

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046658**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.04.05

(51) Int. Cl. **G01N 23/203** (2006.01)
G01V 5/02 (2006.01)

(21) Номер заявки
202300030

(22) Дата подачи заявки
2023.05.10

(54) **ДОСМОТРОВАЯ УСТАНОВКА И СПОСОБ РАСПОЗНАВАНИЯ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ДОСМАТРИВАЕМОГО ОБЪЕКТА**

(31) **2022120955**

(56) WO-A2-2012109273
US-A1-20140044233
US-A1-20120033791
US-A1-20110096901
RU-C2-2529648
RU-C2-2476863

(32) **2022.08.01**

(33) **RU**

(43) **2024.02.29**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"ИНДИКОМ" (RU)**

(72) Изобретатель:
**Гребенщиков Владимир Витальевич,
Врубель Иван Игоревич, Спири
Денис Олегович (RU)**

(74) Представитель:
Матвеев А.А. (RU)

(57) Предложена установка для получения рентгенографического изображения в обратнорассеянном излучении и определении вещественного состава инспектируемого объекта. Установка содержит источник рентгеновского излучения с механической системой сканирования, детектирующую систему, процессорное устройство и устройство отображения рентгенографического изображения. Детектирующая система установки образована массивом сцинтилляционных спектрометров на базе NaI(Tl) и обладает большой суммарной площадью чувствительной поверхности. Минимизация количества элементов массива достигается сочленением сцинтилляционных кристаллов и фотоприемников через световод. Вещественный состав распознается по результатам сравнения измеренных энергетических распределений с эталонами и отображается на рентгенографическом изображении цветом пикселя. Технический результат, достигаемый заявленным изобретением, состоит в повышении информативности рентгенографического изображения и в существенном расширении его функциональных возможностей, позволяющих наряду с получением рентгенографического изображения инспектируемого объекта, идентифицировать и отображать его вещественный состав в виде конкретного изображения.

B1

046658

046658

B1

Заявленное изобретение относится к рентгеновским досмотровым системам, предназначенным для обнаружения предметов, скрытых за оптически непрозрачной преградой.

Среди рентгеновских досмотровых систем имеются устройства, в которых излучатель рентгеновского излучения и детектирующая система расположены с одной стороны относительно инспектируемого объекта. В таких досмотровых системах, поверхность инспектируемого объекта сканируется узким пучком рентгеновского излучения, а интенсивность рассеянного (отраженного) объектом излучения регистрируется детектирующей системой синхронно с перемещением зондирующего пучка и используется для создания рентгенографического изображения. Устройства подобного типа конструктивно могут быть выполнены как в мобильном, так и в стационарном вариантах и носят общее название "backscatter" [1], [2].

Известно [3], [4], что информацию о вещественном составе каждой области инспектируемого объекта, помимо интенсивности, несёт в себе и энергетический спектр рассеянного излучения.

Досмотровая установка, способная измерять не только интенсивность, но и спектр рассеянного излучения, даёт, по сути, релевантную информацию для идентификации вещественного состава каждой области инспектируемого объекта.

Здесь и далее под термином "область инспектируемого объекта" понимается фрагмент объекта, освещаемый зондирующим пучком излучения в течение времени экспозиции одного элемента изображения (пикселя). Распознавание вещества объекта подразумевает идентификацию вещества в каждом пикселе.

Известно устройство [3], принцип действия которого основан на анализе энергетического спектра обратнорассеянного излучения, для определения взаимного расположения материалов с высоким и низким атомным номером относительно зондирующего пучка.

Устройство сканирует инспектируемый объект узким пучком рентгеновского излучения, а излучение, рассеянное этим объектом, регистрируется двумя датчиками, которые различаются чувствительностью к высокоэнергетической и низкоэнергетической частям спектра. Принцип определения взаимного расположения материалов основан на том, что комбинация сигналов этих двух датчиков, позволяет грубо оценить энергетические характеристики рассеянного излучения и, как конечный результат, сформулировать вывод о взаимном расположении материалов с высоким и низким эффективным атомным номером вдоль одной линии зрения. Этот вывод основывается на том, что спектр обратнорассеянного излучения будет различаться в зависимости от того, находится ли предмет с низким атомным номером (low Z) за слоем вещества с большим атомным номером (high Z) или, наоборот - перед ним.

Известное устройство мало информативно, поскольку не идентифицирует вещественный состав объекта, а позволяют судить лишь о взаимном расположении сильно различающихся по атомному номеру предметов.

