



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2004107787/28, 17.03.2004

(24) Дата начала действия патента: 17.03.2004

(45) Опубликовано: 10.10.2005 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2065156 C1, 10.08.1998. RU 2079835 C1, 20.05.1997. RU 2046324 C1, 20.10.1995. US 5124554 A, 23.06.1992. GB 1392169 A, 30.04.1975. GB 2242520 A, 02.10.1991.

Адрес для переписки:

193079, Санкт-Петербург, а/я 84, ОАО "Научно-технический центр "РАТЭК", Ю.И.Ольшанскому

(72) Автор(ы):

Брук И.Б. (RU),
Сорокин А.Г. (RU)

(73) Патентообладатель(ли):

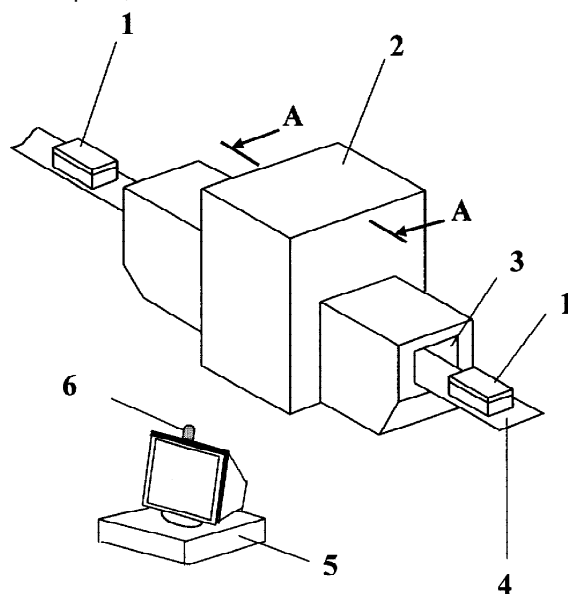
Открытое акционерное общество "Научно-технический центр "РАТЭК" (RU)

(54) СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ВЗРЫВЧАТОГО ВЕЩЕСТВА В КОНТРОЛИРУЕМОМ ПРЕДМЕТЕ

(57) Реферат:

Использование: для обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете. Сущность: заключается в том, что облучают тепловыми нейтронами камеру, оснащенную радиационной защитой и, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения, регистрируют гамма-излучение путем преобразования гамма-квантов в электрические импульсы и сравнения их амплитуд с пороговыми значениями, определяют энергетический спектр гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, и в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов, по меньшей мере, одного химического элемента, входящего в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения, определяют точку максимума и точку спада энергетического спектра в указанных интервалах энергии, определяют амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада, и обеспечивают соответствие амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада, расчетным значениям. Затем размещают контролируемый

предмет в камере, облучают контролируемый предмет тепловыми нейтронами, регистрируют гамма-излучение, определяют нижнее и верхнее пороговые значения и принимают решение о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете при превышении порогового значения. Технический результат: снижение вероятностей пропуска взрывчатого вещества и ложной тревоги. 6 з.п. ф-лы, 8 ил.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2004107787/28, 17.03.2004**

(24) Effective date for property rights: **17.03.2004**

(45) Date of publication: **10.10.2005 Bull. 28**

Mail address:

**193079, Sankt-Peterburg, a/ja 84, OAO
"Nauchno-tehnicheskij tsentr "RATEhK",
Ju.I.Ol'shanskomu**

(72) Inventor(s):

**Bruk I.B. (RU),
Sorokin A.G. (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Otkrytoe aktsionernoe obshchestvo "Nauchno-
tehnicheskij tsentr "RATEhK" (RU)**

(54) **MEETHOD FOR DETECTION OF EXPLOSIVE IN INSPECTED SUBJECT**

(57) Abstract:

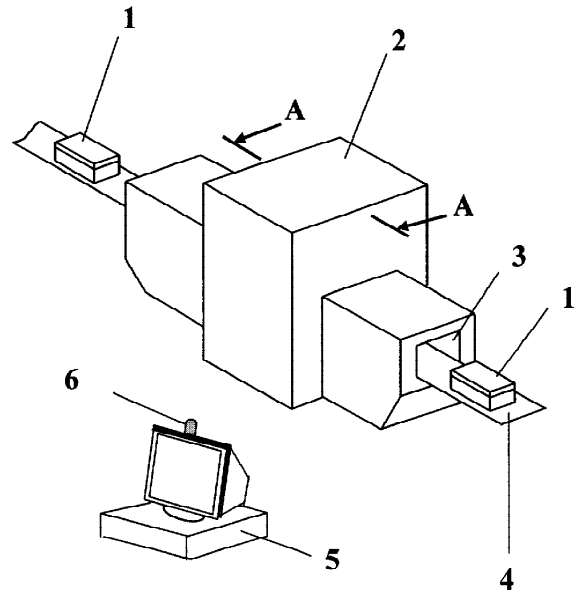
FIELD: detection of explosive in inspected subject.

SUBSTANCE: a camera provided with a radiation protection is irradiated by thermal neutrons, and at least by one detector of gamma-radiation, gamma-radiation is registered by transformation of gamma quanta into electric pulses and comparison of their amplitudes with the threshold values, energy spectrum of gamma-radiation is determined at least within the interval of the energy of gamma-quantum, including the upper limit of the values of the energy of gamma-quantum emitted at interaction with thermal neutrons atom nucleus at least of one chemical element in composition of the materials of the chamber, radiation protection or detector of gamma radiation, the point of the maximum and the point of the decrease of the energy spectrum in the mentioned intervals of energy are determined, the amplitudes of the electric pulses are determined from gamma-quantum with energies corresponding to the energies of the points of maximum a decrease, corresponding to the energies of the points of maximum and decrease, ratings. Then the subject under inspection is placed in the chamber, the subject under inspection is irradiated by thermal neutrons, the gamma-

radiation is registered, the lower and upper threshold values are determined, and a decision is taken on presence of explosive in the subject under inspection at an excess of the threshold value.

EFFECT: reduced probabilities of omission of explosive and false alarm.

8 dwg



ФИГ. 1

Область техники, к которой относится изобретение

Предлагаемое изобретение относится к области нейтронно-радиационного анализа материалов и преимущественно может быть использовано в целях борьбы с терроризмом и организованной преступностью для обнаружения азотосодержащих взрывчатых веществ в контролируемых предметах без их вскрытия.

Уровень техники

Противодействие незаконному обороту взрывчатых веществ и террористическим актам с их использованием стало одной из основных задач деятельности служб безопасности в борьбе с международным терроризмом и организованной преступностью. Одно из направлений этого противодействия связано с организацией в аэропортах, в государственных и дипломатических учреждениях, на атомных электростанциях контроля таких предметов, как портфели, сумки, баулы, чемоданы, электронная аппаратура, компьютеры, мобильные телефоны и тому подобное, а также почтовых отправлений, поскольку именно они наиболее часто используются преступниками для размещения взрывчатых веществ при их незаконной транспортировке или совершении террористических актов. Необходимость контроля больших потоков почтовых отправлений или проведения досмотра ручной клади и багажа пассажиров, прежде всего, на авиационном транспорте, в условиях ограниченного времени, отводимого для контроля или досмотра, требует применения способов и реализующих их технических средств, не предусматривающих вскрытие и визуальный досмотр каждого контролируемого предмета, но обеспечивающих оперативное обнаружение взрывчатых веществ с высокой вероятностью правильного обнаружения при малом числе ложных тревог.

Среди многочисленных известных способов обнаружения взрывчатых веществ в контролируемых предметах практическое применение в настоящее время нашли три группы способов.

Первая группа объединяет способы (Patrick Flanagan, "Technology vs. terror", EUSA, 1989, N7, pp.46-49, 51, рекламные проспекты и информационные листы фирмы EG&G Astrophysics Research Corporation, Лонг-Бич, Калифорния, США и фирмы In Vision Technologies, Фостер Сити, Калифорния, США), которые используют для обнаружения взрывчатых веществ рентгеновское излучение и предусматривают облучение контролируемого предмета рентгеновским излучением с энергией 100-150 кэВ, регистрацию прошедшего через контролируемый предмет рентгеновского излучения и идентификацию взрывчатого вещества на основании величины ослабления рентгеновского излучения материалами, содержащимися в контролируемом предмете, в зависимости от атомных номеров входящих в их состав химических элементов.

Поскольку современные взрывчатые вещества, в особенности пластиковые, состоят преимущественно из химических элементов с малым атомным номером, они слабо поглощают рентгеновское излучение с энергией 100-150 кэВ. Это обстоятельство затрудняет эффективное обнаружение взрывчатых веществ в случаях нетрадиционной формы их исполнения или маскировки путем размещения, например, в кусках мыла или электронной аппаратуре. Практика применения способов обнаружения с использованием рентгеновского излучения показала, что с их помощью взрывчатые вещества могут быть обнаружены не более чем в 40-60% случаев.

Вторая группа способов основана на том, что большинство взрывчатых веществ относятся к классу высоколетучих органических соединений, характеризующихся высоким давлением паров. Данные способы (Hughes D. Thermedics Begins Production Of Bomb Detection Unit. - Aviation Week & Space Technology, June 19, 1989) предусматривают проведение с использованием методов газовой хроматографии или спектрометрии подвижности ионов химического анализа выделяемых контролируемым предметом паров взрывчатого вещества и его частиц, которые в микроскопических количествах могут находиться на поверхности контролируемого предмета. По результатам этого анализа принимается решение о наличии в контролируемом предмете взрывчатого вещества. Подобный способ реализован, например, в системе обнаружения взрывчатых веществ и

наркотиков IONSCAN 350 производства фирмы Barringer Instruments Ltd, Канада (Intersec. The Journal of International Security, Vol.3, No.6, November 1993).

Реализующие указанные способы технические средства имеют высокую чувствительность, но не позволяют обнаруживать обладающие наибольшей мощностью
5 пластиковые взрывчатые вещества из-за их очень низкого давления паров. Кроме того, эти способы не обеспечивают обнаружение всех видов взрывчатых веществ, если они размещены в герметичной упаковке или в упаковке, подвергнутой специальной обработке.

Третья группа способов обнаружения взрывчатого вещества основана на определении
10 наличия основных химических элементов, входящих в его состав, с использованием нейтронно-радиационного анализа.

Относящиеся к этой группе известные способы обнаружения взрывчатого вещества и реализующие их установки (US 5078952, 1992, US 5114662, 1992, US 5144140, 1992, US 5153439, 1992, EP 0295429, 1992, EP 0297249, 1993, EP 0336634, 1993, US 5388128, 1995, RU 2206080, 2003) предусматривают размещение контролируемого предмета в
15 камере с радиационной защитой, облучение его тепловыми нейтронами, регистрацию испускаемого контролируемым предметом гамма-излучения с энергией квантов около 10,8 МэВ, получение на основании результатов регистрации гамма-излучения распределения концентрации азота в контролируемом предмете и определение наличия в нем взрывчатого вещества по факту повышенной концентрации азота.

Как известно, все современные взрывчатые вещества содержат довольно большое количество азота, составляющее от 9 до 35 массовых процентов при плотности взрывчатых
20 веществ от 1,25 до 2,00 г/см³. При облучении взрывчатого вещества тепловыми нейтронами с энергией около 0,025 эВ происходит радиационный захват тепловых нейтронов ядрами атомов азота-14, в результате чего образуются ядра атомов азота-15 в возбужденном состоянии. При переходе из возбужденного состояния в основное состояние
25 в среднем около 14% ядер атомов азота-15 испускают гамма-кванты с энергией около 10,8 МэВ. Регистрация и подсчет гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ позволяет получить информацию о концентрации азота в контролируемом предмете и принять решение о наличии в нем взрывчатого вещества по факту повышенной концентрации азота.

Известны также способы обнаружения взрывчатого вещества и реализующие их
30 установки, основанные на нейтронно-радиационном анализе материалов (US 5080856, 1992, US 5200626, 1993), которые предусматривают помещение контролируемого предмета в камеру с радиационной защитой, одновременное облучение контролируемого предмета тепловыми нейтронами с энергией около 0,025 эВ и быстрыми нейтронами с энергией
35 около 14 МэВ, регистрацию гамма-излучения с энергией квантов около 10,8 МэВ, испускаемого при радиационном захвате тепловых нейтронов ядрами атомов азота-14, и гамма-излучения с энергией квантов около 6,1 МэВ, испускаемого ядрами атомов кислорода-16 в возбужденном состоянии, образовавшихся в результате взаимодействия быстрых нейтронов со стабильными ядрами атомов кислорода, получение на основании
40 результатов регистрации гамма-излучения информации о концентрации азота и кислорода в контролируемом предмете и принятие решения о наличии в нем взрывчатого вещества по факту повышенной концентрации азота и кислорода, а также по величине их соотношения.

