(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202392391 (13) A1

# (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
**2023.11.17**

(22) Дата подачи заявки
**2022.02.23**

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

## (54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ПОДАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ В ОДНОЙ ИЛИ БОЛЕЕ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ, ИМЕЮЩИХ МНОЖЕСТВО РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

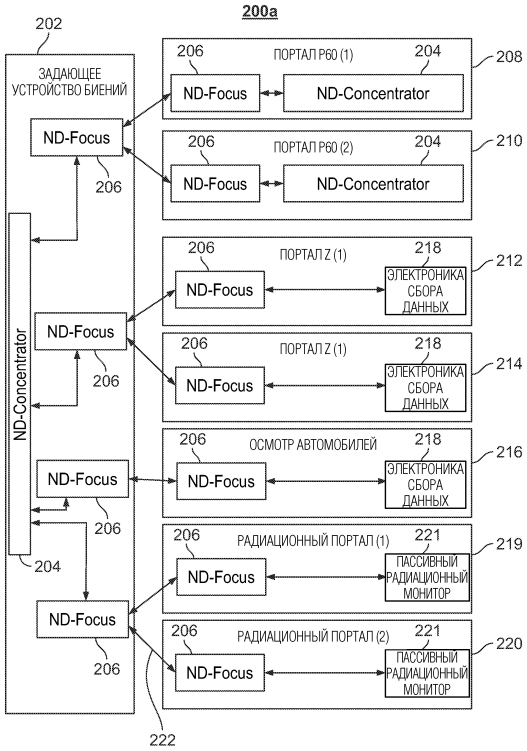
(31) **63/152,721**
(32) **2021.02.23**
(33) **US**
(86) **PCT/US2022/070799**
(87) **WO 2022/183191 2022.09.01**

(71) Заявитель:
**РАПИСКАН СИСТЕМЗ, ИНК. (US)**

(72) Изобретатель:
**Керрингтон Нил Дункан (GB)**

(74) Представитель:
**Медведев В.Н. (RU)**

(57) Изобретение раскрывает систему для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения между множеством сканирующих систем на рентгеновском излучении и пассивными детекторами излучения. Система включает в себя частотный генератор для генерации общей рабочей частоты, высокоэнергетический рентгеновский источник или систему сканирования, связанную с частотным генератором для приема общей рабочей частоты и выполненную с возможностью изменения частоты повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского источника или системы сканирования, чтобы обеспечить синхронизацию с общей рабочей частотой и низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой и/или пассивной системой детектирования излучения, связанной с частотным генератором для приема общей рабочей частоты и имеющей процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте в момент времени, если высокоэнергетический рентгеновский источник или система сканирования испускала рентгеновское излучение в этот момент времени.




202392391 A1

202392391 A1

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-578985EA/032

# СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ПОДАВЛЕНИЯ СИГНАЛОВ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ В ОДНОЙ ИЛИ БОЛЕЕ СКАНИРУЮЩИХ СИСТЕМАХ, ИМЕЮЩИХ МНОЖЕСТВО РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

## ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Настоящая заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США № 63/152721, «Systems and Methods for Eliminating Cross-Talk Signals in One or More Scanning Systems Having Multiple X-Ray Sources», поданной 23 февраля 2021 г., которая в полном объеме включена в настоящую заявку по ссылке.

## ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В целом настоящее описание относится к области рентгеновских сканирующих систем. В частности, настоящее описание предлагает системы и способы подавления нежелательных помех, часто называемых перекрестными помехами, между совмещенными рентгеновскими сканерами, рентгеновскими системами, соседними пассивными радиационными портальными мониторами или любой системой, имеющей множество рентгеновских источников.

## ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Многие известные рентгеновские сканирующие системы включают в себя одну или более низкоэнергетических (НЭ) рентгеновских сканирующих систем с рабочими энергиями в диапазоне от 120 кэВ до 750 кэВ. Такие системы обычно генерируют сканированные изображения с использованием способа регистрации с временным мультиплексированием, при котором рентгенометрические данные непрерывно собираются в течение всей длительности сканирования. Кроме того, известные рентгеновские сканирующие системы могут включать в себя один или более пассивных радиационных портальных мониторов (RPM) гамма/нейтронного излучения, которые также непрерывно собирают данные, а именно, регистрируют фоновые данные, когда зона сканирования ничем не занята, и регистрируют оперативные данные, когда исследуемый объект проходит детекторную стойку.

В некоторых сценариях работы рентгеновских систем, таких как портальные системы, системы гантри или мобильные системы, одна или более высокоэнергетических (ВЭ) рентгеновских просвечивающих сканирующих систем выполнены с возможностью работы в непосредственной близости, но независимо от НЭ рентгеновской сканирующей системы (системы на основе обратного рассеяния) и сканирующих систем RPM (с радиационными портальными мониторами). В качестве альтернативы, ВЭ рентгеновская сканирующая система непосредственно связана с НЭ рентгеновской подсистемой на основе обратного рассеяния или сканирующей подсистемой RPM, в качестве составной части «совмещенного» изделия.

ВЭ рентгеновские сканирующие системы обычно содержат такие рентгеновские источники, как циклический ускоритель частиц (бетатрон) или линейный ускоритель

частиц (LINAC) с рабочими энергиями в диапазоне от 750 кэВ до 10 МэВ. Детекторы, используемые как в НЭ рентгеновских системах на основе обратного рассеяния, так и в RPM, являются чувствительными к упомянутому высокоэнергетическому рентгеновскому излучению. В результате, как для ВЭ, так и для НЭ рентгеновских сканирующих узлов и подсистем RPM, работающих в непосредственной близости друг от друга, например, с физическим разделением меньше, чем 1000 метров, существует высокая вероятность того, что высокоэнергетическое рентгеновское излучение будет наблюдаться в изображении в низкоэнергетическом обратно-рассеянном излучении или вносить вклад в измеренный сигнал в подсистеме RPM. Сканирующие платформы на основе ВЭ рентгеновского излучения обычно применяются в импульсном режиме, при этом каждый импульс рентгеновского излучения имеет длительность приблизительно 4 микросекунды (мкс). Кроме того, источники ВЭ рентгеновского излучения (в дальнейшем, ВЭ рентгеновские источники), такие как LINAC, могут работать с частотами повторения импульсов вплоть до нескольких килогерц. Для примера, источники могут работать с частотой 1 кГц, что обеспечивает, в результате, высокоэнергетический рентгеновский импульс через каждую 1 мс.

В результате такого ВЭ рентгеновского импульса близкорасположенные НЭ рентгеновские подсистемы на основе обратного рассеяния и RPM могут регистрировать нежелательный вклад в их собственный сигнал измерения, что приводит к искажению данных, неточному вычислению результатов и/или снижению качества изображения. В частности, системы визуализации с обратным рассеянием, работающие с 10-микросекундным временным окном получения данных на один пиксель, могут отображать яркий пиксель или последовательность ярких пикселей, в зависимости от характеристик затухания материала детекторов обратного рассеяния и способа сбора данных. Аналогично, системы RPM могут регистрировать счет (число счетных импульсов) сигнала больше ожидаемого, что может превысить установленный порог интенсивности для тревожной сигнализации.

В случаях, когда имеется только небольшое число ВЭ рентгеновских просвечивающих систем, расположенных в непосредственной близости от НЭ рентгеновских подсистем на основе обратного рассеивания и RPM, и если доза на один импульс или интенсивность импульса ВЭ рентгеновского излучения является высокой, то, чтобы идентифицировать нежелательный сигнал и исключить данные из результирующего изображения или вычисления интенсивности, можно использовать обычные методы исключения или фильтрации импульсов «выше порогового уровня». Такую обработку можно выполнять без знания или учета временных характеристик рентгеновских систем.

В случаях, когда существует множество ВЭ рентгеновских просвечивающих систем, расположенных на различных расстояниях и/или поблизости от подсистем визуализации на основе НЭ рентгеновского излучения и/или RPM, возможно, работающих с изменением доз рентгеновского излучения на выходе методами динамической

модуляции дозы или методов визуализации с низкими дозами облучения «персонала», то нежелательный(ые) детектируемый(ые) сигнал(ы) перекрестных помех могут становиться неотличимыми от тех, которые ожидаются в НЭ рентгеновской подсистеме визуализации на основе обратного рассеяния или подсистеме RPM. Вместе с тем, если каждая ВЭ рентгеновская просвечивающая система генерирует импульсы асинхронно с разной частотой повторения импульсов (PRF), то это будет приводить к большому числу нежелательные картин помех, принимаемых детектором(ами) НЭ рентгеновского излучения и/или RPM, что значительно повышает сложность задачи исключения нежелательного сигнала и, в результате, снижает общую эффективность детектирования НЭ рентгеновских подсистем визуализации с обратным рассеянием и подсистем RPM. К сожалению, в этих случаях на методы исключения или фильтрации импульсов «выше порогового уровня», применяемые к данным детектирования обратно-рассеянного излучения и детектирования RPM, когда системы работают вблизи одной или более высокоэнергетических систем, нельзя полагаться потому, что амплитуда сигнала перекрестных помех изменяется в зависимости от того, какие из потенциально нескольких ВЭ рентгеновских просвечивающих систем включают рентгеновское излучение, от дозы на выходе каждой системы и их физических местоположений.

Поэтому, существует потребность в системах и способах, которые эффективно подавляют ВЭ перекрестные помехи от рентгеновского излучения или сигналы помех, генерируемые одной или более ВЭ рентгеновскими сканирующими системами, в изображениях, получаемых в НЭ рентгеновских сканирующих системах на основе обратного рассеяния, и данных, собранных в подсистемах визуализации с RPM, которые работают вблизи одной или более ВЭ рентгеновских сканирующих систем.

Существует также потребность в системах и способах для устранения перекрестных помех путем предоставления возможности НЭ рентгеновской подсистемы на основе обратного рассеяния или подсистемы визуализации с RPM распознавать или определять, когда ВЭ рентгеновские системы испускают рентгеновское излучение, чтобы НЭ рентгеновская система на основе обратного рассеяния и/или подсистема визуализации с RPM могла эффективно устранять нежелательные высокоэнергетические сигналы, которые, с учетом расстояния и других факторов ослабления, могут и представляться не слишком отличающимися от ожидаемых сигналов.

Дополнительно существует потребность в согласовании частоты повторения импульсов множества источников ВЭ рентгеновских сканирующих систем с общей рабочей частотой. Полученное согласование совмещение ВЭ рентгеновских импульсов снижает эффективную вероятность нежелательного детектирования и/или число картин интерференции сигнала перекрестных помех в других соседних системах визуализации и гарантирует, что они поддерживают минимальную характеристику детектирования и эффективность эксплуатации.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Следующие варианты осуществления и их аспекты описаны и показаны в связи с

системами, средствами и способами, которые предназначены для примера и наглядности и не ограничивают объем изобретения. Настоящая заявка раскрывает многочисленные варианты осуществления.

Настоящее описание раскрывает систему для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения между множеством рентгеновских сканирующих систем, имеющих по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, при этом система содержит: частотный генератор, выполненный с возможностью генерации общей рабочей частоты; упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник, связанный с частотным генератором, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит первый процессорный модуль для приема общей рабочей частоты и выполненный с возможностью генерации частоты повторения импульсов упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника таким образом, чтобы она была синхронной с общей рабочей частотой; и упомянутую по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, связанную с частотным генератором для приема общей рабочей частоты, причем упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система содержит второй процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте в первый момент времени, если упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник излучал рентгеновское излучение в первый момент времени.

Необязательно, система дополнительно содержит по меньшей мере один радиационный портальный монитор, связанный с частотным генератором для приема общей рабочей частоты, при этом упомянутый по меньшей мере один радиационный портальный монитор содержит третий процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте во второй момент времени, если упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская система излучала рентгеновское излучение во второй момент времени. Необязательно, система дополнительно содержит радиационный портальный монитор (RPM), при этом RPM содержит пассивный детектор излучения для детектирования и измерения излучения, испускаемого радиоактивными материалами, при отсутствии любых внешних воздействий, и причем RPM является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

Необязательно, система дополнительно содержит высокоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, содержащую упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник, при этом упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник является линейным ускорителем, и причем высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной

сканирующей системой.

Необязательно, система дополнительно содержит рентгеновскую сканирующую систему на основе обратного рассеяния, при этом рентгеновская сканирующая система на основе обратного рассеяния содержит упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник, и причем низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник является линейным ускорителем, и упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник выполнен с возможностью синхронизации частоты повторения импульсов (PRF) линейного ускорителя с общей рабочей частотой.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние составляет 1000 метров или менее.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутая по меньшей мере одна система RPM располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние не составляет 1000 метров или менее.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит электронику для управления линейным ускорителем просвечивающей системы и сбора данных и аппаратные средства для распределения данных.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник содержит аппаратные средства для распределения данных и электронику для сбора данных системы на основе обратного рассеяния.

Настоящее описание раскрывает также способ подавления перекрестных помех между множеством рентгеновских сканирующих систем, имеющих по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую систему, при этом способ содержит: использование частотного генератора для генерации общей рабочей частоты; передачу общей рабочей частоты в упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник; синхронизацию частоты повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского источника с общей рабочей частотой; передачу общей рабочей частоты в упомянутую по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему; и использование общей рабочей частоты для исключения данных по перекрестным помехам, относящихся к упомянутому по меньшей мере одному высокоэнергетическому рентгеновскому источнику, из данных сканирования, собранных

по меньшей мере одной низкоэнергетической рентгеновской системой.

Необязательно, способ дополнительно содержит передачу общей рабочей частоты в по меньшей мере одну пассивную систему детектирования излучения. Необязательно, способ дополнительно содержит использование общей рабочей частоты для исключения данных по перекрестным помехам, относящихся к упомянутому по меньшей мере одному высокоэнергетическому рентгеновскому источнику, из данных сканирования, собранных упомянутой по меньшей мере одной пассивной системой детектирования излучения. Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна пассивная система детектирования излучения располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние составляет 1000 метров или менее.

Необязательно, способ дополнительно содержит синтезирование отдельных значений частот повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского излучения, которые синхронизированы как с целочисленными, так и с нецелочисленными делениями общей рабочей частоты.

Необязательно, способ дополнительно содержит исключение нежелательного сигнала, относящегося к данным по перекрестным помехам, соответствующим общей рабочей частоте, из изображения, сгенерированного низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой, содержащей упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит линейный ускоритель.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник встроен в рентгеновскую сканирующую систему на основе обратного рассеяния.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние составляет 1000 метров и менее.

Необязательно, способ дополнительно содержит модуляцию частоты повторения импульсов упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, чтобы обеспечивать по меньшей мере одно из изменяющейся скорости сканируемого объекта, когда он проходит через портальную систему, или скорости упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, перемещающегося по направляющим системы гантри.

В некоторых вариантах осуществления настоящее описание раскрывает также систему для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения между множеством рентгеновских сканирующих систем, содержащих по меньшей мере один

высокоэнергетический рентгеновский источник и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему или RPM, при этом система содержит: частотный генератор, выполненный с возможностью генерации общей рабочей частоты; упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник, связанный с частотным генератором для приема общей рабочей частоты, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит первый процессорный модуль выполненный с возможностью модификации частоты повторения импульсов по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, чтобы обеспечить синхронизацию с общей рабочей частотой; и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, связанную с задающим частотным генератором для приема общей рабочей частоты, причем упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская система содержит второй процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, соответствующих перекрестной помехе, принятой в первый момент времени, если упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник излучал рентгеновское излучение в первый момент времени.

Необязательно, система дополнительно содержит по меньшей мере один пассивный детектор излучения, связанный с частотным генератором, при этом упомянутый по меньшей мере один пассивный детектор излучения выполнен с возможностью приема общей рабочей частоты, и причем упомянутый по меньшей мере один пассивный детектор излучения содержит третий процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, соответствующих общей рабочей частоте во второй момент времени, если упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская система излучала рентгеновское излучение во второй момент времени.

Необязательно, система содержит радиационный портальный монитор (RPM), при этом RPM содержит пассивный детектор излучения, и причем RPM является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

Необязательно, система дополнительно содержит высокоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, содержащую упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник, при этом по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник является линейным ускорителем, и причем высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

Необязательно, система дополнительно содержит рентгеновскую сканирующую систему на основе обратного рассеяния, при этом рентгеновская сканирующая система на основе обратного рассеяния содержит по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник, и причем низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая

система является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

Необязательно, по меньшей мере один упомянутый высокоэнергетический рентгеновский источник является линейным ускорителем, и при этом упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник выполнен с возможностью синхронизации частоты повторения импульсов (PRF) линейного ускорителя с общей рабочей частотой.

Необязательно, общая рабочая частота используется для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения в рентгеновской сканирующей системе на основе обратного рассеяния. Необязательно, общая рабочая частота используется для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения в RPM.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние не превышает 1000 метров.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна система RPM располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга.

Необязательно, предварительно заданное расстояние не превышает 1000 метров.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система связаны с задающим частотным генератором посредством любой из или сочетания из электрической, волоконно-оптической или беспроводной систем связи.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна система RPM связаны с задающим частотным генератором посредством любой из или сочетания из электрической, волоконно-оптической или беспроводной систем связи.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит электронную систему управления линейным ускорителем просвечивающей системы и сбора данных и аппаратуру распределения данных.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система содержит аппаратуру распределения данных и электронную систему сбора данных системы на основе обратного рассеяния.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна система RPM содержит аппаратуру распределения данных и электронную систему сбора данных системы RPM.

В некоторых вариантах осуществления, настоящее описание раскрывает способ подавления перекрестных помех между множеством рентгеновских сканирующих систем,

имеющих по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, при этом способ содержит следующие этапы: использование частотного генератора для генерации общей рабочей частоты; передачу общей рабочей частоты в по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник; синхронизацию частоты повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского источника с общей рабочей частотой; передачу общей рабочей частоты в по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему; и использование общей рабочей частоты для исключения данных по перекрестным помехам, соответствующих по меньшей мере одному высокоэнергетическому рентгеновскому источнику, из данных сканирования, собранных по меньшей мере одной низкоэнергетической рентгеновской системой.

Необязательно, способ дополнительно содержит модуляции частоты повторения импульсов упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, чтобы обеспечить согласование с разными сценариями визуализации, например, изменяющейся скоростью объекта, сканируемого, когда он проходит через портальную систему, или скоростью высокоэнергетического рентгеновского источника, перемещающегося по направляющим системы с подвижным порталом.

Необязательно, упомянутая связь осуществляется по волоконно-оптическим кабелям.

Необязательно, способ дополнительно содержит этап передачи общей рабочей частоты в по меньшей мере одну пассивную систему детектирования излучения.

