

мерять температурную зависимость примесной фотопроводимости. Библиотека ассемблерных управляющих подпрограмм позволяет разработать необходимую программу для управления экспериментом и тестирования измерительного комплекса.

Список литературы

1. Зыков В.М., Лукин А.Л., Киселев А.Н. «Разработка метода и аппаратуры контроля примесных полупроводников на основе эффекта индуцированной примесной фотопроводимости», Промежуточный научный отчет № Гос. регистрации 01860073988, 1987 г. – 68 с.
2. Зыков В.М., Киселев А.Н., Лукин А.Л., Ничинский Н.А.-Гелиевый криостат для радиационных исследований фотопроводящих материалов // ПТЭ. –1987. – № 1. – С. 250.
3. Зыков В.М., Киселев А.Н., Лукин А.Л. и др. Кремниевые p+ -p -p+-структуры как детекторы ионизирующих излучений в условиях глубокого охлаждения // Сб. «Радиационная стойкость бортовой аппаратуры и элементов космических аппаратов: материалы конференции». – Томск, 1991. – с.179–180.
4. Беспалов В.И. Расчеты методом Монте-Карло характеристик электронов и квантов в однородных и неоднородных поглотителях Деп. ВИНТИ № 3707-80, 1980. – 63 с.
5. Зыков В.М., Киселев О.С., Лукин А.Л., Самочернов В.М., Волков В.Ф., Дидоренко В.С. Автоматизированный комплекс аппаратуры для низкотемпературных имитационных испытаний фотоприемников на основе примесного кремния на ионизирующее воздействие // «Радиационная стойкость бортовой аппаратуры и элементов космических аппаратов»: сб. материалы конференции. – Томск, 1991. – С. 170–171.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТБОРА ДЛЯ КОМПТОНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ НА БАЗЕ ПИНХОЛА

М.А. Мудров, Б.И. Капранов
ФМПК ЭФФ ТПУ, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: mudrov_mihail@mail.ru

Рассмотрены вопросы пространственного отбора обратно рассеянного излучения. Рассчитана необходимая толщина стенок для ослабления излучения в 10^3 раз. Были рассчитаны апертурные функции для пинхола для двух видов пинхола (обычного и с треугольными губками). Была построена зависимость телесного угла влёта рассеянных фотонов от координаты X точечного рассеивателя.

Рентгеновская томография в последнее десятилетие стала одним из наиболее эффективных методов диагностики как в технических приложениях, так и в медицине. Существуют два типа рентгеновских томографов:

- трансмиссионный, который восстанавливает (реконструирует) объект на основе регистрации прошедшего через него излучения;
- на рассеянном излучении, в котором восстановление осуществляется на основе анализа рассеянного от объекта излучения.

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 многих изделий в ракетно-космической технике и др.

Возможность использования обратно-рассеянного рентгеновского и гамма – излучения основана на том, что интенсивность зарегистрированного детектором сигнала определяется функцией распределения в пространстве объекта источников излучения и 3^x координатной функцией пространственной чувствительности детектора. В данной работе проанализированы возможности использования обратно рассеянного излучения для контроля объектов и системы, работающие по этому принципу.

На рис. 1 представлены распределение числа рассеянных гамма – квантов по глубине обшивки самолёта. Под графиком представлен этот же участок обшивки, рассмотренный в сканирующем электронном микроскопе.