Известно, что все взрывчатые вещества имеют не только большую плотность азота, но и
45 высокую плотность кислорода, величина которой для основных видов взрывчатых веществ лежит в диапазоне примерно от 0,80 до 1,15 г/см³. При этом практически все известные материалы, не являющиеся взрывчатыми веществами, но вызывающие ложные тревоги из-за относительно большой плотности содержащегося в них азота, например нейлон, шелк, шерсть, кожа, меламин и другие, имеют низкую плотность кислорода. Таким образом,
50 стало возможным, используя ядерные взаимодействия быстрых нейтронов с энергией около 14 МэВ с ядрами атомов кислорода-16, зарегистрировать испускаемое ими гамма-излучение с энергией гамма-квантов около 6,1 МэВ и получить дополнительную информацию о плотности кислорода в контролируемом предмете. Совместное

рассмотрение полученных результатов регистрации интенсивности гамма-излучения от азота и кислорода дает возможность принять решение о наличии или отсутствии в контролируемом предмете взрывчатого вещества. Такая дополнительная регистрация гамма-излучения с энергией квантов около 6,1 МэВ повышает вероятность правильного обнаружения взрывчатого вещества при осуществлении этих способов.

Однако использование для облучения контролируемого предмета быстрых нейтронов, обладающих значительно большей энергией, чем тепловые нейтроны, требует применения дополнительной радиационной защиты для камеры в целях обеспечения действующих требований по защите персонала и населения от воздействия ионизирующих излучений, что приводит к увеличению массы, габаритов и стоимости реализующего этот способ устройства. Кроме того, использование быстрых нейтронов вызывает увеличение величины поглощенной контролируемым предметом дозы излучения, что может привести к ухудшению потребительских свойств содержащихся в нем промышленных изделий, например электронной аппаратуры и фотографических материалов.

При осуществлении всех перечисленных известных способов обнаружения взрывчатых веществ, основанных на нейтронно-радиационном анализе, регистрацию гамма-излучения выполняют, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения, содержащим сцинтиллятор на основе йодистого натрия, активированного таллием, и находящийся с ним в оптическом контакте фотоэлектронный умножитель. При регистрации гамма-кванты, испускаемые контролируемым предметом и попадающие в сцинтиллятор детектора гамма-излучения, вызывают в нем световые вспышки, яркость которых пропорциональна энергиям гамма-квантов. Фотоэлектронный умножитель детектора гамма-излучения преобразует испускаемое сцинтиллятором оптическое излучение световых вспышек в электрические импульсы с амплитудой, пропорциональной энергиям попавших в сцинтиллятор гамма-квантов, которые после усиления усилителем поступают на амплитудный анализатор, выполняющий выделение электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии испускаемого ядром атома азота гамма-кванта около 10,8 МэВ или энергии испускаемого ядром атома кислорода гамма-кванта около 6,1 МэВ, на основании сравнения их с верхним и нижним пороговыми значениями. Подсчет количества выделенных импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ или с энергиями около 10,8 МэВ и 6,1 МэВ дает информацию о концентрации соответственно только азота или азота и кислорода в контролируемом предмете.

Однако, коэффициент передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения, испускаемого контролируемым предметом, от сцинтиллятора до амплитудного анализатора существенно зависит от нестабильности параметров и старения элементов оптико-электронного тракта, нестабильности его напряжения питания, а также от таких условий окружающей среды, как уровень ионизирующего излучения, температура, давление и влажность окружающего воздуха. Кроме того, коэффициент передачи сцинтиллятора во многом зависит также от частоты прихода попадающих в него гамма-квантов, которая может существенно меняться в зависимости от наличия различных химических элементов в составе находящихся в контролируемом предмете материалов.

Во-первых, это приводит к нестабильности амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ и 6,1 МэВ, испускаемых ядрами атомов соответственно азота и кислорода, и отклонению его от расчетного значения. В результате этого при регистрации гамма-излучения, в случае выхода амплитудного значения этих электрических импульсов за пределы диапазона между нижним и верхним пороговыми значениями, они не будут выделены амплитудным анализатором и поэтому не будут зарегистрированы. Данное обстоятельство вызывает увеличение вероятности пропуска взрывчатого вещества при его обнаружении.

Во-вторых, в условиях, когда в контролируемом предмете содержатся материалы, состоящие, кроме азота и кислорода, из целого ряда других химических элементов, ядра атомов этих химических элементов при взаимодействии с тепловыми нейтронами или с тепловыми и быстрыми нейтронами также испускают гамма-излучение с энергиями гамма-

квантов достаточно широкого диапазона спектра, в том числе с энергиями, достаточно близкими по значению к 10,8 МэВ и 6,1 МэВ. В частности, ядра атомов таких химических элементов, как, например, хром, селен, железо и кремний, испускают гамма-кванты с энергиями, достаточно близкими по значению к 10,8 МэВ, а ядра атомов таких химических элементов, как, например, хлор, марганец, натрий и железо, испускают гамма-кванты с энергиями, близкими по значению к 6,1 МэВ. При регистрации гамма-излучения из-за нестабильности амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов, испускаемых ядрами атомов таких химических элементов, возможно попадание амплитудного значения этих электрических импульсов в диапазон между нижним и верхним пороговыми значениями. В результате этого они будут выделены амплитудным анализатором и ошибочно зарегистрированы в качестве электрических импульсов от гамма-квантов с энергией 10,8 МэВ и 6,1 МэВ, якобы испущенных ядрами атомов соответственно азота и кислорода. Данное обстоятельство вызывает увеличение вероятности ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества.

Наиболее близким по технической сущности к настоящему изобретению следует считать способ обнаружения оружия и взрывчатых веществ в контролируемых предметах (RU 2065156, 1996, G 01 N 23/222, G 01 N 23/223), основанный на совместном использовании методов рентгенографии и нейтронно-радиационного анализа материалов. Данный известный способ обнаружения оружия и взрывчатых веществ в контролируемых предметах включает после первоначального обнаружения оружия и взрывчатого вещества с использованием рентгенографии размещение контролируемого предмета в камере с радиационной защитой и, по меньшей мере, с одним детектором гамма-излучения, облучение контролируемого предмета тепловыми нейтронами, регистрацию испускаемого контролируемым предметом гамма-излучения путем преобразования гамма-квантов, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения в электрические импульсы с амплитудами, пропорциональными энергиям гамма-квантов, и сравнения амплитуд электрических импульсов с пороговыми значениями, выделение электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-кванта около 10,8 МэВ, определение интенсивности гамма-излучения с энергией гамма-квантов около 10,8 МэВ и принятие решения о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете при превышении интенсивностью гамма-излучения с энергией гамма-квантов около 10,8 МэВ ее порогового значения.

Как и при осуществлении всех описанных выше известных способов обнаружения взрывчатого вещества, основанных на использовании нейтронно-радиационного анализа, при осуществлении данного известного способа для обнаружения взрывчатого вещества регистрацию гамма-излучения, испускаемого контролируемым предметом, выполняют, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения, который содержит сцинтиллятор на основе йодистого натрия, активированного таллием, и находящийся с ним в оптическом контакте фотоэлектронный умножитель. При регистрации испускаемые контролируемым предметом и попадающие в сцинтиллятор детектора гамма-излучения гамма-кванты вызывают в нем световые вспышки, яркость которых пропорциональна энергиям гамма-квантов. Фотоэлектронный умножитель детектора гамма-излучения преобразует испускаемое сцинтиллятором оптическое излучение световых вспышек в электрические импульсы с амплитудой, пропорциональной энергиям попавших в сцинтиллятор гамма-квантов, которые после усиления усилителем поступают на амплитудный анализатор, выполняющий выделение электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-кванта около 10,8 МэВ, на основании сравнения их с верхним и нижним пороговыми значениями. Подсчет количества выделенных импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ дает информацию о концентрации азота в контролируемом предмете.

Вместе с тем коэффициент передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения, испускаемого контролируемым предметом, от сцинтиллятора до амплитудного анализатора и фоновый электрический сигнал на его выходе существенным образом

зависят от нестабильности параметров и старения элементов оптико-электронного тракта, нестабильности его напряжения питания, а также от таких условий окружающей среды, как уровень ионизирующего излучения, температура, давление и влажность окружающего воздуха. При этом коэффициент передачи сцинтиллятора детектора гамма-излучения, а также его фоновые световые вспышки во многом зависят также от частоты прихода попадающих в него гамма-квантов, которая может существенно меняться в зависимости от наличия различных химических элементов в составе находящихся в контролируемом предмете материалов. Так, например, наличие в контролируемом предмете хлора или кадмия в количестве 200-500 г приводит к увеличению частоты прихода гамма-квантов в сцинтиллятор в 1,3-1,5 раза, что вызывает увеличение его коэффициента передачи на 10-17%, а наличие воды в количестве 1 кг уменьшает частоту прихода гамма-квантов в сцинтиллятор в 1,1-1,2 раза, уменьшая его коэффициент передачи на 6-12%.

С одной стороны, это приводит к нестабильности амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, испускаемых ядрами атомов азота, и отклонению его от расчетного значения, в результате чего при регистрации, в случае выхода амплитудного значения электрических импульсов за пределы диапазона между нижним и верхним пороговыми значениями, они не будут выделены амплитудным анализатором и поэтому не будут зарегистрированы. Данное обстоятельство вызывает увеличение вероятности пропуска взрывчатого вещества при его обнаружении.

С другой стороны, в условиях, когда в контролируемом предмете содержатся материалы, состоящие, кроме азота, из целого ряда других химических элементов, ядра атомов этих химических элементов при взаимодействии с тепловыми нейтронами также испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов достаточно широкого диапазона спектра. При этом ядра атомов таких химических элементов, как, например, хром, селен, железо и кремний, испускают гамма-кванты с энергиями, достаточно близкими по значению к 10,8 МэВ. При регистрации гамма-излучения из-за нестабильности амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов, испускаемых ядрами атомов таких химических элементов, возможно попадание амплитудного значения этих электрических импульсов в диапазон между нижним и верхним пороговыми значениями, в результате чего они будут выделены амплитудным анализатором и ошибочно зарегистрированы в качестве электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, якобы испущенных ядрами атомов азота. Данное обстоятельство вызывает увеличение вероятности ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества.

Недостатками способа обнаружения оружия и взрывчатых веществ в контролируемых предметах, выбранного за ближайший аналог, являются высокие значения вероятностей пропуска взрывчатого вещества и ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества с использованием нейтронно-радиационного анализа.

Раскрытие изобретения

Задачей настоящего изобретения является снижение вероятностей пропуска взрывчатого вещества и ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества с использованием нейтронно-радиационного анализа.

Поставленная задача решается согласно изобретению тем, что предлагаемый способ обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете, включающий в соответствии с ближайшим аналогом размещение контролируемого предмета в камере, оснащенной радиационной защитой и, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения, облучение контролируемого предмета тепловыми нейтронами, регистрацию испускаемого гамма-излучения путем преобразования гамма-квантов, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения в электрические импульсы с амплитудами, пропорциональными энергиям гамма-квантов, и сравнения амплитуд электрических импульсов с пороговыми значениями, выделение электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, путем сравнения их амплитуд с нижним и верхним пороговыми значениями, подсчет выделенных электрических импульсов, принятие

решения о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете при превышении количеством подсчитанных электрических импульсов его порогового значения, отличается от ближайшего аналога тем, что перед размещением контролируемого предмета облучают тепловыми нейтронами камеру, определяют энергетический спектр зарегистрированного

5 гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, и в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов, по меньшей мере, одного химического элемента, входящего в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения,

10 определяют точку максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, и точку спада энергетического спектра в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов указанного химического элемента, определяют амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов

15 с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра зарегистрированного гамма-излучения, обеспечивают соответствие амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, расчетным значениям, при облучении контролируемого предмета тепловыми нейтронами определяют энергетический спектр

20 зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, определяют точку максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, определяют амплитуду электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, и с учетом указанной амплитуды определяют нижнее и верхнее пороговые значения для выделения электрических импульсов с амплитудой,

25 пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, при этом определение нижнего и верхнего пороговых значений для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, осуществляют в соответствии с выражением $U_{\text{пор}} = E_{\text{пор}} U_{\text{в}} / E_{\text{в}}$, где $U_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $E_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение энергии для выделения гамма-квантов с энергией, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $U_{\text{в}}$ - амплитуда электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ; $E_{\text{в}}$ - энергия гамма-кванта, испускаемого ядром атома водорода при взаимодействии с тепловым нейтроном, $E_{\text{в}} = 2,23$ МэВ.

