



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01T 1/167 (2013.01)

(21) (22) Заявка: 2016140051, 13.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.03.2015

Дата регистрации:
16.04.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
13.03.2014 US 61/952,270

(43) Дата публикации заявки: 16.04.2018 Бюл. № 11

(45) Опубликовано: 16.04.2019 Бюл. № 11

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 13.10.2016

(86) Заявка РСТ:
US 2015/020461 (13.03.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2015/138910 (17.09.2015)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спаская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**МАККВЕЙД Джеймс Говард (US),
НАНН Эдриан Д. (US),
ШТЕЙНМАЙЕР Пол Роберт (US)**

(73) Патентообладатель(и):

БРАККО ДАЙЭГНОСТИКС ИНК. (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: WO 2009152320 A2, 17.12.2009. EP 0160303 A2, 06.11.1985. WO 2007096119 A2, 30.08.2007. RU 2309473 C2, 27.10.2007.

RU 2 685 087 C 2

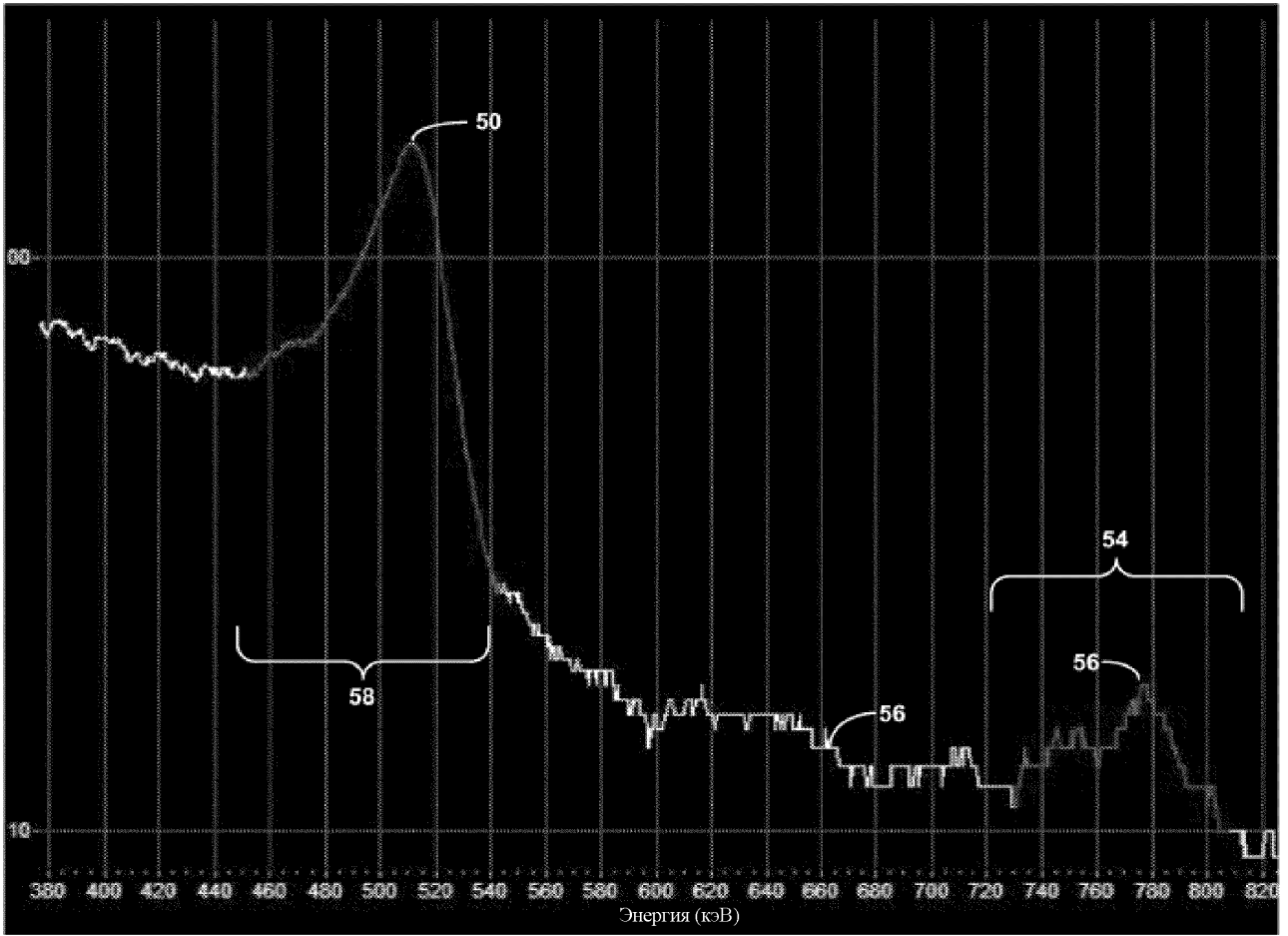
(54) ОБНАРУЖЕНИЕ ЯДЕРНЫХ ИЗОТОПОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к ядерным изотопам, в частности к обнаружению и подсчету ядерных изотопов. Система элюирования содержит $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, выполненный с возможностью генерирования ^{82}Rb посредством элюирования с использованием элюента; линию элюента, выполненную с возможностью подачи элюента на $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор; линию элюата, выполненную с возможностью приема элюата, элюированного из $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора, и передачи элюата по меньшей мере на одно из

следующего: линию пациента и сливную линию; детектор гамма-излучения, расположенный рядом с линией элюата; и контроллер, выполненный с возможностью приема данных, указывающих на гамма-излучение, испускаемое элюатом, и определения активности ^{82}Rb в элюате на основании принятых данных и определения активности ^{82}Sr на основании принятых данных. Технический результат – повышение точного и своевременного отслеживания различных ядерных изотопов. 4 н. и 39 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2 685 087 C 2



ФИГ. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(19) **RU** (11)**2 685 087**⁽¹³⁾ **C2**(51) Int. Cl.
G01T 1/167 (2006.01)(52) CPC
G01T 1/167 (2013.01)(21) (22) Application: **2016140051, 13.03.2015**(24) Effective date for property rights:
13.03.2015Registration date:
16.04.2019

Priority:

(30) Convention priority:
13.03.2014 US 61/952,270(43) Application published: **16.04.2018 Bull. № 11**(45) Date of publication: **16.04.2019 Bull. № 11**(85) Commencement of national phase: **13.10.2016**(86) PCT application:
US 2015/020461 (13.03.2015)(87) PCT publication:
WO 2015/138910 (17.09.2015)Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spaskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i
Partnery"**

(72) Inventor(s):

**MCQUAID, James Howard (US),
NUNN, Adrian D. (US),
STEINMEYER, Paul Robert (US)**

(73) Proprietor(s):

BRACCO DIAGNOSTICS INC. (US)(54) **DETECTION OF NUCLEAR ISOTOPES IN REAL TIME**

(57) Abstract:

FIELD: nuclear energy.

SUBSTANCE: group of inventions relates to nuclear isotopes, particularly to detection and counting of nuclear isotopes. Elution system comprises ⁸²Sr/⁸²Rb generator configured to generate ⁸²Rb by elution using an eluent; eluent line configured to feed eluent to ⁸²Sr/⁸²Rb generator; an eluate line configured to receive an eluate eluted from ⁸²Sr/⁸²Rb of generator, and transfer of eluate to at least one of following: patient

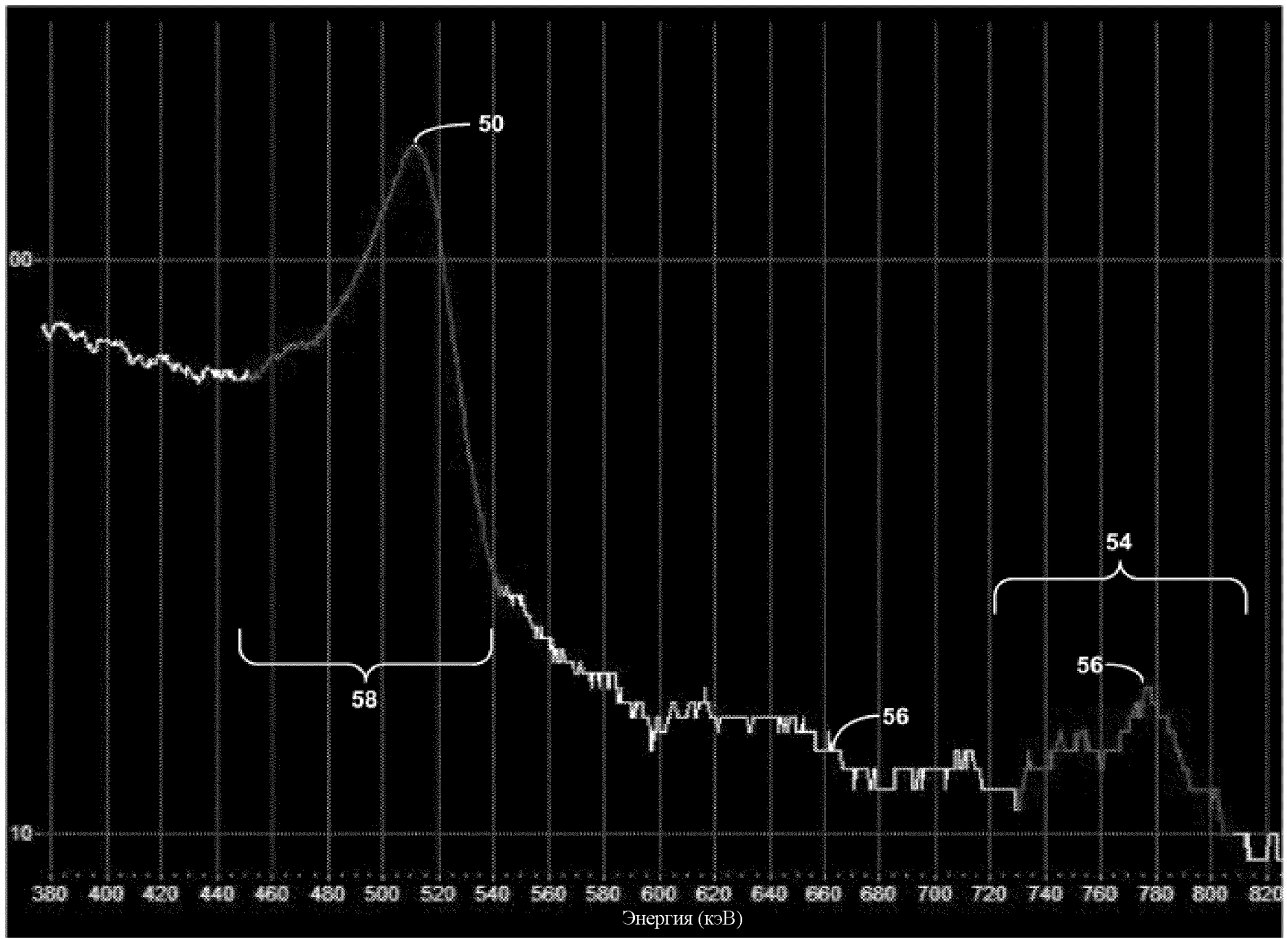
line and drain line; gamma radiation detector located next to the eluate line; and a controller configured to receive data indicating gamma radiation emitted by the eluate, and determining activity ⁸²Rb in the eluate based on the received data and determining activity ⁸²Sr based on the received data.

EFFECT: technical result is high accurate and timely monitoring of different nuclear isotopes.

43 cl, 6 dwg

RU 2 685 087 C 2

RU 2 685 087 C 2



ФИГ. 2

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА

[1] Настоящая заявка испрашивает приоритет предварительной заявки на патент США № 61/952,270, поданной 13 марта 2014 г., полное содержание которой включено в данный документ посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[2] Настоящее изобретение относится к ядерным изотопам и, в частности, к обнаружению и подсчету ядерных изотопов.

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[3] Радиоактивный материал в ядерной медицине применяется в терапии и диагностической визуализации. Позитронно-эмиссионная томография (ПЕТ) является одним из типов диагностической визуализации, при которой используются дозы радиофармацевтического препарата. Дозы радиофармацевтического препарата могут быть введены или влиты в пациента перед или во время процедуры сканирования с помощью ПЕТ. Влитая доза радиофармацевтического препарата может быть поглощена клетками целевого органа пациента и может испускать излучение. Сканер ПЕТ может обнаруживать испускаемое излучение для получения изображения органа. Например, для визуализации ткани организма, такой как миокард, пациенту может быть введен или влит рубидий-82 (т.е., ^{82}Rb). Рубидий-82 может иметь такое же физиологическое поглощение, как и калий, и, соответственно, может быть поглощен миокардом по каналам калия.

[4] Рубидий-82 может быть получен для процедур ядерной медицины с использованием стронций-рубидиевого генератора ($^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора). Рубидий-82 является продуктом радиоактивного распада стронция-82. Как правило, стронций-рубидиевые генераторы содержат стронций, связанный с колонкой генератора, через которую элюент смывается во время работы. Поскольку стронций-82 распадается на рубидий-82, рубидий-82 может высвободиться из колонки генератора и попадать в элюент. Полученный в результате поток, который называется элюатом, может быть введен или влит в пациента. Возможность точного и своевременного отслеживания различных ядерных изотопов, присутствующих в элюате, может способствовать гарантированию безопасного и эффективного использования такого радиоизотопного генератора.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[5] В целом, настоящее изобретение направлено на системы и способы обнаружения и подсчета различных радиоизотопов в исследуемом образце, например, образце элюата, элюированном из рубидий-изотопного генератора. В некоторых примерах детектор гамма-излучения расположен рядом с протекающим потоком элюата и используется для гамма-излучений, исходящих от протекающего потока. Поскольку детектор гамма-излучения обнаруживает гамма-излучения, активность ^{82}Rb и/или активность ^{82}Sr в элюате может быть определена по существу в реальном времени. Например, активность ^{82}Sr в элюате, проходящем мимо детектора, может быть определена достаточно быстро, так что, если повышенная активность ^{82}Sr была обнаружена в элюате, элюат может быть перенаправлен в сливной сосуд без введения в пациента.

[6] В некоторых примерах активность ^{82}Rb и активность ^{82}Sr определяются с помощью разделения перекрывающихся спектров гамма-излучения, испускаемых двумя изотопами. Например, известно, что ^{82}Rb испускает гамма-излучение в энергетическом диапазоне от 511 кэВ (килоэлектронвольт) до 776 кэВ. Известно, что ^{85}Sr испускает гамма-

излучение в энергетическом диапазоне 514 кэВ и относится к ^{82}Sr из-за изотопного отношения. Учитывая практические ограничения разрешения большинства детекторов гамма-излучения, гамма-излучение, испускаемое в энергетическом диапазоне от 511 кэВ до 514 кэВ, не может быть точно приписано ни ^{82}Rb , ни ^{85}Sr . Тем не менее, в соответствии с некоторыми примерами настоящего изобретения гамма-излучение, испускаемое ^{82}Rb в диапазоне 511 кэВ, может быть отделено от гамма-излучения, испускаемого ^{85}Sr в диапазоне 514 кэВ, для быстрого определения количества ^{82}Rb и ^{82}Sr в образце.