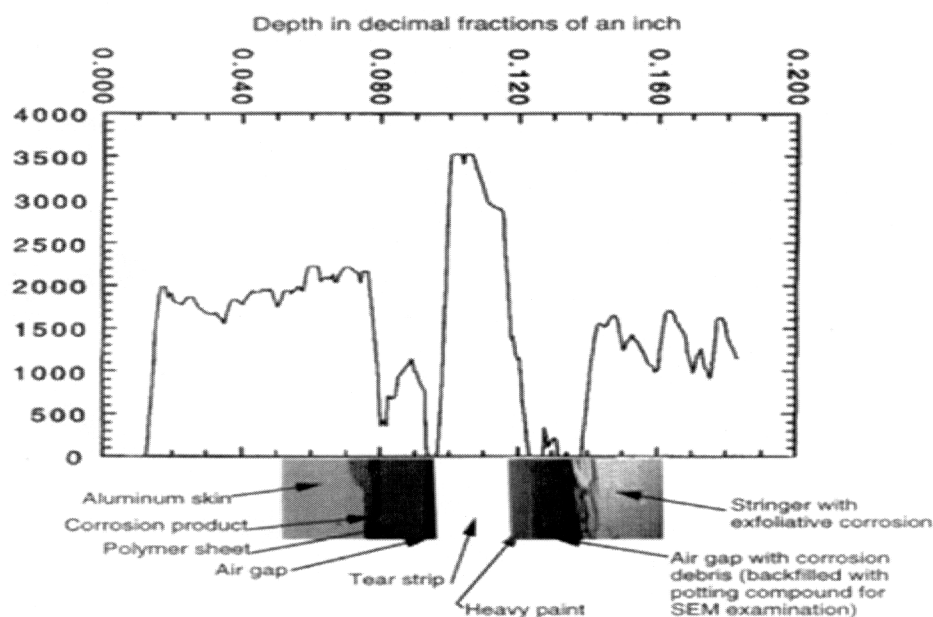


Рис. 1. Данные контроля обшивки самолёта

В Бразилии комptonовская томография широко используется для определения плотности и влажности почвы. Рис. 2 представляет собой продольные сечения образцов почвы. Число зарегистрированных обратно рассеянных квантов представлено определённым цветом.

Использование рассеянного излучения для визуализации основано на том, что интенсивность потока квантов однократно рассеянного излучения, пришедшего в детектор из элемента объёма dV , линейно зависит от объёмной плотности ρ . Однако на эту зависимость накладываются экспоненты ослабления первичного и рассеянного излучений, а также добавляется многократно рассеянное излучение.

Одним из простых методов визуализации является трехкоординатное сканирование системой источник-детектор, представленное на рис. 3. На объект контроля падает узкоколлимированный пучок гамма-квантов от источника излучения, а детектор регистрирует рассеянное излучение. Перемещение системы источник-детектор по трем координатам осуществляется механически. Выполнив трехкоординатное сканирование системой источник-детектор, можно было бы получить объёмное распределение плотности в объекте. Однако такая процедура продолжительна по времени.

Производительность реконструкции повышается при использовании двухкоординатного позиционно-чувствительного детектора с пинхольной апертурой, как показано на рис. 5. Пинхол представляет обычно собой отверстия небольшого диаметра (до 8 мм) в пластине. на плоскости детектирования пинхол переносит перевернутое изображение.

