



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2006105794/28**, **27.02.2006**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**27.02.2006**(30) Конвенционный приоритет:  
**03.11.2005 CN 200510086764.8**(45) Опубликовано: **10.09.2007 Бюл. № 25**(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2155975 C2**, **10.09.2000. RU 2003121408 A**, **10.01.2005. RU 2221220 C1**, **10.01.2004. RU 2168717 C1**, **10.06.2001. US 5078952 A**, **07.01.1992. US 5153439 A**, **06.10.1992. DE 10305105 A1**, **26.08.2004. GB 2409272 A**, **22.06.2005. US 6088423 A**, **11.07.2000.**Адрес для переписки:  
**119034, Москва, Пречистенский пер., 14,  
стр.1, 4 этаж, "Гоулингз Интернэшнл Инк.",  
пат.пов. Ю.В.Дементьевой**

(72) Автор(ы):

**КАНГ Кеджун (CN),  
ХУ Хайфенг (CN),  
КСИ Яли (CN),  
МИАО Квитиан (CN),  
ЯНГ Йиганг (CN),  
ЛИ Юанджинг (CN),  
ЧЕН Жикианг (CN),  
ВАНГ Ксуеву (CN)**(73) Патентообладатель(и):  
**Университет Цингхуа (CN),  
Нактех Компани Лимитед (CN)**

## (54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ БЫСТРЫХ НЕЙТРОНОВ И НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

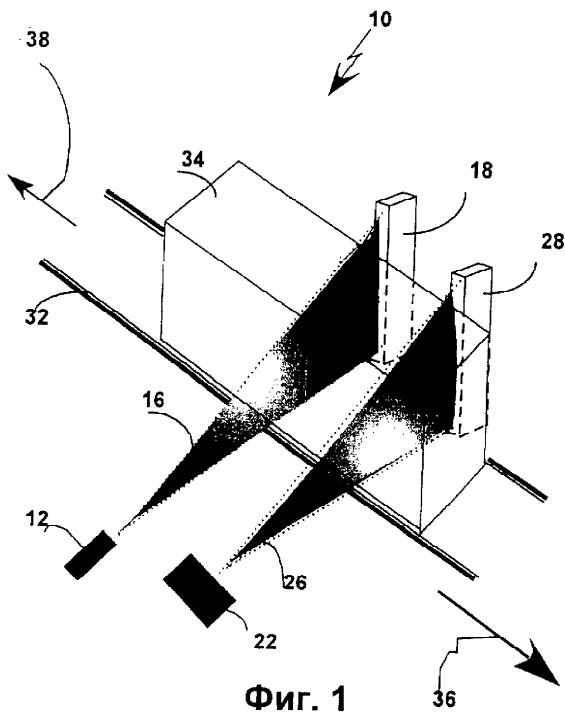
(57) Реферат:

Использование: для распознавания материалов с помощью быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения. Сущность: заключается в том, что осуществляют облучение инспектируемого объекта пучком лучей быстрых нейтронов, произведенных источником быстрых нейтронов, и пучком лучей непрерывного спектрального рентгеновского излучения, произведенного источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения, после чего производят прямое измерение интенсивности прошедшего рентгеновского излучения и интенсивности прошедших нейтронов

рентгеновской детекторной матрицей и нейтронной детекторной матрицей соответственно и идентифицируют материалы/вещества инспектируемого объекта с помощью кривых Z-зависимостей, сформированных разностями коэффициента ослабления между нейтронным лучом и рентгеновским лучом, прошедшими через различные материалы инспектируемого объекта. Технический результат: повышение проникающей способности, а также повышение пространственного разрешения и качества изображения при инспекции контейнеров или объемных предметов. 3 н. и 22 з.п. ф-лы, 3 ил.

RU 2 305 829 C1

RU 2 305 829 C1





FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,  
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2006105794/28, 27.02.2006**

(24) Effective date for property rights: **27.02.2006**

(30) Priority:  
**03.11.2005 CN 200510086764.8**

(45) Date of publication: **10.09.2007 Bull. 25**

Mail address:  
**119034, Moskva, Prechistsenskij per., 14,  
str.1, 4 ehtazh, "Goulingz Internehshnl  
Ink.", pat.pov. Ju.V.Dement'evoj**

(72) Inventor(s):  
**KANG Kedzhun (CN),  
KhU Khajfeng (CN),  
KSI Jali (CN),  
MIAO Kvitian (CN),  
JaNG Jigang (CN),  
LI Juandzhing (CN),  
ChEN Zhikiang (CN),  
VANG Ksuevu (CN)**

(73) Proprietor(s):  
**Universitet Tsingkhua (CN),  
Naktekh Kompani Limited (CN)**

(54) **METHOD AND DEVICE FOR RECOGNITION OF MATERIALS BY MEANS OF QUICK NEUTRONS AND CONTINUOUS SPECTRAL X-RAY RADIATION**

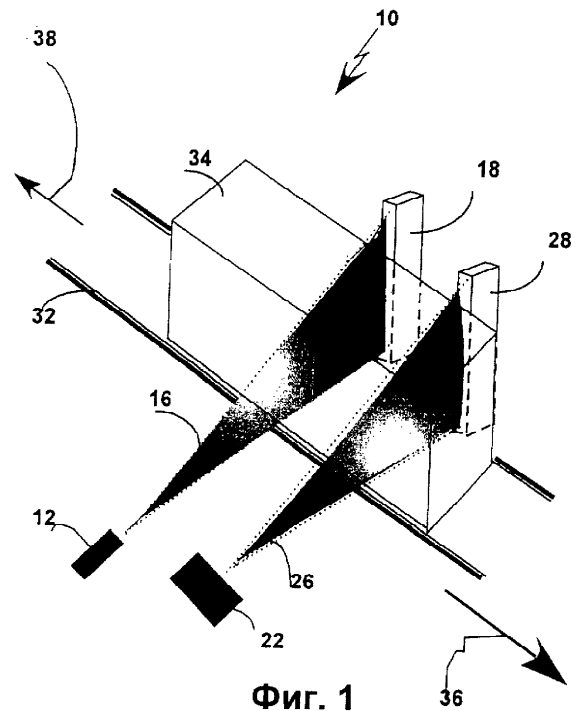
(57) Abstract:

FIELD: optics; electronics.

SUBSTANCE: object to be inspected is irradiated by quick neutron ray bundle, which neutrons are produced by quick neutron source, as well as by bundle of continuous X-ray radiation, which rays are produced by source of continuous spectral X-ray radiation. Intensity of passed X-ray radiation and intensity of passed neutrons is measured directly by means of X-ray detector array and neutron detector array correspondingly and materials/matters of object to be inspected are identified by means of curves of Z-dependences formed by differences in coefficient of attenuation between neutron ray and X-ray, both passed through different material of object to be inspected.

EFFECT: increased penetration ability; higher spatial resolution; better quality of image during inspection of containers or volumetric objects.