[7] Несмотря на то, что раскрытые системы и способы имеют хорошую применимость к $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генераторам, системы и способы не ограничиваются реализацией на данных генераторах. Предпочтительно, раскрытые системы и способы могут быть использованы для обнаружения и подсчета любого необходимого радиоизотопа, элюированного из радиоизотопного генератора, который высвобождает дочерний радиоизотоп, являющийся продуктом радиоактивного распада соответствующего родительского изотопа. В некоторых конфигурациях детектор гамма-излучения расположен ниже по потоку от радиоизотопного генератора, например, рядом с протекающим потоком элюата и используется для обнаружения гамма-излучений, исходящих от протекающего потока. Поскольку детектор гамма-излучения обнаруживает гамма-излучения, может быть определена активность дочернего радиоизотопа, родительского радиоизотопа и/или другого радиоизотопа в элюате.

[8] На практике, родительский радиоизотоп, присутствующий в элюате, протекающем от радиоизотопного генератора мимо гамма-детектора, может иметь достаточно небольшую активность и/или недостаточное гамма-излучение, так что сложно разделить родительский радиоизотоп от дочернего радиоизотопа. В данных случаях для способствования разделению радиоизотопов дочерний радиоизотоп может быть отделен от родительского радиоизотопа перед измерением гамма-спектра, испускаемого элюатом. В одном примере элюат проходит через аккумулирующую структуру, выполненную с возможностью предпочтительного связывания родительского радиоизотопа, при этом обеспечивая протекание дочернего радиоизотопа через структуру. Например, вторичная колонка генератора, образованная из того же или подобного материала, что и колонка, используемая в радиоизотопном генераторе, может быть расположена ниже по потоку от радиоизотопного генератора. В отличие от колонки радиоизотопного генератора, которая заполнена родительским радиоизотопом, вторая колонка генератора, тем не менее, может быть по существу или полностью лишена родительского радиоизотопа (несмотря на то, что со временем родительский радиоизотоп может аккумулироваться на второй колонке генератора). Гамма-детектор может быть расположен для измерения гамма-излучений, исходящих от второй колонки генератора, например, жидкости, находящейся во второй колонке генератора и/или протекающей через колонку генератора.

[9] При использовании аккумулирующей структуры, элюат, нагнетающийся из радиоизотопного генератора, может сначала протекать через структуру. Родительский радиоизотоп может аккумулироваться (например, связываться) на аккумулирующей структуре из элюата по мере протекания элюата через структуру. Во время данного процесса гамма-излучение, испускаемое элюатом, может быть измерено гамма-детектором. Поскольку активность дочернего радиоизотопа, как правило, предположительно значительно превышает активность любого присутствующего

родительского радиоизотопа, гамма-излучение, измеряемое гамма-детектором, может быть приписано дочернему радиоизотопу и активности дочернего радиоизотопа, определенной на его основе. После завершения элюирования из радиоизотопного генератора, аккумулирующая структура может быть промыта элюентом для удаления оставшегося элюата/дочернего радиоизотопа из аккумулирующей структуры.

Следовательно, гамма-излучение, испускаемое аккумулирующей структурой и/или элюентом, находящимся в или протекающим через аккумулирующую структуру, может быть измерено гамма-детектором. Поскольку активность родительского радиоизотопа (или продуктов его распада), как правило, предположительно превышает активность любого присутствующего оставшегося дочернего радиоизотопа, гамма-излучение, измеряемое гамма-детектором, может быть приписано родительскому радиоизотопу и активности родительского радиоизотопа, определенной на его основе.

[10] В одном примере описана система элюирования, которая содержит $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, выполненный с возможностью генерирования ^{82}Rb посредством элюирования с использованием элюента, линию элюента, выполненную с возможностью подачи элюента на $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, линию элюата, выполненную с возможностью приема элюата, элюированного из $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора, и передачи элюата на одно из следующего: линию пациента и сливную линию, и детектор гамма-излучения, расположенный рядом с линией элюата и выполненный с возможностью обнаружения гамма-излучения, испускаемого элюатом, протекающим через линию элюата.

Приведенная в качестве примера система также включает контроллер, с возможностью связи соединенный с детектором гамма-излучения и выполненный с возможностью приема данных, указывающих на гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим через линию элюата, определения активности ^{82}Rb в элюате на основании принятых данных и определения активности ^{82}Sr и/или ^{85}Sr на основании принятых данных.

[11] В еще одном примере описан способ, который включает прием данных, указывающих на ядерное излучение, испускаемое элюатом, элюированным из рубидий-изотопного генератора, определение активности ^{82}Rb в элюате на основании принятых данных по существу в реальном времени с получением данных и определение активности ^{82}Sr и/или ^{85}Sr в элюате на основании принятых данных по существу в реальном времени с получением данных.

[12] В еще одном примере описан способ калибровки, который включает обнаружение гамма-излучения посредством детектора гамма-излучения от первого изотопа, имеющего известную активность и испускающего излучение в области линии 776 кэВ спектра гамма-излучения, и определение коэффициента эффективности для линии 776 кэВ посредством деления обнаруженной активности первого изотопа в области линии 776 кэВ на известную активность для первого изотопа. Приведенный в качестве примера способ также включает обнаружение гамма-излучения посредством детектора гамма-излучения от второго изотопа, имеющего известную активность и испускающего излучение в области линии 511 кэВ и линии 514 кэВ спектра гамма-излучения, и определение коэффициента эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ спектра гамма-излучения посредством деления обнаруженной активности второго изотопа в области линии 511 кэВ и линии 514 кэВ на известную активность для второго изотопа. Пример также включает сохранение определенного коэффициента эффективности для линии 776 кэВ и определенного коэффициента эффективности для линии 511 кэВ и линии

514 кэВ в памяти, связанной с детектором гамма-излучения.

[13] В еще одном примере описана система элюирования, которая включает радиоизотопный генератор, линию элюента, линию элюата, детектор гамма-излучения и контроллер. Радиоизотопный генератор выполнен с возможностью высвобождения дочернего радиоизотопа во время элюирования с использованием элюента, таким образом производя элюат, содержащий дочерний радиоизотоп, при этом дочерний радиоизотоп производится из радиоактивного распада родительского радиоизотопа, содержащегося внутри радиоизотопного генератора. Линия элюента выполнена с возможностью подачи элюента на радиоизотопный генератор. Линия элюата выполнена с возможностью приема и передачи элюата, элюированного из радиоизотопного генератора. Детектор гамма-излучения расположен для обнаружения гамма-излучения, испускаемого радиоизотопами, высвобожденными радиоизотопным генератором, и продуктами их распада, и передающегося от радиоизотопного генератора через линию элюата. Контроллер с возможностью связи соединен с детектором гамма-излучения и выполнен с возможностью приема данных, указывающих на гамма-излучение, испускаемое радиоизотопами, высвобожденными радиоизотопным генератором, и продуктами их распада. Контроллер дополнительно выполнен с возможностью определения активности дочернего радиоизотопа в элюате на основании принятых данных и определения активности родительского радиоизотопа в элюате на основании принятых данных.

[14] Подробности одного или нескольких примеров изложены на прилагаемых графических материалах и в нижеприведенном описании. Другие признаки, цели и преимущества будут понятны из описания и графических материалов, а также из формулы изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[15] На фиг. 1 показана блок-диаграмма приведенной в качестве примера системы радиоизотопного генератора, которая может генерировать радиоизотопы.

[16] На фиг. 2 показан график приведенного в качестве примера спектра гамма-излучения, который может быть сгенерирован с использованием системы радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 1.

[17] На фиг. 3 показана блок-схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован для измерения активности отдельных изотопов в системе радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 1.

[18] На фиг. 4 показана блок-схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован для калибровки детектора.

[19] На фиг. 5 показана блок-диаграмма еще одной приведенной в качестве примера системы радиоизотопного генератора, которая может генерировать радиоизотопы.

[20] На фиг. 6 показана блок-схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован для измерения активности отдельных изотопов в системе радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 5.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[21] В целом, изобретение относится к обнаружению и подсчету в реальном времени различных радиоизотопов в образце. Описанные системы и способы могут быть реализованы для обнаружения и подсчета любого необходимого радиоизотопа, элюированного из радиоизотопного генератора, который высвобождает дочерний радиоизотоп, произведенный посредством радиоактивного распада соответствующего родительского изотопа. Например, в различных условиях применения радиоизотопный генератор может производить излучатель позитронов, фотоизлучатель или излучатель

частиц для терапии. Родительский радиоизотоп, как правило, связан с колонкой генератора, через которую элюент смывается во время работы. Поскольку родительский радиоизотоп распадается, производится один или несколько дочерних радиоизотопов, которые слабее связаны с колонкой генератора, чем родительский радиоизотоп. В результате, дочерний радиоизотоп может быть высвобожден в элюент, протекающий через генератор, таким образом, производя элюат, содержащий дочерний радиоизотоп.

[22] Возможность точного и своевременного отслеживания различных ядерных изотопов, присутствующих в элюате, может способствовать гарантированию безопасного и эффективного использования радиоизотопного генератора. В соответствии со способами, описанными в некоторых примерах в данном документе, элюат, произведенный радиоизотопным генератором, отслеживается в реальном времени для определения активности дочернего радиоизотопа, присутствующего в элюате, активности родительского радиоизотопа, присутствующего в элюате, и/или активности одного или нескольких других исследуемых радиоизотопов. В одном применении, например, система радиоизотопного генератора содержит гамма-детектор, расположенный ниже по потоку от радиоизотопного генератора. Гамма-детектор может быть расположен для приема гамма-излучения, исходящего от канала потока, через который элюат протекает во время работы. Гамма-детектор может измерять гамма-излучение от канала элюата. Активность одного или нескольких радиоизотопов, присутствующих в элюате, произведенных радиоизотопным генератором, может быть подсчитана на основании величины и характеристик (например, линии энергии, скорости распада) гамма-излучения, обнаруженного гамма-детектором. В некоторых конфигурациях система радиоизотопного генератора активно управляется в реальном времени на основании типов и/или количеств радиоизотопов, обнаруженных системой радиоизотопного генератора. Например, система радиоизотопного генератора может автоматически запрещать или разрешать процедуру вливания в пациента, в зависимости от ситуации, на основании типов и/или количеств радиоизотопов, обнаруженных в качестве присутствующих в элюате, произведенном системой.

[23] Несмотря на то, что примеры изобретения описывают обнаружение и подсчет в реальном времени различных радиоизотопов, на практике реальный промежуток времени для обнаружения и подсчета может изменяться. Например, как более подробно описано далее, системы радиоизотопного генератора в соответствии с изобретением могут быть реализованы с использованием ряда различных гамма-детекторов, включая гамма-детекторы с жидкостным охлаждением, гамма-детекторы, работающие при комнатной температуре, твердотельные гамма-детекторы и тому подобное. Разрешение гамма-спектра, сгенерированного гамма-детектором, может изменяться в зависимости от типа гамма-детектора, выбранного для системы, и конфигурации аппаратного обеспечения и/или программного обеспечения, выбранного для реализации гамма-детектора. Соответственно, точность и скорость выполнения радиоизотопных измерений может изменяться на практике в зависимости от конфигурации системы радиоизотопного генератора и практических конструктивных решений, необходимых для реализации системы, учитывая такие факторы, как рабочая среда системы, стоимость реализации и квалификация рабочего персонала.

[24] Несмотря на факультативные конструктивные решения, которые могут быть приняты во время реализации систем и способов, описанных в данном документе, в некоторых примерах система реализована с использованием рубидиевого генератора. На практике, образец, содержащий один или несколько радиоизотопов, генерируется посредством элюирования с использованием рубидиевого генератора. Например, когда

элюент проходит через $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, рубидий-82, сгенерированный в качестве продукта радиоактивного распада из стронция-82, может элюировать в элюент, генерирующий радиоактивный элюат. Элюат может содержать изотопы помимо рубидия-82, при этом количество и величина изотопов изменяются, например, на основании эксплуатационных характеристик генератора. Например, поскольку генератор используется для генерирования доз рубидия-82, стронций-82 и/или стронций-85 может высвобождаться из генератора и также попадать в элюат. В качестве еще одного примера, цезий-131 может попадать в элюат в малых количествах в качестве примеси. Соответственно, общая величина радиоактивности, измеренная из элюата, может не приписываться какому-либо конкретному изотопу, но вместо этого может являться суммарной величиной радиоактивности, испускаемой каждым отличным изотопом в элюате.

[25] В соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения описан способ, который может быть использован для отделения измеренной радиоактивности от образца элюата для определения величины измеренной радиоактивности, приписываемойся каждому конкретному отличному изотопу в образце. Например, способ может быть использован для подсчета величины активности, приписываемойся рубидию-82 в элюате, и величины активности стронция-82 в элюате, например, для определения концентрации рубидия-82 и стронция-82. Подсчет различных активностей может быть выполнен по существу в реальном времени посредством измерения общей радиоактивности элюата, например, чтобы дозировка пациента и/или работа радиоизотопного генератора могла быть отрегулирована по существу в реальном времени. Например, подсчет различных активностей может быть выполнен без необходимости ожидания полного распада одного из изотопов в элюате (например, рубидия-82) для того, чтобы отличить величины активностей, предоставленных каждым из множества различных изотопов в элюате.

[26] В одном примере способ включает генерирование спектра гамма-излучения от гамма-излучения, испускаемого образцом элюата, и определение величины активности, связанной с различными частями спектра. Например, рубидий-82 испускает радиоактивное излучение на линии 511 кэВ в спектре гамма-излучения и линии 776 кэВ спектра. Соответственно, посредством измерения величины радиоактивности, испускаемой на линии 511 кэВ и линии 776 кэВ в спектре, можно предположить, что активность на двух линиях приписывается рубидию-82 и полная активность рубидия-82 определена. Тем не менее, если также присутствует стронций-85, гамма-излучение, испускаемое стронцием-85, может препятствовать точному определению рубидия-82. Стронций-85 испускает радиоактивное излучение на линии 514 кэВ в спектре гамма-излучения, которое рядом с линией 511 кэВ рубидия-82. На практике, большинство детекторов гамма-излучения не может предоставить достаточного разрешения для того, чтобы отличить активность, испускаемую на линии 511 кэВ, от линии 514 кэВ спектра, что мешает отличить величину активности рубидия-82 на линии 511 кэВ от величины активности стронция-85 на линии 514 кэВ.

[27] Для преодоления взаимного влияния активности в области 511-514 кэВ спектра способ может сначала определять активность рубидия-82 на линии 776 кэВ спектра, а затем использовать данную активность для определения соответствующей активности рубидия-82 на линии 511 кэВ. Например, способ может определять активность рубидия-82 на линии 776 кэВ спектра, а затем умножать данную активность на коэффициент интенсивности ветвления для определения активности на линии 511 кэВ. Коэффициент интенсивности ветвления может являться коэффициентом, который относит активность

рубидия-82 на линии 776 кэВ к активности изотопа на линии 511 кэВ на основании известных ядерных свойств рубидия-82. Общая активность рубидия-82 далее может быть определена посредством суммирования определенной активности на линии 776 кэВ с определенной активностью на линии 511 кэВ. Также, зная активность рубидия-82 на линии 511 кэВ, данная активность может быть вычтена из общей активности рубидия и стронция, измеренной в области 511-514 кэВ спектра гамма-излучения для идентификации активности стронция-85. Активность стронция-82 может быть дополнительно идентифицирована с использованием активности стронция-85 и отношения активности стронция-85 к активности стронция-82. Таким образом, активность рубидия-82, стронция-85 и/или стронция-82 может быть определена в исследуемом образце.