Известно устройство [4], предназначенное, среди множества заявленных в нем функций, в том числе, для определения атомного номера вещества инспектируемого объекта, которое является по техническому решению и принципу его действия, наиболее близким к заявленному изобретению и принято в качестве прототипа.

Устройство представляет собой рентгеновский мобильный инспекционно-досмотровый комплекс, содержащий, как минимум, один датчик для определения расстояния от детекторов до поверхности объекта и множество неорганических сцинтилляционных детекторов, таких как NaI(Tl) или органических сцинтилляционных детекторов, таких как поливинилтолуол, где каждый детектор сочленен с одним или несколькими светочувствительными считывающими устройствами, такими как фотоэлектронный умножитель или фотодиод. В этом же устройстве, как вариант, предложено использовать множество детекторов на основе особо чистого германия HPGe или на основе широкозонных диэлектриков, таких как CdTe, CdZnTe, HgI и подобных им.

Сигналы с множества детекторов поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и, далее, на процессор для обработки полученного рентгенографического изображения с использованием определенного расстояния от поверхности объекта для получения атомного номера материала, содержащегося в объекте.

Принципиальным недостатком известного устройства является то, что время, необходимое для идентификации вещественного состава инспектируемого объекта будет неприемлемо большим для получения от досмотровых установок ожидаемого результата.

Причина заключается в том, что сигналы с множества детекторов поступают на единственный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Такое техническое решение принципиально ограничивает быстродействие множества детекторов быстродействием лишь одного из них. Из перечисленных в устройстве детекторов, высоким быстродействием обладает только поливинилтолуол, однако энергетическое разрешение такого детектора исключительно низкое, что делает его непригодными для выполнения спектральных измерений. Спектрометрические свойства остальных типов детекторов, описанных в прототипе, достаточны для выполнения спектральных измерений, однако быстродействия любого из них недостаточно для применения в досмотровой установке.

Детектирующая система известного устройства содержит множество неорганических сцинтилляци-

онных детекторов, таких как NaI(Tl) или органических сцинтилляционных детекторов, таких как поливинилтолуол, где каждый детектор сочленен с одним или несколькими светочувствительными считывающими устройствами, такими как фотоэлектронный умножитель или фотодиод. Сигналы с множества детекторов поступают на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и, далее, на процессор для обработки полученного рентгенографического изображения с использованием определенного расстояния от поверхности объекта для получения атомного номера материала, содержащегося в объекте. В прототипе, как вариант, предложено использовать множество детекторов на основе особо чистого германия HPGe или на основе широкозонных диэлектриков, таких как CdTe, CdZnTe, HgI и подобных им, а распознавание атомного номера материала предлагается выполнять для каждого пикселя изображения на основе вычисления средней величины и среднеквадратичного отклонения из измеренного энергетического спектра обратно рассеянного излучения, при этом результаты вычислений сравнивать с заранее определенной шкалой, где их низкое значение соответствует материалу с низким Z , а их высокое значение соответствует материалу с высоким Z .

Основные недостатки прототипа, не позволяющие идентифицировать с достаточно высокой точностью вещественный состав досматриваемых объектов, обусловлены тем, что:

1. Используемый в нем поливинилтолуол, как и любые другие органические сцинтилляционные материалы, обладает малым сечением фотоэффекта, поэтому имеет крайне низкое энергетическое разрешение и по этой причине принципиально не годится в качестве детектора сцинтилляционного спектрометра в энергетическом диапазоне (20-160) кэВ.

2. Упомянутые в патенте детекторы на базе широкозонных диэлектриков CdTe, CdZnTe, HgI и подобных им, известны десятки лет, но находят применение преимущественно в лабораторной практике. Причина в том, что параметры таких детекторов недостаточно стабильны, а площадь их чувствительной поверхности не превосходит 1 см^2 . Эти ограничения связаны с причинами фундаментального характера и хорошо известны специалистам. Кроме того, для построения детектирующей системы с большой площадью чувствительной поверхности понадобились бы десятки тысяч таких детекторов.

3. Применяемый детектор на основе особо чистого германия HPGe работоспособен только при температуре жидкого азота. Максимальная площадь чувствительной поверхности таких детекторов, предназначенных для работы в энергетическом диапазоне ниже 200 кэВ, не превосходит 10 см^2 при эффективности регистрации ниже 10% и стоимости в десятки тысяч долларов США. Основное преимущество этого детектора перед детекторами других типов - очень высокое энергетическое разрешение, которое составляет доли процента. Использовать тысячи таких детекторов для спектрометрии сплошного рентгеновского спектра нецелесообразно.