26 cl, 3 dwg



RU 2 305 829 C1

RU 2 305 829 C1

## Область применения изобретения

Изобретение относится к рентгенографическим методам инспекции контейнеров и других крупногабаритных объектов, в частности к устройствам и способам распознавания материалов путем прямого измерения посланных быстрых нейтронов и непрерывного

5 спектрального рентгеновского излучения, а также распознавания материалов с использованием кривых Z-зависимости, формируемых разностями коэффициентов ослабления между нейтронами и рентгеновским излучением, прошедшими через различные материалы/вещества.

## Предпосылки к созданию изобретения

10 Настоящее изобретение обусловлено общей угрозой терроризма. Поскольку требования к антитеррористическим мероприятиям становятся более жесткими, то возрастает потребность в системах рентгенографического контроля контейнеров, способных автоматически обнаруживать взрывчатые вещества, наркотики и другую контрабанду. Существующие методы распознавания материалов при инспекции контейнеров и других

15 крупногабаритных объектов, такие как высокоэнергетический и двухэнергетический рентгенографический метод, PFNA™ метод (анализ импульсов быстрых нейтронов или коллиммирование потока моноэнергетичных быстрых нейтронов) и компьютерная томографическая (КТ) система контроля контейнеров, приобретают все большую значимость.

20 Высокоэнергетический и двухэнергетический рентгенографический метод использует разницу поглощения у разных материалов в мегавольтном диапазоне вследствие Эффекта Комптона (Compton Effect) и эффекта образования электронно-дырочной пары для определения эффективного атомного номера облученных предметов и соответственно распознавания различных материалов. Но существуют некоторые физические ограничения.

25 Во-первых, разница поглощения между материалами не достаточно большая. Во-вторых, высокоэнергетический спектр частично перекрывается с низким энергетическим спектром, даже в случае, если только фильтрация спектра может разрешить проблему. В-третьих, результат обнаружения ухудшается из-за ошибок измерения. Все это приводит к неудовлетворительным результатам, а последовательная высокоэнергетическая и

30 двухэнергетическая система в основном используется для идентификации «органических», «составных» и «неорганических» материалов в инспектируемом контейнере. Изотопный источник может обеспечить моноэнергетические гамма-лучи, которые могут решить проблему перекрытия спектра, но их проникающая способность слишком мала для того, чтобы использовать их в системе инспекции контейнеров и других крупногабаритных

35 предметов для обнаружения материалов.

Некоторые из существующих в настоящее время PFNA систем имеют трехмерную возможность распознавания. Но их пространственное разрешение слишком мало, пропускная способность слишком медленна, а стоимость слишком высока. Таким образом, PFNA не может доминировать на рынке контейнерных инспекций в настоящее время и в

40 ближайшем будущем. Другая контейнерная инспекционная система NAA (Neutron Activation Analysis - активизационный анализ нейтронов), использующая Cf-252 как источник нейтронов, не может использоваться для постоянного измерения в режиме реального времени, потому что NAA можно использовать для измерения подозрительной области только после обнаружения самой подозрительной области другим оборудованием.

45 Томографическая контейнерная инспекционная система КТ имеет огромные размеры, а коэффициент пропускной способности слишком низок, чтобы доминировать на рынке контейнерных инспекций.

В WO 2004/053472 описывается рентгенографическое оборудование, которое непосредственно измеряет посланные моноэнергетические быстрые нейтроны и

50 моноэнергетические гамма-лучи. Это оборудование использует массовое отношение коэффициента затухания для того, чтобы распознать различные вещества, что может использоваться для обнаружения взрывчатых веществ, наркотиков и контрабанды. В сравнении с высокоэнергетическим и двухэнергетическим рентгенографическим методом

исследования при помощи рентгеновских лучей метод прямой регистрации рентгеновского излучения в двух областях энергетического спектра имеет лучшую способность идентификации материалов. В сравнении с методикой PFNA, которая регистрирует вторичные излучения, типа нейтронно-наведенных гамма-лучей, метод прямой регистрации

5 рентгеновского излучения в двух областях энергетического спектра более эффективен, т.к. обладает более высокой способностью проникновения, чем тепловые нейтроны. В сравнении с контейнерной инспекционной КТ системой система двойного луча более компактна, имеет низкую цену и выполняет измерения в режиме реального времени.

К сожалению, моноэнергетическая система двойного луча может использовать только

10 изотопный источник типа Co-60, в качестве источника гамма-лучей. Однако для контроля контейнеров или других крупногабаритных предметов большим недостатком изотопного источника является низкая способность проникновения, низкое пространственное разрешение, низкое качество изображения, а также проблемы администрирования радиационной безопасности. Эта методика обеспечивает низкое пространственное

15 разрешение изображения контейнера и ей трудно конкурировать с системами инспекции контейнеров на основе линейного ускорителя, которые обеспечивают высококачественное изображение. Так как моноэнергетические гамма-лучи имеют низкую способность проникновения, которая также ограничивает толщину идентификации материала, то они не могут использоваться в случае полностью загруженного контейнера или при контроле

20 объемных предметов. Подобные недостатки ограничивают область ее использования.

Краткое изложение изобретения

Настоящее изобретение решает указанные выше проблемы и обеспечивает способ распознавания материалов путем прямого измерения посланных быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения. Так как массовое отношение

25 коэффициента затухания быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения не может просто использоваться для определения  $Z$  (эффективного атомного номера в зоне прямой видимости осмотренных предметов), в настоящем изобретении для распознавания материалов используются  $Z$ -зависимости  $n$ -х кривых материалов. Использование высокой проникающей способности рентгеновских

30 лучей линейного ускорителя и быстрых нейтронов может обеспечить распознавание веществ даже в случае полностью загруженного контейнера или при контроле объемных предметов. Это изобретение не только обладает всеми преимуществами моноэнергетической системы двойного луча, такими как высокая чувствительность распознавания веществ, компактная конфигурация, высокая пропускная способность,

35 низкая цена, измерение в режиме реального времени, но также имеет и дополнительные преимущества: высокую проникающую способность, высокую эффективность обнаружения, высокое пространственное разрешение, высокое качество изображения, высокую точность идентификации веществ и достоверность.

Согласно одному аспекту изобретения, заявлен способ распознавания веществ,

40 использующий быстрые нейтроны и непрерывное спектральное рентгеновское излучение, включающий следующие этапы: (а) облучение инспектируемого объекта пучком лучей быстрых нейтронов, произведенных источником быстрых нейтронов, и пучком лучей непрерывного спектрального рентгеновского излучения, произведенным источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения; (b) прямое измерение

45 интенсивности прошедшего рентгеновского излучения и интенсивности посланных нейтронов рентгеновской детекторной матрицей и нейтронной детекторной матрицей соответственно; и (с) идентификацию материалов/веществ инспектируемого объекта с помощью кривых  $Z$ -зависимостей, сформированных разностями коэффициента ослабления между нейтронным лучом и рентгеновским лучом, прошедшими через различные

50 материалы инспектируемого объекта.