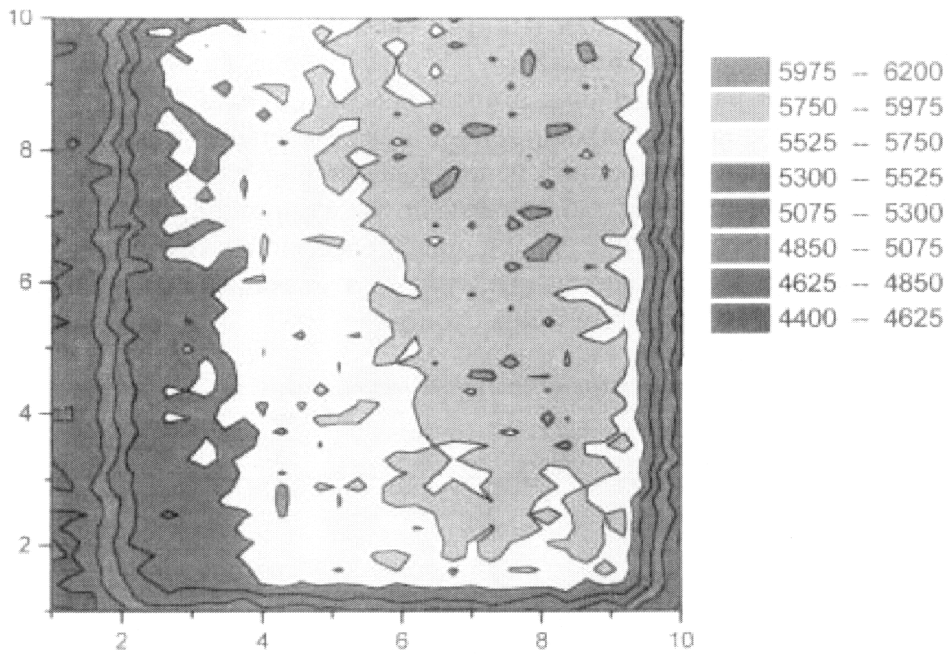


Рис. 2. Распределение плотности в почве

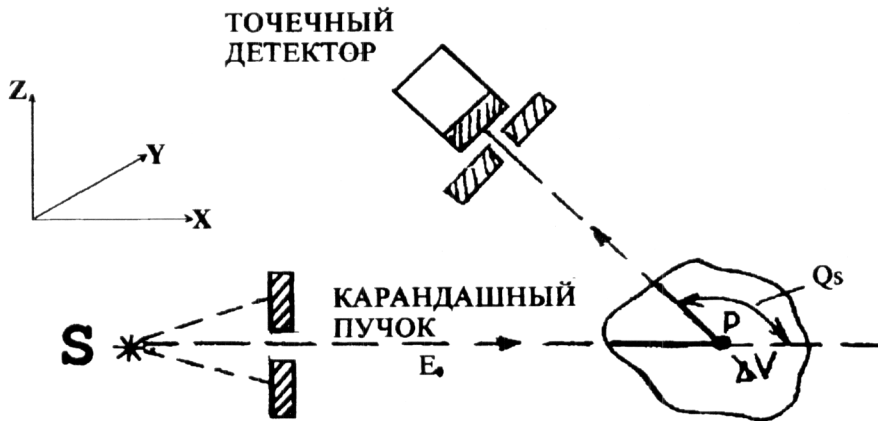


Рис. 3. Поточечное сканирование

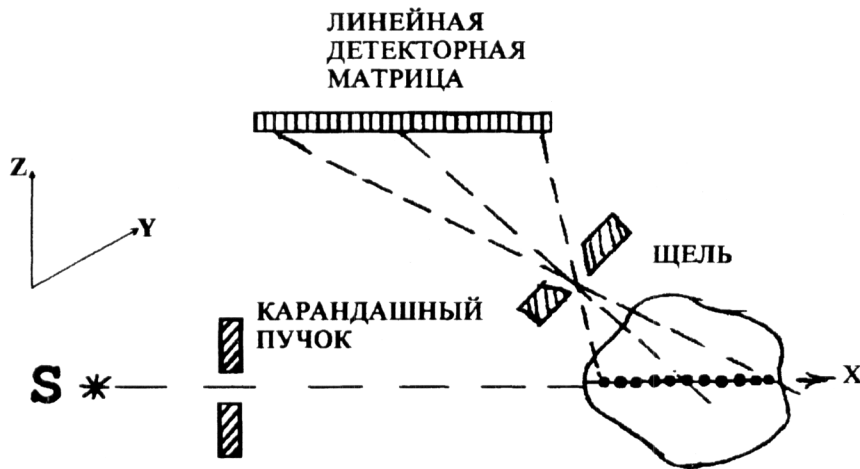


Рис. 4. Схема с линейным детектором

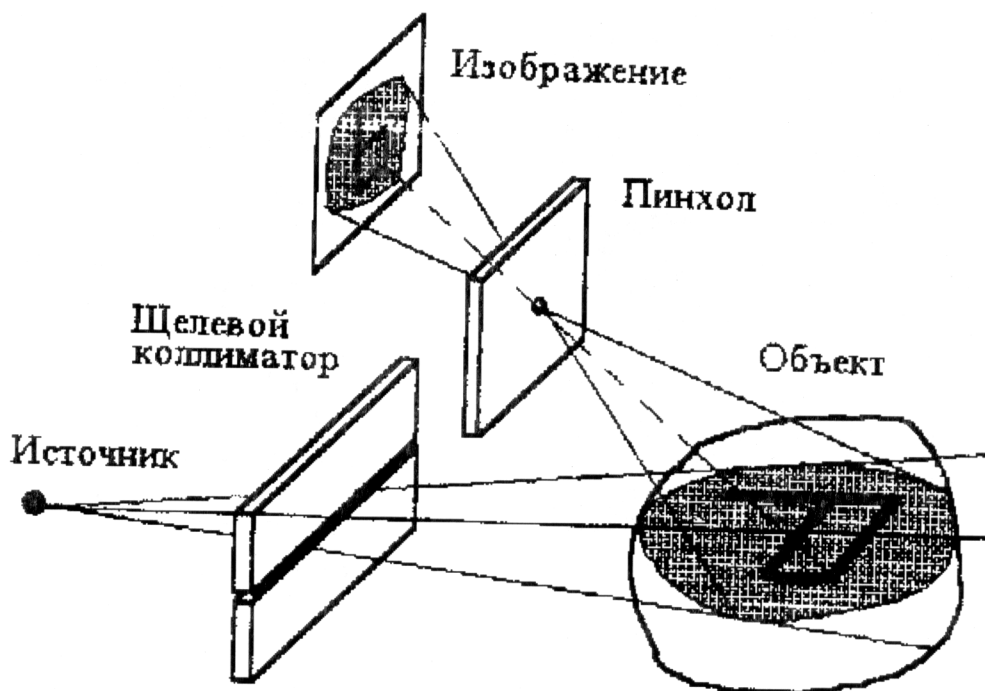


Рис. 5. Схема на основе плоской детекторной матрицы и пинхольной апертуры

Ниже приведены характеристики пинхольных систем коллимации

1. Фактор увеличения M :

$$M = -b/a,$$

где b – расстояние между пинхолом и детектором, мм;

a – расстояние пинхол – точечный рассеиватель, мм

Фактор увеличения имеет знак минус, так как изображение перевернутое.

2. Пространственное разрешение системы R_{sys} (под системой будем понимать пинхол плюс детектор):

$$R_{sys} = (R_{ph}^2 + (R_i/M)^2)^{1/2}$$

где R_{ph} – пространственное разрешение пинхола, мм;

R_i – собственное разрешение сцинтилляционного кристалла, мм;

3. Пространственное разрешение пинхола R_{ph} :

$$R_{ph} = d(b+a)/b, \quad (12)$$

где d – диаметр пинхола, мм.

4. Чувствительность G :

$$G = 1/16 \cdot (d/b)^2 \cdot (a+b).$$

5. Эффективный диаметр d_e :

$$d_e = \sqrt{d(d + 2\mu^{-1} \tan(\alpha/2))},$$

где μ – линейный коэффициент поглощения стенками пинхола, см^{-1} ;

α – конический угол коллиматора, град.

Практически изготавливаемые конструкции коллиматоров на базе пинхола имеют разную конструкцию. Чаще всего конус, как конструктивный элемент (рис. 6). На рис. 7 показана конструкция, где для повышения статистики регистрации используется многопинхольная система – 4 отверстия.