30

При этом определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 6,826 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов йода, входящего в состав материала сцинтиллятора детектора

45 гамма-излучения, или в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 4,945 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов углерода, входящего в состав материала радиационной защиты камеры, или в интервале энергии гамма-квантов, включающем

50 верхний предел, равный 8,578 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов хлора, входящего в состав материала радиационной защиты камеры, или в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 7,724 МэВ, значений энергии гамма-квантов,

испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов алюминия, входящего в состав конструкционного материала камеры и детектора гамма-излучения, и определяют точку спада энергетического спектра в указанном интервале энергии гамма-квантов. Точки спада энергетического спектра в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов химических элементов, входящих в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения, определяют путем численного дифференцирования энергетического спектра, соответствие расчетным значениям амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, обеспечивают путем изменения коэффициента передачи электронного тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы и добавления к электрическим импульсам от гамма-квантов напряжения смещения.

Облучение тепловыми нейтронами перед размещением контролируемого предмета пустой камеры, оснащенной радиационной защитой и, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения, и регистрация испускаемого ею гамма-излучения путем преобразования гамма-квантов, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения в электрические импульсы с амплитудами, пропорциональными энергиям гамма-квантов, позволяет определить энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, и в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов, по меньшей мере, одного химического элемента, входящего в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения.

В качестве материала радиационной защиты камеры в большом количестве используется борированный полиэтилен, поскольку он эффективно поглощает нейтроны. Ввиду того что в состав полиэтилена входят водород, а также такие химические элементы, как углерод и хлор, в результате взаимодействия с тепловыми нейтронами ядра атомов этих химических элементов испускают гамма-излучение, которое вносит весьма существенный вклад в энергетический спектр гамма-излучения пустой камеры.

Было установлено, что ядра атомов водорода интенсивно испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов около 2,23 МэВ, что приводит к возникновению в энергетическом спектре гамма-излучения ярко выраженного максимума в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, вблизи указанного значения энергии гамма-квантов.

Ядра атомов хлора при взаимодействии с тепловыми нейтронами испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов, не превышающими значения верхнего предела, равного 8,578 МэВ. Из-за наличия хлора в материале радиационной защиты ядра атомов которого не испускают гамма-квантов с энергиями более 8,578 МэВ, энергетический спектр гамма-излучения имеет спад интенсивности для гамма-квантов с энергиями 8,578 МэВ и более. Ядра атомов углерода при взаимодействии с тепловыми нейтронами также испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов, не превышающими значения верхнего предела, равного 4,945 МэВ. Из-за высокой концентрации углерода в материале радиационной защиты ядра атомов которого не испускают гамма-квантов с энергиями более 4,945 МэВ, энергетический спектр гамма-излучения имеет спад интенсивности для гамма-квантов с энергиями 4,945 МэВ и более.

Как отмечалось, для регистрации гамма-излучения используют детекторы гамма-излучения, содержащие сцинтиллятор на основе йодистого натрия. Оказалось, что ядра атомов йода, содержащегося в составе материала сцинтиллятора детектора гамма-излучения, при взаимодействии с тепловыми нейтронами испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов, не превышающими значения верхнего предела, равного 6,826 МэВ. Ввиду того что источником гамма-квантов с энергиями указанных значений является сам материал сцинтиллятора, преобразующего при регистрации гамма-кванты в световые

вспышки, практически все гамма-кванты, испущенные ядрами атомов входящего в состав сцинтиллятора йода, регистрируются детектором гамма-излучения. Поскольку ядра атомов йода не испускают гамма-квантов с энергиями более 6,826 МэВ, энергетический спектр гамма-излучения пустой камеры имеет достаточно заметный спад интенсивности для

5 гамма-квантов с энергиями 6,826 МэВ и более.

В качестве конструкционного материала камеры с радиационной защитой широко используют сплавы на основе алюминия, который обладает сравнительно невысокой стоимостью и при облучении тепловыми нейтронами не испускает гамма-излучения с энергиями гамма-квантов, близкими по значению к энергиям испускаемых ядрами атомов

10 азота гамма-квантов. Кроме того, из алюминия выполняют корпус детектора гамма-излучения, поскольку благодаря низкому атомному номеру алюминия такой корпус эффективно пропускает гамма-излучение к детектору гамма-излучения. Ядра атомов алюминия при взаимодействии с тепловыми нейтронами испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов, не превышающими значения верхнего предела, равного 7,724

15 МэВ. Поэтому в энергетическом спектре гамма-излучения пустой камеры наблюдается спад его интенсивности для гамма-квантов с энергиями 7,724 МэВ и более.

Выполнение, например, численного дифференцирования энергетического спектра гамма-излучения по энергии позволяет выявить, по меньшей мере, одну точку спада энергетического спектра в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов химических элементов, входящих в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения. Указанная точка спада энергетического спектра гамма-излучения либо соответствует энергии гамма-квантов 6,826 МэВ и обусловлена гамма-излучением, испускаемым при взаимодействии с

20 тепловыми нейтронами ядрами атомов входящего в состав материала сцинтиллятора йода, либо соответствует энергии гамма-квантов 4,945 МэВ и обусловлена гамма-излучением, испускаемым при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов входящего в состав материала радиационной защиты углерода, либо соответствует энергии гамма-квантов 8,578 МэВ и обусловлена гамма-излучением, испускаемым при

30 взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов входящего в состав материала радиационной защиты хлора, либо соответствует энергии гамма-квантов 7,724 МэВ и обусловлена гамма-излучением, испускаемым при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов входящего в состав конструкционного материала камеры алюминия.

35 Анализ энергетического спектра гамма-излучения позволяет выявить точку максимума энергетического спектра гамма-излучения, которая соответствует энергии около 2,23 МэВ гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов водорода, входящего в состав материала радиационной защиты.

40 Определение амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими известным и строго заданным энергиям точек одного максимума и, по меньшей мере, одного спада энергетического спектра зарегистрированного гамма-излучения, испускаемого камерой с радиационной защитой и детектором гамма-излучения, дает возможность обеспечить соответствие амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада

45 энергетического спектра, расчетным значениям, например, путем изменения коэффициента передачи электронного тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы и добавления к электрическим импульсам от гамма-квантов напряжения смещения. Такое изменение коэффициента передачи электронного тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы позволяет компенсировать

50 нестабильность его коэффициента передачи, а добавление к электрическому импульсу от гамма-кванта постоянного напряжения смещения обеспечивает компенсацию нестабильности фоновых электрических сигналов. При этом коэффициент передачи электронного тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы изменяют, а

постоянное напряжение смещения добавляют до тех пор, пока амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, не станут равны заданным расчетным значениям. Это обеспечивает непосредственно перед проведением нейтронно-радиационного анализа контролируемого предмета компенсацию в оптико-электронном тракте регистрации гамма-излучения как искажений типа смещения нуля, вызванных нестабильностью фонового электрического сигнала, так и искажений коэффициента передачи оптико-электронного тракта из-за его нестабильности.

С одной стороны, это компенсирует изменение из-за нестабильности амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, испускаемых ядрами атомов азота, и приближает его к расчетному значению. В результате этого при регистрации амплитудное значение электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ не будет выходить за пределы диапазона между нижним и верхним пороговыми значениями, поэтому они будут выделены амплитудным анализатором и зарегистрированы. Данное обстоятельство приводит к уменьшению вероятности пропуска взрывчатого вещества при его обнаружении.

Как отмечалось, в условиях, когда в контролируемом предмете содержатся материалы, состоящие, кроме азота, из целого ряда других химических элементов, ядра атомов этих химических элементов при взаимодействии с тепловыми нейтронами также испускают гамма-излучение с энергиями гамма-квантов достаточно широкого диапазона спектра. При этом ядра атомов таких химических элементов, как, например, хром, селен, железо и кремний, испускают гамма-кванты с энергиями, достаточно близкими по значению к 10,8 МэВ. Поэтому, с другой стороны, при регистрации гамма-излучения вследствие уменьшения нестабильности амплитудного значения электрических импульсов от испускаемых ядрами атомов таких химических элементов гамма-квантов, достигаемого компенсацией вызванного нестабильностью фонового электрического сигнала искажения типа смещения нуля и нестабильности коэффициента передачи оптико-электронного тракта, попадания амплитудного значения этих электрических импульсов в диапазон между нижним и верхним пороговыми значениями происходить не будет. В результате этого такие электрические импульсы не будут выделены амплитудным анализатором и не будут ошибочно зарегистрированы в качестве электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ. Данное обстоятельство приводит к уменьшению вероятности ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества.

При облучении контролируемого предмета тепловыми нейтронами регистрация гамма-излучения, испускаемого контролируемым предметом и камерой с радиационной защитой, позволяет определить энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ.

При этом анализ энергетического спектра гамма-излучения позволяет определить точку максимума энергетического спектра в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, который обусловлен гамма-квантами, испускаемыми в результате взаимодействия с тепловыми нейтронами ядрами атомов водорода. Определение амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, дает возможность определить нижнее и верхнее пороговые значения для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ. Такое определение нижнего и верхнего пороговых значений для выделения электрических импульсов осуществляют, например, в соответствии с выражением $U_{\text{пор}} = E_{\text{пор}} U_{\text{в}}/E_{\text{в}}$, где $U_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $E_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение энергии для выделения гамма-квантов с энергией, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $U_{\text{в}}$ - амплитуда

электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ; E_{γ} - энергия гамма-кванта, испускаемого ядром атома водорода при взаимодействии с тепловым нейтроном, $E_{\gamma} = 2,23$ МэВ.

5 Это обеспечивает возможность непосредственно при обнаружении взрывчатого вещества в конкретном контролируемом предмете с его специфическим содержанием химических элементов в находящихся в нем материалах перед сравнением амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с их пороговыми значениями определить
10 уточненные нижнее и верхнее пороговые значения для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, то есть для выделения электрических импульсов от гамма-квантов с энергией 10,8 МэВ, испускаемых ядрами атомов азота.

Использование при определении уточненных нижнего и верхнего пороговых значений
15 для выделения электрических импульсов результата определения амплитуды U_{γ} электрического импульса от гамма-кванта с энергией $E_{\gamma} = 2,23$ МэВ, которая соответствует энергии точки максимума энергетического спектра гамма-излучения, обусловленного ядрами атомов водорода, позволяет непосредственно при
20 проведении нейтронно-радиационного анализа конкретного контролируемого предмета со свойственным только ему содержанием химических элементов в находящихся в нем материалах компенсировать влияние в оптико-электронном тракте регистрации гамма-излучения искажений типа смещения нуля, вызванных нестабильностью фонового электрического сигнала. При этом в данном случае компенсацию влияния фонового
25 электрического сигнала осуществляют с учетом специфического содержания входящих в состав находящихся в контролируемом предмете материалов химических элементов, свойственного конкретному контролируемому предмету, подвергаемому в данный момент нейтронно-радиационному анализу.

Во-первых, использование таких уточненных нижнего и верхнего пороговых значений при регистрации гамма-квантов компенсирует влияние изменения из-за искажений
30 амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов с энергией 10,8 МэВ, испускаемых ядрами атомов азота. В результате этого при регистрации амплитудное значение электрических импульсов от гамма-квантов с энергией 10,8 МэВ, несмотря на искажения, не будет выходить за пределы диапазона между нижним и верхним пороговыми значениями. Поэтому такие электрические импульсы будут выделены амплитудным
35 анализатором и зарегистрированы. Данное обстоятельство приводит к уменьшению вероятности пропуска взрывчатого вещества при его обнаружении.

Во-вторых, использование при регистрации гамма-квантов таких уточненных нижнего и верхнего пороговых значений компенсирует влияние изменения из-за искажений амплитудного значения электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, близкими
40 по значению к 10,8 МэВ, которые испускают ядра атомов не азота, а других химических элементов, например хрома, селена, железа и кремния, способных вызвать ложную тревогу. При регистрации амплитудное значение электрических импульсов от гамма-квантов, испускаемых ядрами атомов таких химических элементов, несмотря на искажения не будет попадать между уточненными нижним и верхним пороговыми значениями.
45 Поэтому такие электрические импульсы не будут выделены амплитудным анализатором и ошибочно зарегистрированы в качестве электрических импульсов от гамма-квантов с энергией 10,8 МэВ. Данные причины приводят к уменьшению вероятности ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества.

Указанные обстоятельства подтверждают достижение декларированного в задаче
50 настоящего изобретения технического результата благодаря наличию у предлагаемого способа обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете перечисленных отличительных признаков.