В предпочтительном варианте изобретения способ также включает этап (d) формирования прошедшего двухмерного рентгеновского изображения и прошедшего нейтронного изображения для той же развертки (скана).

В предпочтительном варианте изобретения источником быстрых нейтронов служит либо нейтронный генератор либо изотопный нейтронный источник, либо источник фотонейтронов; а источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения служит либо линейный ускоритель электронов либо рентгеновская установка.

5 В предпочтительном варианте изобретения источником фотонейтронов служит ускоритель, генерирующий пучок рентгеновских лучей, часть которого сталкивается с преобразователем фотонейтронов и преобразуется в фотонейтроны.

10 В предпочтительном варианте изобретения распределительный коллиматор делит рентгеновский пучок лучей, произведенный ускорителем, на два пучка лучей. Один пучок коллимируется с помощью рентгеновского коллиматора ограничения пучка для формирования рентгеновского пучка лучей, другой пучок лучей сталкивается с преобразователем фотонейтронов и преобразуется в фотонейтроны для формирования пучка лучей фотонейтронов с помощью коллиматора ограничения пучка.

15 В предпочтительном варианте изобретения пучок лучей быстрых нейтронов и непрерывный спектральный рентгеновский пучок лучей измеряются рентгеновской детекторной матрицей, обладающей высокой эффективностью обнаружения рентгеновского излучения и нейтронной детекторной матрицей, обладающей высокой эффективностью обнаружения нейтронов соответственно.

20 В предпочтительном варианте изобретения вдоль сканирующего туннеля расположен корпус нейтронного сканирующего устройства, включающего источник быстрых нейтронов и нейтронную детекторную матрицу. Корпус нейтронного сканирующего устройства расположен параллельно корпусу рентгеновского сканирующего устройства, включающего рентгеновский источник и рентгеновскую детекторную матрицу, при этом корпус рентгеновского сканирующего устройства расположен первым вдоль линии направления

25 сканирования, а корпус нейтронного сканирующего устройства - вторым, таким образом, что инспектируемый объект сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

В предпочтительном варианте изобретения нейтронный источник и рентгеновский источник посылают импульсы одновременно, при этом время излучения источника нейтронного импульса осуществляется с задержкой, например, несколько миллисекунд, по сравнению со временем излучения импульса источника рентгеновского излучения.

30 В предпочтительном варианте изобретения идентификация веществ включает измерение интенсивности  $T_n$  нейтронов, прошедших через инспектируемый объект каждым нейтронным детектором в нейтронной детекторной матрице; измерение интенсивности  $T_x$  рентгеновских лучей, прошедших через инспектируемый объект каждым рентгеновским детектором в рентгеновской детекторной матрице; построение Z-зависимостей для пар  $(c_1, c_2)$ , где  $c_1=f_1(T_x)$  используется как x-координата и  $c_2=f_2(T_n, T_x)$  используется как y-координата, при этом  $f_1(T_x)$  обозначает функцию коэффициента ослабления рентгеновских лучей, а  $f_2(T_n, T_x)$  обозначает функцию разности коэффициента ослабления нейтронов и рентгеновских лучей; идентификацию различных материалов инспектируемого объекта с использованием кривых Z-зависимостей; и отображение идентифицированных различных веществ разными цветами на изображении разграничения материалов.

40 В предпочтительном варианте изобретения одно значение пикселя изображения переданных нейтронов образует пару со средним значением одного или нескольких пикселей изображения переданного рентгеновского излучения для составления  $(c_1, c_2)$  пары на одной из кривых Z-зависимости.

50 В предпочтительном варианте изобретения существуют две модели сканирования для формирования изображения прошедшего рентгеновского излучения и изображения прошедших нейтронов. Одна модель предусматривает перемещение корпусов нейтронного сканирующего устройства и рентгеновского сканирующего устройства, в то время как инспектируемый объект остается неподвижным; в другой модели сканирования инспектируемый объект движется вдоль сканирующего туннеля, в то время как корпус нейтронного сканирующего устройства и корпус рентгеновского сканирующего устройства

стационарны.

В другом аспекте изобретения оборудование для реализации метода распознавания материалов с помощью быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения включает источник быстрых нейтронов для получения нейтронов, источник  
5 непрерывного спектрального рентгеновского излучения для получения рентгеновского излучения, нейтронную детекторную матрицу для обнаружения нейтронов и рентгеновскую детекторную матрицу для обнаружения рентгеновского излучения, при этом источник быстрых нейтронов и источник непрерывного спектрального рентгеновского излучения  
10 расположены на одной стороне сканирующего туннеля, а нейтронная детекторная матрица и рентгеновская детекторная матрица расположены на противоположной стороне сканирующего туннеля.

В предпочтительном варианте изобретения рентгеновское излучение, произведенное рентгеновским источником, коллимируется в рентгеновский пучок лучей, который направляется на рентгеновскую детекторную матрицу, рентгеновский пучок лучей проходит  
15 через инспектируемый объект и попадает на рентгеновскую детекторную матрицу, нейтроны, произведенные источником быстрых нейтронов, коллимируются в нейтронный пучок лучей, который направляется на нейтронную детекторную матрицу, нейтронный пучок лучей проходит через инспектируемый объект и попадает на нейтронную детекторную матрицу.

В предпочтительном варианте изобретения источником быстрых нейтронов может быть либо нейтронный генератор либо изотопный нейтронный источник, либо источник фотонейтронов, а источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения -  
20 либо линейный ускоритель электронов либо рентгеновская установка.

В предпочтительном варианте изобретения вдоль сканирующего туннеля расположен корпус нейтронного сканирующего устройства, включающего источник быстрых нейтронов и нейтронную детекторную матрицу, параллельно корпусу рентгеновского сканирующего  
25 устройства, включающего рентгеновский источник и рентгеновскую детекторную матрицу.

В предпочтительном варианте изобретения корпус рентгеновского сканирующего устройства расположен первым вдоль линии направления сканирования, а корпус нейтронного сканирующего устройства - вторым таким образом, что инспектируемый объект сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а  
30 затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

В другом аспекте изобретения оборудование для реализации способа распознавания материалов включает ускоритель, производящий непрерывное спектральное рентгеновское  
35 излучение и фотонейтроны, нейтронную детекторную матрицу для обнаружения фотонейтронов и рентгеновскую детекторную матрицу для обнаружения рентгеновского излучения, при этом ускоритель расположен на одной стороне сканирующего туннеля, нейтронная и рентгеновская детекторные матрицы расположены на другой стороне сканирующего туннеля.

