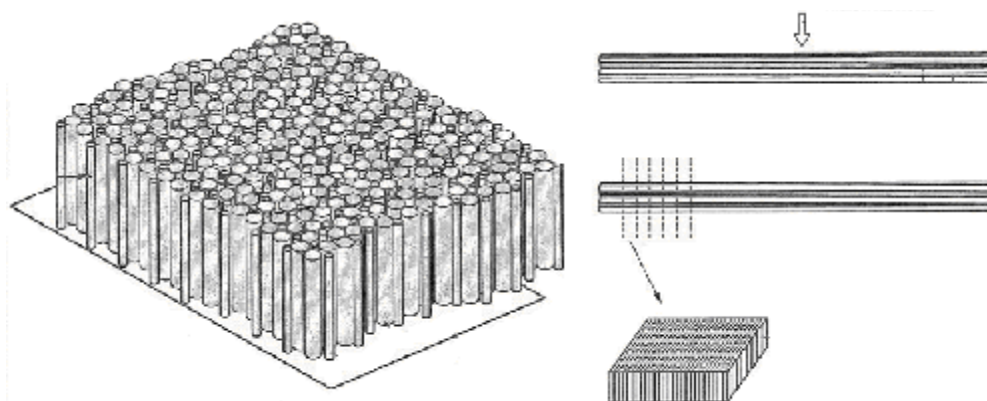


Рис. 3. Технология сборки многоканального коллиматора

Еще один способ сборки многоканального коллиматора щелевого типа показан на рис. 4, когда параллельно установленные пластины с заранее выставленным воздушным зазором фиксируют с помощью эпоксидной смолы.

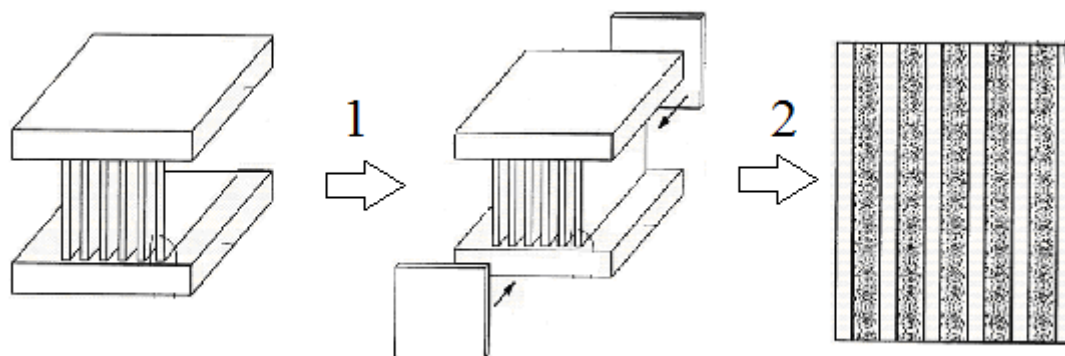


Рис. 4. Технология сборки многоканального (щелевого) коллиматора

На рис. 5 представлены элемент ячейки коллиматора (набор из чередующихся поглощающих и пропускающих ионизирующее излучение (ИИ) пластин (каналов) диаметром 0,1 мм) и геометрия прохождения излучения через пластины [4].

Разрешающая способность томографов с различными коллимационными системами (цилиндрические, конусные, сотовые коллиматоры, круговые, щелевые и пинхолы) определяется апертурной функцией, которая является откликом системы на тонкую относительно разрешения пластину, перемещаемую в зоне «видимости» детектора.

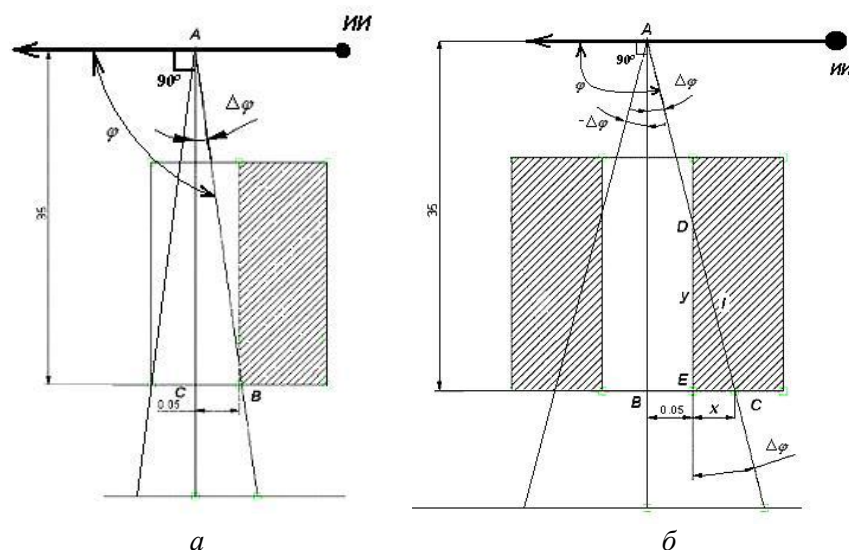


Рис. 5. Геометрия системы прохождения излучения через коллиматор: *а* – прохождение ИИ в проводнике без потерь; *б* – прохождение ИИ через материал поглотителя

Апертурная функция численно равна нормированному количеству фотонов, зарегистрированных детектором томографа, при нахождении тонкой рассеивающей пластины в координате x . Теоретически апертурная функция определена на всем диапазоне изменения x . Однако диапазон ее значимых значений, который и определяет разрешающую способность, можно принять конечным $(0, x_r)$. Величина x_r и определяет апертурное разрешение томографа.