[28] Соответствующие активности рубидия-82, стронция-85 и/или стронция-82 могут быть определены так же быстро, как электронное устройство обработки, выполняющее вычисления, может принять данные измерения гамма-излучения и обработать данные. На практике, активности могут быть определены по существу в реальном времени, так что, например, активности рубидия-82 и стронция-82 могут быть определены по существу одновременно с измерением общих гамма-излучений, испускаемых исследуемым образцом (например, менее 30 секунд после определения и измерения общих излучений, например, менее 10 секунд, менее 5 секунд, менее 2 секунд или менее 1 секунды).

[29] Для способствования гарантированию того, что активности на различных линиях спектра гамма-излучения могут быть точно отличены и определены, детектор гамма-излучения может быть откалиброван перед использованием. Например, детектор гамма-излучения может быть откалиброван для генерирования коэффициентов калибровки, которые могут быть отнесены к коэффициентам эффективности, которые затем сохраняются в памяти, связанной с детектором гамма-излучения. Коэффициенты эффективности могут или не могут быть сгенерированы перед установкой детектора гамма-излучения в системе радиоизотопного генератора, содержащей генератор, который генерирует радиоизотопы посредством элюирования. На практике, различные коэффициенты эффективности могут быть применены к измерениям активности, выполненным на различных линиях в спектре гамма-излучения, для генерирования данных измерения отрегулированной активности.

[30] В одном примере способ калибровки включает измерение гамма-излучения, испускаемого первым изотопом на или приблизительно на линии 776 кэВ (например, в диапазоне плюс или минус 5 кэВ) спектра гамма-излучения и имеющего известную активность. Активность, измеренная детектором гамма-излучения на или приблизительно на линии 776 кэВ, может быть разделена на известную активность изотопа для генерирования первого коэффициента эффективности. Первый коэффициент эффективности затем может быть применен к последующим измерениям активности, выполненным детектором гамма-излучения на линии 776 кэВ, для генерирования измерений отрегулированной активности на линии.

[31] В некоторых дополнительных примерах детектор гамма-излучения используется для измерения гамма-излучения, испускаемого вторым изотопом в области линий от 511 до 514 кэВ спектра гамма-излучения и имеющего известную активность. Активность, измеренная детектором гамма-излучения на или приблизительно на линиях от 511 до 514 кэВ (например, в диапазоне плюс или минус 5 кэВ), может быть разделена на известную активность изотопа для генерирования второго коэффициента эффективности. Второй коэффициент эффективности затем может быть применен к последующим измерениям активности, выполненным детектором гамма-излучения на линиях от 511

до 514 кэВ, для генерирования измерений отрегулированной активности для линий.

[32] Независимо от того, какие коэффициенты эффективности были определены для детектора гамма-излучения или применены к измерениям активности детектора гамма-излучения во время работы, измерения активности, выполненные для различных радиоизотопных частиц, могут быть сохранены и/или использованы для ряда целей в системе радиоизотопного генератора. В некоторых применениях детектор гамма-излучения может быть установлен на том же физическом месте, что и $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, например, в качестве электронно интегрированной системы, которая принимает измерения от детектора гамма-излучения, а также управляет работой $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора. Например, детектор гамма-излучения может быть расположен для обнаружения гамма-излучения, исходящего от протекающего потока элюата, нагнетающегося из $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора. В качестве дополнения или альтернативы, образец элюата, сгенерированного $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератором, может быть остановлен перед детектором гамма-излучения в течение периода времени (например, для выполнения периодических проверок линейности/постоянства измерений, выполненных детектором гамма-излучения). В любом применении данные, сгенерированные детектором гамма-излучения, могут быть сохранены в памяти, связанной с $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератором, и/или электронно переданы на внешнее устройство, например, для отслеживания и/или оценки работы $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора. В дополнительных примерах контроллер, функционально соединенный с системой $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора, может управлять работой системы на основании данных, сгенерированных детектором гамма-излучения. Например, контроллер может сравнивать активность одного или нескольких отдельных изотопов с одним или несколькими пороговыми значениями, сохраненными в памяти, и управлять работой системы на основании сравнения. В различных примерах контроллер может инициировать предупреждение пользователя (например, визуальное, текстовое, звуковое предупреждение пользователя), отключать насос для элюента для прекращения генерирования элюата и/или управлять распределительным клапаном для перенаправления элюирования с линии пациента на сливную линию, соединенную со сливным сосудом, или, наоборот, в ответ на определение того, что измеренная активность для изотопа превысила пороговое значение.

[33] На фиг. 1 показана блок-диаграмма, иллюстрирующая приведенную в качестве примера систему 10 радиоизотопного генератора, в которой различные радиоизотопы могут быть обнаружены и подсчитаны с использованием систем и способов в соответствии с изобретением. Система 10 радиоизотопного генератора содержит резервуар 12 для элюента, насос 14 для элюента, радиоизотопный генератор 16 и сливной сосуд 18. Насос 14 для элюента принимает элюент от резервуара 12 для элюента, повышает давление элюента и нагнетает элюент под давлением в линию 20 элюента. Первый распределительный клапан 22 управляет подачей потока элюента на одно из следующего: впускную линию 24 радиоизотопного генератора и обходную линию 26 радиоизотопного генератора. Элюент, протекающий через обходную линию 26 радиоизотопного генератора, обходит радиоизотопный генератор 16 и может протекать непосредственно в линию 28 пациента, которая может быть соединена с пациентом. Второй распределительный клапан 30 управляет подачей потока элюента, сгенерированного посредством элюирования внутри радиоизотопного генератора 16, на одно из следующего: линию 28 пациента или сливную линию 32. Сливная линия 32

соединена со сливным сосудом 18.

[34] Во время работы радиоизотопный генератор 16 может генерировать радиоизотопы посредством элюирования. Например, радиоизотопный генератор 16 может являться $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератором, содержащим стронций-82, связанный со вспомогательным материалом, таким как диоксид олова или оксид олова. Рубидий-82 является дочерним продуктом распада стронция-82 и слабее связывается со вспомогательным материалом, чем стронций. Поскольку элюент под давлением из резервуара 12 для элюента проходит через радиоизотопный генератор, элюент может высвободить рубидий-82 для генерирования элюата. Например, если элюент является соляным (NaCl) раствором, ионы натрия в соли могут вытеснить рубидий в генератор для элюирования раствора хлорида рубидия-82.

[35] В других примерах радиоизотопный генератор 16 может генерировать различные типы дочерних продуктов распада помимо рубидия-82. Типом дочернего продукта распада, производимого радиоизотопным генератором 16, могут управлять посредством выбора типа родительского радиоизотопа, накладываемого на вспомогательный материал генератора. Приведенные в качестве примера типы радиоизотопных генераторов, которые могут быть использованы в качестве радиоизотопного генератора 16, содержат, помимо всего прочего, $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ (родительский молибден-99, связанный со вспомогательным материалом для производства дочернего продукта распада - технеция-99м); $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ (родительский стронций-90, связанный со вспомогательным материалом для производства дочернего продукта распада - иттрия-90); $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ (родительский вольфрам-188, связанный со вспомогательным материалом для производства дочернего продукта распада - рения-188); и $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ (родительский германий-68, связанный со вспомогательным материалом для производства дочернего продукта распада - галлия-90). Другие типы радиоизотопных генераторов, которые могут быть использованы в качестве радиоизотопного генератора 16, включают: $^{42}\text{Ar}/^{42}\text{K}$; $^{44}\text{Ti}/^{44}\text{Sc}$; $^{52}\text{Fe}/^{52\text{m}}\text{Mn}$; $^{72}\text{Se}/^{72}\text{As}$; $^{83}\text{Rb}/^{83\text{m}}\text{Kr}$; $^{103}\text{Pd}/^{103\text{m}}\text{Rh}$; $^{109}\text{Cd}/^{109\text{m}}\text{Ag}$; $^{113}\text{Sn}/^{113\text{m}}\text{In}$; $^{118}\text{Te}/^{118}\text{Sb}$; $^{132}\text{Te}/^{132}\text{I}$; $^{137}\text{Cs}/^{137\text{m}}\text{Ba}$; $^{140}\text{Ba}/^{140}\text{La}$; $^{134}\text{Ce}/^{134}\text{La}$; $^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$; $^{140}\text{Nd}/^{140}\text{Pr}$; $^{166}\text{Dy}/^{166}\text{Ho}$; $^{167}\text{Tm}/^{167\text{m}}\text{Er}$; $^{172}\text{Hf}/^{172}\text{Lu}$; $^{178}\text{W}/^{178}\text{Ta}$; $^{191}\text{Os}/^{191\text{m}}\text{Ir}$; $^{194}\text{Os}/^{194}\text{Ir}$; $^{226}\text{Ra}/^{222}\text{Rn}$; и $^{225}\text{Ac}/^{213}\text{Bi}$.

[36] Подобно работе $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора, элюент под давлением из резервуара 12 для элюента проходит через радиоизотопный генератор для высвобождения дочернего продукта распада в элюент и, следовательно, генерирования элюата, содержащего дочерний продукт распада. Тип используемого элюента может быть выбран на основании характеристик родительского радиоизотопа и вспомогательного материала, используемого для радиоизотопного генератора 16. Например, в случае $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ генератора раствор соляной кислоты (например, 0,1-1 М HCl) используется в качестве элюента.

[37] Система 10 радиоизотопного генератора в примере, показанном на фиг. 1, также содержит детектор 34 ядерного излучения и контроллер 36. Детектор 34 может являться детектором гамма-излучения, который обнаруживает гамма-излучение, исходящее от элюата, сгенерированного радиоизотопным генератором 16. Контроллер 36 может принимать данные, сгенерированные детектором 34, указывающие на величину и тип (например, спектральное распределение) гамма-излучения, обнаруженного детектором 34. Контроллер 36 может дополнительно обрабатывать данные для определения

активности различных изотопов в элюате, из которого детектор 34 обнаружил гамма-излучения, как более подробно описано далее. Контроллер 36 может также управлять общей работой системы 10 радиоизотопного генератора, включая инициацию и управление процедурами дозирования пациента, управление различными клапанами и насосом (насосами) в системе, прием и обработку сигналов от детектора 34 и тому подобное.

[38] Несмотря на то, что это не проиллюстрировано на фиг. 1, контроллер 36 может быть с возможностью связи соединен (например, посредством проводного или беспроводного соединения) с различными насосами (насосом), клапанами и другими компонентами системы 10 для отправки и приема электронных сигналов управления и информации между контроллером 36 и соединенными с возможностью связи компонентами. Различные компоненты системы 10 могут содержаться на и/или внутри медицинской тележки радиоизотопного генератора, например, медицинской тележки, имеющей конфигурацию, описанную в патенте США № 7,862,534, полное содержание которого включено в данный документ посредством ссылки. Например, система 10 радиоизотопного генератора может быть установлена на подвижной медицинской тележке (например, имеющей основной каркас, на котором установлены компоненты системы, и колеса), выполненной с возможностью перемещения по операционной, в которой выполняется процедура вливания.

[39] В проиллюстрированном примере детектор 34 расположен для обнаружения излучения, испускаемого элюатом, в месте между нагнетательной линией радиоизотопного генератора 16 и вторым распределительным клапаном 30. В частности, проиллюстрированный детектор 34 расположен так, чтобы обнаруживать излучение, испускаемое элюатом, протекающим через радиоизотопную нагнетательную линию 38. Детектор 34 может быть расположен в непосредственной близости от нагнетательной линии 38 для обнаружения излучения, исходящего от элюата в линии, например, расположенной рядом с и в некоторых примерах в физическом контакте с наружной поверхностью нагнетательной линии. Например, детектор 34 может быть расположен менее чем в 5 дюймах от наружной поверхности нагнетательной линии 38, например, менее чем в 2 дюймах, менее чем в 1 дюйме, менее чем в 1/4 дюйма или менее чем в 1/32 дюйма. В других примерах детектор 34 может не быть расположен для обнаружения излучения от элюата в нагнетательной линии 38, но может быть расположен для измерения излучения в других местах внутри системы 10. Например, как описано в отношении фиг. 5, детектор 34 может быть расположен для обнаружения излучения от аккумулирующей структуры, расположенной ниже по потоку от радиоизотопного генератора 16.

[40] Во время работы детектор 34 может обнаруживать гамма-излучения, исходящие от образца элюата, протекающего через и/или остановленного внутри нагнетательной линии 38. Детектор 34 может содержать ряд различных компонентов для обнаружения и обработки сигналов гамма-излучения, таких как сортировщик импульсов (например, многоканальный анализатор), усилители, измерители скорости, стабилизаторы положения пика и тому подобное. В одном примере детектор 34 содержит сцинтилляционный детектор. В еще одном примере детектор 34 содержит твердотельный полупроводниковый детектор.

[41] Конкретный тип детектора гамма-излучения для детектора 34 может изменяться в зависимости от ряда факторов, таких как, например, необходимое разрешение детектора, физические требования для практической реализации детектора в системе (например, требования по охлаждению), предполагаемая квалификация персонала,

работающего с детектором, и тому подобное. В некоторых применениях детектор 34 является сцинтилляционным детектором, таким как щелочно галоидный (например, NaI, CsI) или висмут германатный (например, $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ или BGO) со сравнительно низким разрешением. В других применениях детектор 34 содержит металлические частицы с большим атомным номером. Примером является оксиортосиликат лютеция $\text{Lu}_2(\text{SiO}_4)\text{O}(\text{Ce})$ или LSO, который, несмотря на немного лучшее разрешение, чем BGO, может иметь ограниченную применимость вследствие своего относительно высокого собственного излучения. В качестве еще одного примера, детектор 34 может являться церий-легированным лантаном, таким как $\text{LaCl}_3(\text{Ce})$ или $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$.

[42] В других применениях детектор 34 является твердотельным полупроводниковым детектором, таким как плоский германиевый детектор. Например, в качестве еще одного примера, детектор 34 может являться твердотельным полупроводниковым теллуристым детектором, таким как кадмий-теллуристый или кадмий-цинк-теллуристый полупроводниковый детектор. Детектор 34 может работать при комнатной температуре или может быть охлажден ниже комнатной температуры (например, посредством охлаждающего устройства, входящего в состав системы 10 радиоизотопного генератора) для увеличения разрешения детектора.

[43] Детектор 34 может генерировать данные гамма-спектроскопии. Например, детектор может содержать пассивный материал, который ожидает возникновения в объеме детектора воздействия гамма-излучения. Приведенными в качестве примера воздействиями могут быть фотоэлектрические эффекты, эффекты Комптона и образование пара. Когда гамма-излучение подвергается воздействию эффекта Комптона или образования пара, например, часть энергии может выходить из объема детектора без поглощения, так что фоновая скорость спектра увеличивается на одну единицу. Данная единица может появиться в канале под каналом, который соответствует полной энергии гамма-излучения.

[44] Импульсу напряжения, производимому детектором 34, может быть придана форма многоканальным анализатором, связанным с детектором. Многоканальный анализатор может принимать сигнал малого уровня напряжения, произведенный детектором, менять его форму на гауссову или трапециевидную форму и преобразовывать сигнал в цифровой сигнал. Количество каналов, предоставленных многоканальным анализатором, может изменяться, но в некоторых примерах выбирается из одного из следующего: 512, 1024, 2048, 4096, 8192 или 16384 каналов. Выбор количества каналов может зависеть от разрешения системы, исследуемого энергетического диапазона и возможностей обработки системы.