Необязательно, способ дополнительно содержит этап использования общей рабочей частоты для исключения данных по перекрестным помехам, соответствующих упомянутому по меньшей мере одному высокоэнергетическому рентгеновскому источнику, из данных сканирования, собранных по меньшей мере одной пассивной системой детектирования излучения.

Необязательно, упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна пассивная система детектирования излучения располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние не превышает 1000 метров.

Необязательно, способ дополнительно содержит этап синтезирования отдельных значений частот повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского излучения, которые синхронизированы с частотами деления общей рабочей частоты как на целые, так и на нецелые числа.

Необязательно, способ дополнительно содержит этап исключения нежелательного сигнала, соответствующего данным по перекрестным помехам, соответствующим общей рабочей частоте, из изображения, сформированного низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой, содержащей упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит линейный ускоритель.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник встроен в рентгеновскую сканирующую систему на основе обратного рассеяния.

Необязательно, упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Необязательно, предварительно заданное расстояние не превышает 1000 метров.

Вышеупомянутые и другие варианты осуществления настоящего изобретения будут более подробно изложены на чертежах и в подробном описании, представленных ниже.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Упомянутые и другие признаки и преимущества настоящего изобретения будут оценены дополнительно, поскольку станут более понятными при обращении к нижеследующему подробному описанию в связи с прилагаемыми чертежами:

Фиг. 1A представляет собой блок-схему системы подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 1B иллюстрирует примерную высокоэнергетическую рентгеновскую систему досмотра грузов на основе LINAC, которую можно применять со способами и системами, представленными в настоящем описании в варианте осуществления;

Фиг. 1C иллюстрирует пример низкоэнергетической рентгеновской системы на основе обратного рассеяния для досмотра грузов, которую можно применять со способами и системами, представленными в настоящем описании в варианте осуществления;

Фиг. 1D представляет собой схематический вид сверху системы досмотра, показанной на фиг. 1C;

Фиг. 1E иллюстрирует пример рентгеновской системы 150 на основе обратного рассеяния, которую можно разместить под транспортным средством для досмотра под шасси, которую можно применять со способами и системами, представленными в настоящем описании в варианте осуществления;

Фиг. 1F иллюстрирует другое изображение рентгеновской системы 150 на основе обратного рассеяния, показанной на фиг. 1E;

Фиг. 1G показывает изображение совмещенной стационарной рентгеновской системы визуализации, которая сочетает визуализацию, как в высокоэнергетическом просвечивающем излучении, так и в низкоэнергетическом обратно-рассеянном излучении в рамках одной досмотровой платформы, которую можно применять со способами и системами, представленными в настоящем описании в варианте осуществления;

Фиг. 1H показывает изображение мобильной рентгеновской сканирующей

системы, которая сочетает систему визуализации в высокоэнергетическом просвечивающем излучении, систему визуализации в низкоэнергетическом обратно-рассеянном излучении и пассивную систему детектирования излучения в рамках одной досмотровой платформы, которую можно применять со способами и системами, представленными в настоящем описании в варианте осуществления;

Фиг. 1I показывает изображение решения автономного стационарного пассивного радиационного портального монитора (RPM) гамма/нейтронного излучения, который можно разместить в непосредственной близости от высокоэнергетической или низкоэнергетической рентгеновской системы визуализации;

Фиг. 2A иллюстрирует первую схему реализации системы подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 2B является схематическим представлением второй реализации системы подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 2C является схематическим представлением третьей реализации системы подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 3A обеспечивает наглядное представление взаимосвязи между множеством различающихся частот повторения импульсов отдельных высокоэнергетических рентгеновских источников и общей рабочей частотой в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 3B обеспечивает наглядное представление синхронизации множества различающихся частот повторения импульсов отдельных высокоэнергетических рентгеновских источников с общей рабочей частотой в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 4A показывает первое сканированное изображение, полученное низкоэнергетической рентгеновской досмотровой системой на основе обратного рассеяния, расположенной вблизи множества высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих досмотровых систем;

Фиг. 4B показывает второе сканированное изображение, полученное низкоэнергетической рентгеновской досмотровой системой на основе обратного рассеяния, расположенной вблизи множества высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих досмотровых систем;

Фиг. 5 иллюстрирует сигнал обратно-рассеянного излучения, захваченный низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой на основе обратного рассеяния, расположенной вблизи высокоэнергетической рентгеновской сканирующей системы;

Фиг. 6A иллюстрирует примерный сценарий размещения системы в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения;

Фиг. 6B иллюстрирует другой примерный сценарий размещения системы в

соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения; и

Фиг. 7 представляет собой блок-схему последовательности множества примерных этапов способа подавления перекрестных помех между множеством рентгеновских сканирующих систем в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего описания.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

В варианте осуществления настоящее описание предлагает систему и способ для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения между платформами со сканированием высокоэнергетическим рентгеновским излучением, такими как сканирующие системы на основе линейного рентгеновского ускорителя (LINAC) и низкоэнергетические рентгеновские сканирующие системы на основе обратного рассеяния или радиационные портальные мониторы (RPM). В различных вариантах осуществления RPM содержат оборудование пассивного детектора излучения, предназначенного для детектирования и измерения излучения, испускаемого радиоактивными материалами при отсутствии любых внешних воздействий.

Настоящее описание представляет несколько вариантов осуществления. Нижеследующее раскрытие предлагается, чтобы дать возможность специалисту средней квалификации в области техники практически реализовать изобретение. Формулировки, применяемые в настоящем описании, не следует интерпретировать как общее непризнание любого конкретного варианта осуществления или как используемые для ограничения формулы изобретения за пределами значения применяемых в ней терминов. Общие принципы, определенные в настоящем описании, можно применить к другим вариантам осуществления и применения, без отклонения от существа и объема изобретения. Кроме того, применяемые терминология и фразеология имеют целью описание примерных вариантов осуществления и не должны считаться ограничительными. Таким образом, настоящее изобретение следует считать согласующимся с самым широким объемом, заключающим в себе многочисленные альтернативы, модификации и эквиваленты, согласующимися с раскрытыми принципами и признаками. Для ясности, детали, относящиеся к техническому материалу, который известен в технических областях, связанных с изобретением, не описаны подробно, чтобы не затруднять без необходимости понимания настоящего изобретения.

В описании и формуле изобретения в заявке, каждое из слов «содержать» «включать в себя» и «иметь» и их форм не обязательно ограничено элементами перечня, с которым могут быть связаны эти слова. Следует отметить, что в настоящем описании любой признак или компонент, описанный в связи с конкретным вариантом осуществления, можно использовать и реализовать с любым другим вариантом осуществления, если прямо не указано иное.

Признаки элемента в единственном числе, используемые в настоящем описании, означают «по меньшей мере один» или «один или более», если контекст прямо не предписывает иное.

В различных вариантах осуществления система, в частности, каждый из модулей, компонентов или генераторов, представленных в настоящем описании, включает в себя по меньшей мере один процессор, способный обрабатывать программные команды, имеет память, способную хранить программные команды, и использует программное обеспечение, состоящее из множества программных команд для выполнения процессов, представленных в настоящем описании. В различных вариантах осуществления может применяться компьютерное устройство, предназначенное для приема и обработки сигналов данных и данных изображения, которое может включать в себя контроллер ввода/вывода, по меньшей мере один интерфейс связи и системную память. Системная память включает в себя по меньшей мере одну память с произвольным доступом (RAM) и по меньшей мере одну постоянную память (ROM). Эти элементы связаны с центральным процессором (ЦП), чтобы делать возможной работу компьютерного устройства. В различных вариантах осуществления компьютерное устройство может быть обычным автономным компьютером, или, в качестве альтернативы, функции компьютерного устройства могут быть распределены по сети из нескольких компьютерных систем и архитектур. В вариантах осуществления компьютерное устройство может выполнять программные команды. В некоторых вариантах осуществления выполнение множества последовательностей программных команд или кода, которые хранятся в одном или более энергонезависимых блоках памяти, позволяет или предписывает ЦП компьютерного устройства выполнять или делать возможными различные функции, процессы и алгоритмы, например, выполнять реконструкцию изображения для отображения на экране. В альтернативных вариантах осуществления можно использовать аппаратно-реализованные цепи, вместо или в сочетании с командами программного обеспечения для реализации процессов систем и способов, представленных в настоящей заявке. В некоторых вариантах осуществления можно использовать одну или более схемных плат на основе программируемого встроенного микроконтроллера и FPGA (вентильной матрицы с эксплуатационным программированием), вместо или в сочетании с программными командами для реализации процессов систем и способов, предложенных в настоящей заявке. То есть, описанные системы и способы не ограничиваются никаким конкретным сочетанием аппаратного и программного обеспечения.

Дополнительно следует понимать, что каждое устройство может содержать беспроводные и/или проводные приемники и передатчики, способные пересылать и передавать данные, по меньшей мере один процессор, способный обрабатывать программные команды, память, способную хранить программные команды, и программное обеспечение, состоящее из множества программных команд для выполнения процессов, представленных в настоящем описании.

Термин «перекрестные помехи», применяемый в настоящем описании, относится к нежелательному обнаружению, в первой системе (например, низкоэнергетической рентгеновской системе на основе обратного рассеяния или подсистеме визуализации с RPM), рентгеновских сигналов, генерируемых второй системой (например,

высокоэнергетической системой LINAC).

Низкоэнергетическая (НЭ) рентгеновская сканирующая система является, по определению, рентгеновской сканирующей системой, имеющей рентгеновский источник, который работает в диапазоне энергий от 120 кэВ до 750 кэВ. Высокоэнергетическая (ВЭ) рентгеновская сканирующая система является, по определению, рентгеновской сканирующей системой, имеющей рентгеновский источник, который работает в диапазоне энергий от 750 кэВ до 10 МэВ.

Дополнительно следует понимать, что, в предпочтительном варианте осуществления, объекты изобретения, раскрытые в настоящем описании, реализуются только в случае, когда больше чем 1 ВЭ рентгеновский источник работает в пределах 1000 метров от НЭ рентгеновского источника и/или подсистемы визуализации с RPM, и когда ВЭ рентгеновские источники генерируют импульсы асинхронно, имеют различающиеся дозы рентгеновского излучения на выходе или реализуют методы визуализации с низкими дозами облучения «персонала».

На фиг. 1А представлена блок-схема системы 101 подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Система 101 содержит задающий импульсно-частотный генератор 102, который в некоторых вариантах осуществления выполнен с возможностью генерации общей рабочей частоты и синхронизации множества высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 (1-n) на основе LINAC с общей рабочей частотой. Задающий импульсно-частотный генератор 102 дополнительно выполнен с возможностью передачи общей рабочей частоты во множество низкоэнергетических рентгеновских систем 106 (1-n) на основе обратного рассеяния и, необязательно, множество подсистем 107 (1-n) визуализации с RPM, чтобы подавлять перекрестные помехи от рентгеновского излучения. Таким образом, в вариантах осуществления упомянутое множество высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 (1-n) на основе LINAC, упомянутое множество низкоэнергетических рентгеновских систем 106 (1-n) на основе обратного рассеяния и упомянутое множество подсистем 107 (1-n) визуализации с RPM связаны (с использованием любой или сочетания из электрической, волоконно-оптической или беспроводной систем связи) с задающим импульсно-частотным генератором 102 и выполнены с возможностью приема общей рабочей частоты.

В вариантах осуществления на основе общей рабочей частоты может генерироваться диапазон частот повторения импульсов (ЧПИ) LINAC. Поэтому, каждая из диапазона ЧПИ LINAC синхронизируется с общей рабочей частотой. В некоторых вариантах осуществления каждая из упомянутого множества высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 (1-n) на основе LINAC включает в себя процессорный модуль, выполненный с возможностью изменения или генерации ЧПИ каждой из упомянутого множества высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем, чтобы обеспечить синхронизацию с общей рабочей частотой. В вариантах осуществления электронная подсистема LINAC (каждой из высокоэнергетических

рентгеновских досмотровых систем 104 (1-n)) выполнена с возможностью определения, следует ли принимать общую рабочую частоту, чтобы синхронизировать ЧПИ. Соответственно, каждый из рентгеновских источников содержит независимо работающий процессорный модуль, выполненный с возможностью установления набора частот импульсов и, отдельно от этого, обмена данными с единственным частотным генератором, выполненным с возможностью генерации общей рабочей частоты.

Следует понимать, что, в различных вариантах осуществления, задающий импульсно-частотный генератор 102 является физически отдельным или отличается от частотного генератора, который обычно является характерным для и встроенным в LINAC каждой из упомянутого множества высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 (1-n) на основе LINAC.

В некоторых вариантах осуществления каждая из упомянутого множества низкоэнергетических рентгеновских систем 106 (1-n) на основе обратного рассеяния включает в себя процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте в момент времени, T, если какая-либо из высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем испускала рентгеновское излучение в момент времени, T.

В некоторых вариантах осуществления каждая из упомянутого множества подсистем (1-n) визуализации с RPM включает в себя процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте в момент времени, t, если какая-либо из высокоэнергетических рентгеновских систем испускала рентгеновское излучение в этот момент времени, t.

Системы и способы по настоящему изобретению можно применять для подавления перекрестных помех досмотровых систем с обратным рассеянием и RPM и мультиэнергетических рентгеновских досмотровых систем, таких как системы, раскрытые в патентах США №№. 7505556; 7218704; 7099434; 9841386; 7593506; 7400701; 7551715; 7924979; 7551718; 8345819; 8824632; 8532823; 8884236; 8903045; 9146201; 9535019; 9285488; 9659343; 9958569; 9841386; 8325871; 8993970; и 7555099, которые, каждый в отдельности, включены в настоящее описание по ссылке. В различных вариантах осуществления системы и способы по настоящему изобретению можно применять как в стационарных/неподвижных, так и в мобильных сканирующих системах/решениях, и в проводных или беспроводных конфигурациях.

На фиг. 1B изображена примерная высокоэнергетическая рентгеновская система на основе LINAC для досмотра грузов, которую можно применять со способами и системами, представленными в настоящем описании. Как показано, система 130 досмотра грузов содержит высокоэнергетический источник 105 излучения для облучения досматриваемого объекта 110 вертикально расходящимся веерообразным пучком излучения 115. Высокоэнергетический источник 105 излучения может быть, но без ограничения, линейным ускорителем (LINAC) или бетатроном. В вариантах осуществления LINAC или любой другой источник обеспечивает дозу излучения,

достаточную для визуализации контейнеров и груза. В варианте осуществления энергия и доза на выходе LINAC или любого другого источника находится в диапазоне от 750 кэВ до 10 МэВ и, соответственно, от 0,07 Гр/мин до 15 Гр/мин.

Выбор типа источника, его интенсивности и выходной энергии зависит от чувствительности детекторов, радиографической плотности груза в пространстве между источником и детекторами, принципов радиационной безопасности и эксплуатационных требований, таких как скорость досмотра. Специалисту средней квалификации в области техники должны быть известны факторы, которые требуется учитывать, чтобы выбрать тип источника излучения в зависимости от требований к досмотру. В одном варианте осуществления, в котором досматриваемый объект 110 является крупногабаритным контейнером или автомобилем, который сильно ослабляет рентгеновский пучок, излучение может исходить из рентгеновского источника с рабочей энергией в диапазоне от приблизительно 750 кэВ и даже до 10 МэВ или выше. В варианте осуществления досматриваемый объект 110 может быть транспортным средством, грузовиком, грузовым вагоном или другими контейнерами для перевозки груза, пассажирским багажом или общим имуществом.

Система 130 досмотра грузов дополнительно содержит матрицу 120 детекторов, которая предпочтительно размещается позади досматриваемого объекта 110 и служит для детектирования излучения, пропускаемого сквозь досматриваемый объект 110. Детекторы 120 могут быть сформированы стопой слоев кристаллов, которые генерируют аналоговые сигналы, когда на них падает рентгеновское излучение, при этом уровень сигнала пропорционален величине ослабления пучка в досматриваемом объекте 110. В одном варианте осуществления схема расположения детекторов рентгеновского пучка состоит из линейной решетки твердотельных детекторов типа кристаллических диодов. Типичная схема расположения использует сцинтиллирующие кристаллы из вольфрамата кадмия, чтобы поглощать рентгеновское излучение, пропускаемое сквозь досматриваемый объект 110, и преобразовывать поглощенное рентгеновское излучение в фотоны видимого света. В качестве альтернативы можно применять такие кристаллы, как германат висмута, иодид натрия или другие подходящие кристаллы, известные специалисту средней квалификации в области техники. Кристаллы могут быть непосредственно соединены с подходящим детектором, таким как фотодиод или фотоумножитель. Фотодиоды детектора могут быть расположены линейно, что благодаря устройствам с единичным коэффициентом усиления обеспечивают преимущества над фотоумножителями с точки зрения рабочего диапазона, линейности и согласования детектора с детектором. В другом варианте осуществления вместо линейной решетки детекторов применяется площадной детектор. Такой площадной детектор может быть сцинтиллирующей полоской, например, из иодида цезия или других материалов, известных в области техники, наблюдаемой подходящей камерой или оптически связанной с прибором с зарядовой связью (ПЗС).

Специалистам в области техники будет очевидно, что система 130 досмотра грузов, показанная на фиг. 1В, является только одним примером системы досмотра,

использующей высокоэнергетические рентгеновские источники, такие как, но без ограничения, LINAC или бетатрон. Настоящее описание предлагает систему и способ для подавления перекрестных помех среди множества разных системных конфигураций, использующих как высокоэнергетические рентгеновские источники, так и низкоэнергетические рентгеновские источники и пассивные радиационные мониторы.

Визуализация в рассеянном излучении, в случае которой рентгеновское излучение рассеивается материалом (обычно, как правило, в обратном направлении), предлагает ряд отличающихся возможностей досмотра и рабочих характеристик. Визуализация в рассеянном излучении позволяет получать изображения даже в случае, когда объект визуализации доступен только с одной стороны. Более того, поскольку сигнал от рассеянного излучения очень быстро ослабляется с увеличением глубины в объекте, изображения в обратно-рассеянном излучении эффективно представляют «срез» характеристики объекта со стороны, ближайшей к рентгеновскому источнику, ослабляя посредством этого проблемы помех изображения, которые могут искажать теневые изображения. Комптоновский эффект, который доминирует при рассеянии рентгеновского излучения в низкоэнергетическом диапазоне (от 120 кэВ до 750 кэВ), имеет доминирующее влияние на взаимодействие рентгеновского излучения с плотными материалами с низкими атомными номерами (низкими Z). Наркотики обычно создают яркие сигнатуры в изображении в обратно-рассеянном излучении, и аналогично ведут себя органические взрывчатые вещества, что делает визуализацию в обратно-рассеянном излучении полезным способом визуализации для обнаружения взрывных устройств или наркотиков. И наконец, требования выставления рентгеновского пучка с детекторами или коллимирующими устройствами являются менее строгими, чем для просвечивающей визуализации, что допускает быстрое размещение в широком диапазоне сценариев досмотра.

