

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201992789

(13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.05.22

(51) Int. Cl. G01V 1/38 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.06.15

(54) ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРСКИХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

(31) 62/520,892; 16/000,542

(72) Изобретатель:

(32) 2017.06.16; 2018.06.05

Бейтц Мануэль, Странд Кристиан
(NO)

(33) US

(86) PCT/EP2018/065964

(74) Представитель:

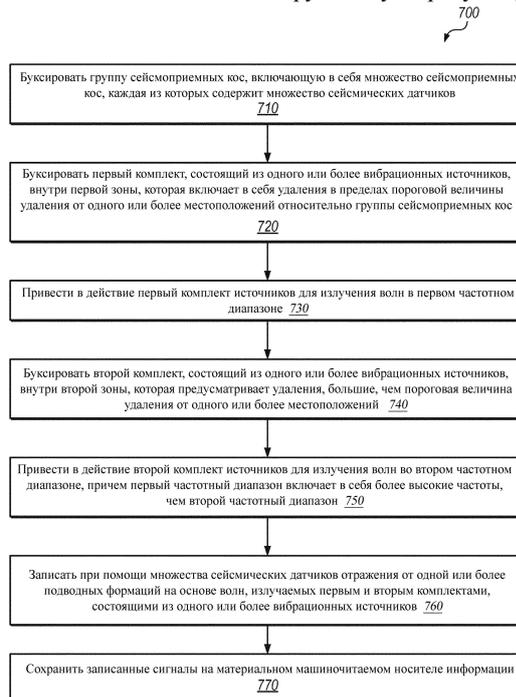
(87) WO 2018/229260 2018.12.20

Хмара М.В., Рыбаков В.М., Липатова
И.И., Новоселова С.В., Дощечкина
В.В., Пантелеев А.С., Ильмер Е.Г.,
Осипов К.В. (RU)

(71) Заявитель:

ПГС ГЕОФИЗИКАЛ АС (NO)

(57) Раскрыты методы, относящиеся к геофизической съемке. В некоторых вариантах осуществления судно для морской съемки буксирует несколько сейсмоприемных кос в дополнение к вибрационным источникам, развернутым относительно сейсмоприемных кос. В некоторых вариантах осуществления судно буксирует вибрационные источники, излучающие волны в различных частотных диапазонах в различных зонах развертывания. В некоторых вариантах осуществления один или более источников приводят в действие при помощи различных функций частотной развертки свип-сигнала, различных схем активации и/или различных длительностей свип-сигнала. Различные раскрытые методы для получения результата обработки геофизических данных могут потенциально упростить оборудование, применяемое для буксирования источников, уменьшить сложность съемки без уменьшения разрешения, увеличить разрешение без увеличения сложности съемки, улучшить энергетическое содержание волн, восстанавливаемое на основе глубоких отражений, и/или уменьшить воздействие на окружающую среду излучения сейсмических волн.



A1

201992789

201992789

A1

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРСКИХ ВИБРАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Настоящая заявка на патент испрашивает приоритет по предварительной
5 заявке на патент США № 62/520,892, поданной 16 июня 2017 г., содержание
которой включено в настоящий документ посредством ссылки, как если бы было
полностью изложено в настоящем документе.

Уровень техники

10 Геофизические исследования часто применяют для нефтегазопроисковой
разведки в геофизических формациях, которые могут находиться ниже морской
среды. Сейсмические геофизические исследования, например, основаны на
использовании акустических волн. При морских сейсморазведочных работах
исследовательское судно может буксировать акустический источник (например,
15 пневмопушку или морской вибратор) и множество сейсмоприемных кос, вдоль
которых расположено некоторое количество акустических датчиков (например,
гидрофонов и/или геофонов). Акустические волны, генерируемые источником,
могут затем передаваться в земную кору, отражаться после этого обратно и
регистриваться геофизическими датчиками. Данные, собранные во время
20 морской геофизической съемки, можно затем анализировать для установления
местоположения углеводородосодержащих геологических структур и, таким
образом, определения мест, где могут находиться залежи нефти и природного
газа.

Краткое описание чертежей

25 На Фиг. 1 представлена схема, иллюстрирующая пример системы
геофизической съемки в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

На Фиг. 2 представлена схема, иллюстрирующая различные величины
удаления между сейсмическими датчиками и вибрационными источниками в
30 соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

На Фиг. 3А представлена схема, иллюстрирующая пример зон для
развертывания первого и второго наборов вибрационных источников в
соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

На Фиг. 3В представлена другая схема, иллюстрирующая пример зон для
35 развертывания первого и второго наборов вибрационных источников, включая
несколько зон для источников в первом наборе, в соответствии с некоторыми
вариантами осуществления.

На Фиг. 4А представлена схема, иллюстрирующая примеры частотного (спектрального) состава сигналов, излучаемых источниками в первом наборе и источниками во втором наборе в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

5 На Фиг. 4В и 4С представлены диаграммы, иллюстрирующие примеры свип-сигналов для сигналов, излучаемых источниками в первом наборе (Фиг. 4С) и источниками во втором наборе (Фиг. 4В) в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

10 На Фиг. 5 представлена схема, иллюстрирующая три различных примера частотных диапазонов сигналов, излучаемых источниками при трех различных удалениях от приемника в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

15 На Фиг. 6 представлена схема, иллюстрирующая один вариант осуществления расстановки судов и схемы активации с использованием источников из первого набора и источников из второго набора.

На Фиг. 7 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ получения результата обработки геофизических данных с использованием частотно-зависимого пространственного распределения вибрационных источников в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

20 На Фиг. 8 представлена блок-схема, иллюстрирующая способ получения результата обработки геофизических данных с использованием различных схем активации для источников при различных удалениях в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

25 На Фиг. 9А-9В представлены блок-схемы, иллюстрирующие способы для выбора конфигурации съемки с использованием геофизической модели в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

На Фиг. 10 представлена структурная схема, иллюстрирующая один вариант осуществления вычислительной системы.