[45] Данные, сгенерированные детектором 34 в ответ на обнаружение гамма-излучений, могут иметь форму спектра гамма-излучения, который содержит пики. Пики могут соответствовать различным уровням энергии, испускаемым различными изотопами в пределах анализируемого образца элюата. Данные пики могут также называться линиями по аналогии с оптической спектроскопией. Ширина пиков может быть определена разрешением детектора, при этом горизонтальное положение пика является энергией гамма-излучения, и площадь пика определяется интенсивностью гамма-излучения и/или эффективностью детектора.

[46] На фиг. 2 показан график приведенного в качестве примера спектра гамма-излучения, который может быть сгенерирован в результате измерения гамма-излучения, испускаемого элюатом, сгенерированным $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератором. Как показано в данном примере, спектр гамма-излучения содержит первый пик 50 в энергетическом диапазоне 500-520 кэВ и второй пик 52 в энергетическом диапазоне 760-780. Элюат,

сгенерированный с использованием $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора, предположительно может иметь некоторое количество стронция-85, а также некоторое количество рубидия-82. Известно, что рубидий-82 испускает гамма-излучение в двух различных энергетических диапазонах: линии 511 кэВ и линии 776 кэВ. Также известно, что стронций-85 испускает

5 гамма-излучение на линии 514 кэВ. Соответственно, первый пик 50 в спектре может представлять общую величину гамма-излучения, испускаемого линией 511 кэВ рубидия-82, а также линией 514 кэВ стронция-85. В отличие от этого, второй пик 52 в спектре может представлять величину гамма-излучения, испускаемого линией 776 кэВ рубидия-82.

10 [47] Как показано в приведенном в качестве примера спектре, показанном на фиг. 2, первый пик 50 может появляться в качестве отдельного непрерывного пика, охватывающего обе линии энергии 511 кэВ и 514 кэВ. Это может происходить, если разрешение детектора ниже разрешения, необходимого для разделения по отдельности

15 линии 511 кэВ и линии 514 кэВ. На практике некоторые коммерчески доступные детекторы могут подходящим образом отделить линию 511 кэВ от 514 кэВ, так что первый пик 50 появляется в качестве двух отдельных пиков, один из которых охватывает

20 линию 511 кэВ, а другой из которых охватывает линию энергии 514 кэВ. Следовательно, простой спектральный анализ, в который включена площадь, занимаемая пиком, для определения активности, связанной с отдельным изотопом, испускающим излучение при данном пике, не может быть выполнен при использовании данных детекторов. Предпочтительно излучение, испускаемое рубидием-82 на линии 511 кэВ, препятствует

25 спектральному анализу излучения, испускаемого стронцием-85 на линии 514 кэВ. Подобным образом, излучение, испускаемое стронцием-85 на линии 514 кэВ, препятствует спектральному анализу излучения, испускаемого рубидием-82 на линии

30 [48] На фиг. 3 показана блок-схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован для разделения препятствующих гамма-излучений для определения активностей каждого из множества радиоизотопов в анализируемом образце. Например, способ, показанный на фиг. 3, может быть использован системой

35 10 радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 1, для определения активности стронция-82, активности стронция-85 и/или активности рубидия-82 наряду с другими изотопами в образце элюата, сгенерированного радиоизотопным генератором 16. В приведенном в качестве примера способе контроллер 36 принимает данные гамма-спектроскопии от детектора 34, указывающие на гамма-излучение (например, величину,

40 распределение), обнаруженное детектором 34 из элюата (100). Детектор 34 может обнаруживать и контроллер 36 может принимать гамма-излучение по мере того, как элюат протекает через нагнетательную линию 38. Например, насос 14 для элюента может перекачивать элюент через радиоизотопный генератор 16 со скоростью в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин (например, 50 мл/мин), что приводит к скорости

45 потока элюата в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин. Детектор 34 может непрерывно обнаруживать гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим через нагнетательную линию 38 с данной скоростью. Поскольку концентрация радиоизотопов в элюате изменяется, детектор 34 может обнаружить изменяющееся гамма-излучение от элюата. В других примерах детектор 34 не обнаруживает излучения от протекающего источника жидких изотопов, а скорее от статического объема изотопов. Например, элюат может быть статично расположен перед детектором 34 (например, посредством перекрытия второго распределительного клапана 30) для удерживания неподвижного объема элюата перед детектором. Это может быть полезно, например, для выполнения

периодических проверок линейности/постоянства системы.

[49] При получении данных гамма-спектроскопии от детектора 34 контроллер 36 может определить величину активности, связанной со вторым пиком 52 (фиг. 2) и линией 776 кэВ спектра (102). В целом, активность может быть представлена в беккерелях (Бк) или кюри (Ки) и зависит от состава конкретного изотопа и концентрации изотопа в элюате. Для определения величины активности, связанной с пиком 776 кэВ, контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 776 кэВ, и включать площадь под пиком. Исследуемая область может являться областью, определенной между двумя различными линиями энергии, которая включает исследуемый пик и связывает область, в которую включена площадь пика, для определения соответствующей активности.

[50] Например, если пик образован в спектре гамма-излучения (например, представляющем конкретный радионуклид), пик может находиться в континууме и включать события в континууме только под пиком. Данная область энергии пика, включающего события континуума, в целом, называется исследуемой областью. Начальная и конечная точки исследуемой области могут быть определены с использованием алгоритма, выполняющего функцию второй производной, или посредством визуального осмотра спектра, если доступно достаточное количество статистически значимых данных.

[51] Для определения активности радионуклида, связанного с определенной линией энергии, континуум в пределах исследуемой области, может быть вычтен из всех событий в пике. Данная операция (вычитание континуума из всех событий в пике) называется вычислением конечного пикового интеграла и может быть выполнена контроллером 36.

[52] На фиг. 2 показан второй пик 52, имеющий исследуемую область 54, проходящую над континуумом 56, и первый пик 50, имеющий исследуемую область 58, проходящую над континуумом. В спектрокопии фотоны, которые передают всю свою энергию детектору, образуют «фотопик» (который обычно называется просто пик) в спектре. Тем не менее, рассеянные события, главным образом, вследствие рассеивания Комптона возникают из-за того, что полное поглощение фотонной энергии не осуществляется в детекторе, и данные неполные энергетические события наблюдаются от наивысшей пиковой энергии до наиминимальной пиковой энергии в спектре. Данная почти гладкая кривая событий, проходящая через спектр, как правило, называется континуумом. Иногда континуум также называется фоном, который может быть вычтен контроллером 36 с целью вычисления активности.

[53] С последующей ссылкой на фиг. 3, контроллер 36 может определять значение конечного пикового интеграла в исследуемой области, охватывающей пик 776 кэВ (102). Контроллер 36 может сохранять данную определенную активность в качестве активности линии 776 кэВ рубидия-82 в памяти, связанной с контроллером (104). Следовательно, контроллер 36 может определять активность линии 511 кэВ рубидия-82 на основании определенной активности линии 776 кэВ изотопа и коэффициента (106) интенсивности ветвления. Известно, что гамма-излучение, испускаемое рубидием-82, разветвляется между линией 511 кэВ и линией 776 кэВ при известном отношении. Данное отношение, которое может называться коэффициентом интенсивности ветвления, может быть сохранено в памяти, связанной с контроллером 36. Коэффициент интенсивности ветвления рубидия-82, как правило, представлен в качестве отношения приблизительно 1:13 для отношения линия 776 кэВ/линия 511 кэВ. В результате, контроллер 36 может умножать активность, определенную для линии 776 кэВ рубидия-82, на коэффициент

интенсивности ветвления (например, 13). Затем контроллер может сохранять данную определенную активность в качестве активности линии 511 кэВ рубидия-82 в памяти, связанной с контроллером (108). В некоторых примерах контроллер 36 определяет общую величину активности для рубидия-82 в исследуемом образце элюата посредством суммирования определенной активности для линии 776 кэВ рубидия с определенной активностью для линии 511 кэВ (110).

[54] Приведенный в качестве примера способ, показанный на фиг. 3, дополнительно включает определение величины активности, связанной с первым пиком 50 (фиг. 2) и линиями 511-514 кэВ спектра (112). Контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 511-514 кэВ, как рассмотрено выше в отношении пика 776 кэВ, и определять значение конечного пикового интеграла для идентифицированной исследуемой области. После идентификации контроллером 36 величины активности, связанной с линиями 511-514 кэВ спектра, контроллер может определить количество стронция-85 в элюате на основании определения (114). Как рассмотрено выше, величина активности в первом пике 50, охватывающем линии 511 кэВ и 514 кэВ, может являться общей активностью линии 511 кэВ рубидия-82 и линии 514 кэВ стронция-85. Контроллер 36 может вычитать величину активности, определенной для линии 511 кэВ рубидия-82 (например, как описано в отношении этапа 106, показанного на фиг. 3), из общей величины активности, определенной для линий 511-514 кэВ спектра (114). Контроллер 36 может сохранять полученное в результате значение в качестве активности рубидия-85 в исследуемом элюате.

[55] В некоторых примерах контроллер 36 дополнительно определяет активность стронция-82 на основании определенной активности стронция-85 (116). Активность стронция-82 относится к активности стронция-85 с известным изотопным отношением, которое может быть сохранено в памяти, связанной с контроллером 36. Контроллер 36 может определять активность стронция-82 посредством умножения активности стронция-85 на сохраненное отношение для определения активности стронция-82 в элюате. В некоторых примерах контроллер суммирует определенную активность стронция-85 с определенной активностью стронция-82 для идентификации общей величины активности стронция в элюате (118).

[56] При необходимости, контроллер 36 может идентифицировать величину активности, связанной с другими изотопами в элюате, на основании данных гамма-спектроскопии, принятых от детектора 34 (120). Контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область (области), охватывающую другие пики в спектре, и определять значение конечного пикового интеграла для пика (пиков). Каждый пик может соответствовать конкретному радиоизотопу и соответствие между различными пиками и различными изотопами может быть сохранено в памяти, связанной с контроллером.

[57] В качестве одного примера, контроллер 36 может идентифицировать величину активности, представленной цезием-131 в элюате (при наличии). Цезий-131 испускает гамма-излучение на линии 32 кэВ и может являться примесью в элюате. Контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 32 кэВ, и определять значение конечного пикового интеграла для идентифицированной исследуемой области для определения величины активности, связанной с цезием-131.

[58] Для способствования гарантированию того, что измерения активности, выполненные детектором 34 во время работы системы 10 радиоизотопного генератора, точны, детектор может быть откалиброван. Детектор может быть откалиброван периодически при использовании в системе 10 и/или откалиброван перед установкой и использованием в системе (например, на установке, которая физически удалена от

установки, где находится система 10).

[59] На фиг. 4 показана блок-схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован для калибровки детектора, такого как детектор 34, который затем используется в системе 10 радиоизотопного генератора. В приведенном в качестве примера способа изотоп, имеющий известную активность и испускающий гамма-излучение на или приблизительно на линии 776 кэВ (например, в диапазоне плюс или минус 5 кэВ) спектра, расположен перед детектором 34, так что детектор обнаруживает испускаемое излучение (150). В одном примере изотоп является жидким цезием-134, который испускает излучение на линии 774 кэВ спектра. Изотоп может быть статично расположен перед детектором в течение периода времени или может протекать мимо детектора. Например, если детектор 34 должен быть использован для измерения радиоактивности от элюата, протекающего через линию в системе 10, детектор 34 может быть откалиброван посредством протекания изотопа, имеющего известную активность, мимо детектора (например, с такой же скоростью, с какой элюат будет протекать мимо детектора в процессе работы).

[60] После обнаружения излучения, исходящего от изотопа, имеющего известную активность, контроллер, связанный с процессом калибровки (или сам детектор 34 в других примерах), может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 776 кэВ, в спектре гамма-излучения, сгенерированном из образца. Исследуемая область может являться той же исследуемой областью, которая впоследствии используется для определения активности, связанной с линией 776 кэВ рубидия-82, во время работы системы 10. Контроллер может определять значение конечного пикового интеграла для исследуемой области для определения величины активности, измеренной детектором 34 на или приблизительно на линии 776 кэВ для изотопа, имеющего известную активность.

[61] Следовательно, контроллер может определять коэффициент эффективности (например, коэффициент калибровки) для детектора 34 на линии 776 кэВ (152). Контроллер может делить обнаруженную активность изотопа на или приблизительно на линии 776 кэВ (например, конечный пиковый интеграл, измеренный для изотопа в пределах исследуемой области 776 кэВ) на известную активность на или приблизительно на линии 776 кэВ для изотопа. Контроллер может сохранять данный коэффициент эффективности в памяти, связанной с детектором 34 (154), на который может быть осуществлена ссылка во время работы системы 10.

[62] Например, после измерения активности линии 776 кэВ рубидия-82 во время работы системы 10 (например, определения значения конечного пикового интеграла в пределах исследуемой области 776 кэВ) измеренная активность может быть отрегулирована с использованием коэффициента эффективности. Контроллер 36 может делить значение конечного пикового интеграла, измеренное в пределах линии 776 кэВ для рубидия-82, на коэффициент эффективности детектора для линии 776 кэВ. Данная отрегулированная активность может быть затем использована в последующих вычислениях активности, как описано в отношении фиг. 3.

[63] С последующей ссылкой на фиг. 4, приведенный в качестве примера способ дополнительно включает расположение второго изотопа, имеющего известную активность и испускающего гамма-излучение на или приблизительно на линии 511 кэВ (например, в диапазоне плюс или минус 5 кэВ) спектра, перед детектором 34, так что детектор обнаруживает испускаемое излучение (156). В одном примере изотоп является жидким натрием-22, который испускает излучение на линии 511 кэВ спектра. Изотоп может быть статично расположен перед детектором в течение периода времени или

может протекать мимо детектора.

[64] После обнаружения излучения, исходящего от изотопа, имеющего известную активность, контроллер, связанный с процессом калибровки (или сам детектор 34 в других примерах), может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 511 кэВ, в спектре гамма-излучения, сгенерированном из образца. Исследуемая область может являться той же исследуемой областью, которая впоследствии используется для определения активности, охватывающей линию 511 кэВ рубидия-82 и линию 514 кэВ стронция-85, во время работы системы 10. Контроллер может определять значение конечного пикового интеграла для исследуемой области для определения величины активности, измеренной детектором 34 на линии 511 кэВ для изотопа, имеющего известную активность.

[65] Следовательно, контроллер может определять коэффициент эффективности (например, коэффициент калибровки) для детектора 34 на или приблизительно на линии 511 кэВ (154). Данный коэффициент эффективности может быть характерным для эффективности детектора в области, охватывающей как линию 511 кэВ, так и линию 514 кэВ. Контроллер может делить обнаруженную активность изотопа на линии 511 кэВ (например, конечный пиковый интеграл, измеренный для изотопа в пределах исследуемой области 511 кэВ и 514 кэВ) на известную активность на или приблизительно на линии 511 кэВ для изотопа. Контроллер может сохранять данный коэффициент эффективности в памяти, связанной с детектором 34 (158), на который может быть осуществлена ссылка во время работы системы 10.