На фиг. 1C изображен пример низкоэнергетической рентгеновской системы на основе обратного рассеяния для досмотра грузов. Фиг. 1C является оборванным видом в перспективе мобильной рентгеновской системы на основе обратного рассеяния для досмотра грузов, размещенной на грузовике, способном двигаться по дорогам и сканировать замкнутый объем, такой как транспортное средство или грузовой контейнер, в то время, когда либо система досмотра, либо замкнутый объем, либо оба двигаются. Фиг. 1D является схематическим видом сверху системы досмотра, показанной на фиг. 1C. Как показано на фиг. 1C и 1D, детекторы 100 обратно-рассеянного рентгеновского излучения смонтированы на мобильной платформе 10 или перевозочном средстве, обычно способном двигаться по дорогам, которое объезжает крупный объект, подлежащий досмотру, например, транспортное средство или грузовой контейнер 12. Перевозочное средство 10 характеризуется закрытым кузовом 14, в данном случае, обшивкой фургона, показанного на фиг. 1C на виде с разрывом, чтобы допускать изображение других компонентов системы досмотра. Перевозочное средство 10 может иметь множество альтернативных вариантов осуществления, в том числе, но без ограничения,

автотранспортные средства (включая фургоны, грузовики или т.п.) с бензиновым, дизельным и электрическим двигателем, газовым двигателем на пропане, двигателем на аккумуляторных источниках, на топливных элементах или на водородном топливе, транспортные средства на гусеничном ходу, тележки, прицепы, краны или другое оборудование, которые можно приводить в движение, предпочтительно самоходные, но в том числе также транспортные средства, привязные и буксируемые, например, электросиловым способом.

Внутри закрытого кузова 14 перевозочного средства 10 заключен источник 30, включающий в себя рентгеновскую трубку 32 (показанную на фиг. 1D) и прерыватель 34 пучка. Энергии источника обычно находятся в диапазоне от 120 кэВ до 750 кэВ, следовательно, прерыватель 34 пучка может быть меньше, чем в системах, в которых используется высокоэнергетическое рентгеновское излучение. Прерыватель 34 пучка может быть вращающимся перфорированным венцом или колесом с пропускающими щелями, или любым числом средств, известных в данной области техники, для формирования пятен бегущих пучков, которые расположены, обычно, в плоскости, приблизительно ортогональной направлению 20 движения. Рентгеновская трубка 32, изображенная на фиг. 1D для примера, является панорамной рентгеновской трубкой, которая способна генерировать широкоугольный пучок и дополнительно может быть поворотной, чтобы допускать сканирование с каждой стороны перевозочного средства 10. Вращающийся обод 34 с апертурами 36 и 38 выпускает узкий направленный пучок 24, что позволяет досматривать объекты, возможно, с каждой стороны перевозочного средства 10, и такой досмотр называется в настоящем описании «двухсторонним». Однако объем настоящего изобретения заключается в себе все источники, при их применении так, как описано в настоящем описании. Рентгеновский источник 30 и детекторы 100 могут быть ориентированы так, чтобы допускать сканирование с «места водителя», «места пассажира» перевозочного средства или обоих мест одновременно. В данной области техники известны различные средства для механического или электронного развертывания пучка проникающего излучения, включая, например, вращение колеса 34 прерывателя пучка, изображенного на фиг. 1D, или электронное сканирование, подробно описанное, например, в патенте США № 6421420, выданном 16 июля 2002 г., который включен в настоящее описание путем отсылки.

Модули 100 детекторов обратно-рассеянного излучения транспортируются перевозочным средством 10 и обычно содержатся в закрытом кузове 14, и скрыты из виду снаружи перевозочного средства 10. Они могут также транспортироваться снаружи перевозочного средства 10 в особых случаях применения в пределах объема настоящего изобретения. Модули 100 детекторов содержат детекторы для детектирования проникающего излучения от источника 30, которое взаимодействовало с содержимым досматриваемого объекта 12 и рассеяно им обратно. Источник обратного рассеяния можно характеризовать как аномальный для состояния сканируемого человека или объекта. Таким образом, человека, переносящего взрывчатое вещество, можно

обнаружить по локально усиленному обратно-рассеянному рентгеновскому излучению. Для определения уровней угрозы объекта может быть установлена конкретная характеристика рассеивателя, например, локализация или конкретное расположение относительно досматриваемого объекта.

Досмотр объекта 12 может производиться оператором, расположенным внутри перевозочного средства 10, или, в качестве альтернативы, удаленно расположенным оператором. Для досмотра, объект 12 может удерживаться в неподвижном состоянии, а перевозочное средство 10 проезжает вдоль объекта в направлении 20 (вперед или назад), в качестве альтернативы, досмотр может проводиться, когда двигаются как перевозочное средство 10, так и досматриваемый объект 12. В еще одном режиме, называемом «портальным режимом», система досмотра является стационарной, и объект досмотра провозится мимо системы досмотра. Когда объектом досмотра является человек, от него могут потребовать медленно пройти мимо перевозочного средства 10, предпочтительно, в обоих направлениях, чтобы можно было изучить человека с обеих сторон. В «стационарном режиме», как система досмотра, так и сканируемый объект остаются стационарными, и способ рентгеновского сканирования устройством, смонтированным на транспортном средстве и выполненным как часть самой системы досмотра, применяется для создания эффекта как горизонтального, так вертикального сканирования, чтобы сгенерировать рентгеновское изображение в обратно-рассеянном излучении. Такие способы могут включать в себя применение двухкоординатного стола, рентгеновских источников с электронным управлением (описанных, например, в патенте США № 6421420) или других средств.

Относительное движение перевозочного средства 10 и объекта 12 может быть точно управляемым или контролируемым датчиком 18, который использует любой из различных способов измерения, таких как радиолокационный, ультразвуковой или оптический, включая лазерное или лидарное измерение, перечисленных только в качестве примера, чтобы измерять скорость перевозочного средства 10 относительно объекта 12. Сигнал, выдаваемый датчиком 18, используется контроллером 40 в одним или более из следующих методик: скорость транспортного средства может регулироваться или, в качестве альтернативы, регистрация пикселей может корректироваться для компенсации отклонений от нормы скорости транспортного средства, чтобы получать неискаженные рентгеновские изображения в обратно-рассеянном излучении, с точным аспектовым отношением. Соответствующие технологии включают в себя, но не ограничиваются ими: применение высокоточных устройств измерения скорости, чтобы точно измерять скорость транспортного средства в низких диапазонах (0,5-10 миль/час); применение низкоскоростных (0,5-10 миль/час) электронных и/или программных средств системы управления двигателем и/или трансмиссией; и применение нестандартных конструкций приводов транспортного средства, которые одновременно позволяют получить низкую скорость сканирования транспортного средства, охраняя при этом возможность обеспечивать приемлемый для дороги диапазон скоростей вплоть до по меньшей мере 55

миль/час. В варианте осуществления скорость перевозочного средства 10 не влияет на качество сканирования, так как скорость сбора данных сканирования фиксируется скоростью вращения колеса 34 прерывателя пучка. Поэтому в вариантах осуществления для рентгеновской досмотровой системы на основе обратного рассеяния, представленной в настоящем описании, регистрация пикселей корректируется, чтобы исключать любые нежелательные/искаженные данные из данных сканирования посредством использования сигнала общей рабочей частоты, как изложено в настоящем описании. Сигнал общей рабочей частоты используется для идентификации искаженных данных, и затем артефакт подавляется с помощью одного или более предварительно заданных алгоритмов обработки изображений в процессорном модуле, как представлено в настоящем описании.

На фиг. 1E изображен пример рентгеновской системы 150 на основе обратного рассеяния, которую можно разместить под транспортным средством для досмотра под шасси. На фиг. 1F представлено другое изображение рентгеновской системы 150 на основе обратного рассеяния, показанной на фиг. 1E. Досмотр нижней стороны транспортных средств посредством портативной рентгеновской системы на основе обратного рассеяния создает особые проблемы. Клиренс автомобилей не превышает 8 дюймов (20 см) и может быть всего 6 дюймов (15 см). Неподвижные системы досмотра, такие как порталы, могут содержать детектор в основании или детектор, размещенный на основании. Рентгеновский источник (например, рентгеновская трубка), используемый в системе 150 на основе обратного рассеяния, размещаемой под шасси, может состоять из электромагнитного сканера 152 электронного пучка, проходящего через анод. Электромагнитный сканер 152 приводится в действие электронным модулем 154. Рентгеновское излучение, формируемое источником, коллимируется линейной решеткой апертур 156, которая охватывает, например, 30 дюймов (76 см) нижней стороны в одном проходе. Детекторы 158 установлены с каждой стороны рентгеновской трубки, чтобы детектировать рентгеновское излучение 160, рассеянное обратно от транспортного средства 162. Источники питания, процессоры импульсов и изображения могут быть установлены соответственно. Шасси 164 досмотровой системы 150 на основе обратного рассеяния на колесах 166 может быть выполнено маневрирующим под транспортным средством 162 с управлением от электродвигателя или вручную.

Фиг. 1G является изображением совмещенной стационарной рентгеновской системы 170 визуализации, которая сочетает визуализацию, как в высокоэнергетическом просвечивающем излучении, так и в низкоэнергетическом обратно-рассеянном излучении в рамках одной досмотровой платформы. Фиг. 1H показывает изображение мобильной рентгеновской сканирующей системы 175, которая сочетает систему 176 визуализации в высокоэнергетическом просвечивающем излучении, систему 177 визуализации в низкоэнергетическом обратно-рассеянном излучении и пассивную систему 178 детектирования излучения в рамках одной досмотровой платформы. Фиг. 1I показывает изображение решения 180 автономного стационарного пассивного радиационного портального монитора гамма/нейтронного излучения (подсистема визуализации с RPM),

который можно разместить в непосредственной близости от высокоэнергетической или низкоэнергетической рентгеновской системы визуализации.

Как показано на фиг. 1А, в вариантах осуществления упомянутое множество высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 на основе LINAC программируется для испускания рентгеновских излучения синхронно с общей рабочей частотой, генерируемой задающим импульсно-частотным генератором 102. Ограничение числа частот высокоэнергетического рентгеновского излучения посредством генерирования общей рабочей частоты ограничивает число разных картин интерференции, которые могут возникать в упомянутом множестве низкоэнергетических рентгеновских систем 106 или систем 107 RPM для досмотра, до единицы. Это также приводит к упрощению процесса подавления перекрестных помех вследствие присутствия единственной известной картины помех.

Сигнал общей рабочей частоты, генерируемый задающим импульсно-частотным генератором 102, передается также в каждую из упомянутого множества низкоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 106 на основе обратного рассеяния, в которых с помощью алгоритмов обработки изображений, значительная часть перекрестных помех может быть подавлена или исключена из контрольных изображений, получаемых каждой из досмотровых систем 106 на основе обратного рассеяния при наличии высокоэнергетического рентгеновского излучения. Посредством ограничения подавления перекрестных помех только в то время, когда присутствует высокоэнергетическое рентгеновское излучение, исключается излишняя обработка и/или искажение сканированных изображений обратного рассеяния, что предотвращает ухудшение характеристик изображения и снижение возможностей детектирования.

В вариантах осуществления, чтобы обеспечить изображение с общим качеством, которое сохраняется сглаженным и без острых краев/искажений, соседние значения сигналов усредняются. Этот способ успешно подавляет все перекрестные помехи в низкоэнергетических досмотровых системах. Однако такое подавление перекрестных помех может приводить к снижению качества изображения в некоторых областях получаемых изображений. Например, в случае сканирования транспортного средства досмотровой системой на основе обратного рассеяния, что-либо в транспортном средстве, генерирующее специфический сигнал (эквивалентный помеховый импульс), может и не захватываться в сканированное изображение. Однако когда частота помеховых импульсов является низкой по сравнению со скоростью захвата данных системы на основе обратного рассеяния, помеховые импульсы появляются нечасто, и поэтому потеря данных оказывается несущественной. В примерной системе на основе обратного рассеяния, имеющей частоту выборки 10 мс на линию при частоте 400 Гц импульсов в секунду соответствующий LINAC работает в течение периода 2 мкс каждые 25 мс и потому влияет только на один или два пикселя. Следовательно, потеря данных равна, максимум, 2 пикселям на 2500 точек данных (или 0,08%).

В варианте осуществления задающий импульсно-частотный генератор 102

фактически задействуется всякий раз, когда работают две или более из высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 и низкоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 106, расположенных в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. В вариантах осуществления, в которых две или более из высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 и низкоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 106 совмещены и образуют часть одной сканирующей системы, предварительно заданное расстояние между системами 104, 106 может быть всего 5 метров (15 футов). В вариантах осуществления в случаях, когда две или более из высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 и низкоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 106 работают последовательно одна за другой, но развязаны (т.е. тоннели для сканирования этих систем выставлены, но с промежутком между ними), предварительно заданное расстояние может быть больше, чем приблизительно 33 метра или 1000 футов. В вариантах осуществления в случаях, когда две или более из высокоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 104 и низкоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 106 развязаны, смещены и работают внутри экранирующих стенок, предварительно заданное расстояние может быть меньше, чем 50 м (150 футов). В вариантах осуществления предварительно заданное расстояние может увеличиваться в зависимости от дозы на выходе высокоэнергетической рентгеновской досмотровой системы 104. Следует отметить, что вышеупомянутые расстояния являются примерными и применимы к портальным системам. В случае систем гантри и высокой проникающей способностью излучения расстояния в этих конфигурациях могут быть еще больше.

В некоторых вариантах осуществления предусмотрены волоконно-оптические кабели для обеспечения возможности связи между задающим импульсно-частотным генератором 102, высокоэнергетическими рентгеновскими досмотровыми системами 104 на основе LINAC, низкоэнергетическими рентгеновскими системами 106 на основе обратного рассеяния и подсистемами 107 RPM. Как известно, волоконно-оптическая передача данных обеспечивает большую пропускную способность, работу на больших расстояниях, повышенную безопасность и устойчивость к электромагнитной интерференции по сравнению с другими средствами передачи. В вариантах осуществления, поскольку отдельные рентгеновские досмотровые системы могут работать от разных источников питания и могут располагаться на разных расстояниях, достигающих нескольких метров, друг от друга (как описано выше), применение волоконно-оптической связи обеспечивает бесперебойную и скоростную работу системы 101.

Следует понимать, что системы досмотра, такие как, но без ограничения, системы досмотра с возможностью сканирования непосредственно из движущегося автомобиля или возможностью сканирования с водителем в кабине, нуждаются в сложных методах подавления перекрестных помех.

Фиг. 2А представляет собой первую принципиальную схему реализация системы

200a подавления перекрестных помех, в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Система 200a содержит блок BEAT_MASTER 202 (называемый также «блок генерации общей рабочей частоты»), который включает в себя блок ND-CONCENTRATOR 204, выполненный с возможностью работы как задающий частотный генератор вместе с множеством блоков ND-FOCUS 206, чтобы посылать общую рабочую частоту в остальную часть системы 200a. В варианте осуществления блок ND-CONCENTRATOR 204 выполнен в виде программируемого встроенного микроконтроллера и платы на базе ППВМ (программируемой пользователем вентильной матрицы), которая использует встроенные кварцевые осцилляторы для генерации тактовых импульсов. В варианте осуществления блок ND-FOCUS 206 является электронной платой, которая выполнена с возможностью передачи по волоконно-оптическому кабелю и работы в режиме как источник/задающее устройство и приемник/подчиненное устройство общей рабочей частоты.

Система 200a содержит также две высокоэнергетических рентгеновских досмотровых системы 208 и 210, каждая из которых в варианте осуществления содержит блок ND-FOCUS 206, выполненный с возможностью приема общей рабочей частоты и выполненный с возможностью соединения с одним или более блоками ND-CONCENTRATOR 204, которые, в свою очередь, выполнены с возможностью работы как электроника для управления просвечивающей системой и сбором данных и аппаратные средства для распределения данных. Кроме того, система 200a содержит три рентгеновских досмотровых системы 212, 214 и 216 на основе обратного рассеяния, каждая из которых в варианте осуществления содержит блок ND-FOCUS 206, выполненный с возможностью приема общей рабочей частоты и соединения с одной или более подсистемами 218 обработки сигнала обратно-рассеянного излучения системы eDAQ (электроника для сбора данных). Система 200a дополнительно содержит две досмотровых системы 219 и 220 радиационных портальных мониторов (RPM), каждая из которых в варианте осуществления содержит блок ND-FOCUS 206, выполненный с возможностью приема общей рабочей частоты и соединения с электроникой 221 для обработки данных детектора RPM.

Кроме того, множество систем 222 связи создает возможность физического разделения систем 208, 210, 212, 214, 216, 219 и 220 вплоть до и больше расстояния 1000 метров при необходимости с обеспечением передачи общей рабочей частоты с малым временем задержки. В различных вариантах осуществления системы 222 связи включают в себя любую одну или сочетание из электрической, волоконно-оптической или беспроводной систем связи.

Общая рабочая частота, генерируемая блоком генерации общей рабочей частоты, называемым также выше задающим частотно-импульсным генератором или задающим устройством биений, 202, передается в каждую из высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих досмотровых систем 208, 210 таким образом, чтобы они программировались испускать рентгеновское излучение, которое синхронизировано с

общей рабочей частотой, генерируемой задающим частотно-импульсным генератором. Общая рабочая частота, генерируемая задающим устройством 202 биений, также передается в каждую из низкоэнергетических рентгеновских досмотровых систем 212, 214, 216 на основе обратного рассеяния, что позволяет подавлять присутствие перекрестных помех в досмотровых изображениях, созданных системами 212, 214, 216 на основе обратного рассеяния, посредством электроники сбора данных систем 219 системы на основе обратного рассеяния и алгоритмов обработки изображений.

Общая рабочая частота, генерируемая задающим устройством 202 биений, передается также в каждую из подсистем 219 и 220 RPM, что позволяет подавлять присутствие перекрестных помех с использованием таких методов, как бланкирование, для устранения вклада сигнала перекрестных помех в измеренные данные RPM. Следовательно, система 200a выполнена имеющей отдельное задающее устройство 202 биений, которое передает общую рабочую частоту в две ближайшие высокоэнергетические рентгеновские просвечивающие системы 208, 210, три ближайшие низкоэнергетические рентгеновские системы 212, 214, 216 на основе обратного рассеяния и две ближайшие системы 219, 220 RPM.