Сущность предлагаемого способа обнаружения взрывчатого вещества в

контролируемом предмете заключается в следующем:

- перед размещением контролируемого предмета облучают тепловыми нейтронами с энергией около 0,025 эВ камеру, оснащенную радиационной защитой и, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения;

5 - регистрируют гамма-излучение, испускаемое камерой, радиационной защитой и детектором гамма-излучения, путем преобразования гамма-квантов, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения в электрические импульсы с амплитудами, пропорциональными энергиям гамма-квантов, и сравнения амплитуд электрических импульсов с пороговыми значениями. На практике наиболее предпочтительна регистрация
10 гамма-излучения с энергией гамма-квантов в диапазоне 1-13 МэВ;

- определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, и в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов, по меньшей
15 мере, одного химического элемента, входящего в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения. На практике предпочтительным является определение энергетического спектра в диапазоне значений энергии от 1 до 13 МэВ;

- выявляют в полученном энергетическом спектре, например, путем сравнения точку
20 максимума. При этом выявляют точку максимума энергетического спектра гамма-излучения, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов водорода;

- выявляют, например, с использованием численного дифференцирования полученного энергетического спектра точку спада энергетического спектра гамма-излучения,
25 испускаемого камерой, радиационной защитой и детектором гамма-излучения, которая обусловлена гамма-излучением, испускаемым в результате взаимодействия с тепловыми нейтронами ядрами атомов, по меньшей мере, одного химического элемента, входящего в состав материалов камеры, радиационной защиты и детектора гамма-излучения. При этом выявляют, по меньшей мере, одну точку спада энергетического спектра гамма-излучения,
30 обусловленного либо гамма-квантами с энергией до 6,826 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов йода, входящего в состав материала сцинтиллятора детектора гамма-излучения, либо гамма-квантами с энергией до 4,945 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов углерода, входящего в состав материала радиационной защиты, либо гамма-квантами с
35 энергией до 8,578 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов хлора, входящего в состав материала радиационной защиты, либо гамма-квантами с энергией до 7,724 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов алюминия, входящего в состав конструкционного материала камеры. Поскольку источниками гамма-квантов с энергиями до 6,826 МэВ являются ядра
40 атомов йода, которые входят в состав материала сцинтиллятора детектора гамма-излучения, преобразующего при регистрации гамма-кванты в световые вспышки, практически все указанные гамма-кванты регистрируются детектором гамма-излучения. Поэтому точка спада энергетического спектра гамма-излучения, которая обусловлена гамма-квантами с энергией до 6,826 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми
45 нейтронами ядрами атомов йода, оказывается наиболее ярко выраженной и выявление ее в энергетическом спектре гамма-излучения является наиболее предпочтительным;

- определяют амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра зарегистрированного гамма-излучения, испущенного камерой, радиационной защитой и
50 детектором гамма-излучения;

- обеспечивают соответствие амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, расчетным значениям, например, путем изменения коэффициента передачи электронного

тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы и добавления к электрическим импульсам от гамма-квантов напряжения смещения. При этом коэффициент передачи электронного тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы изменяют, а постоянное напряжение смещения добавляют до тех пор, пока амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, не станут равны заданным расчетным значениям;

- затем размещают контролируемый предмет в камере, оснащенной радиационной защитой и, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения;

- облучают тепловыми нейтронами с энергией около 0,025 эВ контролируемый предмет, находящийся в камере с радиационной защитой и, по меньшей мере, с одним детектором гамма-излучения;

- регистрируют испускаемое контролируемым предметом и камерой с радиационной защитой гамма-излучение путем преобразования гамма-квантов, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения в электрические импульсы с амплитудами, пропорциональными энергиям гамма-квантов, и сравнения амплитуд электрических импульсов с пороговыми значениями. На практике наиболее предпочтительна регистрация гамма-излучения с энергией гамма-квантов в диапазоне 1-13 МэВ;

- определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ. На практике предпочтительным является определение энергетического спектра в диапазоне значений энергии от 1 до 13 МэВ;

- выявляют в полученном энергетическом спектре, например, посредством сравнения точку максимума. При этом выявляют точку максимума энергетического спектра гамма-излучения, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов водорода;

- определяют амплитуду электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра гамма-излучения, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, испускаемыми при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов водорода;

- определяют нижнее и верхнее пороговые значения для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, например, в соответствии с выражением $U_{\text{пор}} = E_{\text{пор}} U_{\text{в}}/E_{\text{в}}$, где $U_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое напряжение для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $E_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение энергии для выделения гамма-квантов с энергией, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $U_{\text{в}}$ - амплитуда электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ; $E_{\text{в}}$ - энергия гамма-кванта, испускаемого ядром атома водорода при взаимодействии с тепловым нейтроном, $E_{\text{в}} = 2,23$ МэВ;

- выделяют электрические импульсы с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, посредством сравнения их амплитуд с полученными нижним и верхним пороговыми значениями;

- подсчитывают количество выделенных электрических импульсов;

- принимают решение о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете при превышении количеством подсчитанных электрических импульсов его порогового значения, после чего контролируемый предмет извлекают из камеры с радиационной защитой.

В случае принятия решения о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете его направляют на вскрытие и визуальный досмотр.

Краткое описание чертежей

Осуществление предлагаемого способа обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете поясняется следующими графическими материалами.

На фиг.1 показана реализующая предлагаемый способ система для обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете, где 1 - контролируемый предмет, 2 - установка для нейтронно-радиационного анализа, 3 - горизонтальная шахта, 4 - транспортер, 5 - компьютер и 6 - сигнализатор тревоги.

На фиг.2 показан продольный разрез по А-А установки 2 для нейтронно-радиационного анализа (фиг.1), где 7 - корпус, 8 - радиационная защита, 9 - камера, 10 - излучатель тепловых нейтронов, 11 - детектор гамма-излучения, 12 - боковой отражатель нейтронов и 13 - нижний отражатель нейтронов.

На фиг.3 показан продольный разрез детектора 11 гамма-излучения, где 14 - корпус детектора, 15 - стакан нейтронного фильтра, 16 - сцинтиллятор и 17 - фотоэлектронный умножитель.

На фиг.4 показана структурная схема входящей в установку 2 для нейтронно-радиационного анализа электронной аппаратуры, где 11 - детектор гамма-излучения, 18 - предварительный усилитель, 19 - умножитель, 20 - сумматор, 21 - аналого-цифровой преобразователь, 22 - первый цифроаналоговый преобразователь и 23 - второй цифроаналоговый преобразователь.

На фиг.5 показан полученный экспериментально в диапазоне энергии гамма-квантов от 1 до 13 МэВ энергетический спектр гамма-излучения, испущенного камерой с радиационной защитой и детекторами гамма-излучения, но без контролируемого предмета и зарегистрированного за 1000 с, где количество зарегистрированных гамма-квантов приведено по оси ординат в логарифмическом масштабе.

На фиг.6 показан численно продифференцированный в диапазоне энергии от 4 до 12 МэВ приведенный на фиг.5 энергетический спектр гамма-излучения, испущенного камерой с радиационной защитой и детектором гамма-излучения, но без контролируемого предмета и зарегистрированного за 1000 с.

На фиг.7 показан полученный экспериментально в диапазоне энергии гамма-квантов от 1 до 13 МэВ энергетический спектр гамма-излучения, испущенного контролируемым предметом без взрывчатого вещества и камерой с радиационной защитой и детектором гамма-излучения и зарегистрированного за 1000 с, где количество зарегистрированных гамма-квантов приведено по оси ординат в логарифмическом масштабе.

На фиг.8 показан полученный экспериментально в диапазоне энергии гамма-квантов от 1 до 13 МэВ энергетический спектр гамма-излучения, испущенного контролируемым предметом, содержащим около 200 г азотосодержащего взрывчатого вещества, и камерой с радиационной защитой и детектором гамма-излучения и зарегистрированного за 1000 с, где количество зарегистрированных гамма-квантов приведено по оси ординат в логарифмическом масштабе.

Осуществление изобретения

Реализующая предлагаемый способ система для обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете содержит (фиг.1) установку 2 для нейтронно-радиационного анализа, проходящий через горизонтальную шахту 3 установки 2 для нейтронно-радиационного анализа транспортер 4, компьютер 5 с сигнализатором 6 тревоги и электронную аппаратуру, структурная схема которой приведена на фиг.4. Транспортер 4 предназначен для перемещения контролируемого предмета 1 через горизонтальную шахту 3 установки 2 для нейтронно-радиационного анализа и выполнен с возможностью останова с малым выбегом. В качестве компьютера 5 может быть использована персональная ЭВМ.

Установка 2 для нейтронно-радиационного анализа содержит (фиг.2) корпус 7, внутри которого размещена радиационная защита 8, выполненная из борированного полиэтилена для снижения уровня нейтронного излучения и свинца для снижения уровня гамма-излучения до допустимых значений. Сквозь корпус 7 и радиационную защиту 8 проходит горизонтальная шахта 3 с расположенной вдоль нее в нижней ее части лентой

транспортера 4. В центральной части горизонтальной шахты 3 находится камера 9, образованная двумя боковыми отражателями 12 нейтронов и нижним отражателем 13 нейтронов и предназначенная для размещения контролируемого предмета 1 при его облучении тепловыми нейтронами. Боковые отражатели 12 нейтронов и нижний
5 отражатель 13 нейтронов выполнены из полиэтилена в виде пластин с размерами не менее соответствующих габаритных размеров камеры 9 и установлены вдоль нее соответственно вертикально и горизонтально заподлицо с ее соответствующими стенками. Боковые
отражатели 12 нейтронов и нижний отражатель 13 нейтронов предназначены для
увеличения доли тепловых нейтронов за счет замедления в материале отражателей
10 быстрых нейтронов, попавших из излучателя 10 тепловых нейтронов, и обеспечения
равномерности распределения тепловых нейтронов по объему облучаемой области
контролируемого предмета 1. Над камерой 9 в выполненной в радиационной защите 8
полости установлен излучатель 10 тепловых нейтронов, который выполнен в виде
15 радионуклидного источника быстрых нейтронов на основе калифорния-252 с возможностью
их последующего замедления полиэтиленом до тепловых значений энергии около 0,025 эВ
и подобен по конструкции излучателю тепловых нейтронов, используемому при
осуществлении способа, выбранного за ближайший аналог. В выполненных в
радиационной защите 8 полостях под камерой 9 за нижним отражателем 13 нейтронов
установлены детекторы 11 гамма-излучения. Для обеспечения возможности останова
20 ленты транспортера 4, когда контролируемый предмет 1 попадает в камеру 9
горизонтальной шахты 3, установка 2 для нейтронно-радиационного анализа снабжена
датчиком останова, который размещен в камере 9, может быть выполнен в виде концевых
контактов или на основе источника и приемника оптического излучения и на фигурах не
показан.

25 Детектор 11 гамма-излучения (фиг.3) содержит выполненный из алюминия корпус 14
детектора с размещенным внутри него фотоэлектронным умножителем 17, находящимся в
оптическом контакте с помещенным в стакан 15 нейтронного фильтра сцинтиллятором 16.
В качестве сцинтиллятора 16 наиболее предпочтительно применение неорганического
сцинтиллятора, например, на основе йодистого натрия, активированного таллием. Для
30 уменьшения воздействия на сцинтиллятор 16 тепловых нейтронов, проникающих из
камеры 9, он размещен в стакане 15 нейтронного фильтра, который выполнен герметичным
с двойными стенками и двойным дном, полость между которыми заполнена материалом,
снижающим поток тепловых нейтронов, например карбонатом лития, фторидом лития или
фосфатом лития.

35 Входящая в состав установки 2 для нейтронно-радиационного анализа электронная
аппаратура содержит несколько идентичных по структуре каналов, количество которых
равно числу используемых детекторов 11 гамма-излучения. Каждый канал содержит (фиг.4)
последовательно соединенные детектор 11 гамма-излучения, предварительный усилитель
18, умножитель 19, сумматор 20 и аналого-цифровой преобразователь 21, а также первый
40 и второй цифроаналоговые преобразователи 22 и 23, выходы которых подключены ко
вторым входам соответственно сумматора 20 и умножителя 19. Выход аналого-цифрового
преобразователя 21 каждого канала подключен к входу компьютера 5, а входы первого и
второго цифроаналоговых преобразователей 22 и 23 подключены к выходам компьютера 5.
Кроме того, выходы компьютера 5 соединены с входом сигнализатора 6 тревоги,
45 предназначенного для формирования сигналов наличия или отсутствия взрывчатого
вещества в контролируемом предмете 1, а также с приводом транспортера 4 для подачи
сигналов пуска и останова транспортера 4.