4. Используемый принцип передачи сигналов с множества детекторов NaI(Tl) на один аналого-цифровой преобразователь (ADC), непригоден для спектрометров, работающих с суммарной скоростью счета выше 10^6 имп/с. При высокой скорости счета отдельные сигналы будут "накладываться" друг на друга, что сделает невозможным определение амплитуды каждого сигнала и лишает смысла использования множества детекторов для спектрометрии рассеянного излучения.

Заявляемая досмотровая установка основана на фундаментальных знаниях о том, что энергетическая зависимость поглощения и рассеяния рентгеновского излучения уникальна для каждого вещества и проявляется как в интенсивности, так и в энергетическом спектре излучения, рассеянного досматриваемым объектом. Отличие досмотровой установки от уже известных, состоит в том, что ее детектирующая система, помимо построения рентгенографического изображения, позволяет распознавать вещественный состав инспектируемого объекта.

Для решения большинства задач, возникающих в процессе досмотра, достаточно, чтобы граничная энергия зондирующего пучка рентгеновского излучения источника составляла бы (200-250) кэВ. В этом случае максимальная энергия квантов обратно рассеянного излучения не будет превосходить (150-160) кэВ. Кванты с энергией ниже (20-30) кэВ сильно поглощаются в воздухе и конструкционных материалах детектирующей системы и несут мало информации о досматриваемом объекте. Таким образом, детектирующая система досмотровой установки должна обеспечивать регистрацию обратно рассеянного рентгеновского излучения в энергетическом диапазоне (20-160) кэВ.

Информативность рентгенографического изображения растет с увеличением количества квантов рассеянного излучения, зарегистрированных детектирующей системой. Однако количество этих квантов, пропорциональное интенсивности зондирующего пучка рентгеновского излучения, ограничено максимально допустимой дозой облучения объекта. На практике это означает, что при характерном расстоянии между досмотровой установкой и объектом в (1-1,5) м и типовой скорости перемещения досмотровой установки относительно объекта (5-10) км/ч, максимальная плотность потока рассеянного излучения на поверхности детектирующей системы составит, ориентировочно, $10^7 \text{ 1/м}^2\text{с}$.

Основной поток обратно рассеянного излучения, вызванного зондирующим пучком и направленного в сторону излучателя и детектирующей системы, заключен в пределах телесного угла (1-1,5) стерadian. Оптимальная площадь чувствительной поверхности детектирующей системы, обеспечивающая регистрацию излучения, рассеянного в этот телесный угол, может быть оценена в (1-2) м^2 .

Для получения рентгенографического изображения наилучшего качества, детектирующая система,

входящая в состав досмотровой установки, помимо достаточной площади, должна обеспечивать высокую эффективность регистрации квантов рентгеновского излучения диапазоне (20-160) кэВ.

Кроме того, для возможности распознавания вещественного состава объекта, такая система должна являться спектрометром энергии с энергетическим разрешением не хуже 20% по линии 122 кэВ радиоизотопного источника Co^{57} .

Заявленная досмотровая установка свободна от указанных недостатков.

Технический результат, достигаемый заявленным изобретением, состоит в повышении информативности рентгенографического изображения и расширении его функциональных возможностей, позволяющих наряду с получением рентгенографического изображения инспектируемого объекта, идентифицировать и отображать его вещественный состав в виде конкретного изображения.

Указанный технический результат достигается тем, что в досмотровой установке, содержащей источник рентгеновского излучения с механической системой сканирования объекта узким пучком этого излучения, процессорное устройство, устройство отображения рентгенографического изображения и размещенную рядом с источником систему регистрации обратно рассеянного излучения, состоящую из массива детекторов, в соответствии с заявленным изобретением, каждый из элементов массива детекторов выполнен как сцинтилляционный спектрометр энергии с энергетическим разрешением не хуже 20% по линии 122 кэВ радиоизотопного источника Co^{57} при эффективности регистрации рентгеновского излучения не ниже 80% в энергетическом диапазоне 30-150 кэВ и содержит сцинтилляционный детектор NaI(Tl) , фотоприёмник, электронный тракт, амплитудный анализатор, преобразующий последовательность сцинтилляционных сигналов в последовательность цифровых кодов, и интерфейс, обеспечивающий передачу цифровых кодов от каждого из элементов массива в процессорное устройство синхронно с формированием пикселей рентгенографического изображения в процессе сканирования поверхности досматриваемого объекта зондирующим пучком рентгеновского излучения.

Кроме того, указанный технический результат достигается тем, что система регистрации имеет площадь чувствительной поверхности, которая охватывает поток рентгеновского излучения, рассеянного объектом в направлении излучателя в пределах телесного угла не менее 1-1.5 стерадиан.