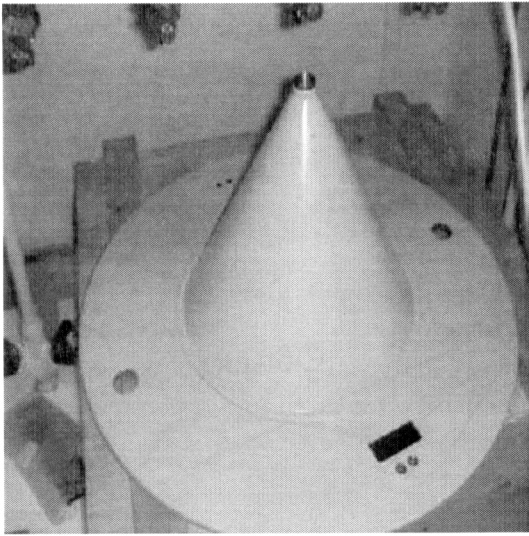


Рис. 6. Пинхол

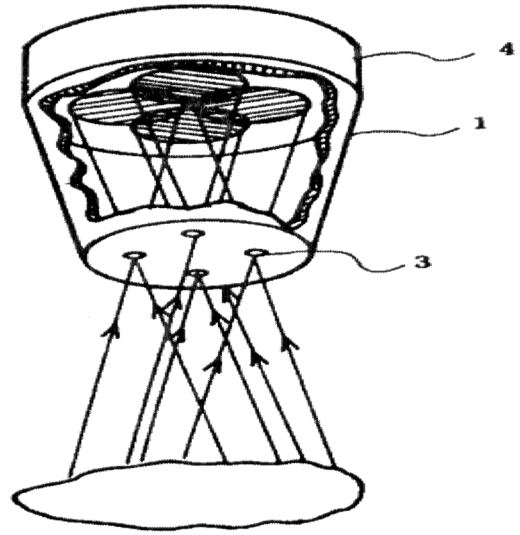


Рис. 7. Система с четырьмя пинхолами

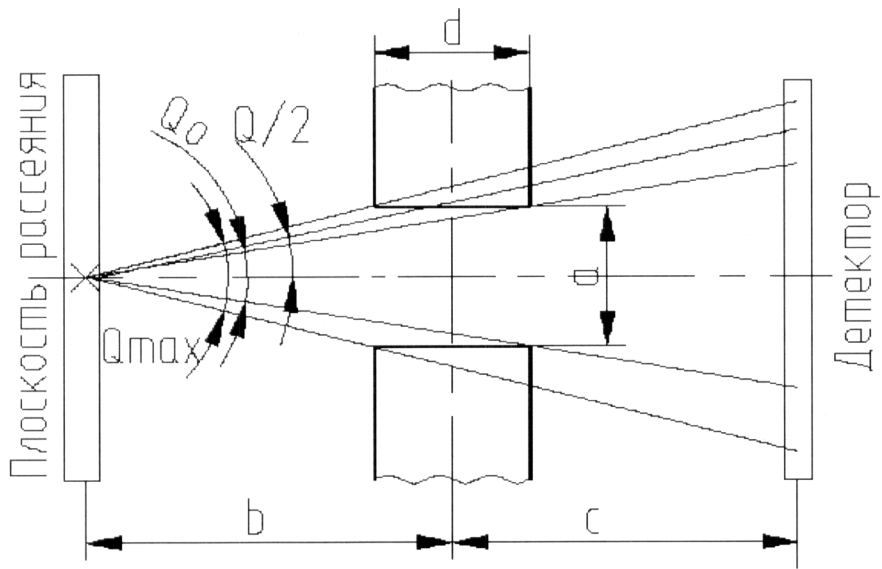


Рис. 8. Геометрия ослабления в стенках пинхола ($c=b=50\text{ mm}$, $a=d=1\text{ mm}$)

Расчёт прохождения рассеянного излучения через пинхол была построена апертурная функция, приведенная на рис. 9.

В статье приведены результаты расчётов характеристик апертурной функции пинхольного коллиматора (рис. 9) при геометрических размерах, приведенных на рис. 8.

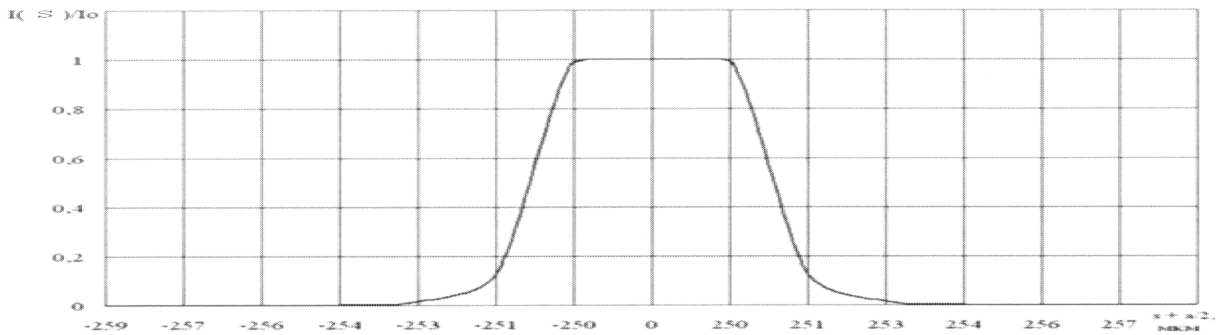


Рис. 9. Апертурная функция пинхольной системы отбора

В известных работах по коллимированию с помощью пинхола, как правило, не учитывается фактор неоднородности систем регистрации, связанные с формой «губок» пинхола. Детальное описание апертурной функции рассеивающего объёма (АФРО) пинхола должно учитывать как геометрические искажения, так и учёт поглощения в «губках».