На основании рассмотренной геометрии и проведенных расчетов была построена апертурная функция (рис. 6).

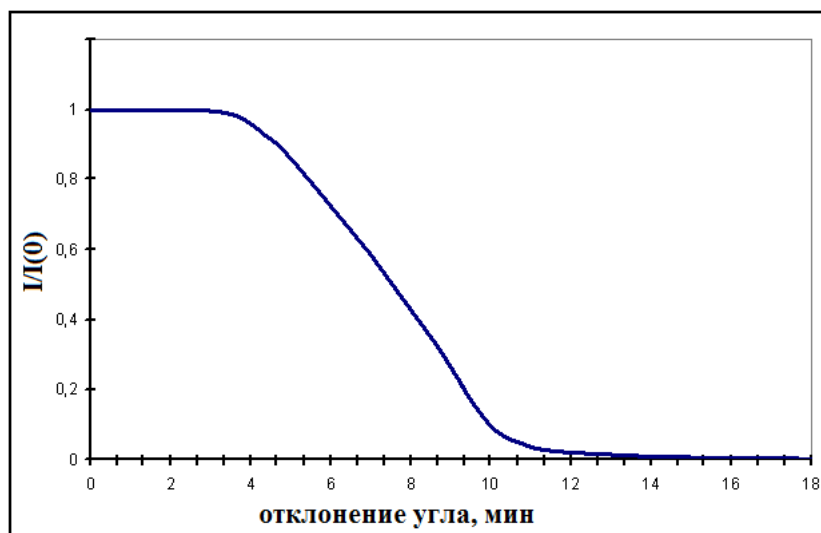


Рис. 6. Апертурная функция

Результатом проделанной работы стала разработка технологии сборки устройства многоканального коллиматора для пространственного отбора рассеянного излучения. Коллиматор представляет собой набор из поглощающих и пропускающих материалов. В качестве пропускающих материалов используется леска диаметром 0,5 мм, а в качестве материала поглотителя – медная проволока с диаметром 0,5 мм. Наглядно устройство и его составные части показаны на рис. 7 [5].

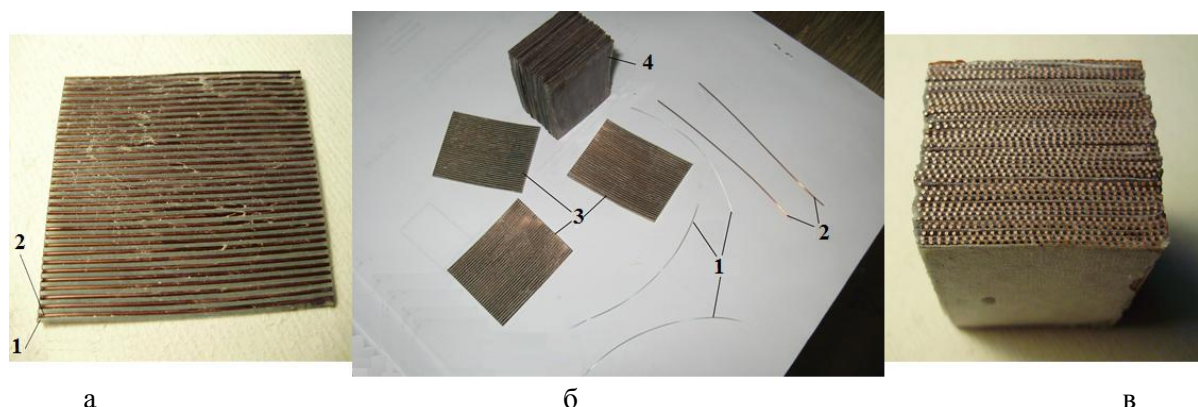


Рис. 7. Устройство многоканального коллиматора и его составные части: *а* – один слой коллиматора с каналами проводник/поглотитель (1 – проводящий канал, 2 – поглощающий канал); *б* – послойный сбор коллиматора (1 – материал для проводящих каналов, 2 – материал для канала-поглотителя, 3 – пластины коллиматора, 4 – многоканальный коллиматор); *в* – готовое устройство коллиматора

Разработанная технология позволила изготовить образец многоканального коллиматора с целью исследования возможностей его применения в системах комптоновской томографии. Исследование апертурной функции системы пространственного отбора рассеянного излучения на базе многоканального коллиматора и разработка такой системы позволит проводить реконструкцию внутренней структуры объекта контроля с минимальными искажениями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томография на рассеянном излучении: метод. пособие / В.А. Горшков, М. Кренинг, Ю.В. Аносов, О. Доржгочоо; под ред. В.А. Горшкова. – М.: Технополиграфцентр, 2002. – 146 с.
2. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Ключев и др.; под ред. В.В. Ключева. – М.: Машиностроение, 1995. – 488 с.
3. Томография на комптоновском обратном рассеянии. Состояние и перспективы (обзор) / Б.И. Капранов, В.Я. Маклашевский, В.Н. Филинов и др. // Дефектоскопия. – 1994. – № 10. – С. 36–53.
4. Капранов Б.И. Разработка метода и средств реконструктивной комптоновской томографии: дисс. ... д-ра техн. наук. – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 271 с.
5. Федеральный институт промышленной собственности. – URL: <http://www.fips.ru> (дата обращения: 22.09.2014).

Поступила 06.10.2014.