Система, реализующая предлагаемый способ обнаружения взрывчатого вещества в
контролируемом предмете, работает следующим образом.

50 Открывают заслонку (на фигурах не показана) излучателя 10 тепловых нейтронов,
который испускает тепловые нейтроны с энергией около 0,025 эВ во внутреннюю полость
камеры 9. При облучении тепловыми нейтронами камеры 9, радиационной защиты 8,
детекторов 11 гамма-излучения и других элементов установки 2 для нейтронно-

радиационного анализа происходит радиационный захват тепловых нейтронов ядрами атомов химических элементов, входящих в состав использованных в них материалов, в результате чего эти ядра атомов переходят в возбужденное состояние. Переход ядер атомов из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием гамма-квантов с различными значениями энергии.

При этом гамма-излучение испускают в том числе ядра атомов водорода, входящего в состав материала радиационной защиты 8 и испускающего гамма-кванты с энергией около 2,23 МэВ, ядра атомов углерода, входящего в состав материала радиационной защиты 8 и испускающего гамма-кванты с энергией до 4,945 МэВ, ядра атомов хлора, входящего в состав материала радиационной защиты 8 и испускающего гамма-кванты с энергией до 8,578 МэВ, ядра атомов йода, входящего в состав материала сцинтиллятора 16 детектора 11 гамма-излучения и испускающего гамма-кванты с энергией до 6,826 МэВ, и ядра атомов алюминия, входящего в состав конструкционных материалов установки 2 для нейтронно-радиационного анализа, а также материала корпуса 14 детектора 11 гамма-излучения и испускающего гамма-кванты с энергией до 7,724 МэВ.

Некоторая часть указанных гамма-квантов попадает в сцинтилляторы 16 детекторов 11 гамма-излучения (фиг.3) и вызывает в них световые вспышки, яркость которых пропорциональна энергиям гамма-квантов. Фотоэлектронный умножитель 17 детектора 11 гамма-излучения преобразует испускаемое сцинтиллятором 16 оптическое излучение световой вспышки от каждого гамма-кванта в электрический импульс с амплитудой, пропорциональной энергии попавшего в сцинтиллятор 16 гамма-кванта. После усиления предварительным усилителем 18 (фиг.4) электрические импульсы от гамма-квантов поступают на первый вход умножителя 19. Одновременно с выхода компьютера 5 на второй цифроаналоговый преобразователь 23 поступает хранящийся в запоминающем устройстве компьютера 5 цифровой код, который соответствует расчетному значению коэффициента передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения от сцинтиллятора 16 до сумматора 20 включительно. Этот цифровой код преобразуется вторым цифроаналоговым преобразователем 23 в аналоговый электрический сигнал, который поступает на второй вход умножителя 19, осуществляющего перемножение его с мгновенными значениями напряжения электрических импульсов от гамма-квантов. Выходной сигнал с умножителя 19 поступает на первый вход сумматора 20. В это время с выхода компьютера 5 на первый цифроаналоговый преобразователь 22 поступает нулевой цифровой код, соответствующий нулевому фоновому электрическому сигналу, и поэтому с первого цифроаналогового преобразователя 22 на второй вход сумматора 20 поступает нулевой аналоговый сигнал. В результате на выходе сумматора 20 формируются электрические импульсы от гамма-квантов, амплитуда которых прямо пропорциональна энергии гамма-квантов с коэффициентом пропорциональности, равным коэффициенту передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения от сцинтиллятора 16 до сумматора 20 включительно. При этом амплитуда каждого электрического импульса от гамма-кванта была бы равна своему расчетному значению, если бы коэффициент передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения был равен своему расчетному значению, а фоновый электрический сигнал был равен нулю.

Однако коэффициент передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения от сцинтиллятора 16 до сумматора 20 и фоновый электрический сигнал на выходе сумматора 20 существенным образом зависят от нестабильности и разброса параметров и старения элементов оптико-электронного тракта, нестабильности его напряжения питания, а также от таких условий окружающей среды, как уровень ионизирующего излучения, температура, давление и влажность окружающего воздуха. При этом коэффициент передачи сцинтиллятора 16 детектора 11 гамма-излучения, а также его фоновые световые вспышки во многом зависят также от частоты прихода попадающих в него гамма-квантов, которая может существенно меняться в зависимости от наличия различных химических элементов в составе находящегося в контролируемом предмете 1 материалов, а также от плотности потока тепловых нейтронов, попадающих в камеру 9.

Аналого-цифровой преобразователь 21 преобразует амплитудное значение каждого электрического импульса от гамма-кванта, поступившего с выхода сумматора 20, в цифровой код, который вводится в компьютер 5. Компьютер 5 посредством сравнения с пороговыми значениями поступивших цифровых кодов, соответствующих амплитудным значениям электрических импульсов от гамма-квантов и, следовательно, энергиям зарегистрированных гамма-квантов, определяет, к какому из поддиапазонов энергии шириной, например, $\Delta E = 12-13$ кэВ в диапазоне энергии от 1 до 13 МэВ по значению своей энергии принадлежит каждый зарегистрированный гамма-квант, и подсчитывает и запоминает число зарегистрированных за время 5-10 минут гамма-квантов, имеющих значение энергии в пределах каждого поддиапазона. В результате этого получают энергетический спектр гамма-излучения, испускаемого в отсутствие контролируемого предмета 1 материалами камеры 9, радиационной защиты 8, детекторов 11 гамма-излучения и других элементов установки 2 для нейтронно-радиационного анализа, который заносится в запоминающее устройство компьютера 5.

Пример такого энергетического спектра гамма-излучения, экспериментально полученного авторами изобретения за время 1000 с, показан на фиг.5, где количество зарегистрированных гамма-квантов по оси ординат приведено в логарифмическом масштабе. На приведенном энергетическом спектре гамма-излучения отчетливо виден максимум в области энергии гамма-квантов около 2,23 МэВ, который обусловлен гамма-квантами, испускаемыми ядрами атомов водорода, входящего в состав материала радиационной защиты 8. На этом энергетическом спектре можно заметить и точки спада энергетического спектра, во-первых, в области значения энергии гамма-квантов 4,945 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов углерода, входящего в состав материала радиационной защиты 8, во-вторых, в области значений энергии гамма-квантов 6,826 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов йода, входящего в состав материала сцинтилляторов 16 детекторов 11 гамма-излучения, в-третьих, в области значений энергии гамма-квантов 7,724 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов алюминия, входящего в состав конструкционных материалов установки 2 для нейтронно-радиационного анализа, и, в-четвертых, в области значений энергии гамма-квантов 8,578 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов хлора, входящего в состав материала радиационной защиты 8.

Затем для выявления точек спада энергетического спектра гамма-излучения компьютер 5 выполняет численное дифференцирование полученного и запомненного энергетического спектра гамма-излучения в диапазоне энергий от 1 до 13 МэВ. При этом значение производной от энергетического спектра для каждого поддиапазона энергии с номером i определяют, например, при значении энергии, соответствующем правой границе поддиапазона энергии, например, согласно выражения $P=(N_{i+1} - N_i)/(2\Delta E)$, $i = 1, 2, \dots, M$, где N_{i+1} - количество зарегистрированных гамма-квантов с энергией, соответствующей поддиапазону энергии с номером $i+1$; N_i - количество зарегистрированных гамма-квантов с энергией, соответствующей поддиапазону энергии с номером i ; ΔE - ширина поддиапазона энергии; M - число поддиапазонов энергии.

Результат численного дифференцирования энергетического спектра гамма-излучения, показанного на фиг.5, приведен на фиг.6. На приведенном продифференцированном энергетическом спектре гамма-излучения отчетливо видны максимумы, соответствующие точкам спада энергетического спектра, во-первых, в области значений энергии гамма-квантов 4,945 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов углерода, входящего в состав материала радиационной защиты 8, во-вторых, в области значений энергии гамма-квантов 6,826 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов йода, входящего в состав материала сцинтилляторов 16 детекторов 11 гамма-излучения, в-третьих, в области значений энергии гамма-квантов 7,724 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов алюминия, входящего в состав конструкционных материалов установки 2 для нейтронно-радиационного анализа, и, в-

четвертых, в области значений энергии гамма-квантов 8,578 МэВ, что связано с испусканием гамма-квантов ядрами атомов хлора, входящего в состав материала радиационной защиты 8. Как видно, наибольшее значение имеет максимум продифференцированного энергетического спектра в области значений энергии гамма-квантов 6,826 МэВ, связанный с испусканием гамма-квантов ядрами атомов йода, входящего в состав материала сцинтилляторов 16 детекторов 11 гамма-излучения, чем и обусловлено предпочтительное выявление именно соответствующей этому максимуму точки спада энергетического спектра при осуществлении предлагаемого способа.

Затем компьютер 5 выявляет путем сравнения максимум энергетического спектра (см. фиг.5) гамма-излучения в диапазоне энергии от 1 до 13 МэВ и, по меньшей мере, один из максимумов продифференцированного энергетического спектра (см. фиг.6), предпочтительно в области энергии гамма-квантов 6,826 МэВ, который обусловлен гамма-квантами, испускаемыми ядрами атомов йода. Например, при выявлении максимума энергетического спектра гамма-излучения компьютер 5 осуществляет в пределах диапазона значений энергии гамма-квантов от 1 до 13 МэВ последовательное сравнение количества N_{i+1} зарегистрированных гамма-квантов с энергией, соответствующей поддиапазону энергии с номером $i+1$, и количества N зарегистрированных гамма-квантов с энергией, соответствующей поддиапазону энергии с номером i , для каждых двух соседних поддиапазонов энергии шириной ΔE из общего числа M поддиапазонов энергии. В результате такого сравнения компьютер 5 определяет поддиапазон энергии шириной ΔE , в котором зарегистрировано наибольшее количество гамма-квантов, и присваивает выявляемому значению энергии гамма-квантов, соответствующему максимуму энергетического спектра гамма-излучения, значение энергии, равное энергии, соответствующей, например, середине указанного поддиапазона. Аналогичным образом компьютер 5 выявляет, по меньшей мере, один из максимумов продифференцированного энергетического спектра.

Далее компьютер 5 определяет значения ранее поступивших из аналого-цифрового преобразователя 21 соответствующих амплитудным значениям электрических импульсов от зарегистрированных гамма-квантов и, следовательно, их энергиям цифровых кодов, которым соответствуют положения выявленных максимума энергетического спектра (см. фиг.5) гамма-излучения в области энергии гамма-квантов около 2,23 МэВ и максимума продифференцированного энергетического спектра (см. фиг.6), например, в области энергии гамма-квантов 6,826 МэВ. Указанные цифровые коды компьютер 5 сравнивает с их эталонными расчетными значениями, хранящимися в его запоминающем устройстве.

Если, например, в результате такого сравнения оказалось, что цифровой код, соответствующий амплитуде импульса от гамма-кванта с энергией около 2,23 МэВ, меньше эталонного расчетного значения, то это означает, что фоновый электрический сигнал из-за искажений стал меньше расчетной величины. В этом случае компьютер 5 формирует нарастающий во времени положительный цифровой код, который преобразуется первым цифроаналоговым преобразователем 22 в положительный аналоговый электрический сигнал, поступающий на сумматор 20 и суммируемый им с поступающими электрическими импульсами от гамма-квантов. За счет добавления такого напряжения смещения амплитудное значение электрических импульсов от всех гамма-квантов, в том числе и с энергией около 2,23 МэВ, становится больше. После преобразования аналого-цифровым преобразователем 21 амплитудных значений электрических импульсов от гамма-квантов в цифровые коды последние также поступают в компьютер 5, в котором цифровые коды, соответствующие гамма-квантам с энергией около 2,23 МэВ, сравниваются с их эталонным расчетным значением. Такое добавление напряжения смещения осуществляют до тех пор, пока цифровые коды, соответствующие гамма-квантам с энергией около 2,23 МэВ, не станут равны их эталонному расчетному значению, после чего цифровой код на входе первого цифроаналогового преобразователя 22 перестает нарастать.

Если же в результате сравнения цифрового кода, соответствующего гамма-квантам с энергией около 2,23 МэВ, с его эталонным расчетным значением оказалось, что цифровой

код, соответствующий амплитуде импульса от гамма-кванта с энергией около 2,23 МэВ, больше эталонного расчетного значения, то это означает, что фоновый электрический сигнал из-за искажений стал больше расчетной величины. В этом случае все происходит наоборот.

5 Таким образом осуществляют компенсацию изменений фонового электрического сигнала из-за его нестабильности.