Фиг. 2B является схематическим представлением второй реализации системы 200b подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Система 200b выполнена имеющей высокоэнергетическую рентгеновскую просвечивающую систему 208 и низкоэнергетическую рентгеновскую систему 212 на основе обратного рассеяния, «совмещенные» между собой, что означает, что две системы 208, 212 интегрированы в одно решение для досмотра. Система 208 является единственной высокоэнергетической рентгеновской просвечивающей системой в пределах всего рабочего места, и, по существу, блок BEAT_MASTER 202 интегрирован в высокоэнергетическую рентгеновскую просвечивающую платформу 208. Система 200b содержит также три отдельных досмотровых станции в непосредственной близости, содержащих низкоэнергетическое рентгеновское устройство 214 на основе обратного рассеяния и два блока 219, 220 RPM, которые принимают сигнал общей рабочей частоты из задающего устройства 202 биений в совмещенной системе. Другие элементы, такие как блок ND-CONCENTRATOR 204, ND-FOCUS 206, подсистемы 218 обработки сигнала обратного рассеяния eDAQ (электроника сбора данных), электроника 221 обработки данных детектора RPM и системы 222 связи, были описаны выше со ссылкой на систему 200a.

Фиг. 2C является схематическим представлением третьей реализация системы 200c подавления перекрестных помех в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Система 200c выполнена имеющей первую высокоэнергетическую просвечивающую систему 208, расположенную вблизи второй высокоэнергетической рентгеновской просвечивающей системы 210, вблизи автономного блока 219 RPM. В вариантах осуществления применяются первое задающее устройство 202a биений и второе задающее устройство 202b биений, каждое из которых встроено в каждую из

соответствующих высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 208, 210. Если действует первая высокоэнергетическая рентгеновская просвечивающая система 208, то она выполняет роль задающего частотного генератора и выполнена с возможностью передавать общую рабочую частоту во вторую высокоэнергетическую рентгеновскую просвечивающую систему 210 и блоке 219 RPM посредством плат ND-FOCUS 206 и систем 222 связи (таких как, но без ограничения, волоконно-оптические кабельные соединения). Однако если первая высокоэнергетическая рентгеновская просвечивающая система 208 не получает питания или не действует, то роль задающего частотного генератора берет на себя вторая высокоэнергетическая рентгеновская просвечивающая система 210, которая выполнена с возможностью передачи общей рабочей частоты в первую высокоэнергетическую рентгеновскую просвечивающую систему 208 посредством плат ND-FOCUS 206 и систем 222 связи. В этом случае, блок 219 RPM продолжает принимать общую рабочую частоту, когда действуют либо одна, либо обе из первой и второй высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 208, 210. Другие элементы, такие как ND-CONCENTRATOR 204 и электроника 221 обработки данных детектора RPM были описаны выше со ссылкой на систему 200a.

Фиг. 3A обеспечивает наглядное представление взаимосвязи между множеством различающихся частот повторения импульсов отдельных высокоэнергетических рентгеновских источников и общей рабочей частотой в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. На фиг. 3A показана временная диаграмма 300 зависимости между общей рабочей частотой и частотой повторения импульсов любого отдельного высокоэнергетического рентгеновского источника. В вариантах осуществления сигнал 301 максимальной общей рабочей частоты генерируется в задающем устройстве биений, как описано выше. Первое множество временных диаграмм 302 представляет примерные заданные значения PRF (частоты повторения импульсов) LINAC, которые могут быть установлены или обеспечены посредством целочисленного деления максимальной общей рабочей частоты. Второе множество временных диаграмм 303 представляет примерные заданные значения PRF LINAC, которые могут быть установлены или обеспечены посредством нецелочисленного деления. В вариантах осуществления частоты/сигналы/работа отдельного рентгеновского источника не изменяются в самом рентгеновском источнике. В вариантах осуществления частота сигнала, которая посылается в рентгеновский источник или LINAC, которая запускает генерацию рентгеновского импульса (или всплеска рентгеновского излучения), изменяется. По каждому нарастающему фронту сигнала рентгеновский источник будет генерировать рентгеновский импульс. Частота запускающего сигнала является частотой повторения импульсов (PRF).

Фиг. 3B обеспечивает наглядное представление синхронизации множества различающихся частот повторения импульсов отдельных высокоэнергетических рентгеновских источников с общей рабочей частотой в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. В вариантах осуществления сигнал 301 общей

рабочей частоты генерируется в задающем устройстве 305 биений, как описано выше. Общая рабочая частота 301 передается в по меньшей мере один процессорный модуль 310, который относится к по меньшей мере одному рентгеновскому источнику или LINAC, и который затем генерирует запускающий сигнал PRF 315. Этот сигнал затем передается в LINAC 320, формирующий, в результате, выходной рентгеновский импульс 325. Следовательно, в вариантах осуществления процессорный модуль, который связан с каждым высокоэнергетическим рентгеновским источником, будет принимать общую рабочую частоту и затем генерировать сигнал частоты генерации импульсов времен включения LINAC, который является синхронным с общей рабочей частотой, (LINAC_PRF TRIGGER_SIGNAL). Интервал между моментами времени включения LINAC будет изменяться в зависимости от требуемой частоты повторения рентгеновских импульсов применяемой системы.

На фиг. 4A показано сканированное изображение 400a, полученное низкоэнергетической рентгеновской досмотровой системой на основе обратного рассеяния, расположенной вблизи множества высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих досмотровых систем, при этом каждая отдельная высокоэнергетическая рентгеновская просвечивающая система генерирует импульсы асинхронно, и причем можно наблюдать сильное влияние перекрестных помех, искажающих изображение. Большое число артефактов 402 в виде белых пятен происходит от множества картин интерференции, обусловленных некогерентным суммированием множества частот повторения импульсов из высокоэнергетических рентгеновских источников. Хотя такие данные можно устранять с использованием вышеописанных методов, общее качество получаемого изображения будет снижаться из-за значительного числа корректируемых пикселей.

Фиг. 4B является сканированным изображением 400b, полученным низкоэнергетической рентгеновской досмотровой системой на основе обратного рассеяния, расположенной вблизи множества высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих досмотровых систем, при этом каждая отдельная высокоэнергетическая рентгеновская просвечивающая система генерирует импульсы синхронно. Результат алгоритма подавления перекрестных помех отключен на приблизительно половине изображения 400b для сравнения. Как показано, изображение 400b содержит первый участок 404 и второй участок 406. Второй участок 406 содержит изображение перекрестных помех, вызванных множеством синхронизированных высокоэнергетических просвечивающих систем, работающих вблизи низкоэнергетической системы на основе обратного рассеяния, которой получено изображение 400b. В вариантах осуществления сигнал перекрестных помех, наблюдаемый на втором участке 406, возникает вследствие интерференции рабочих частот низко- и высокоэнергетических рентгеновских систем и зависит от отношения частот работы между системами. Перекрестные помехи на втором участке 406 наблюдаются как последовательность ярких пикселей 408, делающих участок 406 изображения нечетким и непригодным для обнаружения любых опасных предметов,

которые могут присутствовать в сканируемом объекте, хотя и менее искаженным, чем в случае, когда несколько систем работают асинхронно (как показано на фиг. 4A). Первый участок 404 выглядит более четким, чем второй участок 406, так как перекрестные помехи от множества высокоэнергетических просвечивающих систем, работающих вблизи, были подавлены с использованием систем и способов, представленных в настоящем описании.

На фиг. 5 показан сигнал 504 обратно-рассеянного излучения, захваченный низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой на основе обратного рассеяния, расположенной вблизи высокоэнергетической рентгеновской сканирующей системы. Как можно видеть, сигнал 502 обратно-рассеянного излучения отражает наличие нежелательного сигнала, происходящего от высокоэнергетической рентгеновской просвечивающей системы на основе LINAC. На обычные способы подавления нежелательных сигналов, которые базируются на амплитуде данного импульса, нельзя полагаться при подавлении из-за возможности изменения дозы, изменения расстояний совмещенных систем и асинхронной работы множества высокоэнергетических рентгеновских источников. В вариантах осуществления применение общей рабочей частоты, посылаемой в низкоэнергетическую сканирующую систему на основе обратного рассеяния и подсистему RPM, находящиеся вблизи высокоэнергетической сканирующей системы, гарантирует, что сигнал 502 перекрестной помехи возникает в одно и то же известное время, что сокращает число картин интерференции до одной и позволяет реализовать методы подавления в низкоэнергетических системах на основе обратного рассеяния и системе RPM.

На фиг. 6A показан примерный сценарий размещения системы 600a в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Как видно на фиг. 6A, автономная низкоэнергетическая рентгеновская система 605 на основе обратного рассеяния находится вблизи как высокоэнергетической рентгеновской просвечивающей системы 610, так и низкоэнергетической рентгеновской системы 630 на основе обратного рассеяния. В сценарии 600 размещения задающее устройство биений (то есть, блок задающего импульсного генератора) находится в высокоэнергетической рентгеновской просвечивающей системе 610, и общая рабочая частота (генерируемая задающим устройством биений BEAT) подается в совмещенную, близко расположенную низкоэнергетическую рентгеновскую систему 630 на основе обратного рассеяния, а также в автономную соседнюю низкоэнергетическую рентгеновскую систему 605 на основе обратного рассеяния.

На фиг. 6B показан другой примерный сценарий размещения системы 600b в соответствии с вариантом осуществления настоящего изобретения. Как видно на фиг. 6B, шесть высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 611, 612, 613, 614, 615 и 616 (в дальнейшем, совместно обозначаемых «611-616») и четыре низкоэнергетических рентгеновских системы 621, 622, 623 и 624 на основе обратного рассеяния (в дальнейшем, совместно обозначаемых «621-624») располагаются в непосредственной близости. Следовательно, каждая из шести высокоэнергетических

рентгеновских просвечивающих систем 611-616 создает помехи в каждой из четырех низкоэнергетических рентгеновских систем 621-624 на основе обратного рассеяния. В некоторых вариантах осуществления шесть высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 611-616 способны также работать в режиме очень низкой дозы рентгеновского излучения или «кабинного сканирования», чтобы поддерживать сканирование с водителем в кабине. Каждая из шести высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 611-616 требует синхронного включения источника, чтобы не допускать помех интерференции с близко расположенным низкоэнергетическим рентгеновским системам на основе обратного рассеяния. Следовательно, в некоторых вариантах осуществления одно задающее устройство 635 биений (то есть, блок задающего импульсного генератора) обеспечено в строении около сценария 600b размещения, чтобы генерировать общую рабочую частоту вместе с единственным блоком ND_FOCUS (то есть, подчиненным блоком) для каждой из шести высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 611-616 и каждой из четырех низкоэнергетических рентгеновских систем 621-624 на основе обратного рассеяния. Это обеспечивает использование высокоэнергетических рентгеновских просвечивающих систем 611-616 на общей рабочей частоте и низкоэнергетических рентгеновских систем 621-624 на основе обратного рассеяния, чтобы принимать данные для бланкирования сигнала перекрестной помехи с общей рабочей частотой (принимаемой, например, по волоконно-оптическим кабелям).

Фиг. 7 является блок-схемой последовательности множества примерных этапов способа подавления перекрестных помех между множеством рентгеновских сканирующих систем в соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего изобретения. На этапе 702 задающий частотный генератор выполнен с возможностью генерации общей рабочей частоты. На этапе 704 генерируемая общая рабочая частота передается в по меньшей мере одну высокоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему. В некоторых вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является рентгеновской сканирующей платформой на основе LINAC. В различных вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является либо стационарной, либо мобильной/портативной.

На этапе 706 частота повторения импульсов рентгеновского источника упомянутой по меньшей мере одной высокоэнергетической рентгеновской сканирующей системы синхронизируется с общей рабочей частотой. В вариантах осуществления отдельные значения PRF (частоты повторения импульсов) высокоэнергетического рентгеновского излучения синтезируются так, чтобы они были синхронными как с целочисленными, так и с нецелочисленными делениямиобщей рабочей частоты .

В некоторых вариантах осуществления частота повторения импульсов рентгеновского источника упомянутой по меньшей мере одной высокоэнергетической рентгеновской сканирующей системы модулируется, чтобы соответствовать разным

сценариям визуализации/сканирования, например, изменению скорости сканируемого объекта, когда он проезжает через высокоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, выполненную в виде портальной системы или посредством изменения скорости рентгеновского источника, перемещающегося по направляющим высокоэнергетической рентгеновской сканирующей системы, выполненной в виде системы гантри.

На этапе 708 генерируемая общая рабочая частота передается в по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему и/или по меньшей мере одну пассивную систему детектирования излучения. В некоторых вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. В некоторых вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна пассивная система детектирования излучения располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. В некоторых вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система, упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна пассивная система детектирования излучения располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга. Различные дополнительные примерные сценарии размещения были описаны со ссылкой на фиг. 2A, 2B, 2C, 6A и 6B. В некоторых вариантах осуществления предварительно заданное расстояние меньше, чем 1000 метров.

В некоторых вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является рентгеновской сканирующей системой на основе обратного рассеяния. В некоторых вариантах осуществления упомянутая по меньшей мере одна пассивная система детектирования излучения является радиационным портальным монитором (RPM). В различных вариантах осуществления генерируемая общая рабочая частота передается с использованием любой одной или сочетания из электрической, волоконно-оптической или беспроводной систем связи.

На этапе 710 общая рабочая частота применяется для устранения данных по перекрестным помехам, относящихся к упомянутая по меньшей мере одной высокоэнергетической рентгеновской сканирующей системе, из данных сканирования, захваченных упомянутой по меньшей мере одной низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой и/или упомянутой по меньшей мере одной пассивной системой детектирования излучения. В некоторых вариантах осуществления нежелательный сигнал, относящийся к данным по перекрестным помехам, соответствующим общей рабочей частоте, устраняются из изображения, сгенерированного низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой. В некоторых вариантах осуществления данные по перекрестным помехам, соответствующие общей рабочей частоте, устраняются из данных

сканирования, захваченных упомянутой по меньшей мере одной пассивной системой детектирования излучения.

Вышеприведенные примеры всего лишь иллюстрируют многие применения системы и способа по настоящему изобретению. Хотя в настоящем описании представлено всего несколько вариантов осуществления настоящего изобретения, следует понимать, что настоящее изобретение можно осуществить во многих других конкретных формах, не выходящих за пределы существа и объема изобретения. Следовательно, настоящие примеры и варианты осуществления следует считать наглядными и не ограничивающими, и изобретение можно видоизменять в пределах объема прилагаемой формулы изобретения.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для подавления перекрестных помех от рентгеновского излучения между множеством рентгеновских сканирующих систем, имеющих по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, при этом система содержит:

частотный генератор, выполненный с возможностью генерации общей рабочей частоты;

упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник, связанный с частотным генератором, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит первый процессорный модуль для приема общей рабочей частоты и выполненный с возможностью генерации частоты повторения импульсов упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, чтобы она была синхронной с общей рабочей частотой; и

упомянутую по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, связанную с частотным генератором для приема общей рабочей частоты, причем упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система содержит второй процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте в первый момент времени, если упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник испускал рентгеновское излучение в первый момент времени.

2. Система по п. 1, дополнительно содержащая по меньшей мере один радиационный портальный монитор, связанный с частотным генератором для приема общей рабочей частоты, и при этом упомянутый по меньшей мере один радиационный портальный монитор содержит третий процессорный модуль, выполненный с возможностью исключения данных, относящихся к общей рабочей частоте во второй момент времени, если упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская система испускала рентгеновское излучение во второй момент времени.

3. Система по п. 2, дополнительно содержащая радиационный портальный монитор (RPM), при этом RPM содержит пассивный детектор излучения для детектирования и измерения излучения, испускаемого радиоактивными материалами, при отсутствии любых воздействий, и причем RPM является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

4. Система по п. 1, дополнительно содержащая высокоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему, содержащую упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник, при этом упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник является линейным ускорителем, и причем высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

5. Система по п. 1, дополнительно содержащая рентгеновскую сканирующую систему на основе обратного рассеяния, при этом рентгеновская сканирующая система на основе обратного рассеяния содержит упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник, и причем низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система является либо сканирующей системой с фиксированным местоположением, либо портативной сканирующей системой.

6. Система по п. 1, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник является линейным ускорителем, и при этом упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник выполнен с возможностью синхронизации частоты повторения импульсов (PRF) линейного ускорителя с общей рабочей частотой.

7. Система по п. 1, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутая по меньшей мере одна низкоэнергетическая рентгеновская сканирующая система располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга.

8. Система по п. 7, причем предварительно заданное расстояние составляет 1000 метров или менее.

9. Система по п. 1, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутая по меньшей мере одна система RPM располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга.

10. Система по п. 9, причем предварительно заданное расстояние не составляет 1000 метров или менее.

11. Система по п. 1, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит электронику для управления линейным ускорителем просвечивающей системы и сбора данных и аппаратные средства для распределения данных.

12. Система по п. 1, причем упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник содержит аппаратные средства для распределения данных и электронику для захвата данных системы на основе обратного-рассеяния.

13. Способ подавления перекрестных помех между множеством рентгеновских сканирующих систем, имеющих по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую систему, при этом способ содержит:

использование частотного генератора для генерации общей рабочей частоты;

передачу общей рабочей частоты в упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник;

синхронизацию частоты повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского источника с общей рабочей частотой;

передачу общей рабочей частоты в упомянутую по меньшей мере одну низкоэнергетическую рентгеновскую сканирующую систему; и

использование общей рабочей частоты для исключения данных по перекрестным помехам, относящихся к упомянутому по меньшей мере одному высокоэнергетическому рентгеновскому источнику, из данных сканирования, захваченных по меньшей мере одной низкоэнергетической рентгеновской системой.

14. Способ по п. 13, дополнительно содержащий передачу общей рабочей частоты в по меньшей мере одну пассивную систему детектирования излучения.

15. Способ по п. 14, дополнительно содержащий использование общей рабочей частоты для исключения данных по перекрестным помехам, относящихся к упомянутому меньшей мере одному высокоэнергетическому рентгеновскому источнику, из данных сканирования, захваченных упомянутой по меньшей мере одной пассивной системой детектирования излучения.

16. Способ по п. 14, причем упомянутая по меньшей мере одна высокоэнергетическая рентгеновская сканирующая система и упомянутая по меньшей мере одна пассивная система детектирования излучения располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга.

17. Способ по п. 16, причем предварительно заданное расстояние не составляет 1000 метров или менее.

18. Способ по п. 13, дополнительно содержащий синтезирование отдельных значений частот повторения импульсов высокоэнергетического рентгеновского излучения, которые синхронизированы как с целочисленными, так и с нецелочисленными делениями общей рабочей частоты.

19. Способ по п. 13, дополнительно содержащий исключение нежелательного сигнала, относящегося к данным по перекрестным помехам, соответствующим общей рабочей частоте, из изображения, сгенерированного низкоэнергетической рентгеновской сканирующей системой, содержащей упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник.