Помимо этого, указанный технический результат достигается тем, что каждый элемент массива спектрометров имеет такую площадь чувствительной поверхности, для которой поток квантов обратно-рассеянного излучения в любом случае не превышает $(2-4) \cdot 10^5$ 1/с.

Вместе с тем, указанный технический результат достигается тем, что сцинтилляционный детектор NaI(Tl) каждого спектрометра регистрирующей системы, сочленен со своим фотоприёмником через световод, который обеспечивает равномерный сбор света сцинтилляционной вспышки из любой точки детектора NaI(Tl) .

Для обеспечения принципиальной возможности идентификации вещественного состава досматриваемого объекта, в состав досмотровой установки должна входить детектирующая система с площадью чувствительной поверхности (1-2) м^2 , обладающая высокой эффективностью регистрации рентгеновского излучения в энергетическом диапазоне (20-160) кэВ и способная измерять энергетический спектр этого излучения при скорости счета не менее 10^7 1/с. Сочетание таких параметров детектирующей системы необходимо, в том числе, для обеспечения статистической значимости характеристик зарегистрированного обратно рассеянного излучения.

В указанном выше энергетическом диапазоне (20-160) кэВ, обеспечить близкую к 100% эффективность регистрации могут детекторы на основе неорганических сцинтилляционных материалов. По совокупности таких свойств как высокий атомный номер, быстроедействие, высокая конверсионная эффективность, прозрачность к собственному излучению, стоимость, доступность образцов большой площади и др., оптимальным материалом для детектирующей системы является NaI(Tl) . Этот материал широко используется для построения спектрометров рентгеновского излучения и хорошо известен специалистам. Для обеспечения эффективности регистрации близкой к 100% в энергетическом диапазоне ниже 150 кэВ, достаточно использовать кристалл NaI(Tl) с толщиной не менее 10 мм.

Поскольку максимальная плотность потока излучения на поверхности детектирующей системы может достигать 10^7 1/($\text{м}^2 \cdot \text{с}$), а предельная скорость счета спектрометра с детектором NaI(Tl) не превосходит $(2-4) \cdot 10^5$ 1/с, детектирующая система досмотровой установки с площадью чувствительной поверхности 1 м^2 и более, способная с высокой эффективностью регистрации измерять спектральный состав рентгеновского излучения, должна представлять собой массив сцинтилляционных спектрометров на основе детекторов NaI(Tl) . Количество элементов этого массива выбирается так, чтобы максимальный поток квантов регистрируемого излучения на чувствительной поверхности каждого элемента не превышал бы $(2-4) \cdot 10^5$ 1/с. Данное условие ограничивает максимальную площадь чувствительной поверхности спектрометра величиной (300-400) см^2 .

Детектирующая система заявленной установки представляет собой массив сцинтилляционных спектрометров на базе NaI(Tl) , объединенных в единую систему (на примере массива из трех спектрометров по схеме, представленной на фиг. 1.). Каждый из входящих в детектирующую систему спектрометров (1) соединен с интерфейсным устройством (2). Интерфейсное устройство (2), кроме того, соеди-

нено с датчиком (3) угла поворота механического устройства сканирования объекта пучком зондирующего рентгеновского излучения и процессорным устройством (4).

Устройство сцинтилляционного спектрометра (1), являющегося единичным элементом детектирующей системы схематически показано на фиг. 2.

Сцинтилляционный детектор (5) находится в оптическом контакте с фотоэлектронным умножителем (6). Выход фотоэлектронного умножителя подключен к входу электронного тракта (7), который предназначен для усиления по амплитуде импульсных сигналов с выхода фотоэлектронного умножителя. Выход электронного тракта подключен к входу амплитудного анализатора (8). Амплитудный анализатор предназначен для преобразования амплитуды каждого импульсного сигнала, в цифровой код, пропорциональный этой амплитуде. Остальные функциональные узлы типового сцинтилляционного спектрометра, такие как устройство управления, приемопередатчик линии связи, блоки питания и т.п., на фиг. 2 явно не показаны, так как детальное описание их работы и конкретная реализация не существенны для заявляемого устройства.

Работа заявленного устройства осуществляется следующим образом.