В данной работе впервые проведён комплексный анализ влияния геометрических факторов и свойства материала коллиматора на математическую форму АФРО. Геометрия и результаты расчёта изменения телесного угла регистрации предоставлены на рис. 10 и 11.

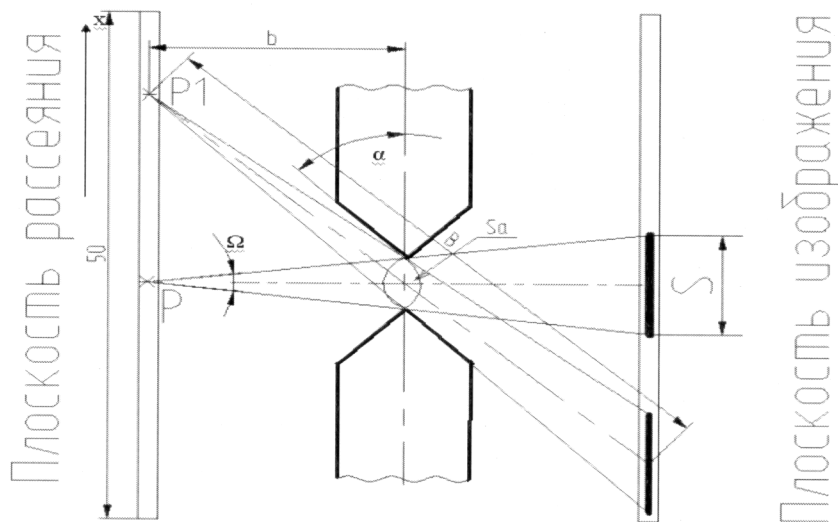


Рис. 10. Геометрия изменения телесного угла Ω в зависимости от координаты x

На рис. 11 приведён график зависимости уменьшения телесного угла от координаты x точечного рассеивателя.

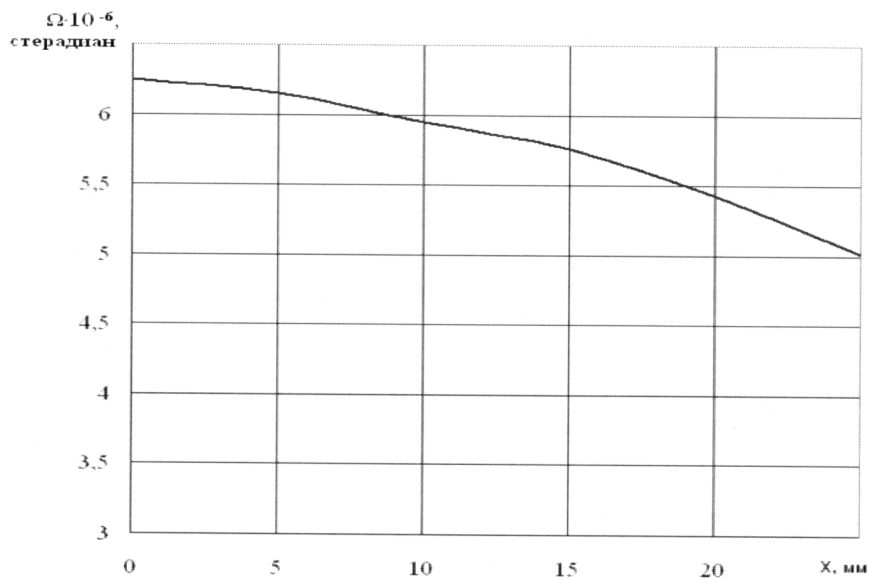


Рис. 11. График $\Omega(x)$

На рис. 12 представлена оптимизированная геометрия губок пинхольного коллиматора, имеющих треугольную форму, учитывающая как геометрические факторы, так и величину ослабления потока квантов в стенках пинхола. Полученная в результате теоретических расчётов апертурная функция пинхольного коллиматора с треугольными губками приведена на рис. 13.