[66] Например, после измерения активности линии 511 кэВ рубидия-82 и линии 514 кэВ стронция-85 во время работы системы 10 (например, определения значения конечного пикового интеграла в пределах исследуемой области 511 кэВ и 514 кэВ) измеренная активность может быть отрегулирована с использованием коэффициента эффективности. Контроллер 36 может делить значение конечного пикового интеграла, охватывающее линии 511-514 кэВ, на коэффициент эффективности детектора для линии 511 кэВ. Данная отрегулированная активность может быть затем использована в последующих вычислениях активности, как описано в отношении фиг. 3.

[67] Способ калибровки детектора 34 может быть повторен с использованием дополнительных изотопов, имеющих известные активности и испускающих гамма-излучение в энергетических диапазонах, которые будут впоследствии измерены с использованием детектора во время работы (162). В качестве одного примера, детектор 34 может быть откалиброван для линии 32 кэВ, используемой для измерения активности цезия-131 в системе 10. Во время калибровки изотоп, имеющий известную активность и испускающий гамма-излучение на или приблизительно на линии 32 кэВ спектра, может быть расположен перед (например, протекать мимо) детектором 34, так что детектор обнаруживает испускаемое излучение. Жидкий цезий-137 имеет мультиплет при 32 кэВ и может быть использован в качестве изотопа для калибровки. После обнаружения излучения, исходящего от изотопа, имеющего известную активность, контроллер, связанный с процессом калибровки (или сам детектор 34 в других примерах), может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 32 кэВ, в спектре гамма-излучения, сгенерированном из образца. Исследуемая область может являться той же исследуемой областью, которая впоследствии используется для определения активности линии 32 кэВ цезия-131. Контроллер может определять значение конечного пикового интеграла для исследуемой области и при сравнении измеренной активности конечного пикового интеграла с известной активностью определять коэффициент эффективности для 32 кэВ для детектора. Коэффициент эффективности может быть

сохранен в памяти, связанной с контроллером 36, и на него может быть осуществлена ссылка во время работы системы 10.

[68] С последующей ссылкой на фиг. 1, система 10 может сохранять и/или использовать информацию о радиоизотопной активности, отслеженную и/или определенную контроллером 36, через детектор 34 различными способами. В одном примере контроллер 36 сохраняет данные об активности, сгенерированные во время работы радиоизотопного генератора 16, в памяти, связанной с системой. Память может быть расположена в том же физическом месте, что и генератор, или может быть расположена в физически удаленном месте. Данные могут обеспечивать отслеживание и оценку эксплуатационных характеристик и целостности системы 10, включающей радиоизотопный генератор 16. В некоторых дополнительных примерах контроллер 36 может активно управлять системой 10 на основании данных о радиоактивности, определенных детектором 34.

[69] Например, контроллер 36 может сравнивать измеренную активность для конкретного изотопа или сочетания изотопов в элюате, сгенерированном системой 10, с одним или несколькими пороговыми значениями, сохраненными в памяти. Пороговое значение (значения) может относиться к максимальному количеству изотопа, которое может быть одновременно дозировано. Примеры данных пороговых значений могут включать максимальную дозу стронция-82, составляющую 0,01 мКи, на мКи дозированного рубидия-82 и/или максимальную дозу стронция-85, составляющую 0,1 мКи, на мКи дозированного рубидия-82. Например, пороговые значения могут включать максимальную дозу стронция-82, составляющую 0,02 мКи, на мКи дозированного рубидия-82 и/или максимальную дозу стронция-85, составляющую 0,2 мКи, на мКи дозированного рубидия-82. Пороговое значение (значения) может также относиться к максимальному количеству изотопа, которое может быть дозировано в течение заданного периода времени, например, процедуры дозировки пациента.

Примером такого порогового значения может быть доза рубидия-82, составляющая 2220 МБк (60 мКи), в течение процедуры дозировки для одного пациента.

[70] Контроллер 36 может выполнять ряд действий при превышении порогового значения. В качестве одного примера, контроллер 36 может инициировать предупреждение пользователя (например, визуальное, текстовое, звуковое предупреждение пользователя). В качестве еще одного примера, контроллер 36 может отключать насос 14 для элюента для прекращения генерирования элюата. В качестве еще одного примера, контроллер 36 может управлять вторым распределительным клапаном 30 для перенаправления элюирования с линии 28 пациента на сливную линию 32.

[71] Ряд дополнительных действий может быть выполнен с использованием системы 10. В качестве примера, периодическая проверка постоянства может быть выполнена системой 10, включающей детектор 34, посредством расположения источника калибровки в непосредственной близости от детектора. Например, источник цезия-137, испускающий излучение на линии 661,7 кэВ, может быть расположен рядом с детектором 34. Периодически (например, ежедневно), система 10 будет измерять активность, исходящую от изотопа, и при ссылке на период полураспада изотопа, сохраненный в памяти, связанной с системой, определять, откалибрована ли система и функционирует ли она должным образом.

[72] В качестве еще одного примера, периодическая (например, квартальная) проверка линейности может быть выполнена системой 10, включающей детектор 34, например, посредством элюирования образца рубидия-82 и удерживания образца статично перед

детектором 34, поскольку образец распадается через по меньшей мере один порядок величины активности (например, несколько периодов полураспада). Система 10 может определять линейность измерений активности, выполненных детектором 34, в течение процесса распада, например, для идентификации того, функционирует ли система должным образом.

[73] Как рассмотрено выше в отношении фиг. 1, радиоизотопный генератор 16 может быть выполнен с возможностью использования ряда различных родительских радиоизотопов для производства дочерних продуктов распада помимо рубидия-82 для введения в пациента. При использовании различных родительских-дочерних радиоизотопных пар, различные конфигурации системы и способы могут быть использованы для отделения гамма-излучений от различных изотопов и/или определения активностей для каждого из множества радиоизотопов в исследуемом образце.

[74] На фиг. 5 показана блок-диаграмма, иллюстрирующая еще одну приведенную в качестве примера систему 200 радиоизотопного генератора, в которой различные радиоизотопы могут быть обнаружены и подсчитаны с использованием систем и способов в соответствии с изобретением. Подобные номера позиций в системе 200 радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 5, а также системе 10 радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 1, относятся к подобным элементам. Как показано, система 200 радиоизотопного генератора содержит ранее описанный резервуар 12 для элюента, насос 14 для элюента и радиоизотопный генератор 16. Насос 14 для элюента принимает элюент от резервуара 12 для элюента, повышает давление элюента и нагнетает элюент под давлением в радиоизотопный генератор 16 через линию 20 элюента.

[75] Система 200 радиоизотопного генератора также содержит радиоизотопную аккумулирующую структуру 202, расположенную ниже по потоку от радиоизотопного генератора 16. Радиоизотопная аккумулирующая структура 202 принимает элюат от радиоизотопного генератора 16 через линию 204 элюирования. Элюат протекает сквозь и/или через радиоизотопную аккумулирующую структуру 202 и нагнетается для обработки ниже по потоку или введения в пациента через линию 206. Кроме того, система 200 радиоизотопного генератора содержит распределительный клапан 22, управляющий потоком элюента на одно из следующего: радиоизотопный генератор 16 и аккумулирующую структуру 202. Элюент, протекающий через обходную линию 26 радиоизотопного генератора, обходит радиоизотопный генератор 16 и может протекать непосредственно в аккумулирующую структуру 202.

[76] Во время работы радиоизотопный генератор 16 может генерировать радиоизотопы посредством элюирования, как рассмотрено выше. Радиоизотопный генератор 16 содержит родительский радиоизотоп, связанный со вспомогательным материалом, таким как колоннообразный вспомогательный материал, через который элюент протекает во время работы. Родительский радиоизотоп может сильнее связываться со вспомогательным материалом, чем дочерний продукт распада, произведенный посредством радиоактивного распада радиоизотопа. В результате, когда элюент под давлением из резервуара 12 для элюента проходит через радиоизотопный генератор 16, элюент может высвобождать дочерний продукт распада для генерирования элюата, содержащего дочерний продукт распада.

[77] Для обнаружения и/или подсчета различных радиоизотопов, присутствующих в элюате, произведенном радиоизотопным генератором 16, система 200 радиоизотопного генератора также содержит детектор 34 излучения, как дополнительно описано в отношении фиг. 1. Детектор 34 может являться детектором гамма-излучения, который

обнаруживает гамма-излучение, исходящее от элюата, сгенерированного радиоизотопным генератором 16. Детектор 34 может быть реализован с использованием любых детекторов, рассмотренных выше в отношении фиг. 1. На практике, контроллер 36 может принимать данные, сгенерированные детектором 34, указывающие на величину и тип (например, спектральное распределение) гамма-излучения, обнаруженного детектором 34, и посредством этого определять активность различных радиоизотопов, присутствующих в элюате, произведенном радиоизотопным генератором 16.

[78] Одним из радиоизотопов, который может быть предпочтительно идентифицирован и/или подсчитан в элюате, сгенерированном радиоизотопным генератором 16, является родительский радиоизотоп, содержащийся внутри генератора. Родительский радиоизотоп внутри радиоизотопного генератора 16 предположительно остается связанным со вспомогательным материалом, содержащимся в генераторе, во время элюирования, высвобождая только дочерний радиоизотоп в элюент. Это происходит вследствие того, что родительский радиоизотоп имеет более длительный период распада, чем соответствующий дочерний радиоизотоп, и при введении в пациента будет обеспечивать источник радиоактивности, которая сохраняется в пациенте дольше, чем дочерняя радиоактивность. На практике, тем не менее, небольшое количество родительского радиоизотопа может высвобождаться в элюент, при этом количество родительского радиоизотопа, высвобождаемого во время каждого элюирования, со временем увеличивается с каждым последующим запуском элюирования. Поэтому полезным является обнаружение и подсчет количества родительского радиоизотопа, присутствующего в элюате, произведенном радиоизотопным генератором 16, для гарантирования того, что никакой родительский радиоизотоп, при наличии, не превышает допустимого порогового значения.

[79] Несмотря на необходимость идентификации и/или подсчета, родительский радиоизотоп, присутствующий в элюате, протекающем из радиоизотопного генератора 16 мимо детектора 34, может иметь достаточно небольшую активность и/или недостаточное гамма-излучение, так что сложно отделить родительский радиоизотоп от дочернего радиоизотопа. Для способствования разделению радиоизотопов в данных ситуациях дочерний радиоизотоп может быть отделен от родительского радиоизотопа перед измерением гамма-спектра, испускаемого элюатом. В примере, показанном на фиг. 5, система 200 радиоизотопного генератора включает аккумулирующую структуру 202 для способствования обнаружению и подсчету любого родительского радиоизотопа, присутствующего в элюате, принятом от радиоизотопного генератора 16.

[80] Аккумулирующая структура 202 может являться структурой (например, материалом), которая предпочтительно связывает любой родительский радиоизотоп, присутствующий в элюате, принятом через линию 204, так что родительский радиоизотоп вытягивается из элюата и связывается со структурой. И наоборот, дочерний радиоизотоп, присутствующий в элюате, может проходить сквозь и/или через аккумулирующую структуру 202 по существу без связывания со структурой, таким образом, в аккумулирующей структуре 202 концентрируется и отделяется по меньшей мере часть родительского радиоизотопа от дочернего радиоизотопа. После концентрирования и отделения от дочернего радиоизотопа в аккумулирующей структуре 202 детектор 34 может измерять гамма-излучение, исходящее от родительского радиоизотопа (или его дочернего продукта распада), обеспечивая подсчет активности родительского радиоизотопа.

[81] Аккумулирующая структура 202 может быть изготовлена из любых материалов, с которыми родительский радиоизотоп в системе генератора предпочтительно

связывается через дочерний радиоизотоп. Например, аккумулирующая структура 202 может быть изготовлена из таких же или подобных материалов, что и вспомогательный материал в радиоизотопном генераторе 16, на который наносится и с которым связывается родительский радиоизотоп. В различных конфигурациях вспомогательный материал и/или аккумулирующая структура 202 может являться диоксидом олова, оксидом олова, органической матрицей или другим материалом.

[82] Аккумулирующая структура 202 может предоставлять замкнутую полость, находящуюся в жидкостной связи с линиями 204 и 206, которая содержит материал, предпочтительно связывающий родительский радиоизотоп. Данный материал может быть непористым или пористым. В некоторых примерах аккумулирующая структура 202 реализована с использованием второй колонки генератора, расположенной ниже по потоку от радиоизотопного генератора 16. Вторая колонка генератора может являться той же самой или подобной колонке генератора в радиоизотопном генераторе 16 (но в ней отсутствует родительский радиоизотоп при запуске системы 200, при этом родительский радиоизотоп аккумулируется на второй колонке со временем).

[83] Для обнаружения одного или нескольких радиоизотопов, аккумулированных на или в аккумулирующей структуре 202, детектор 34 может быть расположен для обнаружения излучения, испускаемого структурой. В примере, показанном на фиг. 5, детектор 34 проиллюстрирован в качестве расположенного для обнаружения излучения, испускаемого родительским радиоизотопом, захваченным аккумулирующей структурой 202. В других примерах детектор 34 может быть расположен в других местах, например, ниже по потоку от аккумулирующей структуры 202, для обнаружения гамма-излучения, испускаемого жидкостью, проходящей сквозь или через аккумулирующую структуру 202 и собирающей аккумулированный родительский радиоизотоп.

[84] Во время работы детектор 34 может обнаруживать гамма-излучения, исходящие от аккумулированного родительского радиоизотопа (или его продукта распада) внутри и/или ниже по потоку от аккумулирующей структуры 202. Контроллер 36 может принимать данные, сгенерированные детектором 34, указывающие на величину и тип (например, спектральное распределение) гамма-излучения, обнаруженного детектором 34. Контроллер 36 может дополнительно обрабатывать данные для определения активности различных изотопов в элюате, из которого детектор 34 обнаружил гамма-излучения.

[85] Во время работы системы 200 радиоизотопного генератора контроллер 36 может управлять системой для генерирования элюата, протекающего через аккумулирующую структуру 202. Контроллер 36 может выдавать насосу 14 для элюента команду на откачку элюента из резервуара 12 для элюента посредством радиоизотопного генератора 16 через линию 20 элюента. Поскольку элюент под давлением протекает через радиоизотопный генератор 16, дочерний радиоизотоп, сгенерированный радиоактивным распадом родительского радиоизотопа, связанного со вспомогательным материалом в генераторе, может высвободиться из вспомогательного материала и попасть в элюент, производя элюат. Элюат нагнетается из радиоизотопного генератора 16 через линию 206 и протекает через аккумулирующую структуру 202, затем нагнетаясь из аккумулирующей структуры 202 через линию 206. Например, насос 14 для элюента может перекачивать элюент через радиоизотопный генератор 16 и аккумулирующую структуру 202 со скоростью в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин (например, 50 мл/мин), что приводит к скорости потока элюата в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин.

[86] Поскольку элюат нагнетается из радиоизотопного генератора 16 и протекает через аккумулирующую структуру 202, контроллер 36 может принимать данные гамма-

спектроскопии от детектора 34, указывающие на гамма-излучение (например, величину, распределение), обнаруженное детектором 34 из элюата. Детектор 34 может обнаруживать и контроллер 36 может принимать гамма-излучение, поскольку элюат протекает через аккумулирующую структуру 202. Детектор 34 может непрерывно обнаруживать гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим через структуру во время элюирования.