Квант рентгеновского излучения, взаимодействуя с рабочим веществом детектора (5), создает в нем вспышку света, пропорциональную выделившейся в детекторе энергии. Фотоприемник (6) преобразует световую вспышку в электрический импульс. Длительность этого импульса определяется длительностью световой вспышки, а его амплитуда пропорциональна амплитуде вспышки. Электрический импульс усиливается электронным трактом (7) и поступает на вход амплитудного анализатора (8). Амплитудный анализатор преобразует амплитуду каждого импульсного сигнала, в цифровой код, пропорциональный амплитуде этого сигнала. Этот цифровой код транслируется на выход спектрометра (1).

Датчик (3) угла поворота устройства сканирования объекта пучком зондирующего рентгеновского излучения, вырабатывает логические электрические сигналы, которые определяются направлением пучка зондирующего рентгеновского излучения в каждый момент времени. Сигналы от датчика поворота через интерфейсное устройство (2) поступают на процессорное устройство (4). Процессорное устройство (4), получая эти сигналы, непрерывно формирует последовательные временные интервалы, соответствующие времени сканирования единичного элемента инспектируемого объекта - пикселя рентгенографического изображения. Каждый цифровой код с любого из спектрометров (1), независимо друг от друга, поступает через интерфейсное устройство (2) в процессорное устройство (4). Совокупность цифровых кодов, накопленных в процессорном устройстве (4) за время сканирования каждого пикселя рентгенографического изображения, представляет собой энергетический спектр, который используется для идентификации вещественного состава каждого единичного элемента инспектируемого объекта.

Максимальная скорость счета детектирующей системы, показанной на фиг. 1, является суммой предельных скоростей счета входящих в эту систему спектрометров. При этом предельная скорость счета каждого из спектрометров (1) обусловлена быстродействием имеющегося в составе спектрометра амплитудного анализатора (8). В свою очередь, быстродействие амплитудного анализатора, независимо от его схемотехнической или программной реализации, принципиально ограничено длительностью сцинтилляционной вспышки в детекторе, что накладывает предел на максимальную скорость счета всего спектрометра. Для спектрометра с детектором NaI(Tl), независимо от площади чувствительной поверхности детектора, предельная скорость счета не превосходит $(2-4) \cdot 10^5$ 1/с.

Кроме того, указанный результат достигается тем, что площадь чувствительной поверхности детектирующей системы досмотровой установки охватывает поток рентгеновского излучения, рассеянного объектом в направлении излучателя в пределах телесного угла не менее 1-1.5 стерadian.

Помимо этого, заявленный технический результат достигается тем, что энергетическое разрешение каждого из сцинтилляционных спектрометров, образующих детектирующую систему не хуже 20% по линии 122 кэВ радиоизотопного источника Co^{57} при эффективности регистрации рентгеновского излучения не ниже 80% в энергетическом диапазоне 30-150 кэВ.

Кроме этого, указанный технический результат достигается тем, что энергетическое разрешение и площадь чувствительной поверхности входящих в детектирующую систему спектрометров, оптимизированы. Наилучшее энергетическое разрешение в сцинтилляционных спектрометрах достигается, если площадь выходной поверхности сцинтиллятора не превосходит площади чувствительной поверхности фотоприёмника. В этом случае, для кристаллов NaI(Tl), сочлененных с фотоэлектронным умножителем, типовая величина энергетического разрешения, измеренного по линии 122 кэВ, может достигать (8.5-9)%.

Максимальная площадь чувствительной поверхности промышленно выпускаемых фотоприёмников (фотоэлектронных умножителей) не превосходит 200 см^2 , что существенно меньше, чем максимально допустимая площадь чувствительной поверхности единичного элемента детектирующей системы ($300-400 \text{ см}^2$). Непосредственное сочленение (фиг. 3а) сцинтилляционного детектора (5) с площадью, существенно большей, чем площадь чувствительной поверхности фотоэлектронного умножителя (6), приводит к значительной неравномерности величины сцинтилляционного сигнала по поверхности спектрометра и, как следствие, к недопустимой деградации энергетического разрешения. Уменьшение чувствительной

поверхности сцинтилляционного кристалла до размера чувствительной поверхности фотоприёмника, привело бы к увеличению общего количества спектрометров в детектирующей системе и, соответственно, к существенному увеличению стоимости этой системы.

Количество спектрометров детектирующей системы можно оптимизировать, если сочленить сцинтилляционный детектор (5) большой площади с фотоприёмником (6) через световод (9) (фиг. 3б). Несмотря на то, что использование световода сопровождается уменьшением амплитуды сцинтилляционного сигнала, световод обеспечивает лучшую равномерность величины сцинтилляционного сигнала по всей площади детектора и уменьшает деградацию энергетического разрешения, обусловленную применением детектора большой площади.