20. Способ по п. 13, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник содержит линейный ускоритель.

21. Способ по п. 13, причем упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник встроен в рентгеновскую сканирующую систему на основе обратного рассеяния.

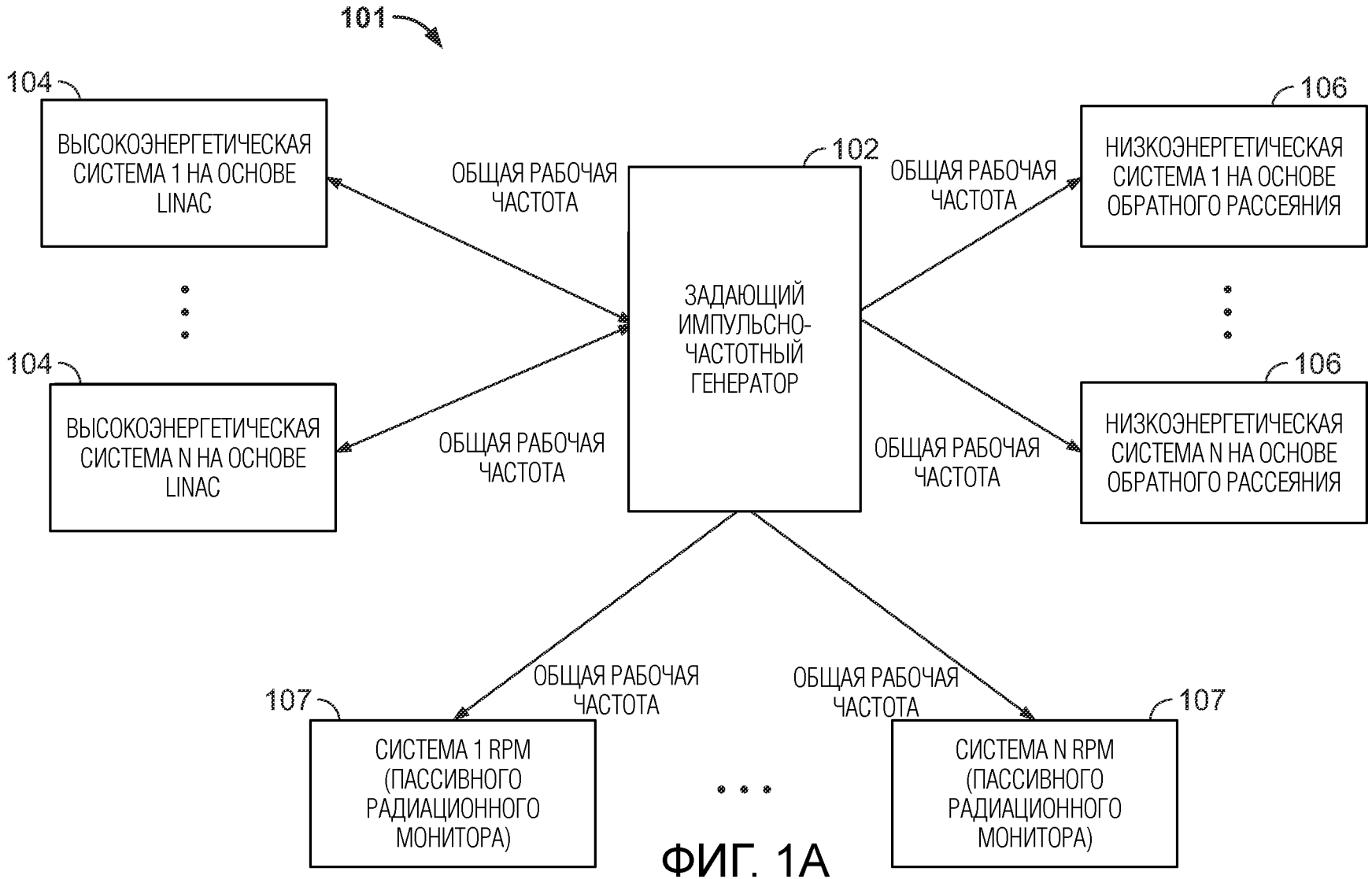
22. Способ по п. 13, причем упомянутый по меньшей мере один высокоэнергетический рентгеновский источник и упомянутый по меньшей мере один низкоэнергетический рентгеновский источник располагаются в пределах предварительно заданного расстояния друг от друга.

23. Способ по п. 22, причем предварительно заданное расстояние не составляет 1000 метров и менее.

24. Способ по п. 13, дополнительно содержащий модуляцию частоты повторения

импульсов упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, чтобы обеспечивать по меньшей мере одно из изменяющейся скорости сканируемого объекта, когда он проходит через портальную систему, или скорости упомянутого по меньшей мере одного высокоэнергетического рентгеновского источника, перемещающегося по направляющим системы гантри.