[87] При получении данных гамма-спектроскопии от детектора 34, контроллер 36 может определять величину активности, связанной с одним или несколькими радиоизотопами (например, дочерним радиоизотопом) в элюате. Для определения величины активности, связанной с исследуемым радиоизотопом, контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую линию энергии, при которой исследуемый радиоизотоп испускает излучение, и включать площадь, занимаемую пиком. Исследуемая область может являться областью, определенной между двумя различными линиями энергии, которая включает исследуемый пик и связывает область, в которую включена площадь пика, для определения соответствующей активности.

[88] Несмотря на то, что элюат протекает через аккумулирующую структуру 202 и контроллер определяет активность радиоизотопа (например, дочернего радиоизотопа) в элюате, родительский радиоизотоп может быть аккумулирован на или в аккумулирующей структуре 202. Для определения активности такого родительского радиоизотопа в элюате контроллер 36 может управлять системой 200 для прекращения элюирования. Например, контроллер 36 может управлять распределительным клапаном 22 для перенаправления потока элюента с радиоизотопного генератора 16 на аккумулирующую структуру 202 через обходную линию 26. Элюент, протекающий непосредственно на аккумулирующую структуру 202 через обходную линию 26, может проталкивать оставшийся элюат (и дочерний радиоизотоп) через аккумулирующую структуру 202.

[89] После промывки аккумулирующей структуры 202 подходящим образом (например, с использованием по меньшей мере 5 мл элюента, например, по меньшей мере 10 мл элюента) контроллер 36 может управлять гамма-детектором 34 для измерения величины гамма-излучения, исходящего от аккумулирующей структуры 202 и/или элюента, находящегося в или протекающего через структуру. Поскольку дочерний радиоизотоп, присутствующий в элюате, был смыт через аккумулирующую структуру 202, по существу любая радиоактивность, измеренная детектором 34, может быть приписана родительскому радиоизотопу, захваченному на аккумулирующей структуре (или его продукту распада), таким образом, предоставляя указание количества родительского радиоизотопа, присутствующего в элюате.

[90] Например, контроллер 36 может принимать данные гамма-спектроскопии от детектора 34, указывающие на гамма-излучение (например, величину, распределение), обнаруженное детектором 34 из аккумулирующей структуры 202 и/или элюента, находящегося в или протекающего через структуру. При получении данных гамма-спектроскопии от детектора 34 контроллер 36 может определять величину активности, связанной с одним или несколькими радиоизотопами (например, родительским радиоизотопом), испускающими излучение. Для определения величины активности, связанной с исследуемым радиоизотопом, контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую линию энергии, при которой исследуемый радиоизотоп (например, родительский радиоизотоп или его продукт распада) испускает излучение, и включать площадь, занимаемую пиком. Исследуемая область может являться областью, определенной между двумя различными линиями энергии, которая

включает исследуемый пик и связывает область, в которую включена площадь пика, для определения соответствующей активности.

[91] После определения контроллером 36 активности родительского радиоизотопа на основании величины измеренного гамма-излучения контроллер 36 может регулировать измеренную активность для определения количества родительского радиоизотопа, присутствующего в элюате, сгенерированном радиоизотопным генератором 16. Количество родительского радиоизотопа, захваченного на или в аккумулирующей структуре 202, который испускает гамма-излучение, может изменяться в течение срока службы системы 200 радиоизотопного генератора. Первоначально, аккумулирующая структура 202 может не содержать родительского радиоизотопа, так что по существу любое гамма-излучение, измеренное из аккумулирующей структуры 202 после первоначального элюирования, может быть приписано родительскому радиоизотопу, высвобожденному из радиоизотопного генератора 16. Со временем родительский радиоизотоп может аккумулироваться на аккумулирующей структуре 202, так что во время последующих элюирований часть гамма-излучения, испускаемого родительским радиоизотопом, захваченным на аккумулирующей структуре 202, может быть приписана родительскому радиоизотопу, захваченному во время предыдущих элюирований, а другая часть может быть приписана родительскому радиоизотопу, захваченному во время текущего запуска, когда активность родительского радиоизотопа, присутствующего в элюате, должна быть подсчитана. Поэтому контроллер 36 может снижать измеренную активность родительского радиоизотопа на величину, пропорциональную процентной доле родительского радиоизотопа, приписываемого предыдущим запускам элюирования, в противоположность текущему запуску элюирования.

[92] Контроллер 36 может также повышать измеренную активность родительского радиоизотопа, чтобы учесть эффективность захвата аккумулирующей структуры 202. Несмотря на то, что аккумулирующая структура 202 может предпочтительно связывать родительский радиоизотоп со структурой, структура может не захватывать всех родительских радиоизотопов, присутствующих в элюате, сгенерированном радиоизотопным генератором 16. Соответственно, количество родительского радиоизотопа, определенного в качестве присутствующего в образце элюата на основании измеренного гамма-излучения (как факультативно регулируется, чтобы учесть любой существующий родительский радиоизотоп из предыдущих запусков элюирования), может быть отрегулировано в положительную сторону для отражения эффективности захвата аккумулирующей структуры 202. Полученное в результате значение может быть установлено в качестве измеренной активности родительского радиоизотопа в анализируемом элюате.

[93] На фиг. 6 показана блок-схема приведенного в качестве примера способа, который может быть использован для обнаружения и подсчета родительского радиоизотопа, дочернего радиоизотопа и/или любых других необходимых радиоизотопов в системе в соответствии с примером, показанным на фиг. 5. Например, способ, показанный на фиг. 6, может быть использован системой 200 радиоизотопного генератора, показанной на фиг. 1, для определения активности германия-68 и/или галлия-68. В данном применении радиоизотопный генератор 16 может являться $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ генератором, который производит ^{68}Ga из радиоактивного распада ^{68}Ge .

[94] В приведенном в качестве примера способе контроллер 36 управляет насосом 14 для элюента для перекачки элюента под давлением (например, раствора HCl) через радиоизотопный генератор 16, производя элюат, содержащий галлий-68 и германий-

68, который нагнетается из линии 204 (300). Элюат протекает сквозь и/или через
аккумулирующую структуру 202, при этом часть германия-68 связывается с
аккумулирующей структурой. В одной конфигурации аккумулирующая структура 202
является колонкой химической среды (например, имеющей форму и/или конструкцию,
5 которая является подобной колонке генератора в радиоизотопном генераторе 16 за
исключение того, что колонка генератора заполнена германием, тогда как в колонке
химической среды отсутствует германий при запуске). Колонка химической среды
может использоваться для удаления германия-68 из элюата и/или нейтрализации pH
элюата для введения. Например, аккумулирующая структура 202 может являться
10 элементом ионного обмена, который используется для удаления германия-68 из элюата.
Колонка химической среды может быть расположена выше по потоку от или может
образовывать часть сосуда химической среды или кассеты химической среды,
содержащей реагенты для вступления в реакцию с элюатом. Количество германия-68,
связанного с колонкой химической среды, может превышать количество галлия-68,
15 связанного с колонкой.

[95] Во время элюирования контроллер 36 принимает данные гамма-спектрологии
от детектора 34, указывающие на гамма-излучение (например, величину, распределение),
обнаруженное детектором 34 из элюата, протекающего через и/или сквозь
аккумулирующую структуру 202 (302). Детектор 34 может непрерывно или периодически
20 обнаруживать гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим через
аккумулирующую структуру 202. Поскольку концентрация радиоизотопов в элюате
изменяется, детектор 34 может обнаружить изменяющееся гамма-излучение от элюата.

[96] При получении данных гамма-спектрологии от детектора 34 контроллер 36
может определить величину активности, связанной с галлием-68 (304). Галлий-68
25 испускает излучение на линии 511 кэВ спектра. В отличие от этого, германий-68 не
испускает излучения в пределах гамма-спектра. Соответственно, по существу любое
или все гамма-излучение, измеренное гамма-детектором 34 из элюата, может быть
приписано галлию-68. Для определения величины активности, связанной с галлием-68,
контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик
30 511 кэВ, и включать площадь, занимаемую пиком. Исследуемая область может являться
областью, определенной между двумя различными линиями энергии, которая включает
исследуемый пик и связывает область, в которую включена площадь пика, для
определения соответствующей активности. Контроллер 36 может сохранять данную
определенную активность в качестве активности галлия-68.

[97] После генерирования необходимого количества элюата способ, показанный на
фиг. 6, включает завершение элюирования и факультативно промывку аккумулирующей
структуры 202 (306). В одном примере контроллер 36 управляет распределительным
клапаном 22 для перенаправления потока элюента с радиоизотопного генератора 16
на аккумулирующую структуру 202 через обходную линию 26. Элюент, протекающий
40 непосредственно на аккумулирующую структуру 202 через обходную линию 26, может
проталкивать оставшийся элюат (и содержащийся в нем галлий-68) через
аккумулирующую структуру 202. Это может снизить оставшиеся гамма-излучения,
испускаемые радионуклидами галлия-68, произведенными внутри радиоизотопного
генератора 16 и перенесенными на аккумулирующую структуру 202 посредством
45 протекающего элюента. В других примерах способ, показанный на фиг. 6, может быть
выполнен посредством завершения элюирования (например, прекращения работы
насоса 14 для элюента) без промывки аккумулирующей структуры 202.

[98] После остановки потока элюата на аккумулирующую структуру 202 контроллер

36 в способе, показанном на фиг. 6, снова принимает данные гамма-спектроскопии от детектора 34, указывающие на гамма-излучение (например, величину, распределение), обнаруженное детектором 34 из радиоизотопов, присутствующих в аккумулирующей структуре 202 (308). Несмотря на то, что германий-68 сам по себе не испускает излучения в гамма-спектре, германий распадается на галлий-68, который испускает излучение на линии 511 кэВ, как рассмотрено выше. Поскольку поток галлия-68 из радиоизотопного генератора 16 был прекращен (и аккумулирующая структура 202 была факультативно промыта для удаления оставшегося галлия-68), гамма-излучение, испускаемое галлием-68 и обнаруженное детектором 34, может быть приписано продукту распада германия-68, захваченного аккумулирующей структурой 202.

[99] При получении данных гамма-спектроскопии от детектора 34 контроллер 36 может определять величину активности, связанной с германием-68, посредством измерения величины активности, приписываемой его продукту распада - галлию-68 (310). Для определения величины активности, связанной с германием-68, контроллер 36 может идентифицировать исследуемую область, охватывающую пик 511 кэВ, и включать площадь, занимаемую пиком. Контроллер 36 может определять из данного включения величину активности, связанной с галлием-68, который является продуктом распада германия-68, захваченного из элюата аккумулирующей структурой 202.

[100] Для определения активности германия-68 в элюате, произведенном радиоизотопным генератором 16, контроллер 36 может преобразовывать измеренную активность галлия-68 (310) в соответствующую активность германия-68. Например, со ссылкой на данные, сохраненные в памяти, контроллер 36 может учитывать скорость распада германия-68 на галлий-68, эффективность аккумулирующей структуры 202 при захвате и связывании германия-68 из элюата и присутствие любого количества галлия-68, приписываемого германию-68, захваченному во время предыдущих запусков элюирования (как регулируется для распада данного германия), для преобразования измеренной активности галлия-68 в активность германия-68 в элюате, произведенном из радиоизотопного генератора 16.

[101] После определения активности галлия-68 и/или германия-68 в элюате, сгенерированном радиоизотопным генератором 16, система 200 может сохранять и/или использовать информацию о радиоизотопной активности различными способами. В одном примере контроллер 36 сохраняет данные об активности, сгенерированные во время работы радиоизотопного генератора 16, в памяти, связанной с системой. Память может быть расположена в том же физическом месте, что и генератор, или может быть расположена в физически удаленном месте. Данные могут обеспечивать отслеживание и оценку эксплуатационных характеристик и целостности системы 200, включающей радиоизотопный генератор 16. В некоторых дополнительных примерах контроллер 36 может активно управлять системой 200 на основании данных о радиоактивности, определенных детектором 34.

[102] Например, контроллер 36 может сравнивать измеренную активность для конкретного изотопа (например, ^{68}Ge , ^{68}Ga) или сочетания изотопов в элюате, сгенерированном системой 200, с одним или несколькими пороговыми значениями, сохраненными в памяти. Пороговое значение (значения) может предоставлять максимальное количество изотопа, которое может быть одновременно дозировано. Контроллер 36 может выполнять ряд действий при превышении порогового значения. В качестве одного примера, контроллер 36 может инициировать предупреждение пользователя. В качестве еще одного примера, контроллер 36 может управлять последующим технологическим процессом от радиоизотопного генератора 16 для

предотвращения введения в пациента элюата, сгенерированного посредством этого.

[103] Несмотря на то, что приведенный в качестве примера способ, показанный на фиг. 6, был описан в отношении германий-галлиевого радиоизотопного генератора, следует понимать, что конфигурация системы 200, показанной на фиг. 5, и способ, показанный на фиг. 6, не ограничиваются данным приведенным в качестве примера генератором. Данные системы и способы могут быть реализованы с использованием любого необходимого радиоизотопного генератора, включая описанные в данном документе.

[104] Более того, несмотря на то, что способ, показанный на фиг. 5, был описан в сочетании с работой радиоизотопного генератора 16, следует понимать, что способ не ограничивается отдельным применением и может быть реализован в сочетании с другими системами и способами, описанными в данном документе, включая обсужденные в отношении фиг. 1-4. Например, перед выполнением способа, показанного на фиг. 5, радиоизотопный генератор 16 может быть откалиброван с использованием источника калибровки, испускающего излучение на или приблизительно на линии 511 кэВ, как рассмотрено выше в отношении фиг. 4.

[105] Способы, описанные в данном изобретении, могут быть реализованы по меньшей мере частично в аппаратном обеспечении, программном обеспечении, программно-аппаратном обеспечении или любом их сочетании. Например, различные аспекты описанных способов могут быть реализованы в одном или нескольких процессорах, включая один или несколько микропроцессоров, процессоров (DSP) цифровой обработки сигналов, специализированных интегральных схем (ASIC), программируемых пользователем вентильных матриц (FPGA) или любых других эквивалентных интегральных или дискретных логических схем, а также любые сочетания данных компонентов. Термин «процессор» может, в целом, относиться к любой из вышеизложенных логических схем отдельно или в сочетании с другими логическими схемами или любыми другими эквивалентными схемами. Блок управления, содержащий аппаратное обеспечение, может также выполнять один или несколько способов настоящего изобретения.

[106] Данное аппаратное обеспечение, программное обеспечение и программно-аппаратное обеспечение могут быть реализованы в одном устройстве или в отдельных устройствах для поддержки различных операций и функций, описанных в настоящем изобретении. Кроме того, любые из описанных блоков, модулей или компонентов могут быть реализованы вместе или по отдельности в качестве дискретных, но взаимодействующих логических устройств. Описание различных функций в качестве модулей или блоков направлено на выделение различных функциональных аспектов и необязательно означает, что данные модули или блоки должны быть реализованы отдельными аппаратными или программными компонентами. Предпочтительно, функциональность, связанная с одним или несколькими модулями или блоками, может быть выполнена отдельными аппаратными или программными компонентами или интегрирована в общие или отдельные аппаратные или программные компоненты.