Площадь входной поверхности световода не должна быть меньше площади выходной поверхности сцинтиллятора, а площадь выходной поверхности световода не должна превосходить площадь чувствительной поверхности фотоприёмника.

Кривая (10) на фиг. 4 иллюстрирует неравномерность, возникающую при сочленении детектора NaI(Tl) диаметром 200 мм с фотоприёмником диаметром 160 мм.

Кривая (11) на фиг. 4, иллюстрирует улучшение равномерности вследствие использования световода.

Рациональным выбором соотношения площадей детектора и фотоприёмника, а также размеров световода, можно уменьшить количество спектрометров в детектирующей системе до приемлемого количества в (20-30) штук, сохранив при этом энергетическое разрешение на допустимом уровне - не хуже 20% по линии 122 кэВ.

Энергетические распределения, накопленные в процессорном устройстве (4), представленном на фиг. 1, для каждого пикселя рентгенографического изображения объекта, несут информацию о вещественном составе пикселя, но статистическая значимость этих распределений недостаточна для определения вещества с точностью до атомного номера.

Низкая статистическая значимость результатов измерений не позволяет различать материалы с близкими атомными номерами, но оставляет возможность различать группы веществ, такие как органические вещества, неорганические вещества, тяжелые металлы.

Для каждой из таких групп веществ, выполняются калибровочные измерения с известными материалами. Усредненные результаты калибровочных измерений сводятся в библиотеку эталонов, хранятся в процессорном устройстве досмотровой установки и используются для оценки результатов измерений.

Идентификация вещественного состава по каждому пикселю рентгенографического изображения объекта осуществляется непараметрическим методом статистической проверки гипотез, состоящим в сравнении результата измерения с каждым из библиотечных эталонов и вычислении критерия согласия Пирсона "хи-квадрат" для каждого эталона. Основываясь на численном значении критерия согласия, при заданном уровне значимости делается заключение о вероятности принадлежности материала данного пикселя к той или иной группе материалов.

Цифровой код идентифицированной группы материалов присваивается пикселю, наряду с цифровым кодом, пропорциональным интенсивности зарегистрированного излучения. При визуализации рентгенографического изображения объекта, яркость пикселя будет пропорциональна интенсивности излучения, а его цвет будет определяться цифровым кодом идентифицированной группы материалов.

Экспериментальная проверка идентификации вещественного состава инспектируемого объекта была выполнена на опытном образце заявленной досмотровой установки с детектирующей системой из 24 спектрометров общей площадью 0.7 м². Напряжение питания рентгеновской трубки в процессе всех измерений составляло 225 кВ.

Для создания библиотеки эталонов, были выполнены измерения с тестовыми образцами, изготовленными из полистирола, алюминиевого сплава, стали, вольфрама и свинца. Тестовые образцы размещались на расстоянии 1.5 м от опытного образца досмотровой установки и перемещались относительно нее с различной скоростью в диапазоне (1.5-3) м/с. Эталонные энергетические распределения, измеренные для каждого материала и усредненные по 10⁶ пикселей, представлены на фиг. 5. На этом рисунке кривая (12) соответствует тестовому образцу из полистирола, кривая (13) соответствует тестовому образцу из алюминиевого сплава, кривая (14) соответствует тестовому образцу из стали, кривая (15) соответствует тестовому образцу из вольфрама, а кривая (16) тестовому образцу из свинца.

В табл. 1 сведены средние значения, вычисленные из приведенных на фиг. 5 энергетических распределений. Из таблицы видно, что средняя энергия по спектру изменяется немонотонно в зависимости от атомного номера вещества.

Таблица 1

Средние энергии спектров обратного рассеяния в зависимости от материала тестового образца

Материал тестового образца		Эффективный атомный номер Z	Средняя энергия по спектру, кэВ
1	полистирол (C ₈ H ₈) _n	5.7	59.6
2	алюминий (Al)	13	63.4
3	сталь (Fe)	26	70.1
4	вольфрам (W)	74	56.9
5	свинец (Pb)	82	65.6

Идентификация вещественного состава с использованием заявленного устройства экспериментально проверялась в нескольких сериях измерений. В каждой из этих серий, имитатор инспектируемого объекта находился на расстоянии (1-2) м от досмотровой установки и перемещался относительно неё со скоростью в диапазоне (1.5-3) м/с.

Пример № 1.