В предпочтительном варианте изобретения оборудование также включает рентгеновский распределительный коллиматор, который установлен в рентгеновском окне излучения пучка лучей ускорителя, разделяющий рентгеновский пучок лучей на два пучка,  
40 из которых один пучок лучей коллимируется с помощью рентгеновского коллиматора ограничения пучка для формирования рентгеновского пучка лучей, а другой пучок лучей коллимируется и направляется в камеру усиления фотонейтронов.

В предпочтительном варианте изобретения оборудование также включает преобразователь фотонейтронов, который установлен в камере усиления фотонейтронов и располагается на пути рентгеновского пучка лучей. Рентгеновский пучок лучей  
45 сталкивается с преобразователем фотонейтронов и преобразуется в фотонейтроны для формирования пучка лучей фотонейтронов с помощью камеры усиления фотонейтронов и канала ограничения пучка лучей, связанного с камерой усиления фотонейтронов.

В предпочтительном варианте изобретения рентгеновский пучок лучей посылается через инспектируемый объект и регистрируется рентгеновской детекторной матрицей, а

пучок лучей фотонейтронов посылается через инспектируемый объект и регистрируется нейтронной детекторной матрицей.

В предпочтительном варианте изобретения вдоль направления сканирования вначале установлен корпус рентгеновского сканирующего устройства, включающего рентгеновский пучок лучей и рентгеновскую детекторную матрицу, а корпус нейтронного сканирующего устройства, включающий пучки лучей фотонейтронов и нейтронную детекторную матрицу, установлен позади, то есть инспектируемый объект сначала сканируется в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

В предпочтительном варианте изобретения преобразователь фотонейтронов содержит бериллий или другой материал и имеет форму сферического купола, цилиндра, конуса, Г-образной пластины или другую форму.

В предпочтительном варианте изобретения между окном излучения фотонейтронов камеры усиления фотонейтронов и каналом ограничения пучка лучей, на пути пучка лучей фотонейтронов устанавливается висмутовый фильтр.

В предпочтительном варианте изобретения камера усиления фотонейтронов включает свинцовые и графитовые слои или другой материал.

В результате использования в изобретении описанной выше технологии кривые  $n$ - $x$  определяют только  $Z$ -зависимость и не связаны с толщиной инспектируемых объектов. Изобретение имеет следующие преимущества: компактность оборудования, высокая эффективность обнаружения. С помощью данного способа, когда контейнер сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства, воздействие на рентгеновское изображение передачи гамма-лучей устраняется за счет нейтронной активации. Используя технологию с временным разделением, при которой осуществляется задержка нейтронного пучка лучей относительно времени излучения пучка рентгеновских лучей линейного ускорителя, интерференцию нейтронов с рентгеновским изображением передачи и рентгеновского излучения с нейтронным изображением передачи можно понизить, а качество изображений может быть улучшено. Поскольку веерообразный рентгеновский пучок лучей и веерообразный нейтронный пучок лучей остронаправлены, рассеивающуюся интерференцию можно уменьшить, это упрощает радиационную защиту и дает высокое пространственное разрешение. В случае полностью загруженного контейнера или контроля объемного предмета распознавание материалов может быть выполнено качественно. Таким образом, это можно использовать для обнаружения взрывчатых веществ, наркотиков, контрабанды, специальных ядерных материалов, радиационных и других материалов в контейнере, контейнерном грузовике, железнодорожном вагоне или в других крупногабаритных объектах.

Краткое описание чертежей

Фиг.1 - схематичная иллюстрация, показывающая одну конфигурацию оборудования в соответствии с вариантом настоящего изобретения;

Фиг.2 - схематичная иллюстрация, показывающая другую конфигурацию оборудования в соответствии с другим вариантом настоящего изобретения;

Фиг.3 - схематичная иллюстрация, показывающая структуру распределительного коллиматора рентгеновского излучения, фотонейтронного преобразователя и средства усиления.

Подробное описание предпочтительных вариантов изобретения

Ниже будут рассмотрены различные варианты изобретения совместно с прилагаемыми чертежами. Для удобства компоненты оборудования на фигурах 1-3 будут обозначены одинаковыми или похожими ссылочными номерами.

Конфигурация

Фиг.1 - схематичная иллюстрация, показывающая одну конфигурацию оборудования в соответствии с вариантом настоящего изобретения

На фиг.1 оборудование 10 согласно первому варианту изобретения включает рельс



перемещения контейнера 32, по крайней мере один инспектируемый контейнер или другой объемный предмет 34, который устанавливается на рельсе перемещения контейнера 32, источник быстрых нейтронов 12 для получения нейтронов, источник непрерывного спектрального рентгеновского излучения 22 для получения рентгеновского излучения, нейтронную детекторную матрицу 18, обладающую высокой эффективностью обнаружения нейтронов, рентгеновскую детекторную матрицу 28, обладающую высокой эффективностью обнаружения рентгеновских лучей, веерообразный нейтронный пучок лучей 16 и веерообразный рентгеновский пучок лучей 26.

Источником быстрых нейтронов 12 является либо нейтронный генератор либо изотопный нейтронный источник. Источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения 22 является либо линейный ускоритель электронов (линейный ускоритель) либо рентгеновская установка. Источник быстрых нейтронов 12 и непрерывный спектральный рентгеновский источник 22 расположены по одну сторону рельса перемещения контейнера 32. Нейтронная детекторная матрица 18 и рентгеновская детекторная матрица 28 расположены с противоположной стороны рельса перемещения контейнера 32.

Нейтроны, посланные источником быстрых нейтронов 12, коллимируются в веерообразный нейтронный пучок лучей 16, который проходит через контейнер 34, после чего поступает на нейтронную детекторную матрицу 18. Рентгеновское излучение, посланное источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения 22, коллимируется в веерообразный рентгеновский пучок лучей 26, который проходит через контейнер 34, после чего поступает на рентгеновскую детекторную матрицу 28.

Корпус нейтронного сканирующего устройства, сформированный источником быстрых нейтронов 12 и нейтронной детекторной матрицей 18, расположен параллельно корпусу рентгеновского сканирующего устройства, сформированного источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения 22 и рентгеновской детекторной матрицей 28, при этом оба устройства движутся вдоль рельса перемещения контейнера 32. Направление сканирования 36 противоположно направлению движения 38 инспектируемого контейнера 34. Корпус рентгеновского сканирующего устройства расположен первым, а корпус нейтронного сканирующего устройства расположен вторым вдоль направления сканирования. Таким образом, инспектируемый контейнер 34 сначала сканируется в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

На фиг.2 представлена схематичная иллюстрация, показывающая другую конфигурацию оборудования в соответствии с другим вариантом настоящего изобретения, а на фиг.3 - схематичная иллюстрация, показывающая структуру распределительного коллиматора рентгеновского излучения, фотонейтронного преобразователя и средства усиления.