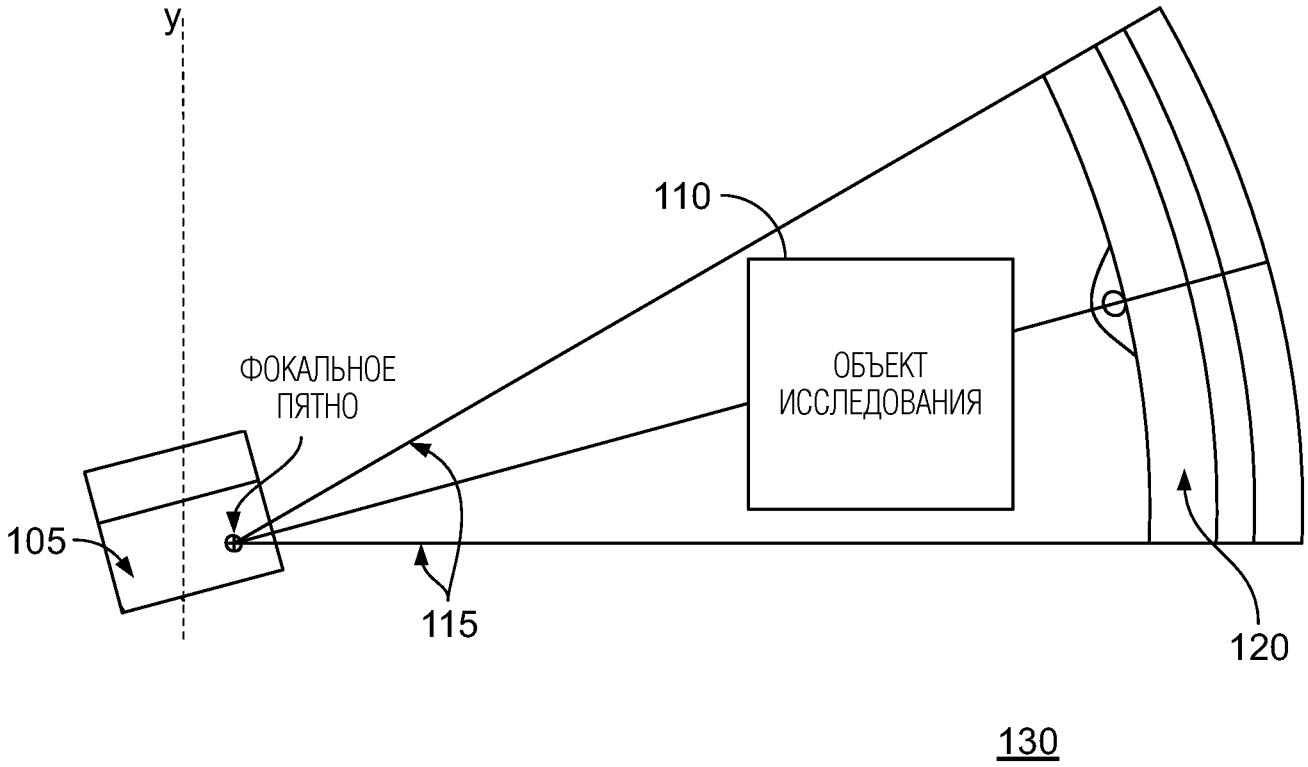
По доверенности



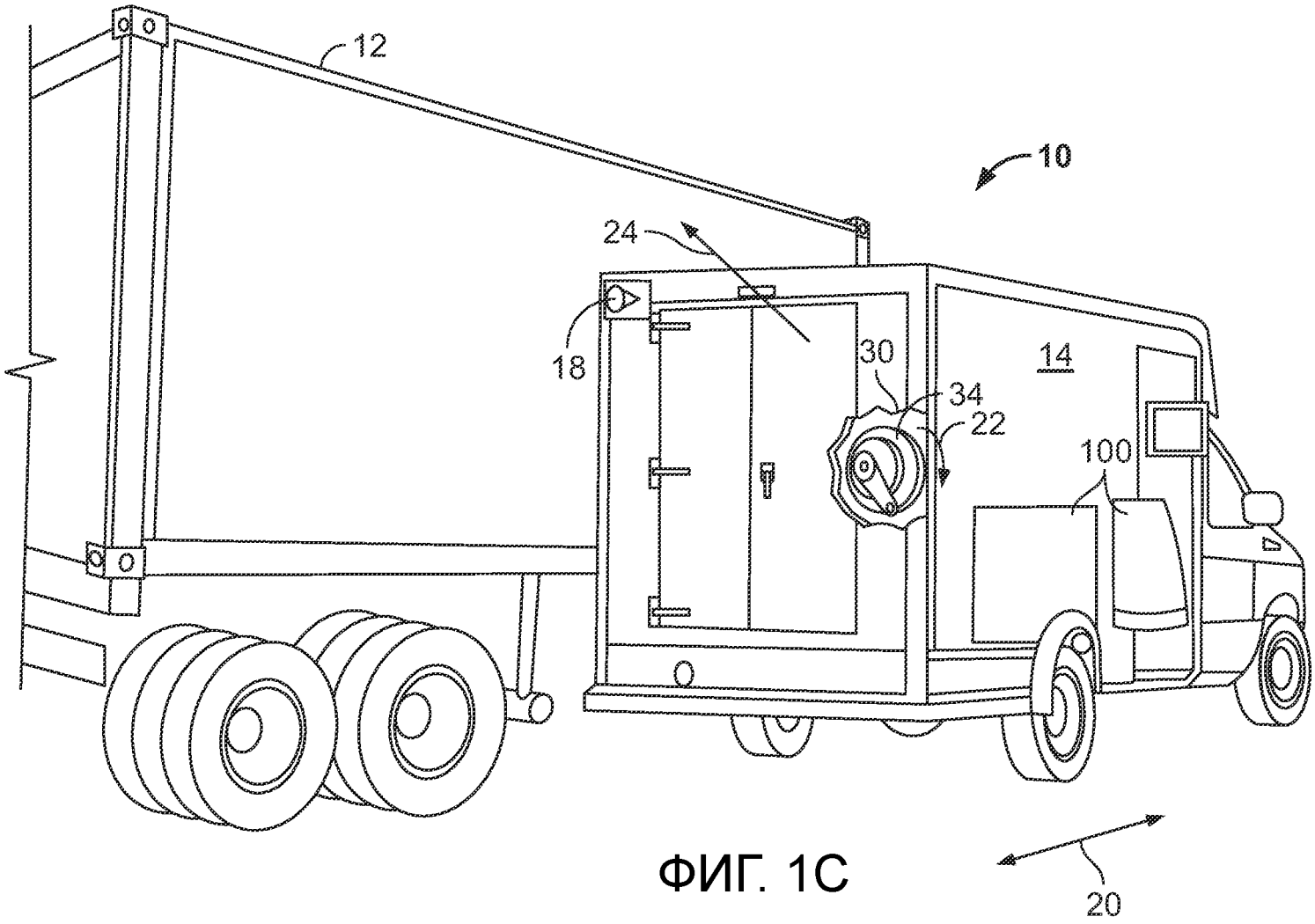

ФИГ. 1A



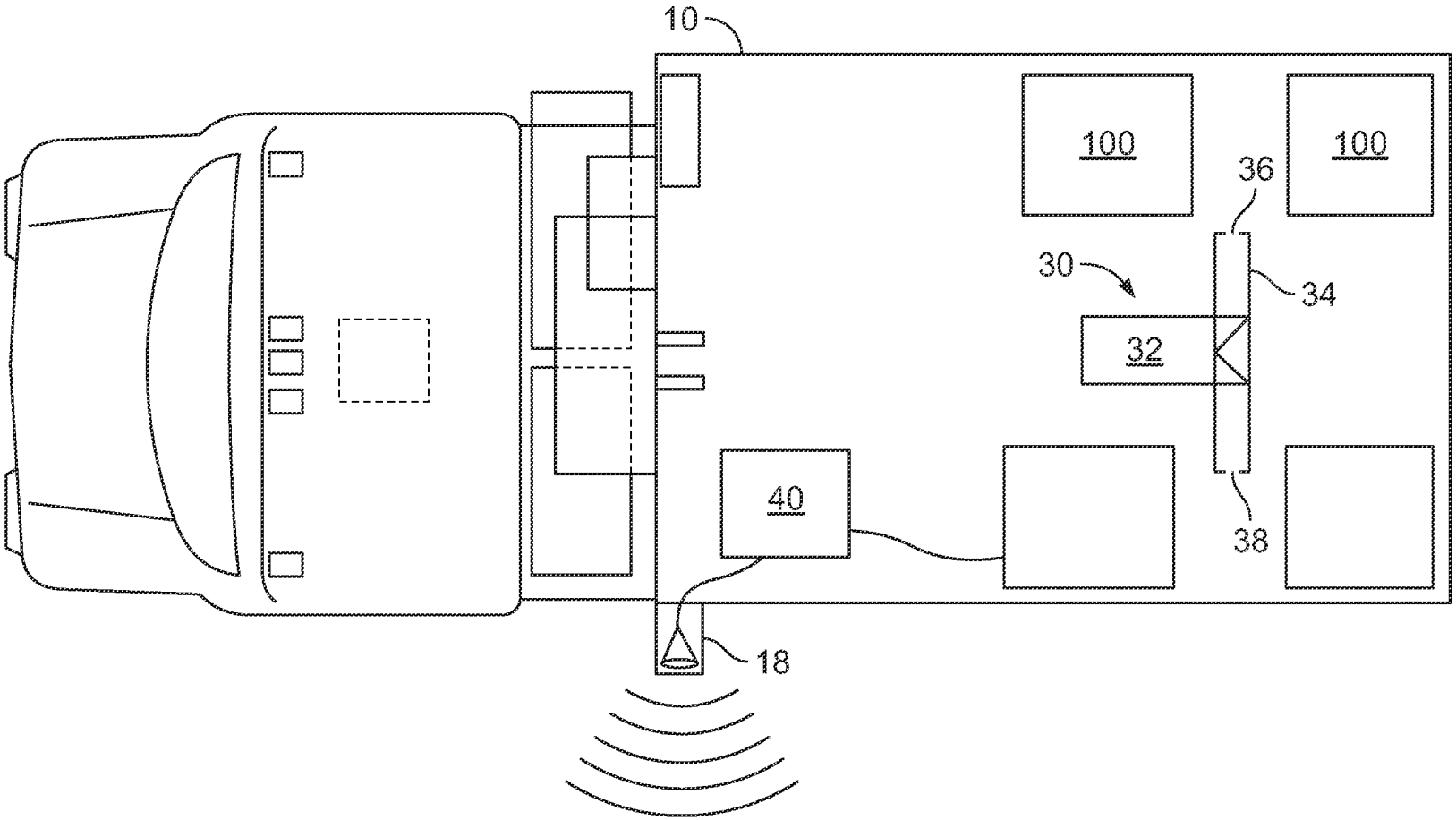
578985



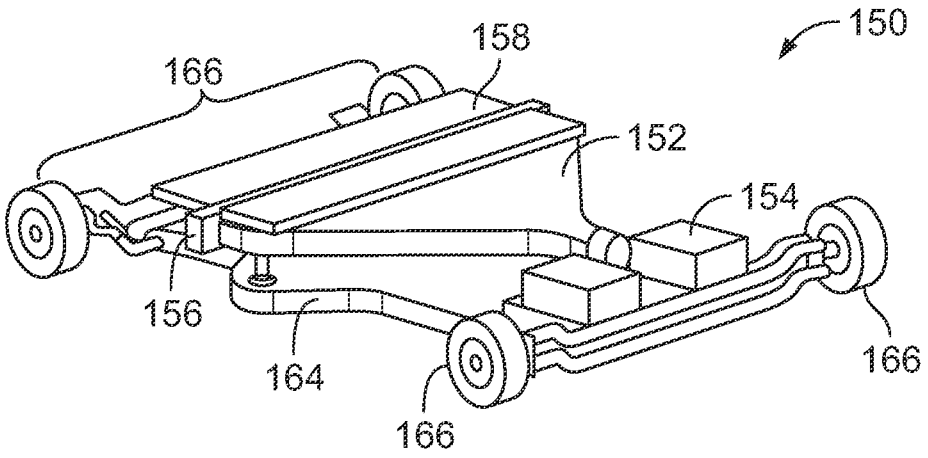

ФИГ. 1B



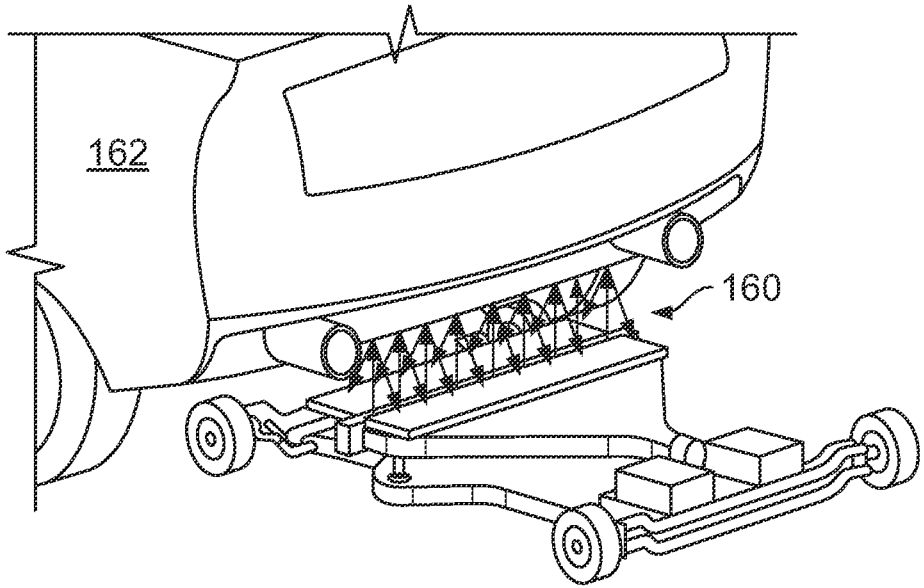

ФИГ. 1C



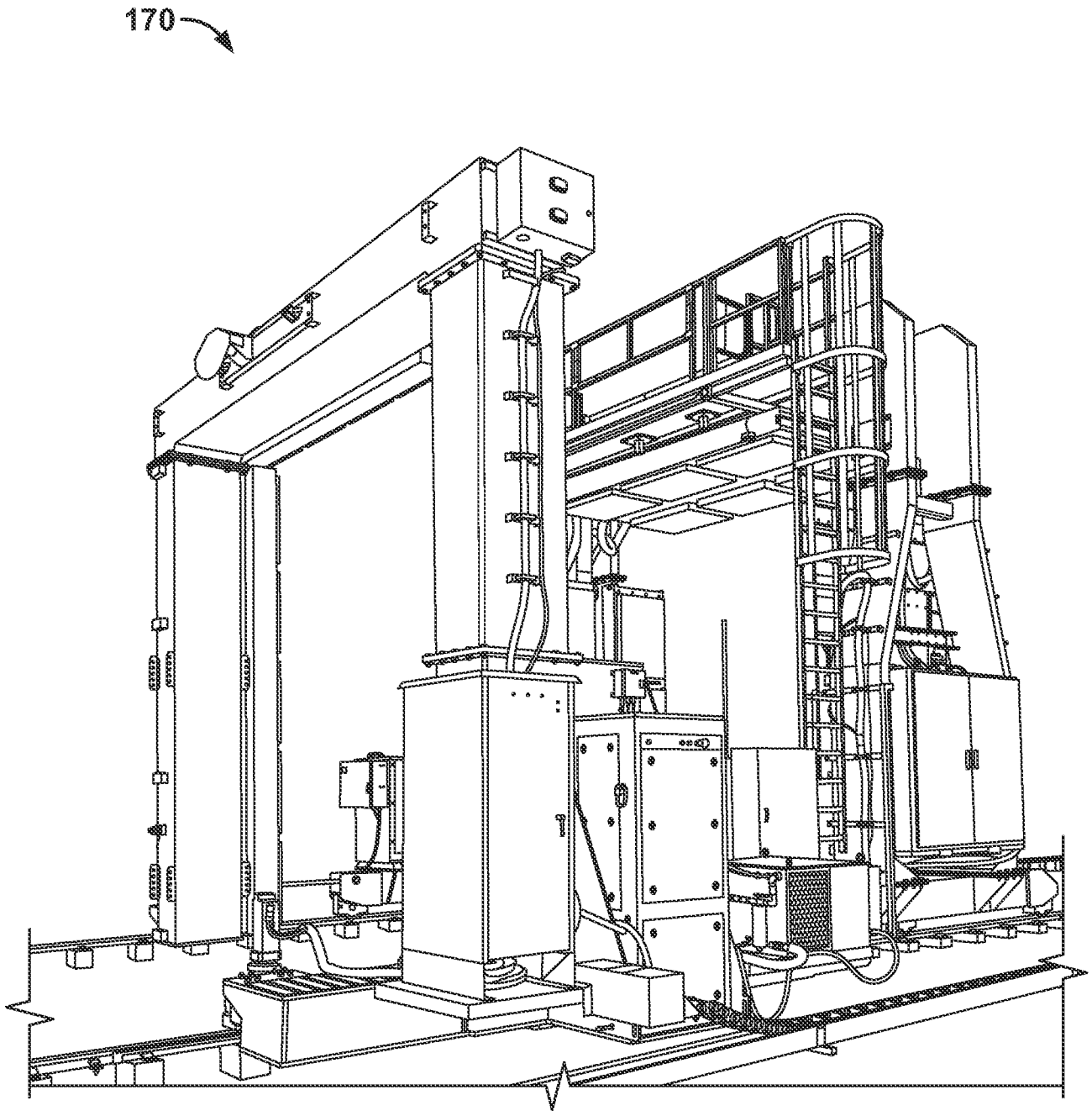

ФИГ. 1D



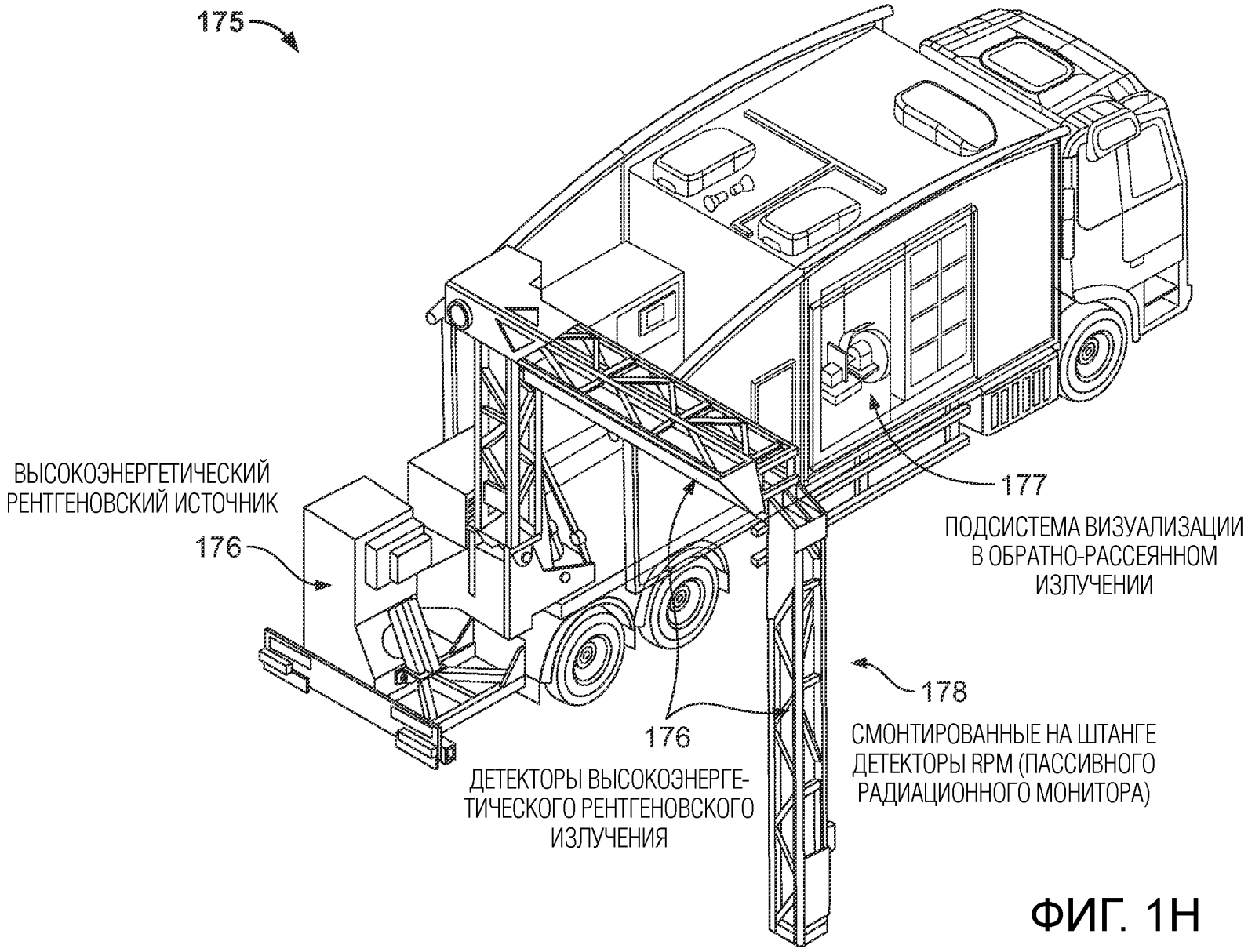

ФИГ. 1E



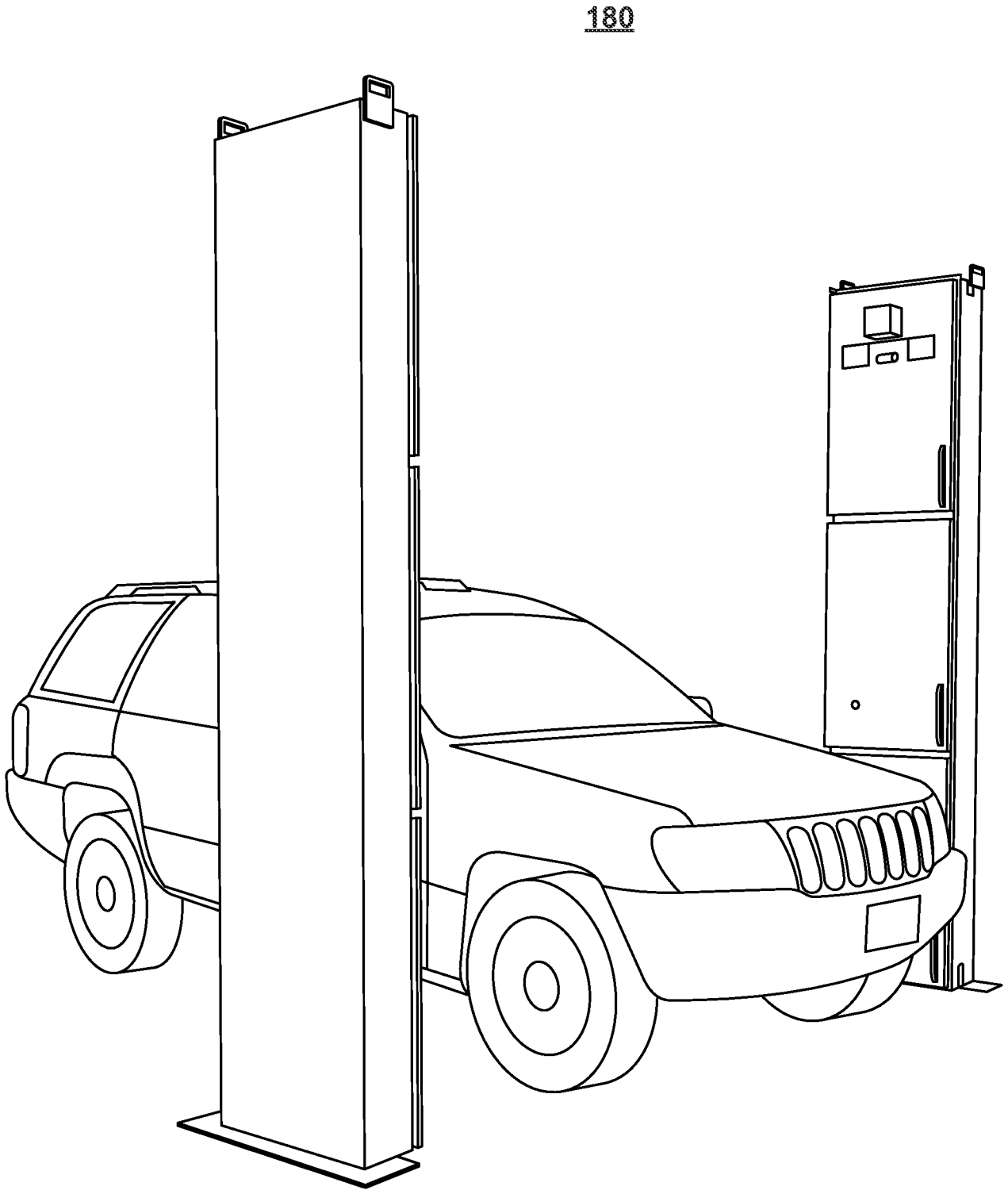

ФИГ. 1F



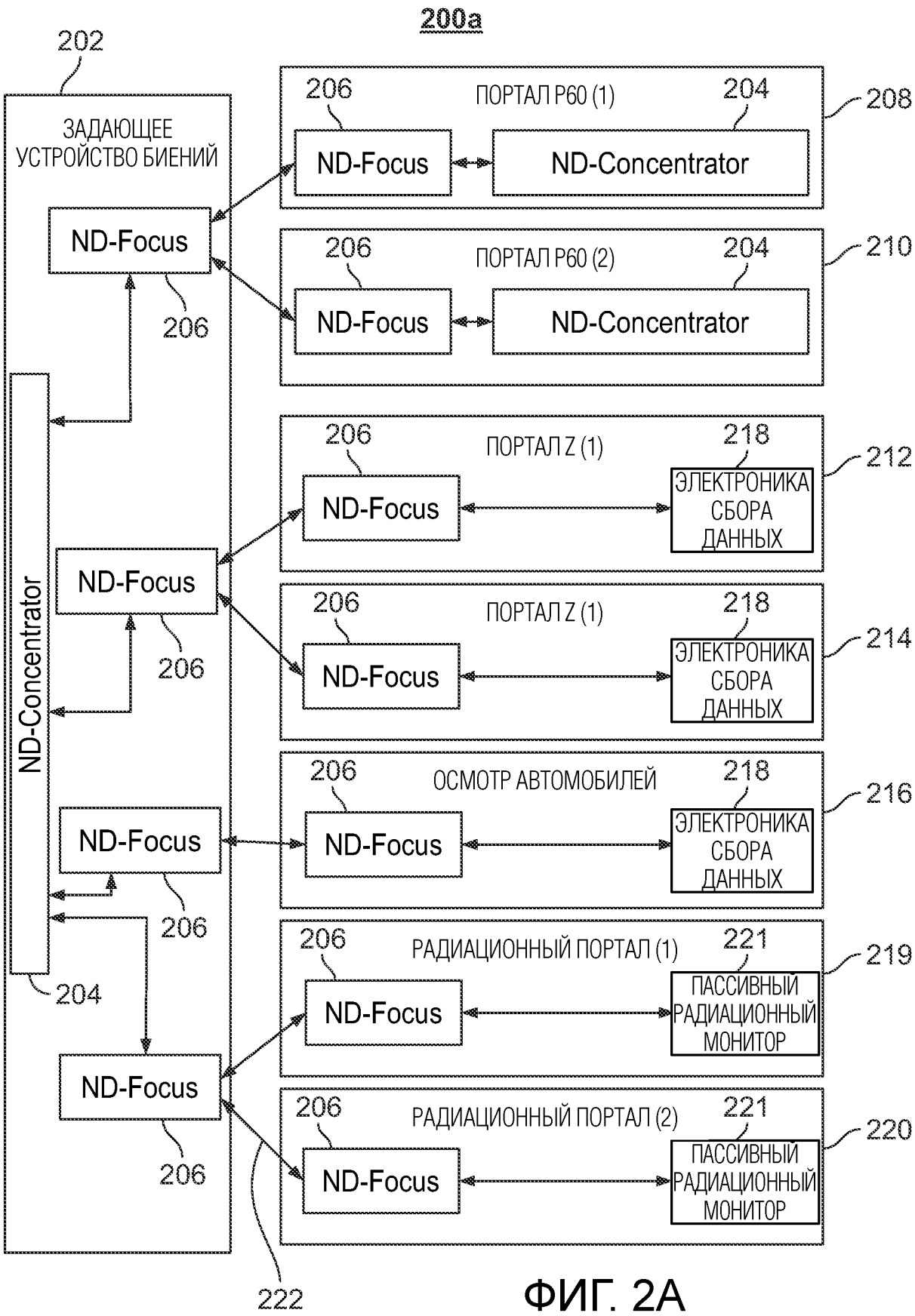

ФИГ. 1G


175
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ ИСТОЧНИК
176
177
ПОДСИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ В ОБРАТНО-РАССЕЯННОМ ИЗЛУЧЕНИИ
178
176
ДЕТЕКТОРЫ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
СМОНТИРОВАННЫЕ НА ШТАНГЕ ДЕТЕКТОРЫ RPM (ПАССИВНОГО РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРА)