Практическая реализация заявленной досмотровой установки для обнаружения и распознавания инспектируемого объекта состоит в том, что на поверхности этого объекта размещались пластины различной толщины из одного материала - полистирола или алюминия или стали или свинца. Обработка результатов измерения происходила автоматически в соответствии с заявленным досмотровым устройством. На рентгенографическом изображении, независимо от толщины пластин, каждый материал отображался своим цветом, соответствующим каждой из 3-х идентифицированных групп - органические вещества, неорганические вещества, тяжелые металлы.

Пример № 2.

Демонстрирует реализацию заявленной досмотровой установки, которая выражается в том, что на поверхности инспектируемого этой установкой объекта одновременно размещались образцы, изготовленные из различных материалов: полистирола, алюминия, стали, вольфрама, свинца. На рентгенографическом изображении, как результат работы заявленной досмотровой установки, каждый материал отображался своим цветом.

Пример № 3.

Иллюстрация реализации заявленной досмотровой установкой идентификации вещественного состава инспектируемого объекта представлена на табл. 2, где сведены типовые численные результаты критерия согласия "хи-квадрат", усредненные для каждого материала по 9 пикселям рентгенографического изображения. Эти значения были получены автоматически в соответствии с заявленным устройством. В качестве эталонных распределений использовались энергетические спектры, представленные на фиг. 5, а результаты измерений взяты из примера № 2.

Таблица 2

		Значения критерия "хи - квадрат"				
		Эталоны				
		полистирол	алюминий	сталь	вольфрам	свинец
тестовые образцы	полистирол	2,02	2,28	4,66	3,24	4,74
	алюминий	4,08	3,23	3,62	6,13	4,02
	сталь	13,12	10,19	7,06	17,56	10,96
	вольфрам	6,13	4,38	3,79	3,62	8,87
	свинец	3,83	4,70	8,72	7,53	3,52

Из табл. 2 видно, что для каждого материала наименьшие значения критерия согласия отвечают случаям, когда эталонные измерения сравниваются с тестовым образцом из того же самого материала. Это означает, что тестовый материал и материал эталона совпадают, что подтверждает указанный технический результат о возможности заявленным изобретением идентифицировать досматриваемый вещественный состав.

Пример № 4.

Демонстрирует практическую реализацию заявленной досмотровой установкой идентификации вещественного состава инспектируемого объекта, которая состоит в серии измерений с образцами из полистирола, древесины, алюминия, стали, вольфрама и свинца, и которые закрывались от зондирующего рентгеновского пучка листом из пластика толщиной 2 мм. На рентгенографическом изображении, каждый материал отображался цветом, соответствующим его принадлежности к каждой из 3-х выбранных

групп - органические вещества, неорганические вещества, тяжелые металлы.

Примечание.

В отечественной и зарубежной научно-технической литературе к настоящему времени сложился список специфических терминов, относящихся к процессам измерения параметров полей ионизирующего излучения.

Используемые в заявленном изобретении термины.

Детектор (ионизирующего излучения) - чувствительный элемент средства измерений, предназначенный для преобразования энергии ионизирующего излучения в другой вид энергии, пригодный для регистрации или дальнейшего преобразования и (или) измерения одной или нескольких величин, характеризующих воздействующее на детектор излучение.

Сцинтилляционный детектор (ионизирующего излучения) - радиолуминесцентный детектор, в котором используется вещество, испускающее кванты света под действием ионизирующего излучения.

Спектрометр (энергии) ионизирующего излучения - устройство, предназначенное для измерения энергетических распределений полей ионизирующего излучения.

Сцинтилляционный спектрометр (энергии) - спектрометр, чувствительным элементом которого является сцинтилляционный детектор.

Список использованных источников информации

1. Daniel J. Strom, W.Wade Sapp, Josepf Callerame Physics, Health Physics, and Applications of Backscatter X-ray Imaging Technology. PNNL-SA-36973.
2. Swift R. D. Mobile X-ray backscatter imaging system for inspection of vehicles//Physics-Based Technologies for the Detection of Contraband. - SPIE, 1997. - Т. 2936. - С. 124-132.
3. US 8442186, В2.
4. WO 2012109273 А3 (прототип).