На фиг.2 и 3 оборудование 11 согласно второму варианту изобретения включает рельс перемещения контейнера 32, по крайней мере один инспектируемый контейнер или другой объемный предмет 34, который устанавливается на рельсе перемещения контейнера 32, ускоритель 42, который генерирует непрерывный спектральный рентгеновский пучок лучей, часть которого преобразуется в фотонейтроны, нейтронную детекторную матрицу 18 и рентгеновскую детекторную матрицу 28.

Ускоритель 42 расположен с одной стороны рельса перемещения контейнера 32. Нейтронная детекторная матрица 18 и рентгеновская детекторная матрица 28 расположены с другой стороны рельса перемещения контейнера 32. Специально спроектированный рентгеновский распределительный коллиматор 52 установлен в рентгеновском окне излучения пучка лучей ускорителя 42. Рентгеновский распределительный коллиматор 52 делит рентгеновский пучок лучей, произведенный ускорителем, на два пучка лучей: один пучок лучей коллимируется с помощью рентгеновского коллиматора ограничения пучка 24 для формирования веерообразного рентгеновского пучка лучей 26, другой пучок лучей 58 коллимируется и направляется в камеру усиления фотонейтронов 50, которая изготовлена из свинца, графитовых слоев или других материалов.

Преобразователь фотонейтронов 56, включающий бериллий или другой материал и имеющий форму сферического купола, цилиндра, конуса, Г-образной пластины или другую форму, размещается в камере усиления фотонейтронов 50 и устанавливается на пути рентгеновского пучка лучей 58. Рентгеновский пучок лучей 58 сталкивается с

5 преобразователем фотонейтронов 56 и преобразуется в фотонейтроны, образует веерообразный пучок лучей фотонейтронов 16 с помощью камеры усиления фотонейтронов 50 и канала ограничения пучка лучей 51, связанного с камерой усиления фотонейтронов 50. Между окном излучения фотонейтронов в камере усиления фотонейтронов 50 и каналом ограничения пучка лучей 51, на пути пучка лучей  
10 фотонейтронов устанавливается висмутовый цилиндрический фильтр 60.

Веерообразный пучок фотонейтронов 16 направляется на нейтронную детекторную матрицу 18, расположенную с другой стороны рельса перемещения контейнера 32, при этом пучок фотонейтронов 16 и нейтронная детекторная матрица 18 формируют корпус нейтронного сканирующего устройства. Веерообразный рентгеновский пучок лучей 26  
15 направляется на рентгеновскую детекторную матрицу 28, расположенную с другой стороны рельса перемещения контейнера 32, при этом рентгеновский пучок лучей 26 и рентгеновская детекторная матрица 28 формируют корпус рентгеновского сканирующего устройства.

Корпус рентгеновского сканирующего устройства расположен первым, а корпус  
20 нейтронного сканирующего устройства - вторым вдоль направления сканирования 36. Таким образом, инспектируемый контейнер 34 сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

#### Работа устройства

25 Корпус нейтронного сканирующего устройства, состоящий из нейтронного источника 12 и нейтронной детекторной матрицы 18, расположенный параллельно корпусу рентгеновского сканирующего устройства, состоящего из рентгеновского источника 22 и рентгеновской детекторной матрицы 28, перемещаются вдоль рельса. Инспектируемый контейнер 34  
30 сначала проходит через корпус рентгеновского сканирующего устройства, а затем через корпус нейтронного сканирующего устройства. Веерообразный рентгеновский пучок лучей 26 посылается через инспектируемый контейнер 34. Прошедший пучок попадает на рентгеновскую детекторную матрицу 28, и затем формирует двухмерное рентгеновское изображение передачи. На той же самой развертке веерообразный нейтронный пучок  
35 лучей 16 посылается через инспектируемый контейнер 34. Прошедшие рентгеновские лучи поступают на нейтронную детекторную матрицу 18 и затем формируют двухмерное нейтронное изображение передачи. Если источник импульсов нейтронов используется как нейтронный источник 12, то нейтронный источник 12 и источник рентгеновских лучей 22 (линейный ускоритель) производят импульсы одновременно, при этом излучение источника нейтронного импульса осуществляется с задержкой по сравнению со временем излучения  
40 импульса источника рентгеновского излучения.

Способ распознавания материалов осуществляется с использованием Z-зависимости n-  
х кривых. Значение  $T_n$  для каждого нейтронного детектора определяет интенсивность нейтронного потока, прошедшего через контейнер 34. Значение  $T_x$  для каждого рентгеновского детектора определяет интенсивность рентгеновских лучей, прошедших  
45 через контейнер 34. Используя  $c_1=f_1(T_x)$  как x-координату,  $c_2=f_2(T_n, T_x)$  как y-координату, пары  $(c_1, c_2)$  составляют кривые Z-зависимости, которые используются для идентификации различных материалов. Здесь  $f_1(T_x)$  обозначает функцию коэффициента ослабления рентгеновских лучей, а  $f_2(T_n, T_x)$  обозначает функцию разности коэффициента ослабления нейтронов и рентгеновских лучей. Одно значение пикселя  
50 изображения прошедших нейтронов образует пару со средним значением одного или нескольких пикселей изображения прошедшего рентгеновского излучения для составления  $(c_1, c_2)$  пары на одной из кривых Z-зависимости, которые используются для распознавания материалов. Различные материалы отображаются разными цветами на

изображении для распознавания материалов.

Ниже описываются физические принципы кривых Z-зависимости.

Коэффициент ослабления остронаправленных моноэнергетических нейтронов, посланных через облученный предмет с толщиной  $x$  (см), может быть вычислен с

5 использованием уравнения (1):

$$I_n = I_{n0} \exp(-\mu_n(Z, E) \cdot x) \quad (1)$$

где  $I_n$  и  $I_{n0}$  обозначают измеренные интенсивности с коэффициентом ослабления и без такового соответственно;  $\mu_n(Z, E)$  обозначает линейный коэффициент затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного предмета для нейтронов, который является функцией

10 эффективного атомного номера  $Z$  контролируемого предмета и энергии бомбардирующих нейтронов  $E(\text{MeV})$ .

В случае остронаправленных непрерывных спектральных нейтронов коэффициент ослабления остронаправленных непрерывных спектральных нейтронов, посланных через облученный предмет с толщиной  $x$  (см), может быть вычислен с использованием уравнения

15 (2):

$$I_n = \int_0^{E_{nb}} I_{n0}(E) \exp(-\mu_n(Z, E) \cdot x) dE \quad (2)$$

где  $I_n$  обозначает измеренную напряженность посланных нейтронов;  $I_{n0}(E)$  обозначает измеренную интенсивность падающего излучения непрерывных спектральных нейтронов с пороговой энергией  $E_{nb}(\text{MeV})$ ;  $\mu_n(Z, E)$  обозначает сумму линейных коэффициентов затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного предмета для нейтронов, который является функцией эффективного атомного числа  $Z$  контролируемого предмета и энергии бомбардирующих нейтронов  $E(\text{MeV})$ .