[107] Способы, описанные в настоящем изобретении, могут быть также воплощены или закодированы в энергонезависимом машиночитаемом носителе, таком как машиночитаемый накопитель данных, содержащий команды. Команды, встроенные или закодированные в машиночитаемый накопитель данных, могут заставлять программируемый процессор или другой процессор выполнять способ, например, при исполнении команд. Энергонезависимый машиночитаемый накопитель данных может содержать энергозависимые и/или энергонезависимые формы памяти, включая,

например, запоминающее устройство с произвольной выборкой (RAM), постоянное запоминающее устройство (ROM), программируемое постоянное запоминающее устройство (PROM), стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (EPROM), электронно стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство (EEPROM), флэш-память, жесткий диск, CD-ROM, дискету, кассету, магнитные носители, оптические носители или другие машиночитаемые носители.

[108] Были описаны различные примеры. Эти и другие примеры подпадают под объем следующей формулы изобретения.

10 (57) Формула изобретения

1. Система элюирования, содержащая:

$^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, выполненный с возможностью генерирования ^{82}Rb посредством элюирования с использованием элюента;

15 линию элюента, выполненную с возможностью подачи элюента на $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор;

линию элюата, выполненную с возможностью приема элюата, элюированного из $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератора, и передачи элюата по меньшей мере на одно из следующего: линию пациента и сливную линию;

20 детектор гамма-излучения, расположенный рядом с линией элюата и выполненный с возможностью обнаружения гамма-излучения, испускаемого элюатом, протекающим через линию элюата; и

контроллер, с возможностью связи соединенный с детектором гамма-излучения и выполненный с возможностью приема данных, указывающих на гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим через линию элюата, определения активности ^{82}Rb в элюате на основании принятых данных и определения активности ^{82}Sr на основании принятых данных.

2. Система по предыдущему пункту, отличающаяся тем, что контроллер выполнен с возможностью определения активности ^{82}Rb на основании принятых данных посредством по меньшей мере:

генерирования спектра гамма-излучения из принятых данных;

35 определения значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 776 кэВ спектра гамма-излучения, для установления активности ^{82}Rb на линии 776 кэВ;

определения активности ^{82}Rb на линии 511 кэВ спектра гамма-излучения посредством умножения активности ^{82}Rb на линии 776 кэВ на коэффициент интенсивности ветвления; и

40 суммирования определенной активности ^{82}Rb на линии 776 кэВ и определенной активности ^{82}Rb на линии 511 кэВ.

3. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что определение значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 776 кэВ, включает деление значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 776 кэВ, на коэффициент эффективности для линии 776 кэВ.

4. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что коэффициент эффективности для линии 776 кэВ содержит отношение активности, измеренной на линии 774 кэВ детектором для образца ^{134}Cs , разделенной на известную активность

для образца ^{134}Cs .

5. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер выполнен с возможностью определения активности ^{82}Sr на основании принятых данных посредством по меньшей мере:

определения значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ спектра гамма-излучения;

вычитания определенной активности ^{82}Rb на линии 511 кэВ из определенного конечного пикового интеграла, связанного с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ, для

установления активности ^{85}Sr на линии 514 кэВ; и

умножения установленной активности ^{85}Sr на отношение активности ^{82}Sr к активности ^{85}Sr .

6. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что определение значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ, включает деление значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ, на коэффициент эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ.

7. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что коэффициент эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ содержит отношение активности, измеренной на линии 511 кэВ и линии 514 кэВ детектором для образца ^{22}Na , разделенной на известную активность для образца ^{22}Na .

8. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер дополнительно выполнен с возможностью определения активности ^{131}Cs в элюате на основании принятых данных.

9. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер выполнен с возможностью определения активности ^{131}Cs на основании принятых данных посредством по меньшей мере определения значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 32 кэВ спектра гамма-излучения.

10. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что определение значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 32 кэВ, включает деление значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 32 кэВ, на коэффициент эффективности для линии 32 кэВ.

11. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что дополнительно содержит насос, выполненный с возможностью перекачки элюента через $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор, и распределительный клапан, выполненный с возможностью направления элюата либо на линию пациента, либо на сливную линию.

12. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер управляет насосом для перекачки элюента через $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор с расходом в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин, так что детектор гамма-излучения обнаруживает гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим с расходом в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин.

13. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер дополнительно выполнен с возможностью определения кумулятивной активности ^{82}Rb во время процедуры дозирования пациента.

14. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер

дополнительно выполнен с возможностью сравнения кумулятивной активности ^{82}Rb с пороговым значением, сохраненным в памяти.

15. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что пороговое значение включает пороговое значение, составляющее 2220 МБк (60 мКи), и, когда контроллер определяет, что кумулятивная активность превышает 2220 МБк, контроллер управляет системой для прекращения подачи элюата пациенту.

16. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что контроллер дополнительно выполнен с возможностью сравнения определенной активности ^{82}Sr и определенной активности ^{85}Sr с пороговым значением, сохраненным в памяти.

17. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что пороговое значение содержит пороговое значение ^{82}Sr , составляющее 0,02 мКи/мКи ^{82}Rb , и пороговое значение ^{85}Sr , составляющее 0,2 мКи/мКи ^{82}Rb , и, когда контроллер определяет, что либо определенная активность ^{82}Sr , либо определенная активность ^{85}Sr превышает соответствующее пороговое значение, контроллер управляет системой для прекращения подачи элюата пациенту.

18. Система по любому из предыдущих пунктов, отличающаяся тем, что детектор гамма-излучения содержит кадмий-цинк-теллуристый полупроводниковый детектор.

19. Способ определения величины измеренной радиоактивности, включающий: прием данных, указывающих на ядерное излучение, испускаемое элюатом, элюированным из рубидий-изотопного генератора;

определение активности ^{82}Rb в элюате на основании принятых данных по существу в реальном времени с получением данных; и

определение активности ^{82}Sr в элюате на основании принятых данных по существу в реальном времени с получением данных.

20. Способ по п. 19, отличающийся тем, что прием данных включает обнаружение гамма-излучения от элюата, протекающего через линию, посредством детектора гамма-излучения и определение активности ^{82}Rb и активности ^{82}Sr в элюате по существу в реальном времени включает определение активности ^{82}Rb и активности ^{82}Sr менее чем через 10 секунд после обнаружения гамма-излучения.

21. Способ по п. 19 или 20, отличающийся тем, что определение активности ^{82}Rb включает:

генерирование спектра гамма-излучения из принятых данных;

определение значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 776 кэВ спектра гамма-излучения, для установления активности ^{82}Rb на линии 776 кэВ;

определение активности ^{82}Rb на линии 511 кэВ спектра гамма-излучения посредством умножения активности ^{82}Rb на линии 776 кэВ на коэффициент интенсивности ветвления; и

суммирование определенной активности ^{82}Rb на линии 776 кэВ и определенной активности ^{82}Rb на линии 511 кэВ.

22. Способ по любому из пп. 19-21, отличающийся тем, что определение активности ^{82}Sr включает:

определение значения конечного пикового интеграла в исследуемой области,

связанной с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ спектра гамма-излучения; и

вычитание определенной активности ^{82}Rb на линии 511 кэВ из определенного конечного пикового интеграла, связанного с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ, для

5 установления активности ^{85}Sr на линии 514 кэВ; и

умножение установленной активности ^{85}Sr на отношение активности ^{82}Sr к активности ^{85}Sr .

23. Способ по любому из пп. 19-22, отличающийся тем, что дополнительно включает деление значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 776 кэВ, на

10 коэффициент эффективности для линии 776 кэВ и деление значения конечного пикового интеграла, связанного с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ, на коэффициент эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ.

24. Способ по любому из пп. 19-23, отличающийся тем, что дополнительно включает

15 определение активности ^{131}Cs в элюате на основании принятых данных по существу в реальном времени с получением данных.

25. Способ по любому из пп. 19-24, отличающийся тем, что дополнительно включает управление потоком элюата от рубидий-изотопного генератора на основании одного из следующего: определенной активности ^{82}Rb и определенной активности ^{82}Sr .

26. Способ по любому из пп. 19-25, отличающийся тем, что управление потоком

20 элюата включает одно из следующего: перенаправление элюата на сливной сосуд или завершение генерирования элюата, если либо определенная активность ^{82}Rb , либо определенная активность ^{82}Sr превышает пороговое значение.

27. Способ калибровки детектора гамма-излучения, включающий:

25 обнаружение гамма-излучения посредством детектора гамма-излучения от первого изотопа, имеющего известную активность и испускающего излучение в области линии 776 кэВ спектра гамма-излучения;

определение коэффициента эффективности для линии 776 кэВ посредством деления

30 обнаруженной активности первого изотопа в области линии 776 кэВ на известную активность для первого изотопа;

обнаружение гамма-излучения посредством детектора гамма-излучения от второго изотопа, имеющего известную активность и испускающего излучение в области линии 511 кэВ и линии 514 кэВ спектра гамма-излучения;

35 определение коэффициента эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ спектра гамма-излучения посредством деления обнаруженной активности второго изотопа в области линии 511 кэВ и линии 514 кэВ на известную активность для второго изотопа;

и

40 сохранение определенного коэффициента эффективности для линии 776 кэВ и определенного коэффициента эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ в памяти, связанной с детектором гамма-излучения.

28. Способ по п. 27, отличающийся тем, что первым изотопом является ^{134}Cs и вторым изотопом является ^{22}Na .

29. Способ по п. 27 или 28, отличающийся тем, что определение коэффициента

45 эффективности для линии 776 кэВ включает определение значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 776 кэВ спектра гамма-излучения, для определения обнаруженной активности первого изотопа и определение коэффициента эффективности для линии 511 кэВ и линии 514 кэВ включает определение

значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 511 кэВ и линией 514 кэВ спектра гамма-излучения, для определения обнаруженной активности второго изотопа.

5 30. Способ по любому из пп. 27-29, отличающийся тем, что дополнительно включает: обнаружение гамма-излучения посредством детектора гамма-излучения от третьего изотопа, имеющего известную активность и испускающего излучение в области линии 32 кэВ спектра гамма-излучения;

определение коэффициента эффективности для линии 32 кэВ посредством деления обнаруженной активности третьего изотопа в области линии 32 кэВ на известную
10 активность для третьего изотопа; и

сохранение определенного коэффициента эффективности для линии 32 кэВ в памяти, связанной с детектором гамма-излучения.

31. Способ по любому из пп. 27-30, отличающийся тем, что третий изотоп содержит
15 ^{22}Na .

32. Способ по любому из пп. 27-31, отличающийся тем, что определение коэффициента эффективности для линии 32 кэВ включает определение значения конечного пикового интеграла в исследуемой области, связанной с линией 32 кэВ спектра гамма-излучения, для определения обнаруженной активности третьего изотопа.

20 33. Способ по любому из пп. 27-32, отличающийся тем, что дополнительно включает последовательное прохождение первого изотопа и второго изотопа мимо детектора гамма-излучения с расходом в диапазоне от 25 мл/мин до 75 мл/мин.

34. Способ по любому из пп. 27-33, отличающийся тем, что детектор гамма-излучения содержит кадмий-цинк-теллуристый полупроводниковый детектор.

25 35. Система элюирования, содержащая: радиоизотопный генератор, выполненный с возможностью высвобождения дочернего радиоизотопа во время элюирования с использованием элюента, таким образом, производя элюат, содержащий дочерний радиоизотоп, при этом дочерний радиоизотоп производится из радиоактивного распада родительского радиоизотопа, содержащегося
30 внутри радиоизотопного генератора;

линию элюента, выполненную с возможностью подачи элюента на радиоизотопный генератор;

линию элюата, выполненную с возможностью приема и передачи элюата, элюированного из радиоизотопного генератора;

35 детектор гамма-излучения, расположенный для обнаружения гамма-излучения, испускаемого радиоизотопами, высвобожденными радиоизотопным генератором, и их продуктами распада и передающегося от радиоизотопного генератора через линию элюата; и

40 контроллер, с возможностью связи соединенный с детектором гамма-излучения и выполненный с возможностью приема данных, указывающих на гамма-излучение, испускаемое радиоизотопами, высвобожденными радиоизотопным генератором, и их продуктами распада, определения активности дочернего радиоизотопа в элюате на основании принятых данных и определения активности родительского радиоизотопа в элюате на основании принятых данных.

45 36. Система по п. 35, отличающаяся тем, что радиоизотопный генератор содержит одно из следующего: $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ генератор, $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ генератор и $^{82}\text{Sr}/^{82}\text{Rb}$ генератор.

37. Система по любому из п. 35 или 36, отличающаяся тем, что дополнительно включает аккумулирующую структуру, расположенную ниже по потоку от радиоизотопного генератора и находящуюся в жидкостной связи с линией элюата, при

этом аккумулирующая структура выполнена с возможностью захвата большего количества родительского радиоизотопа, чем дочернего радиоизотопа.

38. Система по любому из пп. 35-37, отличающаяся тем, что радиоизотопный генератор содержит колонку генератора, заполненную родительским радиоизотопом, и аккумулирующая структура содержит вторую колонку, лишенную родительского радиоизотопа.

39. Система по любому из пп. 35-38, отличающаяся тем, что радиоизотопный генератор содержит $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$ генератор, дочерним радиоизотопом является ^{68}Ga , родительским радиоизотопом является ^{68}Ge и контроллер выполнен с возможностью определения активности ^{68}Ga в элюате и определения активности ^{68}Ge в элюате посредством по меньшей мере:

генерирования первого спектра гамма-излучения из данных, принятых от детектора гамма-излучения, представляющего гамма-излучение, испускаемое элюатом, протекающим мимо детектора гамма-излучения;

определения значения конечного пикового интеграла в пределах линии 511 кэВ спектра гамма-излучения для установления активности ^{68}Ga в элюате;

генерирования второго спектра гамма-излучения из данных, принятых от детектора гамма-излучения, представляющего гамма-излучение, испускаемое ^{68}Ga , который является продуктом распада ^{68}Ge , захваченного аккумулирующей структурой;

определения значения конечного пикового интеграла в пределах линии 511 кэВ спектра гамма-излучения для установления активности ^{68}Ga , который является продуктом распада ^{68}Ge , захваченного аккумулирующей структурой; и

регулирования установленной активности ^{68}Ga , который является продуктом распада ^{68}Ge , для определения активности ^{68}Ge в элюате.

40. Система по любому из пп. 35-39, отличающаяся тем, что контроллер выполнен с возможностью определения активности дочернего радиоизотопа и определения активности родительского радиоизотопа на основании принятых данных посредством по меньшей мере:

генерирования спектра гамма-излучения из принятых данных;

определения значения конечного пикового интеграла в пределах части спектра гамма-излучения, в которой дочерний радиоизотоп испускает излучение, таким образом, устанавливая активность дочернего радиоизотопа; и

определения значения конечного пикового интеграла в пределах части спектра гамма-излучения, в которой родительский радиоизотоп испускает излучение, таким образом, устанавливая активность родительского радиоизотопа.

41. Система по любому из пп. 35-40, отличающаяся тем, что дополнительно включает основной каркас с колесиками, при этом радиоизотопный генератор, линия элюента, линия элюата, детектор гамма-излучения и контроллер установлены на основном каркасе с возможностью перемещения.

42. Система по любому из пп. 35-41, отличающаяся тем, что контроллер дополнительно выполнен с возможностью управления потоком элюата от радиоизотопного генератора на основании одной из определенных активностей дочернего изотопа и родительского изотопа.