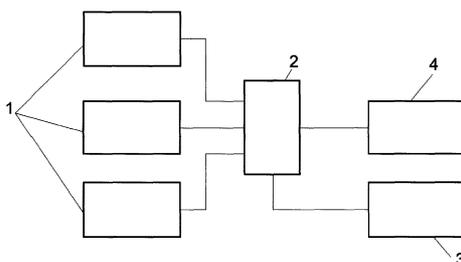
ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Досмотровая установка для обнаружения и распознавания инспектируемого объекта, содержащая источник рентгеновского излучения с механическим устройством сканирования объекта узким пучком этого излучения, процессорное устройство, устройство отображения рентгенографического изображения и размещенную рядом с источником систему регистрации обратнорассеянного излучения, состоящую из массива детекторов, отличающаяся тем, что каждый из элементов массива детекторов выполнен как сцинтилляционный спектрометр энергии с энергетическим разрешением не хуже 20% по линии 122 кэВ радиоизотопного источника Co^{57} при эффективности регистрации рентгеновского излучения не ниже 80% в энергетическом диапазоне 30-150 кэВ и содержит сцинтилляционный детектор NaI(Tl), фотоприёмник, электронный тракт, амплитудный анализатор, преобразующий последовательность сцинтилляционных сигналов в последовательность цифровых кодов, и интерфейс, обеспечивающий передачу цифровых кодов от каждого из элементов массива в процессорное устройство синхронно с формированием пикселей рентгенографического изображения в процессе сканирования поверхности досматриваемого объекта зондирующим пучком рентгеновского излучения.

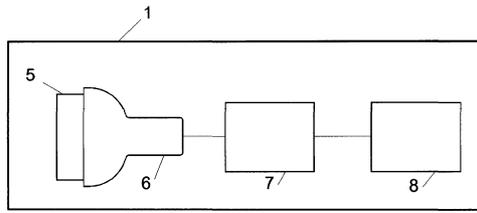
2. Досмотровая установка по п.1, отличающаяся тем, что система регистрации имеет площадь чувствительной поверхности, которая охватывает поток рентгеновского излучения, рассеянного объектом в направлении излучателя в пределах телесного угла не менее 1-1,5 стерadian.

3. Досмотровая установка по п.2, отличающаяся тем, что каждый элемент массива спектрометров имеет такую площадь чувствительной поверхности, для которой поток квантов обратнорассеянного излучения в любом случае не превышает $(2-4) \cdot 10^5$ 1/с.

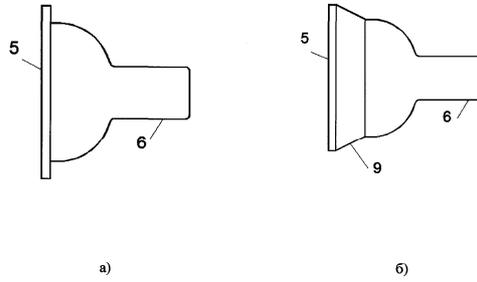
4. Досмотровая установка по п.1, отличающаяся тем, что сцинтилляционный детектор NaI(Tl) каждого спектрометра регистрирующей системы сочленен со своим фотоприёмником через световод, который обеспечивает равномерный сбор света сцинтилляционной вспышки из любой точки детектора NaI(Tl).



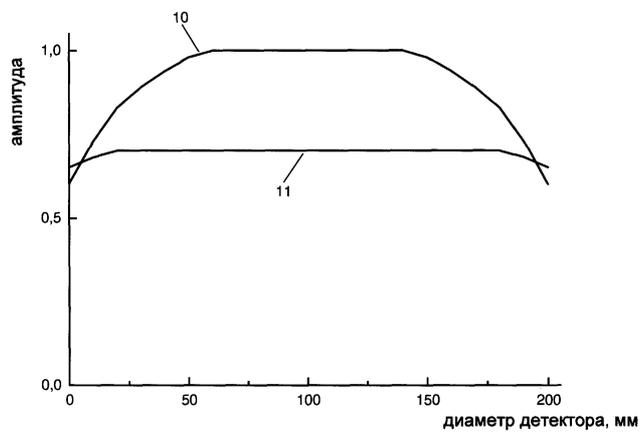
Фиг. 1



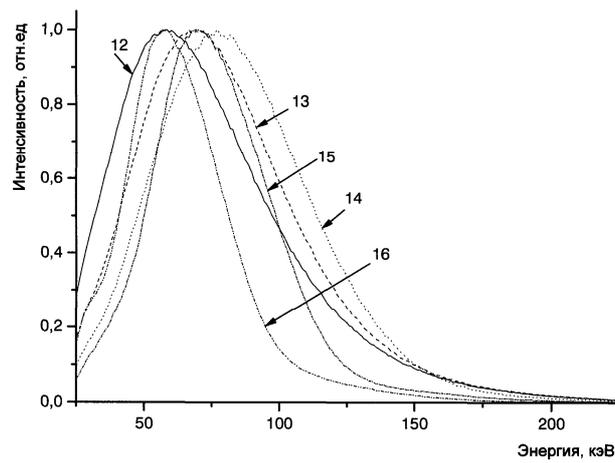
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5