20

В случае остронаправленного непрерывного спектрального рентгеновского излучения коэффициент ослабления излучения, прошедшего через облученный предмет толщиной  $x$  (см), может быть вычислен с использованием уравнения (3):

25

$$30 \quad I_x = \int_0^{E_{xb}} I_{x0}(E) \exp(-\mu_x(Z, E) \cdot x) dE \quad (3)$$

где  $I_x$  обозначает измеренную напряженность посланных рентгеновских лучей;  $I_{x0}(E)$  обозначает измеренную напряженность падающего непрерывного спектрального рентгеновского излучения с пороговой энергией  $E_{xb}(\text{MeV})$ ;  $\mu_x(Z, E)$  обозначает сумму линейных коэффициентов затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного предмета для рентгеновского излучения, которая является функцией эффективного атомного номера  $Z$  инспектируемого предмета и энергии прошедшего рентгеновского излучения  $E(\text{MeV})$ .

35

В случае если нейтронный пучок лучей и рентгеновский пучок лучей оба являются непрерывными спектральными распределениями, для распознавания материалов используется следующая нелинейная система интегральных уравнений (4):

40

$$45 \quad \left\{ \begin{array}{l} T_n(E, x, Z) = \frac{\int_0^{E_{nb}} I_{n0}(E) e^{-\mu_n(E, Z)x} dE}{\int_0^{E_{nb}} I_{n0}(E) dE} \\ T_x(E, x, Z) = \frac{\int_0^{E_{nb}} I_{x0}(E) e^{-\mu_x(E, Z)x} dE}{\int_0^{E_{nb}} I_{x0}(E) dE} \end{array} \right. \quad (4)$$

где  $T_n(E, x, Z)$  обозначает проникаемость облученного предмета с эффективным атомным номером  $Z$  и толщиной  $x$  (см) для потока нейтронов с пороговой энергией  $E_{nb}(\text{MeV})$ ;  $I_{n0}(E)$  обозначает напряженность бомбардирующих нейтронов с энергией  $E(\text{MeV})$ ;  $\mu_n(Z, E)$  обозначает сумму линейных коэффициентов затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного

50

предмета для нейтронов, которая является функцией эффективного атомного числа  $Z$  контролируемого предмета и энергии бомбардирующих нейтронов  $E(\text{MeV})$ ;  $T_x(E, x, Z)$  обозначает проникаемость облученного предмета с эффективным атомным номером  $Z$  и толщиной  $x$  (см) для потока рентгеновского излучения с пороговой энергией  $E_{xb}(\text{MeV})$ ;

5  $I_{x0}(E)$  обозначает измеренную напряженность падающего непрерывного спектрального рентгеновского излучения с энергией  $E(\text{MeV})$ ;  $\mu_x(Z, E)$  обозначает сумму линейных коэффициентов затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного предмета для рентгеновского излучения, которая является функцией эффективного атомного номера  $Z$  инспектируемого предмета и энергии прошедшего рентгеновского излучения  $E(\text{MeV})$ .

10 В случае если нейтронный пучок лучей 16 является моноэнергетичным, а рентгеновский пучок лучей 26 - непрерывным спектральным распределением, для распознавания материалов используется следующая нелинейная система интегральных уравнений (5):

$$15 \left\{ \begin{array}{l} T_n(E_n, x, Z) = I_{n0}(E) e^{-\mu_n(E, Z)x} \\ T_x(E, x, Z) = \frac{\int_0^{E_{rb}} I_{x0}(E) e^{-\mu_x(E, Z)x} dE}{\int_0^{E_{xb}} I_{x0}(E) dE} \end{array} \right. \quad (5)$$

где  $T_n(E, x, Z)$  обозначает проникаемость облученного предмета с эффективным атомным номером  $Z$  и толщиной  $x$  (см) для потока нейтронов с пороговой энергией  $E_{nb}(\text{MeV})$ ;  $I_{n0}(E)$  обозначает напряженность бомбардирующих нейтронов с энергией  $E(\text{MeV})$ ;  $\mu_n(Z, E)$  обозначает линейный коэффициент затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного предмета для нейтронов, который является функцией эффективного атомного числа  $Z$  контролируемого предмета и энергии бомбардирующих нейтронов  $E(\text{MeV})$ ;  $T_x(E, x, Z)$  обозначает

25 проникаемость облученного предмета с эффективным атомным номером  $Z$  и толщиной  $x$  (см) для потока рентгеновского излучения с пороговой энергией  $E_{xb}(\text{MeV})$ ;  $I_{x0}(E)$  обозначает измеренную напряженность падающего непрерывного спектрального рентгеновского излучения с энергией  $E(\text{MeV})$ ;  $\mu_x(Z, E)$  обозначает сумму линейных коэффициентов затухания ( $\text{см}^{-1}$ ) материала облученного предмета для рентгеновского

30 излучения, которая является функцией эффективного атомного номера  $Z$  инспектируемого предмета и энергии прошедшего рентгеновского излучения  $E(\text{MeV})$ .

Решения системы уравнений (4) или (5) не связаны с толщиной облученного предмета, а определяются только  $Z$ -зависимостью. Таким образом, это может использоваться для распознавания материалов.

35 В настоящем изобретении есть две модели сканирования. В первой модели корпуса нейтронного сканирующего устройства и рентгеновского сканирующего устройства движутся, в то время как инспектируемый объект 34 находится в неподвижном положении. В другой модели инспектируемый объект 34 движется вдоль рельса 32, в то время как нейтронное сканирующее устройство и рентгеновское сканирующее устройство находятся в

40 стационарном положении.

Следует понимать, что настоящее изобретение может быть осуществлено и другим способом, нежели способами, описанными выше в качестве вариантов, а так же возможны изменения и вариации в рамках настоящего изобретения.

#### 45 Формула изобретения

1. Способ распознавания веществ с помощью быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения, включающий

(а) облучение инспектируемого объекта пучком лучей быстрых нейтронов, произведенных источником быстрых нейтронов, и пучком лучей непрерывного

50 спектрального рентгеновского излучения, произведенного источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения;

(б) прямое измерение интенсивности прошедшего рентгеновского излучения и интенсивности прошедших нейтронов рентгеновской детекторной матрицей и нейтронной

детекторной матрицей соответственно; и

(с) идентификацию материалов/веществ инспектируемого объекта с помощью кривых Z-зависимостей, сформированных разностями коэффициента ослабления между нейтронным лучом и рентгеновским лучом, прошедшими через различные материалы инспектируемого

5

2. Способ по п. 1, дополнительно включающий

(d) формирование прошедшего 2-мерного рентгеновского изображения и прошедшего нейтронного изображения для той же развертки (скана).

10

3. Способ по п. 1, в котором источником быстрых нейтронов служит нейтронный генератор, либо изотопный нейтронный источник, либо источник фотонейтронов, а источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения служит линейный ускоритель электронов либо рентгеновская установка.