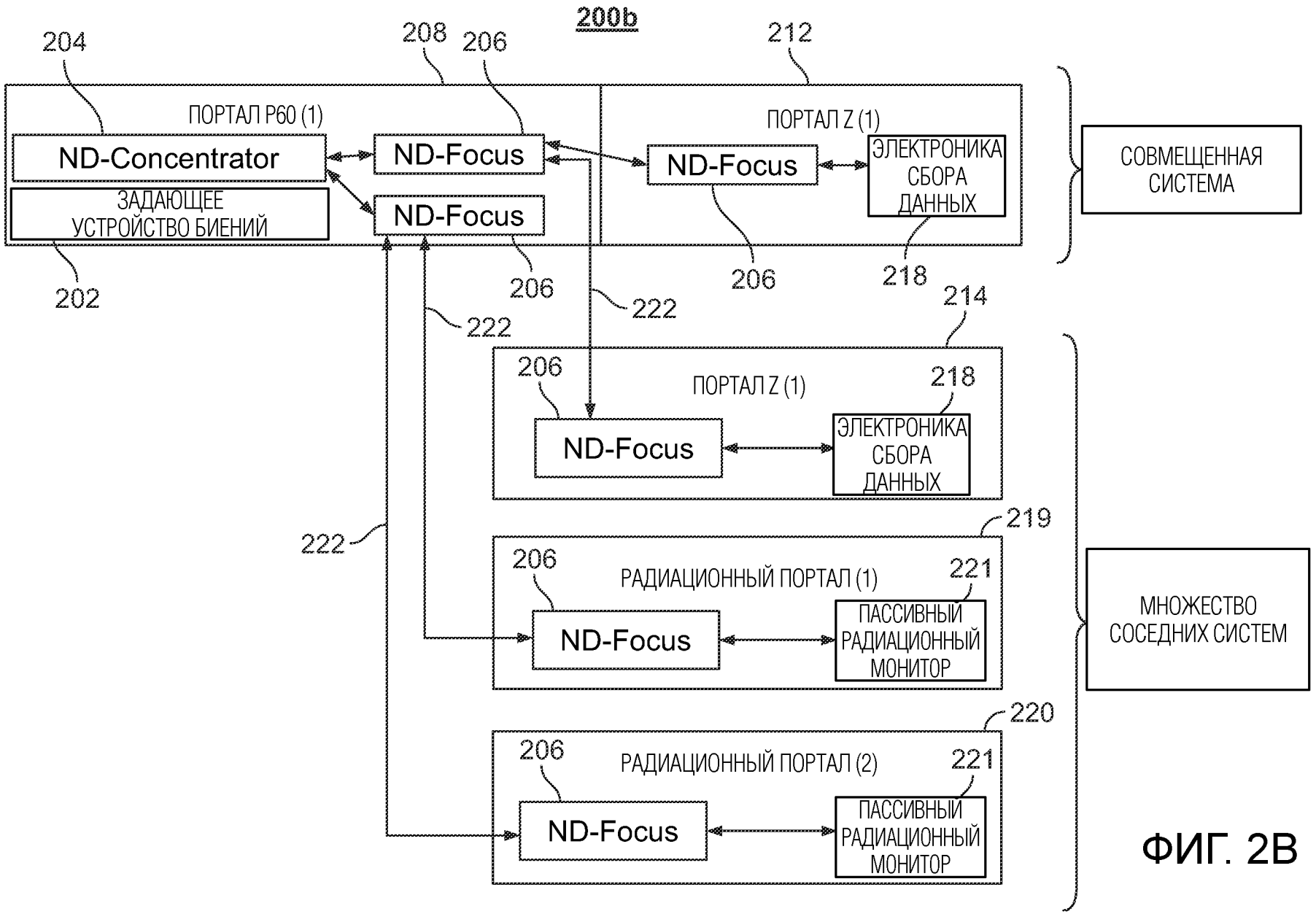
ФИГ. 1H



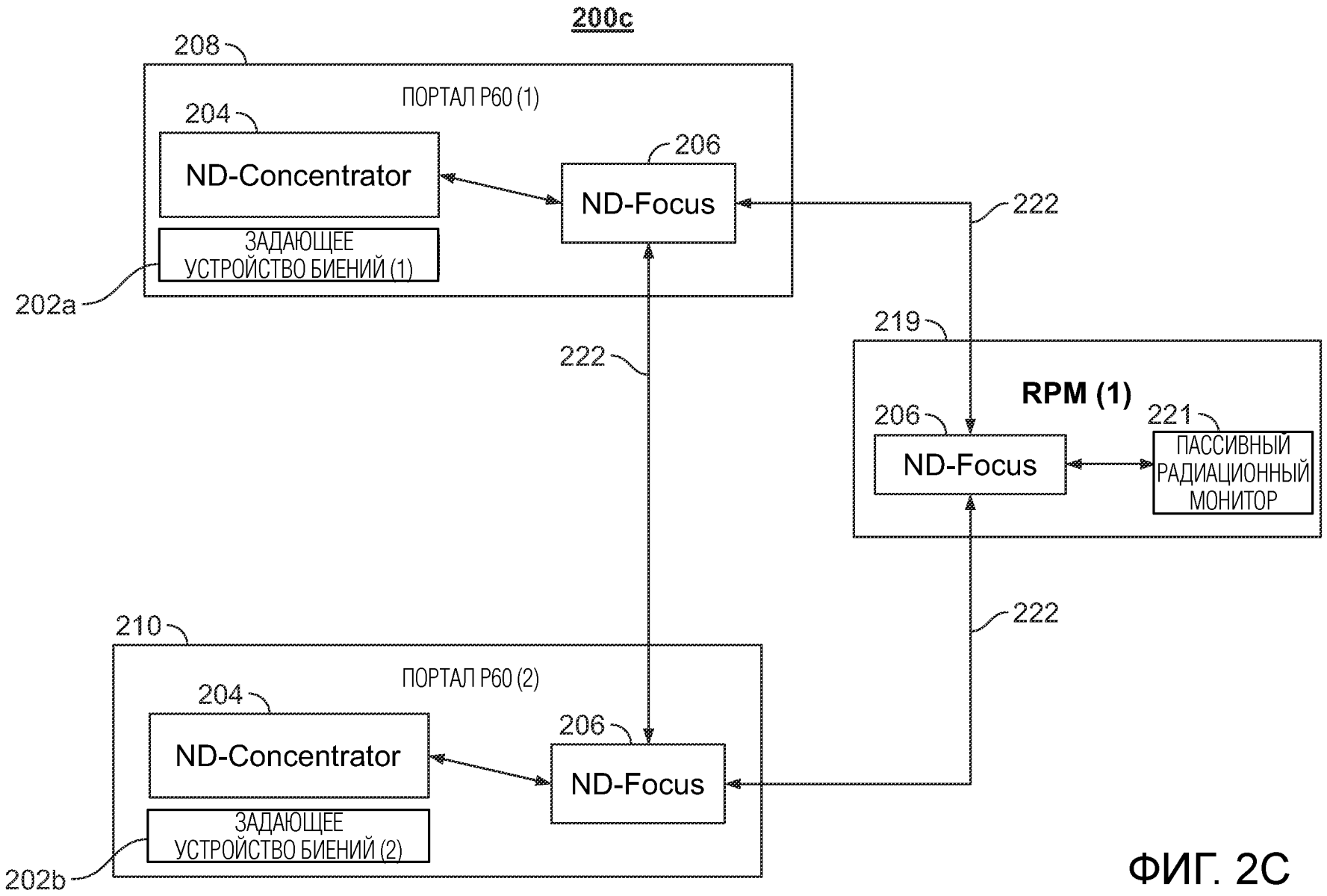

ФИГ. 1I


200a
202
ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО БИЕНИЙ
ND-Focus
206
ND-Focus
206
ND-Focus
206
ND-Focus
206
ND-Concentrator
204
ND-Focus
206
ND-Focus
222
206
ПОРТАЛ P60 (1)
204
ND-Focus
ND-Concentrator
208
206
ПОРТАЛ P60 (2)
204
ND-Focus
ND-Concentrator
210
206
ПОРТАЛ Z (1)
218
ND-Focus
ЭЛЕКТРОНИКА СБОРА ДАННЫХ
212
206
ПОРТАЛ Z (1)
218
ND-Focus
ЭЛЕКТРОНИКА СБОРА ДАННЫХ
214
206
ОСМОТР АВТОМОБИЛЕЙ
218
ND-Focus
ЭЛЕКТРОНИКА СБОРА ДАННЫХ
216
206
РАДИАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ (1)
221
ND-Focus
ПАССИВНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОР
219
206
РАДИАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ (2)
221
ND-Focus
ПАССИВНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОР
220

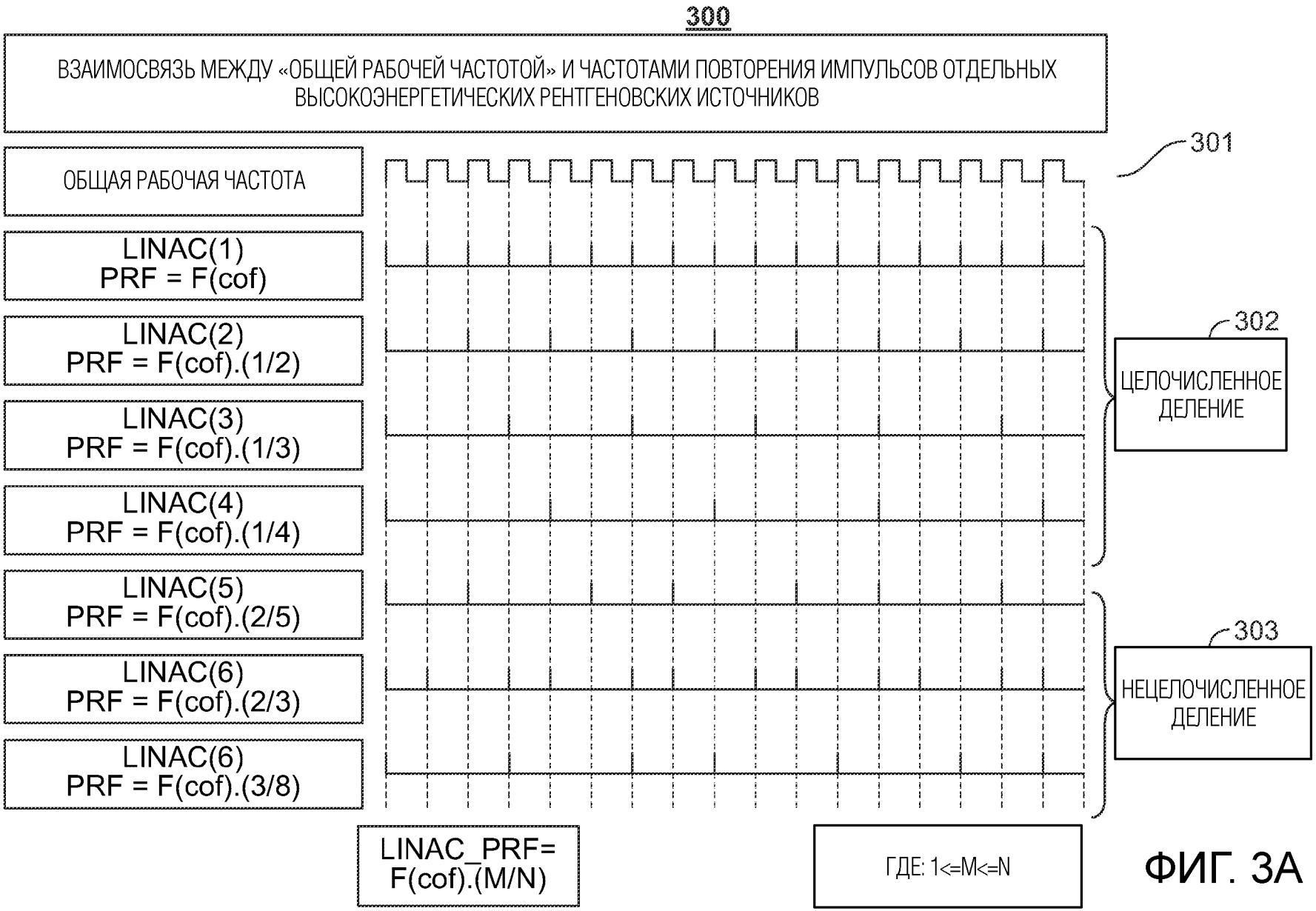
ФИГ. 2A


200b
204
208
206
212
ПОРТАЛ P60 (1)
ND-Concentrator
ND-Focus
ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО БИЕНИЙ
ND-Focus
ПОРТАЛ Z (1)
ND-Focus
ЭЛЕКТРОНИКА СБОРА ДАННЫХ
СОВМЕЩЕННАЯ СИСТЕМА
202
206
206
218
222
222
214
206
ПОРТАЛ Z (1)
218
ND-Focus
ЭЛЕКТРОНИКА СБОРА ДАННЫХ
222
219
206
РАДИАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ (1)
221
ND-Focus
ПАССИВНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОР
МНОЖЕСТВО СОСЕДНИХ СИСТЕМ
220
206
РАДИАЦИОННЫЙ ПОРТАЛ (2)
221
ND-Focus
ПАССИВНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОР

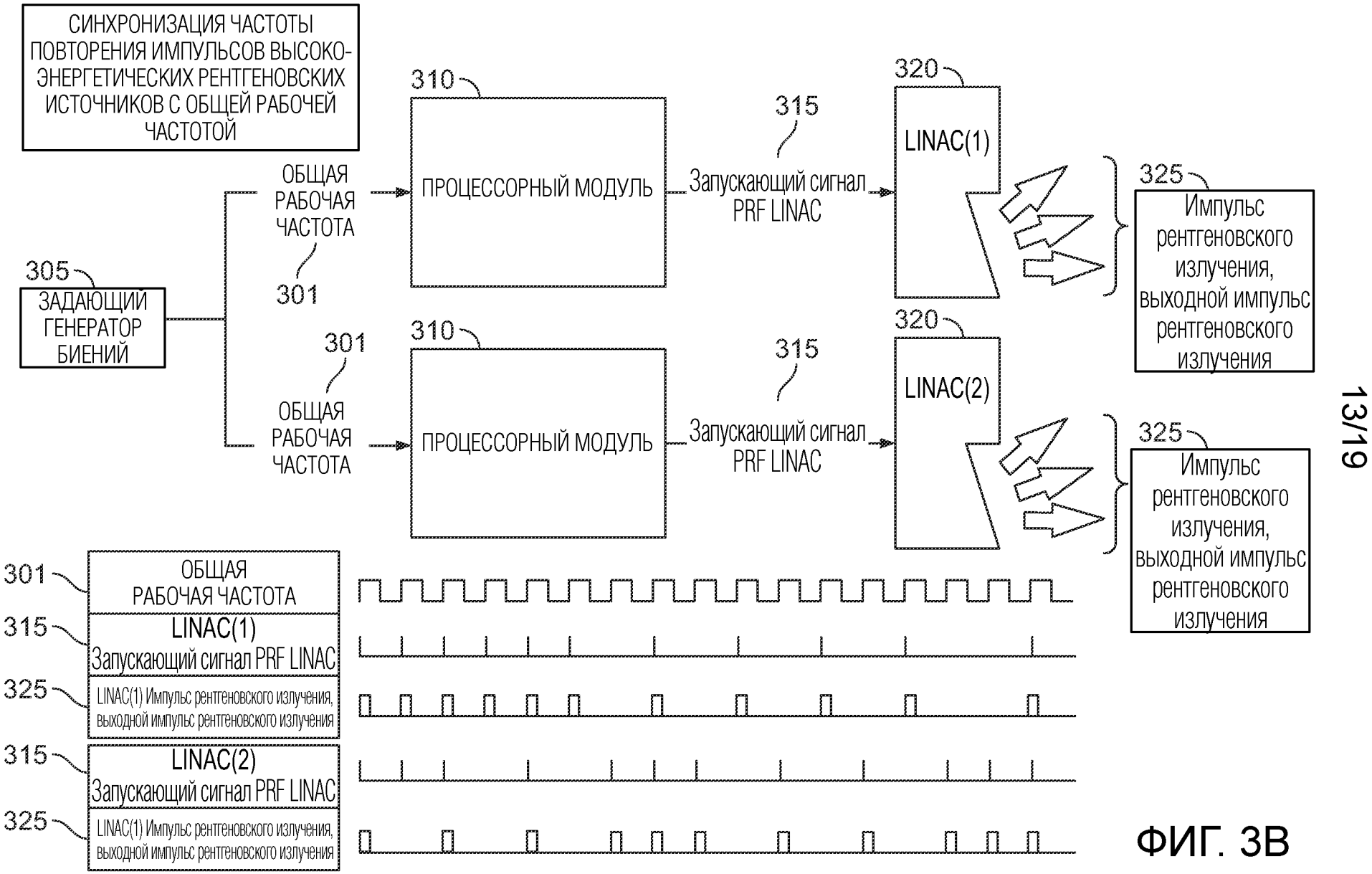
ФИГ. 2B


200c
208
ПОРТАЛ P60 (1)
204
ND-Concentrator
206
ND-Focus
ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО БИЕНИЙ (1)
202a
222
219
RPM (1)
206
ND-Focus
221
ПАССИВНЫЙ РАДИАЦИОННЫЙ МОНИТОР
222
210
ПОРТАЛ P60 (2)
204
ND-Concentrator
206
ND-Focus
ЗАДАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО БИЕНИЙ (2)
202b
222

ФИГ. 2C


300
ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ «ОБЩЕЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТОЙ» И ЧАСТОТАМИ ПОВТОРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ОТДЕЛЬНЫХ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ
ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА
LINAC(1) PRF = F(cof)
LINAC(2) PRF = F(cof).(1/2)
LINAC(3) PRF = F(cof).(1/3)
LINAC(4) PRF = F(cof).(1/4)
LINAC(5) PRF = F(cof).(2/5)
LINAC(6) PRF = F(cof).(2/3)
LINAC(6) PRF = F(cof).(3/8)
301
302
ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ ДЕЛЕНИЕ
303
НЕЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ ДЕЛЕНИЕ
LINAC_PRF= F(cof).(M/N)
ГДЕ: 1<=M<=N

ФИГ. 3А

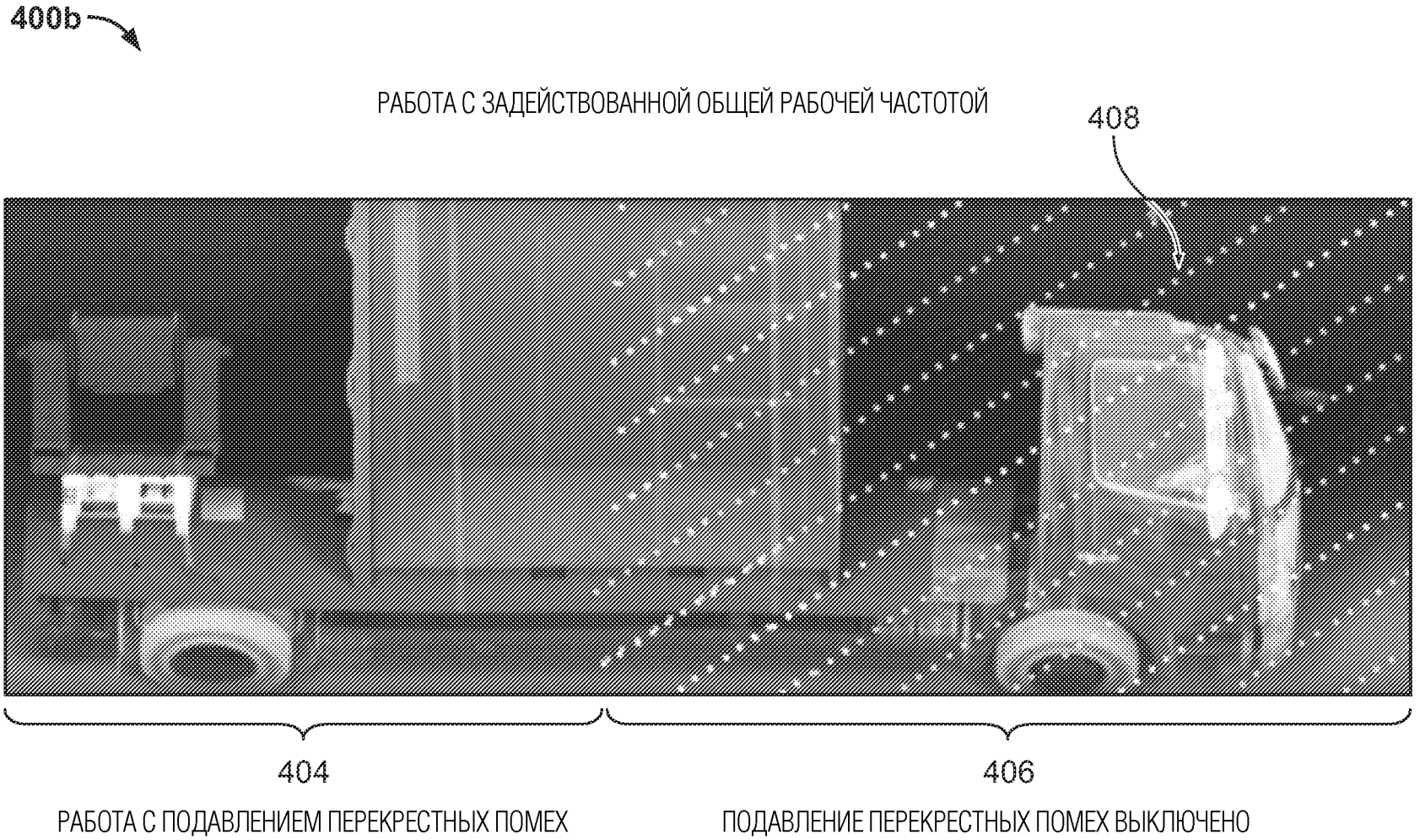

СИНХРОНИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ПОВТОРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ ВЫСОКО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ С ОБЩЕЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТОЙ
305
ЗАДАЮЩИЙ ГЕНЕРАТОР БИЕНИЙ
ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА
301
301
ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА
310
ПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ
310
ПРОЦЕССОРНЫЙ МОДУЛЬ
315
Запускающий сигнал PRF LINAC
315
Запускающий сигнал PRF LINAC
320
LINAC(1)
320
LINAC(2)
325
Импульс рентгеновского излучения, выходной импульс рентгеновского излучения
325
Импульс рентгеновского излучения, выходной импульс рентгеновского излучения
301
ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА
315
LINAC(1) Запускающий сигнал PRF LINAC
325
LINAC(1) Импульс рентгеновского излучения, выходной импульс рентгеновского излучения
315
LINAC(2) Запускающий сигнал PRF LINAC
325
LINAC(1) Импульс рентгеновского излучения, выходной импульс рентгеновского излучения