43. Система по любому из пп. 35-42, отличающаяся тем, что контроллер выполнен с возможностью управления потоком элюата посредством одного из следующего:

перенаправления потока элюата на сливной сосуд или завершения генерирования элюата, если либо определенная активность дочернего изотопа, либо определенная активность родительского изотопа превышает пороговое значение.

5

10

15

20

25

30

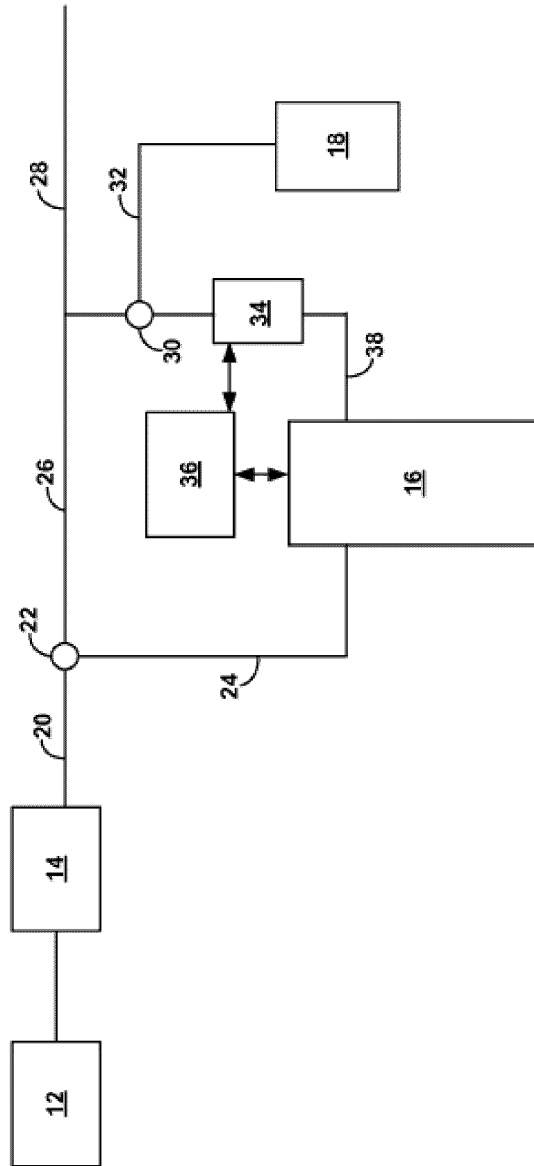
35

40

45

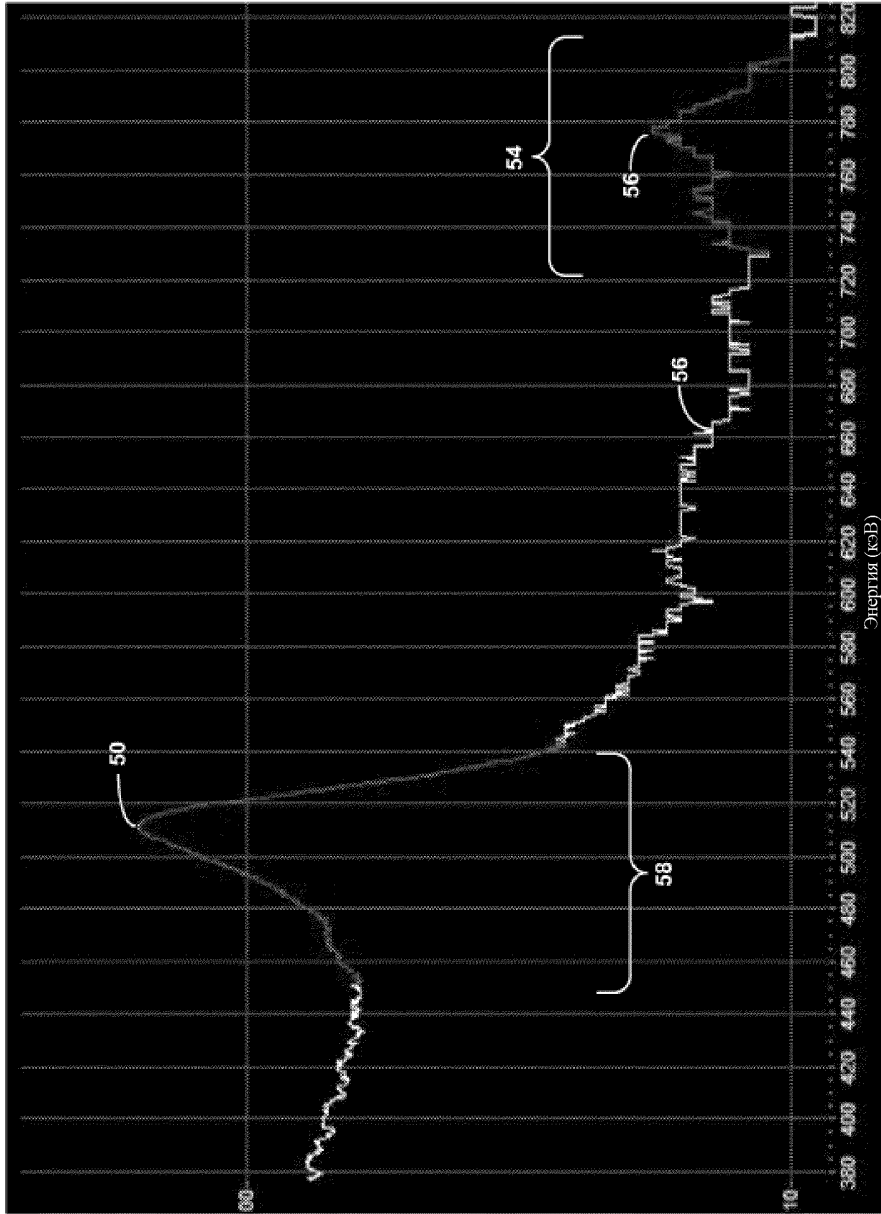
1

10

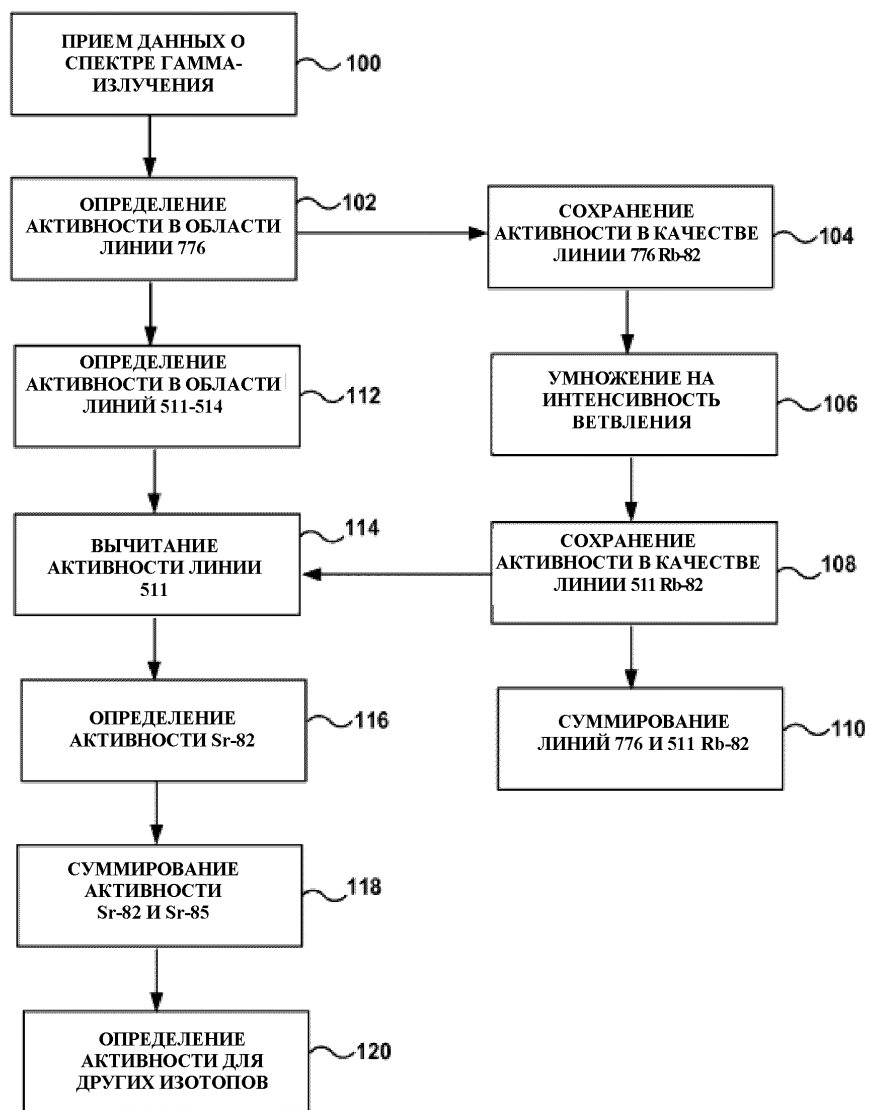


ФИГ. 1

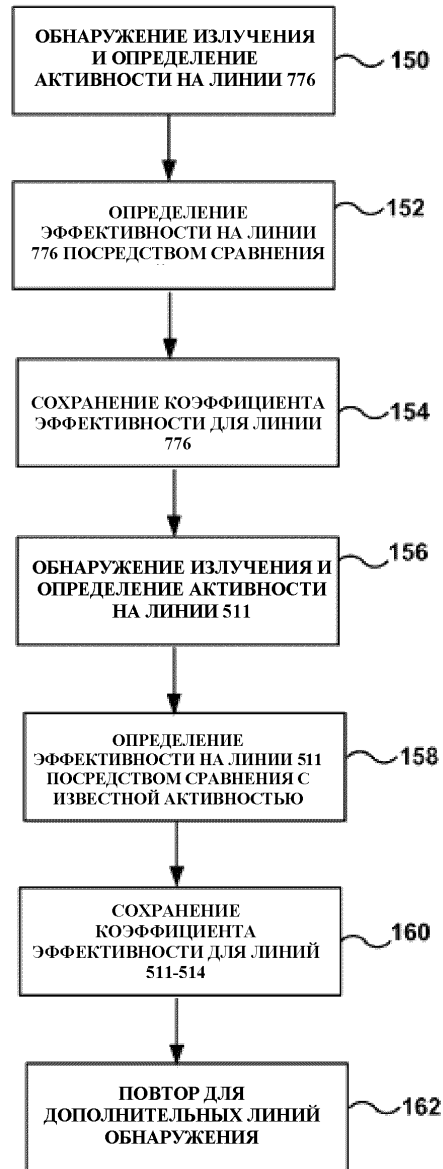
2



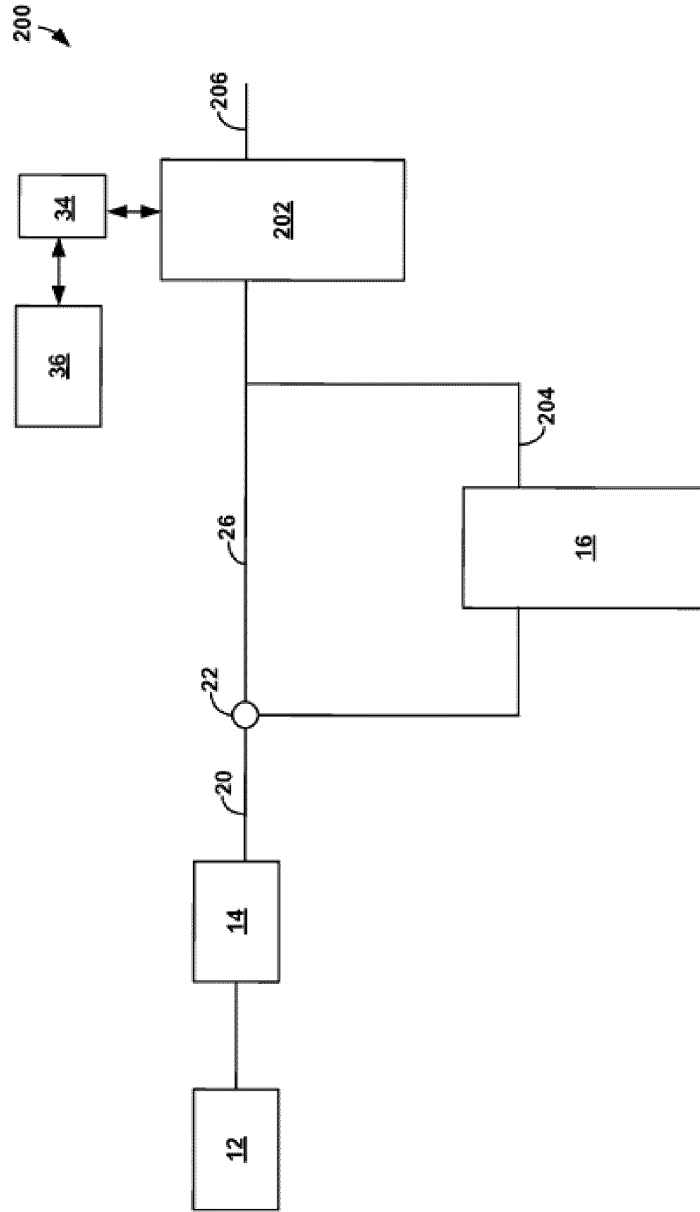
Фиг. 2



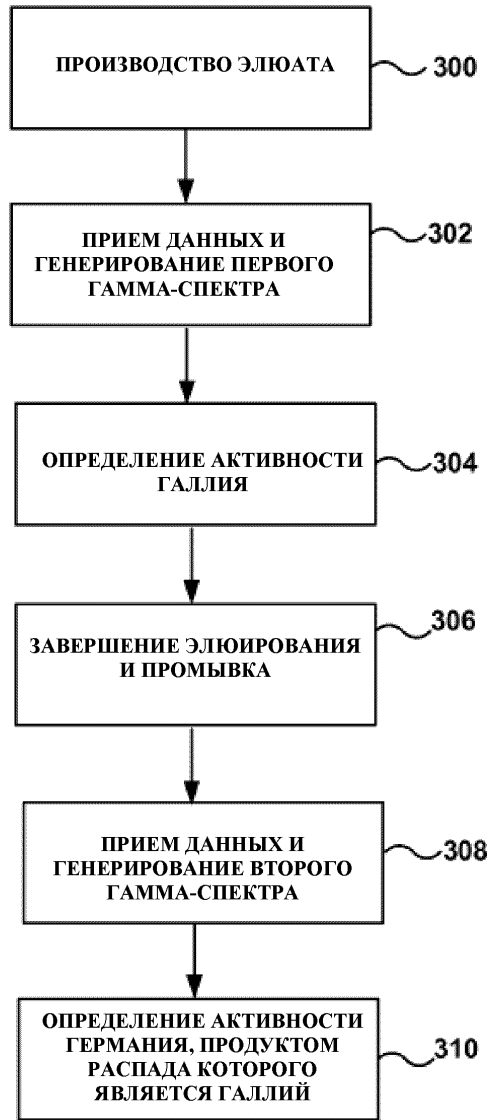
ФИГ. 3



ФИГ. 4



ФИГ. 5



ФИГ. 6