15

4. Способ по п. 3, в котором источником фотонейтронов служит ускоритель, генерирующий пучок рентгеновских лучей, часть которого сталкивается с преобразователем фотонейтронов и преобразуется в фотонейтроны.

20

5. Способ по п. 4, в котором распределительный коллиматор делит рентгеновский пучок лучей, произведенный акселератором, на два пучка лучей, при этом один пучок коллимируется с помощью рентгеновского коллиматора ограничения пучка для формирования рентгеновского пучка лучей, а другой пучок лучей сталкивается с преобразователем фотонейтронов и преобразуется в фотонейтроны для формирования пучка лучей фотонейтронов с помощью коллиматора ограничения пучка.

25

6. Способ по любому из пп. 1-3, в котором пучок лучей быстрых нейтронов и непрерывный спектральный рентгеновский пучок лучей измеряются рентгеновской детекторной матрицей, обладающей высокой эффективностью обнаружения рентгеновского излучения, и нейтронной детекторной матрицей, обладающей высокой эффективностью обнаружения нейтронов.

30

7. Способ по п. 6, в котором вдоль сканирующего туннеля расположен корпус нейтронного сканирующего устройства, включающего источник быстрых нейтронов и нейтронную детекторную матрицу, при этом корпус нейтронного сканирующего устройства расположен параллельно корпусу рентгеновского сканирующего устройства, включающего рентгеновский источник и рентгеновскую детекторную матрицу.

35

8. Способ по п. 7, в котором корпус рентгеновского сканирующего устройства расположен первым вдоль линии направления сканирования, а корпус нейтронного сканирующего устройства - вторым, таким образом, что инспектируемый объект сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

40

9. Способ по п. 8, в котором нейтронный источник и рентгеновский источник посылают импульсы одновременно, при этом время излучения источника нейтронного импульса осуществляется с задержкой по сравнению со временем излучения импульса источника рентгеновского излучения.

45

10. Способ по п. 1 или 2, в котором идентификация материалов включает измерение интенсивности  $T_n$  нейтронов, прошедших через инспектируемый объект, каждым нейтронным детектором в нейтронной детекторной матрице; измерение интенсивности  $T_x$  рентгеновских лучей, прошедших через инспектируемый объект, каждым рентгеновским детектором в рентгеновской детекторной матрице; построение Z-зависимостей для пар  $(c_1, c_2)$ , где  $c_1=f_1(T_x)$  используется как x-координата и  $c_2=f_2(T_n, T_x)$  используется как y-координата, при этом  $c_1=f_1(T_x)$  обозначает функцию коэффициента ослабления рентгеновских лучей, а  $c_2=f_2(T_n, T_x)$  обозначает функцию разности коэффициента ослабления нейтронов и рентгеновских лучей;

50

идентификацию различных материалов инспектируемого объекта с использованием кривых Z-зависимостей; и

отображение идентифицированных различных веществ разными цветами на изображении распознавания материалов.

11. Способ по п. 10, в котором одно значение пикселя изображения переданных нейтронов образует пару со средним значением одного или нескольких пикселей изображения переданного рентгеновского излучения для составления ( $c_1$ ,  $c_2$ ) пары на одной из кривых Z-зависимости.

5 12. Способ по п. 11, в котором используются две модели сканирования для формирования изображения прошедшего рентгеновского излучения и изображения прошедших нейтронов, при этом первая модель предусматривает перемещение корпусов нейтронного сканирующего устройства и рентгеновского сканирующего устройства, в то время как инспектируемый объект остается неподвижным; а во второй модели  
10 сканирования инспектируемый объект движется вдоль сканирующего туннеля, в то время как корпус нейтронного сканирующего устройства и корпус рентгеновского сканирующего устройства стационарны.

13. Устройство для осуществления способа распознавания материалов с помощью быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения по п.1,  
15 включающее

источник быстрых нейтронов для получения нейтронов;

источник непрерывного спектрального рентгеновского излучения для получения рентгеновского излучения;

нейтронную детекторную матрицу для обнаружения нейтронов; и

20 рентгеновскую детекторную матрицу для обнаружения рентгеновского излучения,

при этом источник быстрых нейтронов и источник непрерывного спектрального рентгеновского излучения расположены на одной стороне сканирующего туннеля, а нейтронная детекторная матрица и рентгеновская детекторная матрица расположены на противоположной стороне сканирующего туннеля.

25 14. Устройство по п. 13, в котором

рентгеновское излучение, произведенное рентгеновским источником, коллимируется в рентгеновский пучок лучей, который направляется на рентгеновскую детекторную матрицу, рентгеновский пучок лучей проходит через инспектируемый объект и попадает на рентгеновскую детекторную матрицу;

30 нейтроны, произведенные источником быстрых нейтронов, коллимируются в нейтронный пучок лучей, который направляется на нейтронную детекторную матрицу, нейтронный пучок лучей проходит через инспектируемый объект и попадает на нейтронную детекторную матрицу.

15. Устройство по п. 13, в котором

35 источником быстрых нейтронов является нейтронный генератор, либо изотопный нейтронный источник, либо источник фотонейтронов; а

источником непрерывного спектрального рентгеновского излучения является линейный ускоритель электронов либо рентгеновская установка.

40 16. Устройство по п. 13, в котором вдоль сканирующего туннеля расположен корпус нейтронного сканирующего устройства, включающего источник быстрых нейтронов и нейтронную детекторную матрицу, параллельно корпусу рентгеновского сканирующего устройства, включающего рентгеновский источник и рентгеновскую детекторную матрицу.

45 17. Устройство по п. 16, в котором корпус рентгеновского сканирующего устройства расположен первым вдоль линии направления сканирования, а корпус нейтронного сканирующего устройства вторым, таким образом, что инспектируемый объект сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

50 18. Устройство для осуществления способа распознавания материалов с помощью быстрых нейтронов и непрерывного спектрального рентгеновского излучения по п. 1, включающее

ускоритель, производящий непрерывное спектральное рентгеновское излучение и фотонейтроны;

нейтронную детекторную матрицу для обнаружения фотонейтронов; и

рентгеновскую детекторную матрицу для обнаружения рентгеновского излучения, при этом ускоритель расположен на одной стороне сканирующего туннеля, а нейтронная и рентгеновская детекторные матрицы расположены на другой стороне сканирующего туннеля.

5 19. Устройство по п. 18, включающее рентгеновский распределительный коллиматор, который установлен в рентгеновском окне излучения пучка лучей ускорителя, разделяющий рентгеновский пучок лучей на два пучка, из которых один пучок лучей коллимируется с помощью рентгеновского коллиматора ограничения пучка для формирования рентгеновского пучка лучей, а другой пучок лучей коллимируется и направляется в  
10 камеру усиления фотонейтронов.