Если после подобной компенсации изменений фонового электрического сигнала, когда цифровой код, соответствующий гамма-квантам с энергией около 2,23 МэВ, равен его эталонному расчетному значению, в результате сравнения оказалось, что, например, цифровой код, соответствующий амплитуде импульса от гамма-кванта с энергией 6,826 МэВ, меньше его эталонного расчетного значения, то это означает, что коэффициент передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения от сцинтиллятора 16 до сумматора 20 включительно из-за нестабильности стал меньше расчетной величины. В этом случае компьютер 5 формирует цифровой код, нарастающий во времени от значения, соответствующего расчетному значению коэффициента передачи. Этот цифровой код после преобразования вторым цифроаналоговым преобразователем 23 в аналоговый электрический сигнал подается на второй вход умножителя 19, осуществляющего его перемножение с мгновенным значением напряжения электрических импульсов от гамма-квантов. За счет этого коэффициент передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения возрастает и амплитудное значение электрических импульсов от всех гамма-квантов, в том числе и с энергией 6,826 МэВ, становится больше. После преобразования аналого-цифровым преобразователем 21 амплитудных значений электрических импульсов от гамма-квантов в цифровые коды последние также поступают в компьютер 5, в котором цифровые коды, соответствующие гамма-квантам с энергией 6,826 МэВ, сравниваются с их эталонным расчетным значением. Такое увеличение коэффициента передачи оптико-электронного тракта осуществляют до тех пор, пока цифровые коды, соответствующие гамма-квантам с энергией 6,826 МэВ, не станут равны их эталонному расчетному значению, после чего цифровой код на входе второго цифроаналогового преобразователя 23 перестает нарастать.

30 Таким образом осуществляют компенсацию нестабильности коэффициента передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения от сцинтиллятора 16 до сумматора 20 включительно.

Подобную компенсацию нестабильности коэффициента передачи оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения и изменений фонового электрического сигнала из-за его нестабильности осуществляют до тех пор, пока оба цифровых кода, соответствующие амплитудам электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями около 2,23 и 6,826 МэВ, не станут равны их соответствующим эталонным расчетным значениям.

После этого система готова к выполнению нейтронно-радиационного анализа контролируемого предмета 1.

40 Контролируемый предмет 1 устанавливают на ленту транспортера 4 и с клавиатуры компьютера 5 запускают транспортер 4. Когда контролируемый предмет 1 будет доставлен транспортером 4 в камеру 9 установки 2 для нейтронно-радиационного анализа сигналом с датчика останова, не показанного на фигурах, будет остановлена лента транспортера 4 с контролируемым предметом 1.

45 Тепловые нейтроны с энергией около 0,025 эВ испускаются излучателем 10 тепловых нейтронов во внутреннюю полость камеры 9 и облучают в том числе контролируемый предмет 1. При облучении тепловыми нейтронами контролируемого предмета 1, камеры 9, радиационной защиты 8, детекторов 11 гамма-излучения и других элементов установки 2 для нейтронно-радиационного анализа происходит радиационный захват тепловых нейтронов ядрами атомов химических элементов, входящих в состав содержащихся в них материалов, в результате чего эти ядра атомов переходят в возбужденное состояние. Переход ядер атомов из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием гамма-квантов с различными значениями энергии.

В частности, при облучении тепловыми нейтронами азотосодержащих материалов, находящихся в контролируемом предмете 1, будет происходить радиационный захват тепловых нейтронов ядрами атомов азота-14, в результате чего образуются ядра атомов азота-15 в возбужденном состоянии. Переход из возбужденного состояния ядер атомов азота-15 в основное будет происходить с испусканием гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ с вероятностью перехода около 0,14. При этом гамма-излучение испускают также в том числе ядра атомов водорода, испускающего гамма-кванты с энергией около 2,23 МэВ.

Некоторая часть указанных гамма-квантов попадает в сцинтилляторы 16 детекторов 11 гамма-излучения (фиг.3) и аналогично описанному выше преобразуется в поступающие в компьютер 5 цифровые коды, пропорциональные энергиям этих гамма-квантов.

Компьютер 5 посредством сравнения с пороговыми значениями поступивших цифровых кодов, соответствующих энергиям зарегистрированных гамма-квантов, определяет, к какому из поддиапазонов энергии шириной, например, $\Delta E = 12-13$ кэВ в диапазоне энергии от 1 до 13 МэВ по значению своей энергии принадлежит каждый зарегистрированный гамма-квант, и подсчитывает и запоминает число зарегистрированных за время 5-10 секунд гамма-квантов, имеющих значение энергии в пределах каждого поддиапазона. В результате этого получают энергетический спектр гамма-излучения, испускаемого контролируемым предметом 1, а также материалами камеры 9, радиационной защиты 8, детекторов 11 гамма-излучения и других элементов установки 2 для нейтронно-радиационного анализа, который заносится в запоминающее устройство компьютера 5.

Пример такого энергетического спектра гамма-излучения, экспериментально полученного авторами за время 1000 с, когда контролируемый предмет 1 не содержит азотосодержащего взрывчатого вещества, показан на фиг.7, где количество зарегистрированных гамма-квантов по оси ординат приведено в логарифмическом масштабе. Пример энергетического спектра гамма-излучения, экспериментально полученного авторами за время 1000 с, когда контролируемый предмет 1 содержит азотосодержащее взрывчатое вещество, показан на фиг.8, где количество зарегистрированных гамма-квантов по оси ординат приведено в логарифмическом масштабе. Приведенные здесь энергетические спектры получены за 1000 с, то есть за достаточно продолжительный интервал времени, что связано с необходимостью большей наглядности их графического представления на данных фигурах и удобства восприятия. На практике непосредственно при обнаружении взрывчатого вещества в контролируемом предмете 1 подобный энергетический спектр снимают за существенно меньшее время, равное 5-10 с. На обоих приведенных энергетических спектрах гамма-излучения в случаях как отсутствия, так и наличия взрывчатого вещества в контролируемом предмете 1 отчетливо видны максимумы в области энергии гамма-квантов около 2,23 МэВ, которые обусловлены гамма-квантами, испускаемыми ядрами атомов водорода. При этом на втором энергетическом спектре (фиг.8) наблюдается сравнительно высокое количество зарегистрированных гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, что связано с наличием в контролируемом предмете 1 азотосодержащего взрывчатого вещества.

Затем компьютер 5 выявляет путем сравнения, как это было рассмотрено выше, максимум энергетического спектра (см. фиг.7 и 8) гамма-излучения в диапазоне энергии от 1 до 13 МэВ в области энергии около 2,23 МэВ, который обусловлен гамма-излучением ядер атомов водорода. Далее компьютер 5 определяет значение ранее поступивших из аналого-цифрового преобразователя 21 цифровых кодов, соответствующих амплитудным значениям электрических импульсов от зарегистрированных гамма-квантов и, следовательно, их энергиям, которым соответствует положение выявленного максимума энергетического спектра (см. фиг.7 и 8) гамма-излучения в области энергии гамма-квантов около 2,23 МэВ.

Потом компьютер 5 выполняет определение нижнего и верхнего пороговых значений для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8

МэВ. На практике указанный интервал значений энергии гамма-квантов предпочтительно задавать от 9,2 до 11,0 МэВ. Для этого на основании цифрового кода, соответствующего амплитудному значению электрического импульса от гамма-кванта с энергией около 2,23 МэВ, компьютер 5 производит вычисление нижнего и верхнего пороговых значений для цифрового кода, соответствующего амплитудному значению выделяемых электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, например, в соответствии с выражением $U_{\text{пор}} = E_{\text{пор}} U_B / E_B$, где $U_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение для цифрового кода, соответствующего амплитудному значению выделяемых электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ; $E_{\text{пор}}$ - заданные соответственно нижнее или верхнее пороговое значение энергии для выделения гамма-квантов с энергией, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, которые на практике предпочтительно выбирать равными соответственно 9,2 и 11,0 МэВ; U_B - цифровой код, соответствующий амплитудному значению электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ; E_B - энергия гамма-кванта, испускаемого ядром атома водорода при взаимодействии с тепловым нейтроном, $E_B = 2,23$ МэВ.

Далее компьютер 5 осуществляет выделение цифровых кодов, соответствующих амплитудному значению электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, посредством сравнения всех цифровых кодов, соответствующих амплитудному значению электрических импульсов от зарегистрированных гамма-квантов, с полученными нижним и верхним пороговыми значениями для цифрового кода, соответствующего амплитудному значению электрических импульсов от гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ, и подсчитывает их число, определяя количество зарегистрированных гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ и, следовательно, оценивая интенсивность гамма-излучения с такой энергией гамма-квантов.

Затем компьютер 5 выполняет сравнение полученного количества зарегистрированных гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ с установленным для этого количества пороговым значением, хранящимся в его запоминающем устройстве.

Если в результате сравнения количество зарегистрированных гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ окажется меньше установленного для него порогового значения, компьютер 5 выдает сигнал об отсутствии взрывчатого вещества на сигнализатор 6 тревоги, индицирующий его оператору системы, и подает сигнал на привод транспортера 4, запускающий транспортер 4, а контролируемый предмет 1 снимается с контроля, отправляясь по транспортеру 4 из зоны контроля.

Если в результате сравнения количество зарегистрированных гамма-квантов с энергией около 10,8 МэВ окажется больше установленного для него порогового значения, компьютер 5 выдает сигнал о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете 1 на сигнализатор 6 тревоги, индицирующий его оператору системы, и подает сигнал на привод транспортера 4, запускающий транспортер 4. Транспортер 4 перемещает контролируемый предмет 1 из горизонтальной шахты 3 установки 2 для нейтронно-радиационного анализа и после выхода контролируемого предмета 1 из горизонтальной шахты 3 его снимают с ленты транспортера 4 и отправляют на досмотр.

Авторами изобретения была создана и реализована на персональном компьютере математическая модель системы обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете, реализующей предлагаемый способ. Проведенные с помощью данной математической модели исследования подтвердили уменьшение вероятностей пропуска взрывчатого вещества и ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества с использованием настоящего изобретения.

В частности, например, было исследовано влияние изменения температуры оптико-электронного тракта регистрации гамма-излучения от сцинтиллятора 16 детектора 11 гамма-излучения до аналого-цифрового преобразователя 21 включительно на вероятности ложной тревоги и пропуска взрывчатого вещества при его обнаружении. Например,

исследования показали, что изменение температуры детекторов 11 гамма-излучения системы обнаружения взрывчатого вещества, реализующей известный способ (RU 2065156, 1996), выбранный за ближайший аналог, от 20 до 30°C приводит к увеличению вероятности пропуска взрывчатого вещества с 0,01 до 0,08 при неизменной вероятности ложной тревоги, равной 0,05, или к увеличению вероятности ложной тревоги с 0,05 до 0,22 при неизменной вероятности пропуска взрывчатого вещества, имеющей значение 0,01.

Вместе с тем при тех же исходных данных такое же изменение температуры детекторов 11 гамма-излучения системы обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете, реализованной в соответствии с настоящим изобретением, приводит к возрастанию вероятности пропуска взрывчатого вещества с 0,01 только до 0,02 при неизменном значении вероятности ложной тревоги, равном 0,05, или к увеличению вероятности ложной тревоги с 0,05 лишь до 0,08 при неизменной вероятности пропуска взрывчатого вещества, равной 0,1.

Данные результаты подтверждают решение задачи настоящего изобретения, заключающейся в снижении вероятностей пропуска взрывчатого вещества и ложной тревоги при обнаружении взрывчатого вещества с использованием нейтронно-радиационного анализа.

Испытания опытного образца системы обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете, созданной в соответствии с настоящим изобретением, показали принципиальную возможность обнаруживать с ее помощью современные азотосодержащие взрывчатые вещества с минимальной массой 100-200 г в типовом багаже авиапассажира с обычной для багажа плотностью азота азотосодержащих материалов, не являющихся взрывчатыми веществами, от 2,3 до 2,4 г/дм³. Оцененная экспериментально вероятность правильного обнаружения взрывчатого вещества минимальной массы составила 0,95-0,97 при вероятности ложных тревог, не превышающей 0,02-0,04.

Система обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете показала достаточно высокую производительность процесса контроля багажа, обеспечивая проведение проверки 170-190 единиц багажа в час. Такая производительность системы обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете может считаться приемлемой даже при контроле багажа такого большого числа авиапассажира, которое принимают на борт широкофюзеляжные авиалайнеры.