ФИГ. 3В

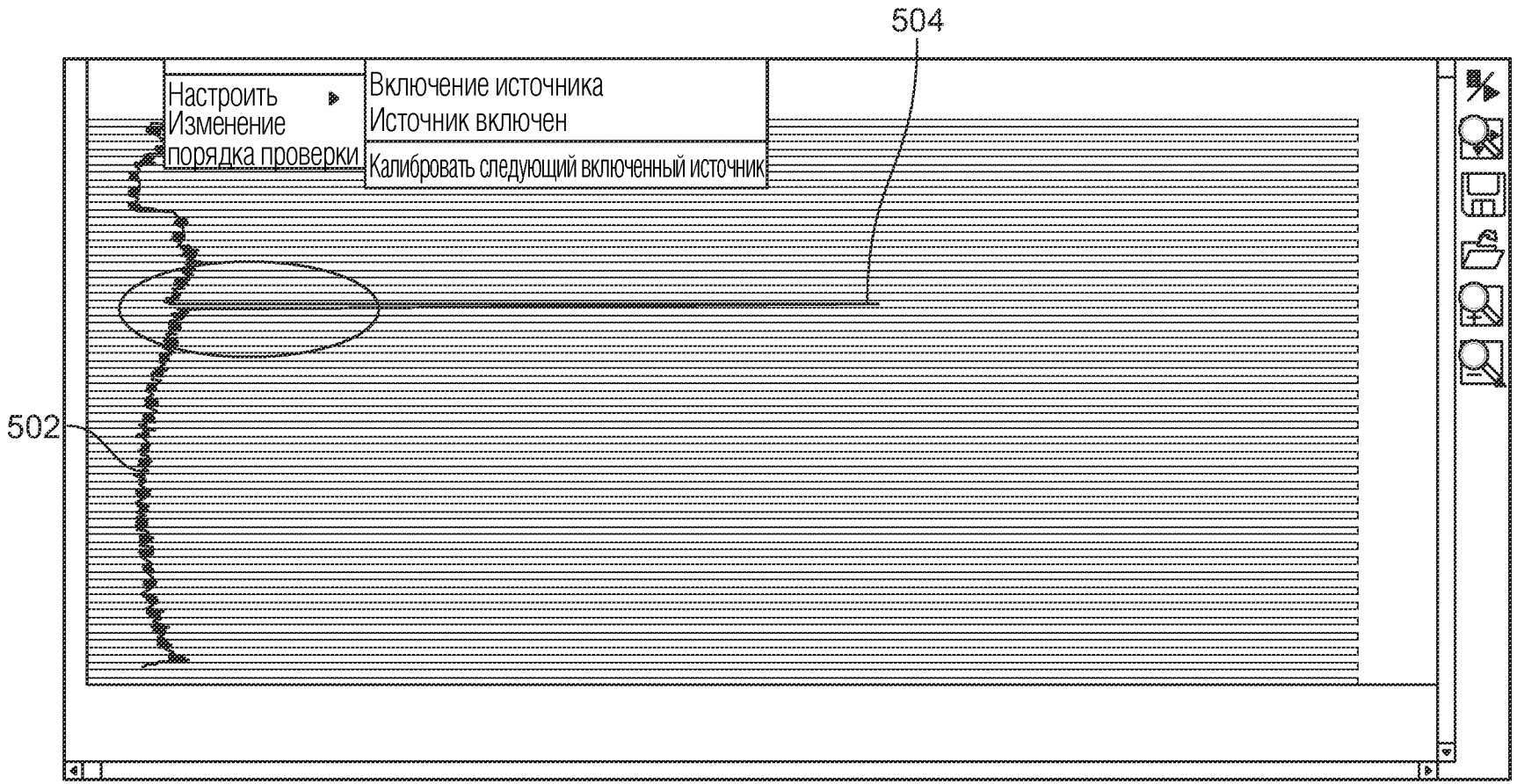
400a

МНОГОКРАТНОЕ АВТОНОМНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ БЕЗ ПОДАВЛЕНИЯ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ

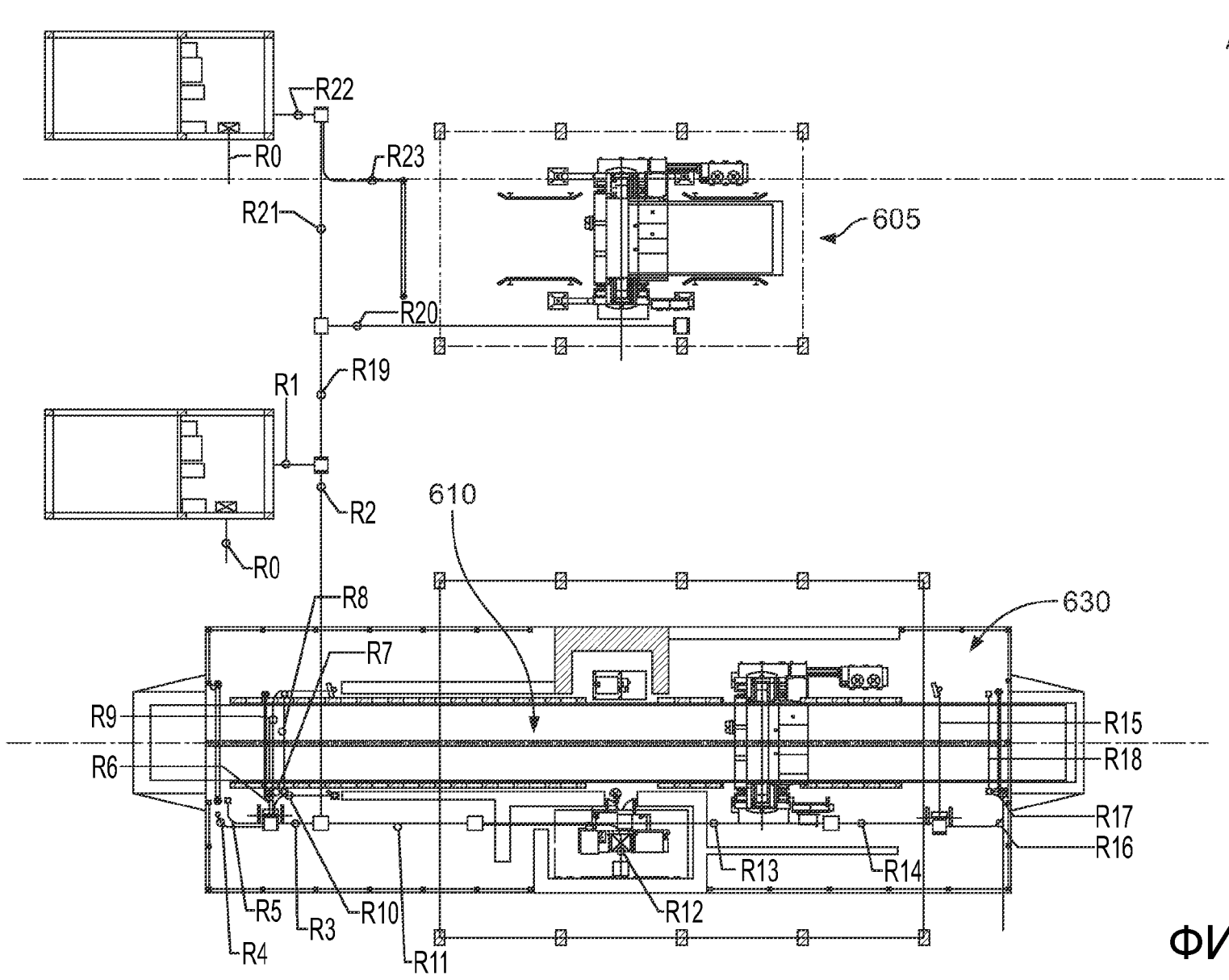
ФИГ. 4А


400b
РАБОТА С ЗАДЕЙСТВОВАННОЙ ОБЩЕЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТОЙ
408
404
406
РАБОТА С ПОДАВЛЕНИЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ
ПОДАВЛЕНИЕ ПЕРЕКРЕСТНЫХ ПОМЕХ ВЫКЛЮЧЕНО

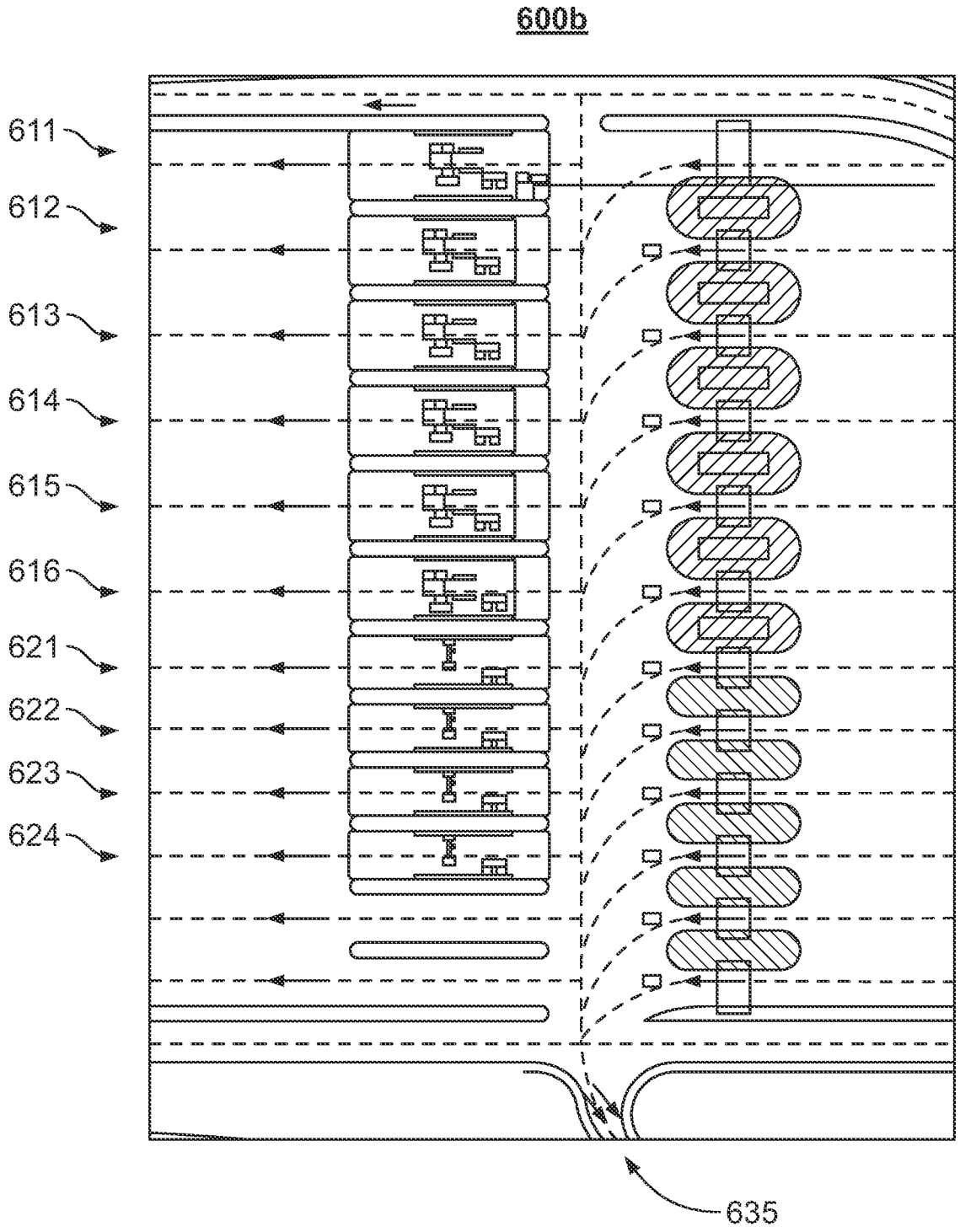
ФИГ. 4B


504
Настроить
Изменение
порядка проверки
Включение источника
Источник включен
Калибровать следующий включенный источник
502

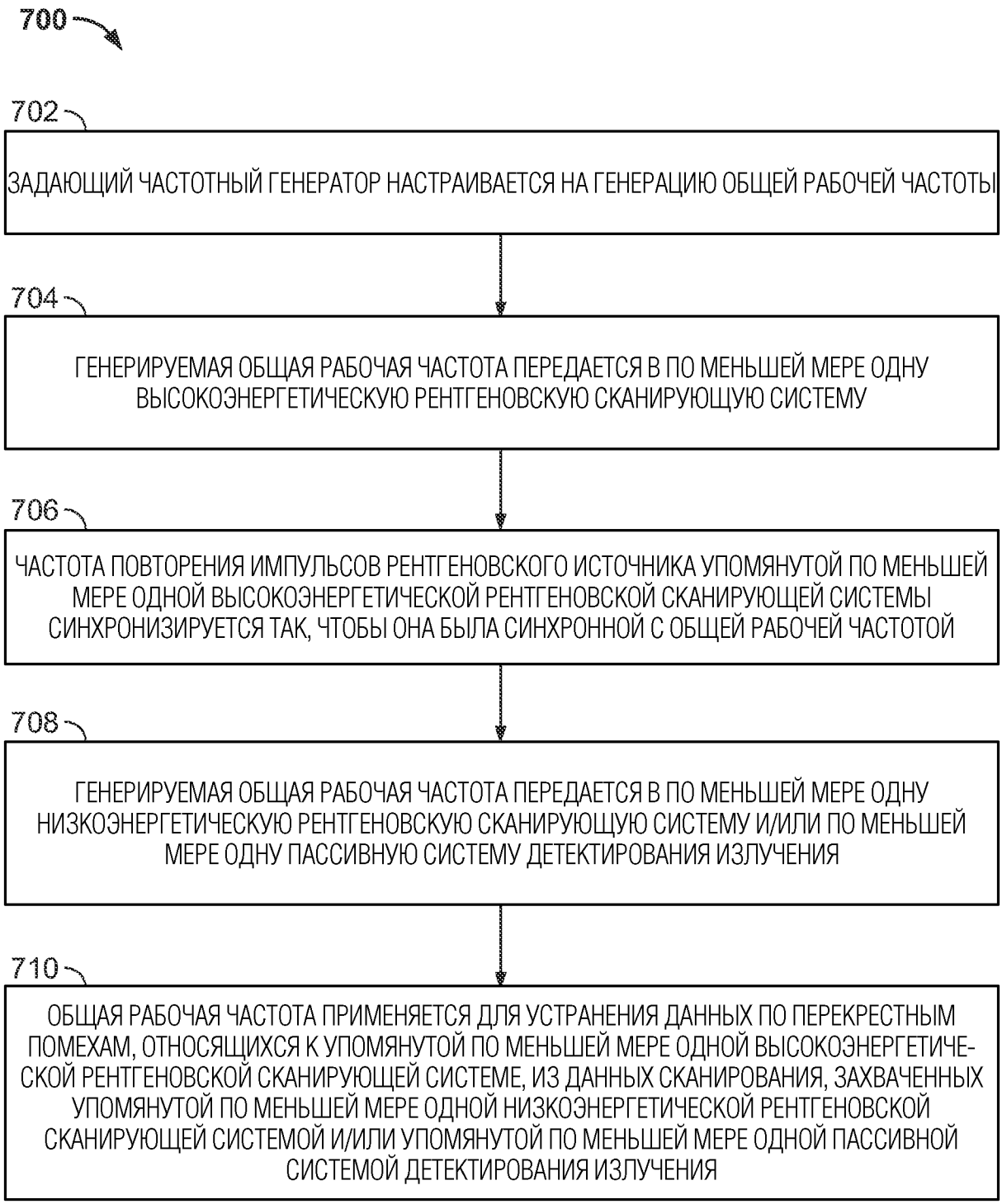
ФИГ. 5


600a
R22
R0
R23
R21
605
R20
R19
R1
R2
610
R0
R8
630
R7
R9
R15
R6
R18
R17
R16
R13
R14
R5
R3
R10
R12
R4
R11

ФИГ. 6A




ФИГ. 6B


700
702
ЗАДАЮЩИЙ ЧАСТОТНЫЙ ГЕНЕРАТОР НАСТРАИВАЕТСЯ НА ГЕНЕРАЦИЮ ОБЩЕЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ
704
ГЕНЕРИРУЕМАЯ ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА ПЕРЕДАЕТСЯ В ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНУ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ РЕНТГЕНОВСКУЮ СКАНИРУЮЩУЮ СИСТЕМУ
706
ЧАСТОТА ПОВТОРЕНИЯ ИМПУЛЬСОВ РЕНТГЕНОВСКОГО ИСТОЧНИКА УПОМЯНУТОЙ ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНОЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ СИНХРОНИЗИРУЕТСЯ ТАК, ЧТОБЫ ОНА БЫЛА СИНХРОННОЙ С ОБЩЕЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТОЙ
708
ГЕНЕРИРУЕМАЯ ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА ПЕРЕДАЕТСЯ В ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНУ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ РЕНТГЕНОВСКУЮ СКАНИРУЮЩУЮ СИСТЕМУ И/ИЛИ ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНУ ПАССИВНУЮ СИСТЕМУ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ
710
ОБЩАЯ РАБОЧАЯ ЧАСТОТА ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ДАННЫХ ПО ПЕРЕКРЕСТНЫМ ПОМЕХАМ, ОТНОСЯЩИХСЯ К УПОМЯНУТОЙ ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНОЙ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ, ИЗ ДАННЫХ СКАНИРОВАНИЯ, ЗАХВАЧЕННЫХ УПОМЯНУТОЙ ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНОЙ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ СКАНИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ И/ИЛИ УПОМЯНУТОЙ ПО МЕНЬШЕЙ МЕРЕ ОДНОЙ ПАССИВНОЙ СИСТЕМОЙ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

ФИГ. 7