20. Устройство по п. 19, включающее преобразователь фотонейтронов, который установлен в камере усиления фотонейтронов и расположен на пути рентгеновского пучка лучей, при этом рентгеновский пучок лучей сталкивается с преобразователем фотонейтронов и преобразуется в фотонейтроны для формирования пучка лучей  
15 фотонейтронов с помощью камеры усиления фотонейтронов и канала ограничения пучка лучей, связанного с камерой усиления фотонейтронов.

21. Устройство по п. 20, в котором рентгеновский пучок лучей посылается через инспектируемый объект и регистрируется рентгеновской детекторной матрицей, а пучок лучей фотонейтронов посылается через инспектируемый объект и регистрируется  
20 нейтронной детекторной матрицей.

22. Устройство по п. 21, в котором вдоль направления сканирования вначале установлен корпус рентгеновского сканирующего устройства, включающего рентгеновский пучок лучей и рентгеновскую детекторную матрицу, а корпус нейтронного сканирующего устройства, включающий пучки лучей фотонейтронов и нейтронную детекторную матрицу,  
25 установлен позади, то есть инспектируемый объект сначала просматривается в корпусе рентгеновского сканирующего устройства, а затем в корпусе нейтронного сканирующего устройства.

23. Устройство по п. 20, в котором преобразователь фотонейтронов содержит бериллий или другой материал и имеет форму сферического купола, цилиндра, конуса, Г-образной  
30 пластины или другую форму.

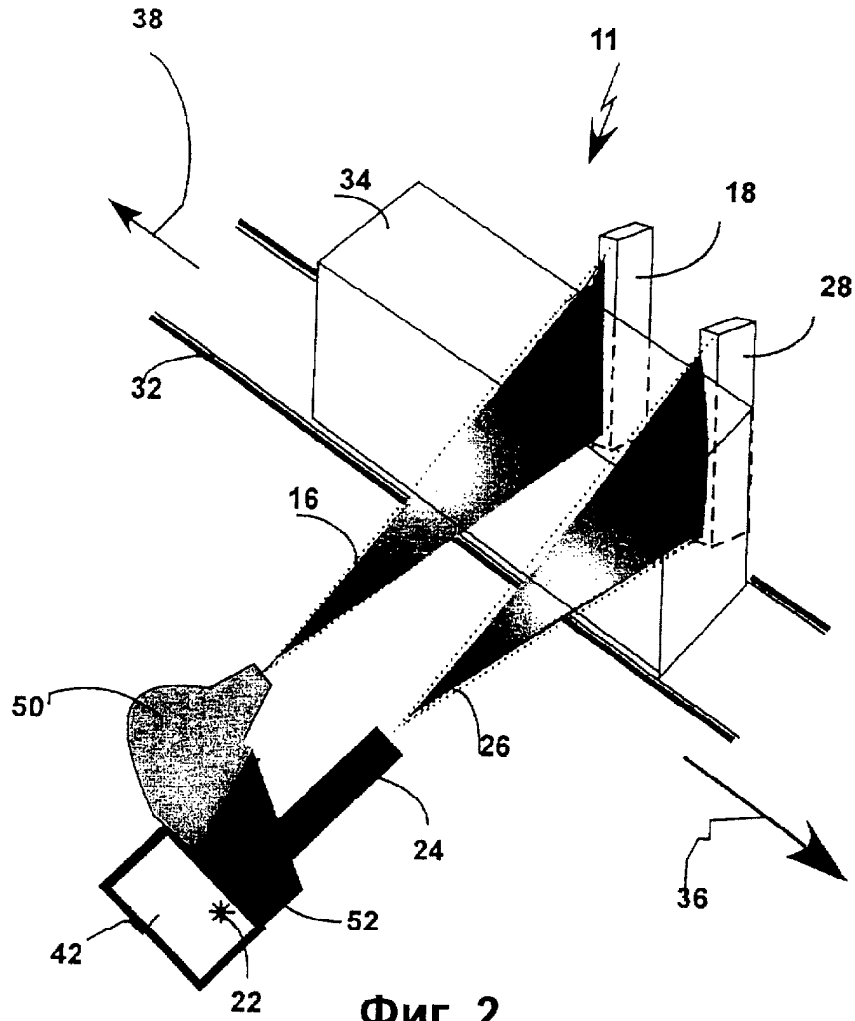
24. Устройство по п. 20, в котором между окном излучения фотонейтронов камеры усиления фотонейтронов и канала ограничения пучка лучей на пути пучка лучей фотонейтронов устанавливается висмутовый фильтр.

25. Устройство по п. 20, в котором камера усиления фотонейтронов включает свинцовые  
35 и графитовые слои или другой материал.

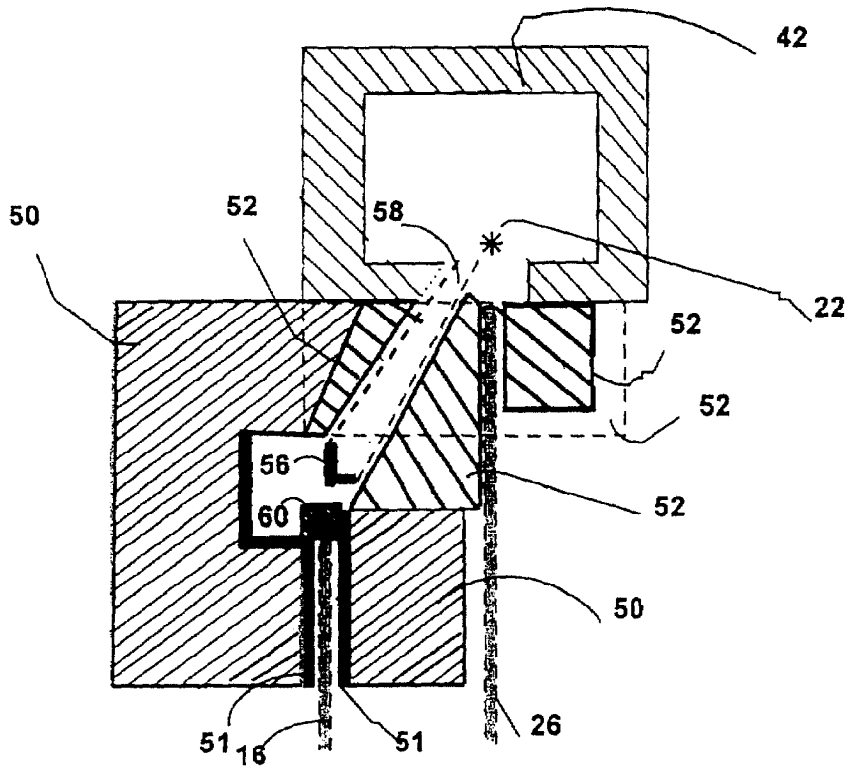
40

45

50



Фиг. 2



Фиг. 3