Формула изобретения

1. Способ обнаружения взрывчатого вещества в контролируемом предмете, включающий размещение контролируемого предмета в камере, оснащенной радиационной защитой и, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения, облучение контролируемого предмета тепловыми нейтронами, регистрацию испускаемого гамма-излучения путем преобразования гамма-квантов, по меньшей мере, одним детектором гамма-излучения в электрические импульсы с амплитудами, пропорциональными энергиям гамма-квантов, и сравнения амплитуд электрических импульсов с пороговыми значениями, выделение электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, путем сравнения их амплитуд с нижним и верхним пороговыми значениями, подсчет выделенных электрических импульсов, принятие решения о наличии взрывчатого вещества в контролируемом предмете при превышении количеством подсчитанных электрических импульсов его порогового значения, отличающийся тем, что перед размещением контролируемого предмета облучают тепловыми нейтронами камеру, определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, и в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов, по меньшей мере, одного химического элемента, входящего в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения, определяют точку максимума

энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, и точку спада энергетического спектра в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов указанного химического элемента, определяют амплитуды электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра зарегистрированного гамма-излучения, обеспечивают соответствие амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, расчетным значениям, при облучении контролируемого предмета тепловыми нейтронами определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения, по меньшей мере, в интервале энергии гамма-квантов, включающем значение 2,23 МэВ, определяют точку максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, определяют амплитуду электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ, и с учетом указанной амплитуды определяют нижнее и верхнее пороговые значения для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, при этом определение нижнего и верхнего пороговых значений для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ, осуществляют в соответствии с выражением $U_{\text{пор}} = E_{\text{пор}} \cdot U_{\text{в}} / E_{\text{в}}$, где $U_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение для выделения электрических импульсов с амплитудой, пропорциональной энергии гамма-квантов, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $E_{\text{пор}}$ - соответственно нижнее или верхнее пороговое значение энергии для выделения гамма-квантов с энергией, находящейся в заданном интервале значений энергии, включающем значение 10,8 МэВ; $U_{\text{в}}$ - амплитуда электрических импульсов от гамма-квантов с энергией, соответствующей энергии точки максимума энергетического спектра, обусловленного гамма-квантами с энергией около 2,23 МэВ; $E_{\text{в}}$ - энергия гамма-кванта, испускаемого ядром атома водорода при взаимодействии с тепловым нейтроном, $E_{\text{в}} = 2,23$ МэВ.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 6,826 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов йода, входящего в состав материала сцинтиллятора детектора гамма-излучения, и определяют точку спада энергетического спектра в указанном интервале энергии гамма-квантов.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 4,945 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов углерода, входящего в состав материала радиационной защиты камеры, и определяют точку спада энергетического спектра в указанном интервале энергии гамма-квантов.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 8,578 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов хлора, входящего в состав материала радиационной защиты камеры, и определяют точку спада энергетического спектра в указанном интервале энергии гамма-квантов.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что определяют энергетический спектр зарегистрированного гамма-излучения в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел, равный 7,724 МэВ, значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов алюминия, входящего в состав

конструкционного материала камеры и детектора гамма-излучения, и определяют точку спада энергетического спектра в указанном интервале энергии гамма-квантов.

5 6. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем, что точки спада энергетического спектра в интервале энергии гамма-квантов, включающем верхний предел значений энергии гамма-квантов, испускаемых при взаимодействии с тепловыми нейтронами ядрами атомов химических элементов, входящих в состав материалов камеры, радиационной защиты или детектора гамма-излучения, определяют путем численного дифференцирования энергетического спектра.

10 7. Способ по п.1, отличающийся тем, что соответствие расчетным значениям амплитуд электрических импульсов от гамма-квантов с энергиями, соответствующими энергиям точек максимума и спада энергетического спектра, обеспечивают путем изменения коэффициента передачи электронного тракта преобразования гамма-квантов в электрические импульсы и добавления к электрическим импульсам от гамма-квантов напряжения смещения.