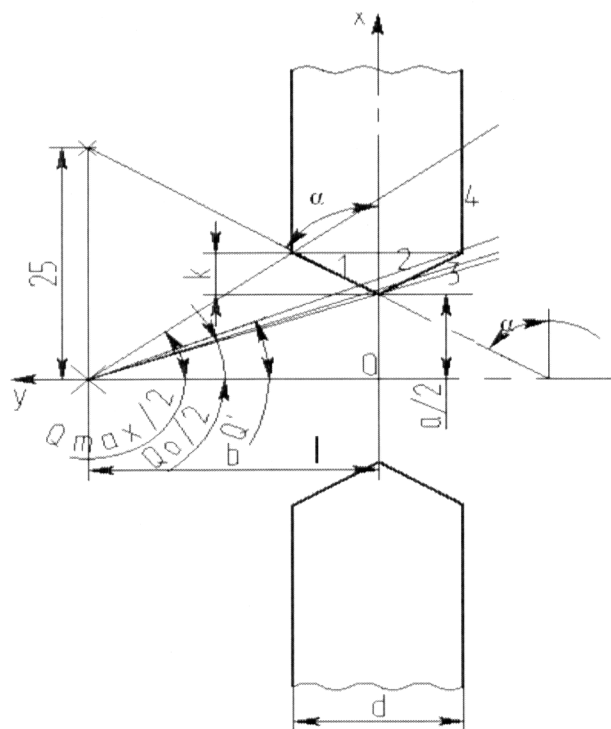


Рис. 12. Геометрия прохождения

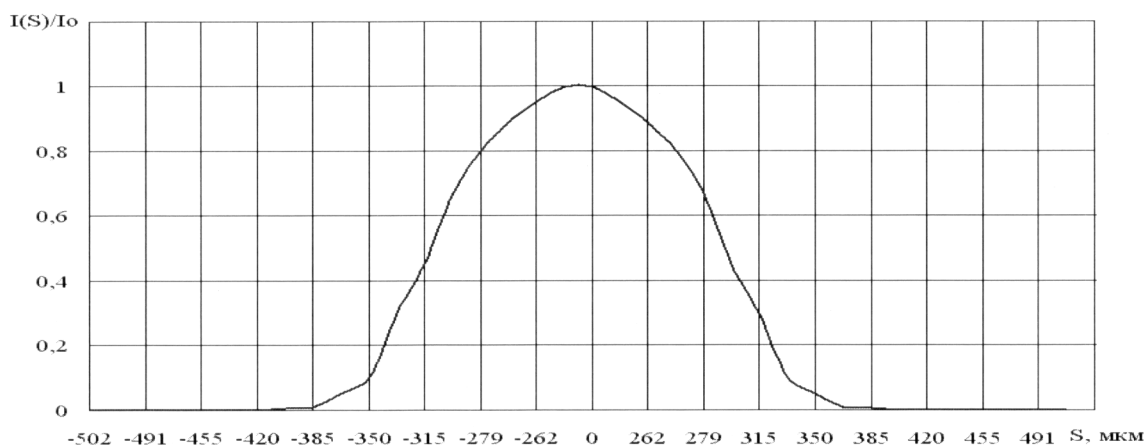


Рис. 13. Апертурная функция рассеяного излучения через пинхол с треугольными губками

Эта апертурная функция является базой для разработки алгоритма реконструкции в комптоновской томографии. Приведённые в данной статье результаты позволяют впервые заложить в алгоритм реконструкции представления АФРО в виде непрерывной функции.

Список литературы

1. Хермен Г. Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии / пер. с англ; под ред. Л.М. Сороко. – М.: Мир, 1983. – 352 с.
2. В.А. Горшков, М. Кренинг, Ю.В. Аносов, О. Доржгочоо. Томография на рассеянном излучении: методическое пособие / под. ред. В.А. Горшкова. – М.: – Технополиграфцентр, 2002. – 146 с.
3. Капранов Б.И., Маклашевский В.Я., Филинов В.Н. и др. Томография на комптоновском обратном рассеянии. Состояние и перспективы (обзор) // Дефектоскопия. – 1994. – № 10 – С. 36–53.