15

20

25

30

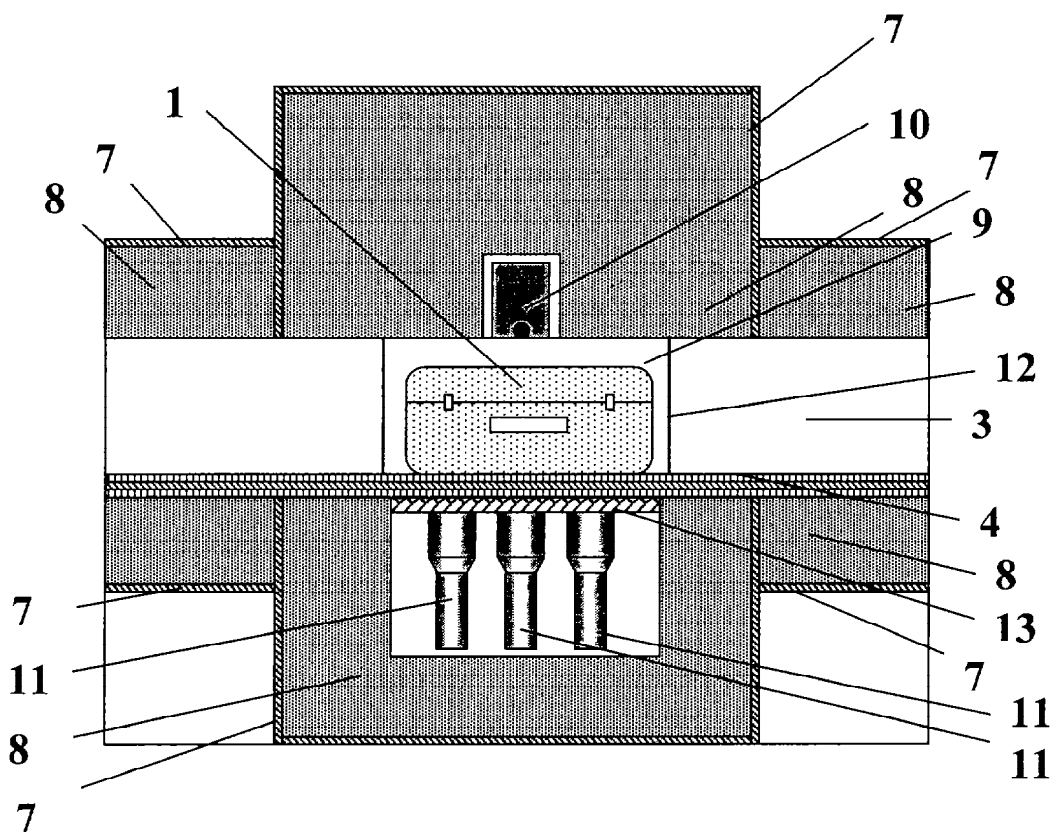
35

40

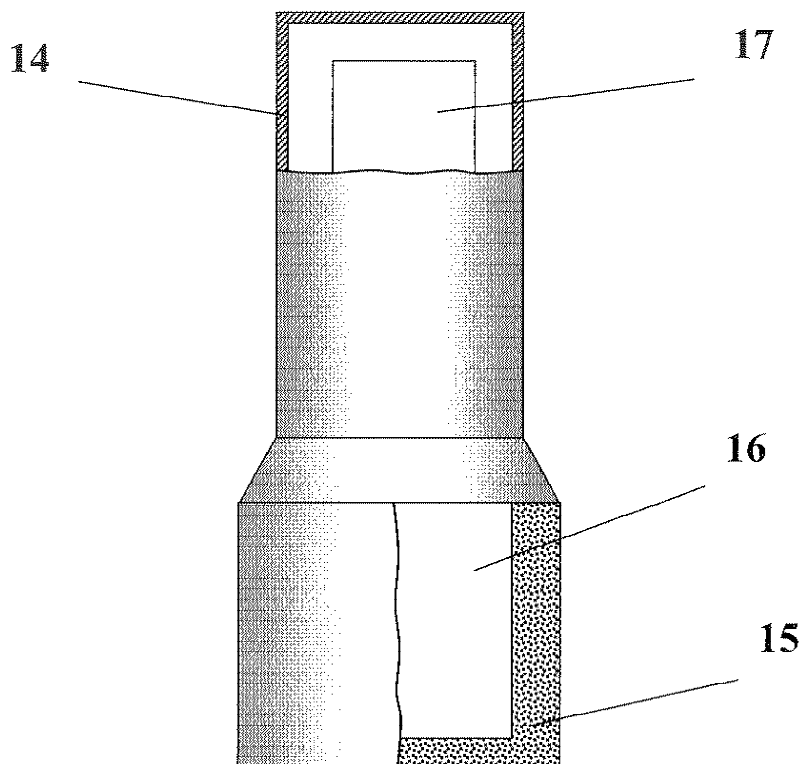
45

50

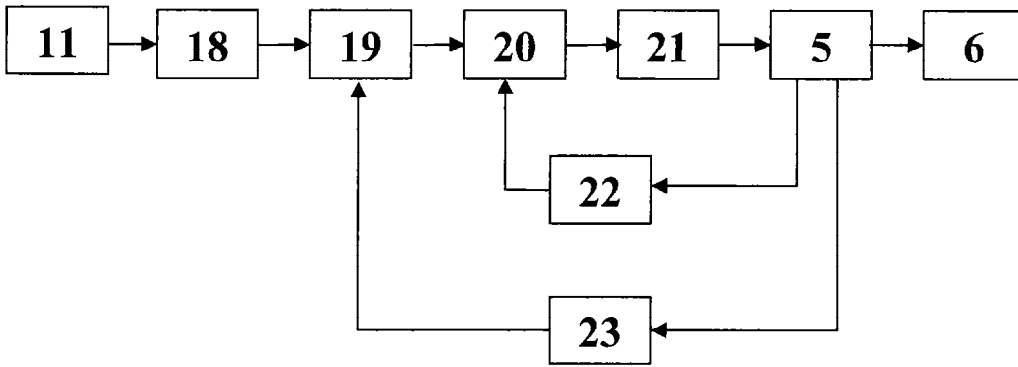
A - A



ФИГ. 2

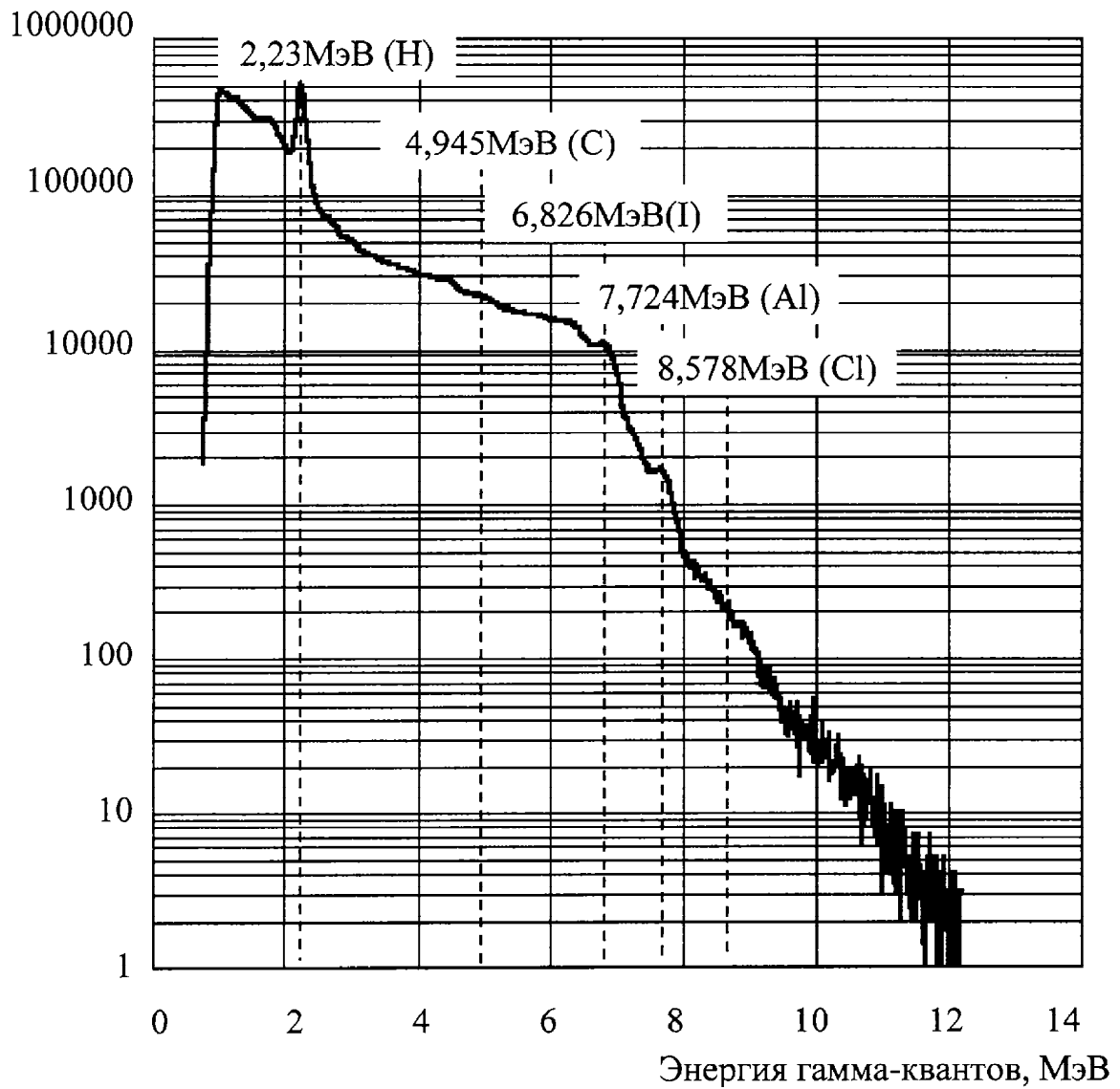


ФИГ. 3



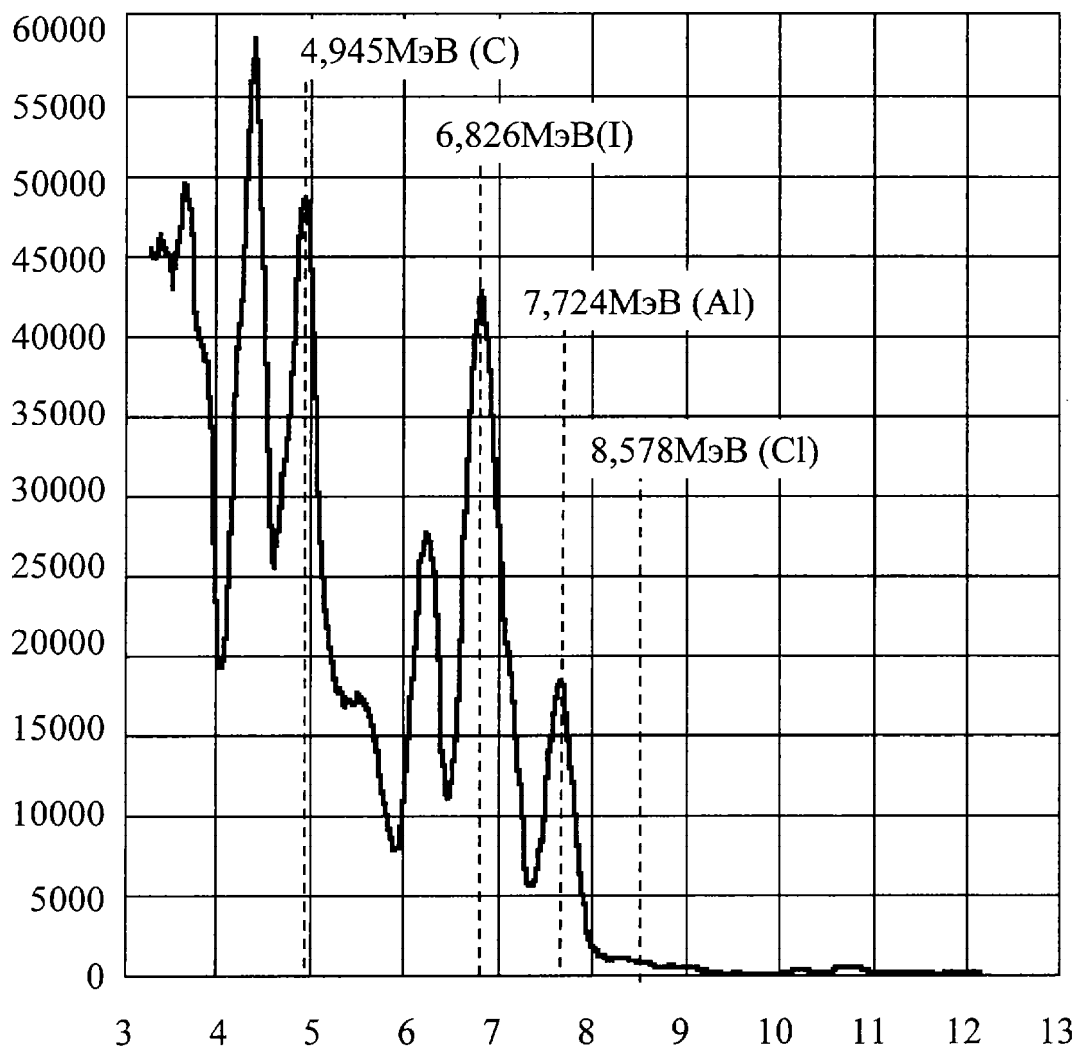
ФИГ. 4

Количество зарегистрированных
гамма-квантов



ФИГ. 5

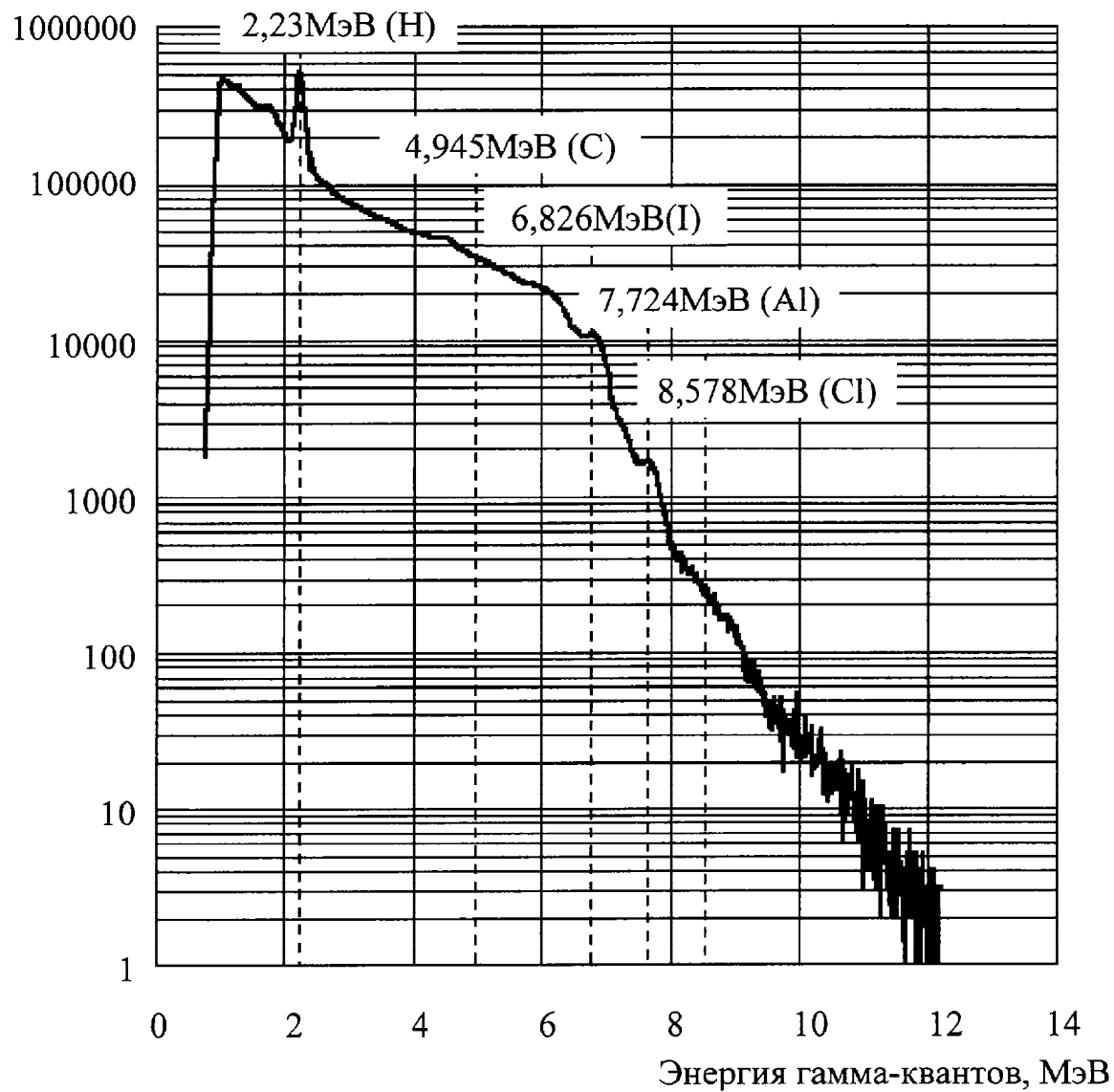
Производная от энергетического
спектра, (МэВ)⁻¹



Энергия гамма-квантов, МэВ

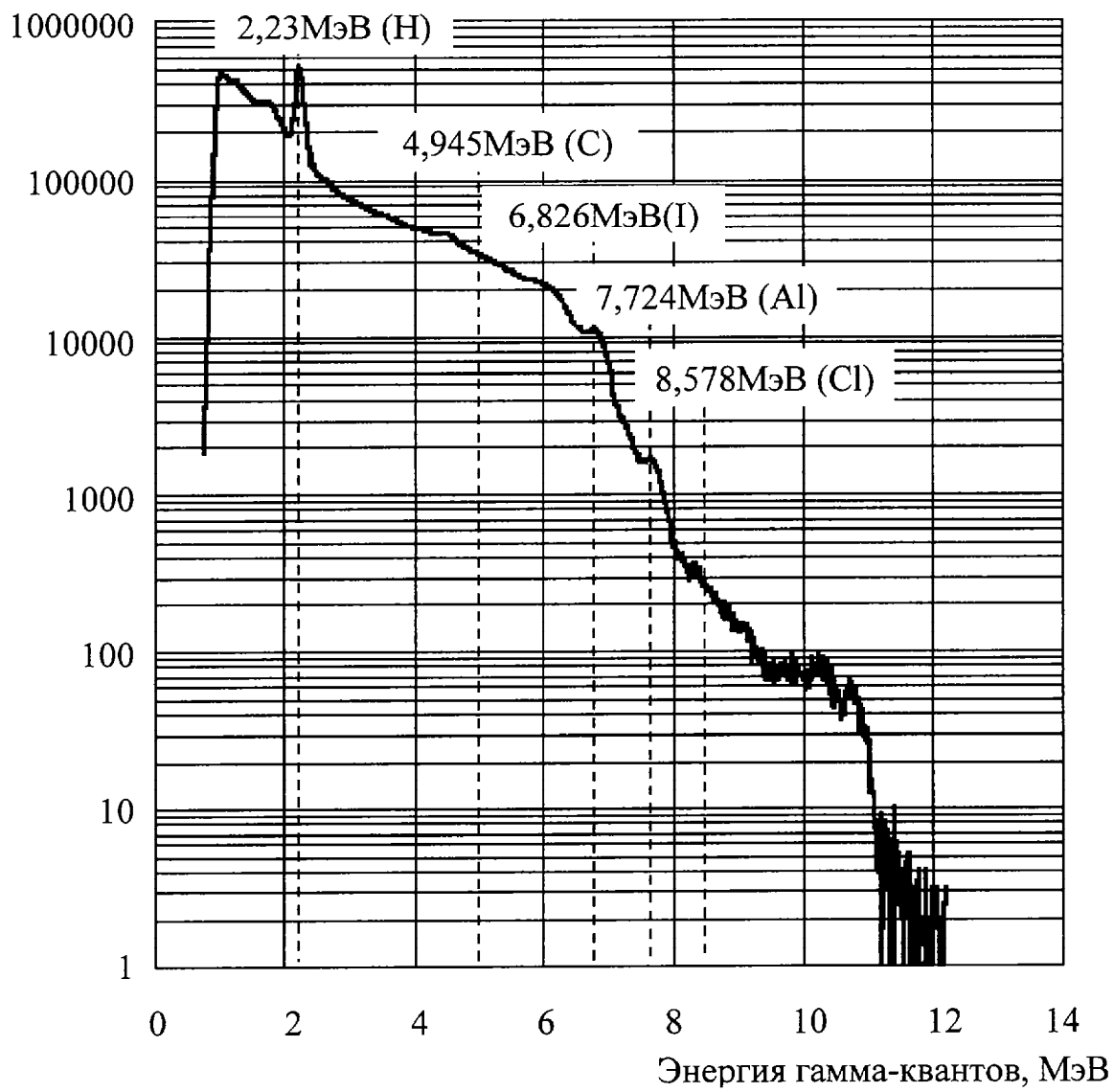
ФИГ. 6

Количество зарегистрированных
гамма-квантов



ФИГ. 7

Количество зарегистрированных
гамма-квантов



ФИГ. 8