30 Настоящее описание включает в себя ссылки на «один вариант осуществления» или «вариант осуществления». Появление фраз «в одном варианте осуществления» или «в варианте осуществления» необязательно относится к одному и тому же варианту осуществления. Конкретные признаки, структуры или характеристики могут сочетаться любым подходящим способом,
35 соответствующим настоящему изобретению.

Различные блоки, цепи или другие компоненты могут быть раскрыты или заявлены в качестве «выполненных с возможностью» осуществления задачи или

задач. В таких контекстах термин «выполненный с возможностью» используют, подразумевая конструкцию путем указания на то, что блоки/цепи/компоненты включают в себя конструкцию (например, электрическую схему), выполняющую данную задачу или задачи во время работы. В связи с этим можно сказать, что блок/цепь/компонент выполнен с возможностью осуществления данной задачи, даже если указанный блок/цепь/компонент не находится в рабочем состоянии в данный момент (т. е. не включен). Блоки/цепи/компоненты, используемые с формулировкой «выполненный с возможностью», включают в себя аппаратное обеспечение — например, цепи, запоминающее устройство, сохраняющее программные инструкции, выполняемые для реализации операции, и т. д.

Описание того, что блок/цепь/компонент «выполнен с возможностью» реализации одной или более задач, специально предназначено для того, чтобы не ссылаться на раздел 35 Свода законов США, § 112(f), в отношении этого блока/цепи/компонента. Соответственно, ни один из пунктов формулы изобретения в этой представленной заявке не предназначен для интерпретации в качестве имеющего элементы «средство плюс функция». Если в ходе рассмотрения заявитель пожелает сослаться на раздел 112(f), ему следует перечислять элементы формулы с использованием конструкции «средства для» [выполнения функции].

Следует понимать, что настоящее описание изобретения не ограничено раскрытыми иллюстративными устройствами или способами, которые могут, конечно, отличаться. Следует также понимать, что термины, используемые в настоящей заявке, служат только для целей описания иллюстративных вариантов осуществления и не имеют ограничительного характера. В контексте настоящего документа формы единственного числа включают в себя ссылки на объекты в единственном и множественном числе, если содержанием четко не обусловлено иное. Кроме того, слово «может» используется в тексте настоящей заявки в разрешительном (т. е. «имеющий потенциал», «способный к чему-либо»), а не в повелительном смысле (т.е. «обязанный»). Термин «включает в себя», «содержащий» и производные от него означают «включающий в себя, без ограничений...». Термин «присоединенный» означает присоединенный прямым или непрямым способом.

Если контекст не требует иного, термин «на основе» используют для описания одного или более факторов, влияющих на определение. Этот термин не предрешает возможность того, что на определение могут воздействовать дополнительные факторы. Иными словами, определение может быть основано исключительно на точно указанных факторах или на точно указанных, а также

других, непредусмотренных факторах. Рассмотрим фразу «определить А на основе В». Эта фраза указывает, что В представляет собой фактор, используемый для определения А или влияющий на определение А. Эта фраза не предрешает того, что определение А может также быть основано на каком-либо другом факторе, таком как С. Эта фраза также предназначена для того, чтобы охватывать вариант осуществления, в котором А определяют исключительно на основе В. Если контекст не требует иного, фраза «на основе» синонимична фразе «на основе, по меньшей мере частично».

10 Осуществление изобретения

Цель при морских геофизических исследованиях (съемке) должна состоять в том, чтобы добиться баланса между адекватной регулярностью при расстановке (разнесении) и использовании источников сигналов и геофизических датчиков и приемлемой первоначальной стоимостью. Достижение желаемого покрытия при помощи меньшего количества оборудования (например, сейсмоприемных кос с более широким интервалом) может уменьшить сложность системы и затраты и помочь избежать физического запутывания сейсмоприемных кос. Аналогичным образом, достижение желаемого покрытия при различном расположении оборудования (например, геометрии системы наблюдений из акустических источников или сейсмоприемных кос) может уменьшить сложность системы и затраты, улучшить качество данных или снизить воздействие на окружающую среду

Пример системы съемки

На Фиг. 1 показана схема, иллюстрирующая пример варианта осуществления системы геофизической съемки. В показанном варианте осуществления буксировочное судно 100 буксирует группу погруженных в воду сейсмоприемных кос 104. Каждая из погруженных в воду сейсмоприемных кос может включать в себя некоторое количество сейсмических датчиков. Типы датчиков, которые могут быть задействованы в той или иной сейсмоприемной косе включают в себя (но не ограничиваются этим) гидрофоны и геофоны. Кроме того, та или иная сейсмоприемная коса может включать в себя более одного типа датчика (например, комбинацию гидрофонов и геофонов). В некоторых вариантах осуществления сейсмоприемные косы 104, включающие в себя некоторое количество сейсмических датчиков, могут буксироваться другим судном или судами (не показаны).

Буксировочное судно 100 может также буксировать некоторое количество источников 102 при помощи буксировочных кабелей 103. Источники 102 могут

буксироваться другим судном или судами (не показаны). Источники 102 могут включать в себя различные сейсмические источники, такие как морские вибраторы, пневмопушки и т. д. Источники 102 могут передавать в воду звуковые волны, отражения которых могут регистрироваться сейсмическими датчиками сейсмоприемных кос 104. Датчики и приемники сейсмоприемных кос 104 могут быть присоединены (например, электрическим, оптическим, беспроводным способом и т. д.) к электронному оборудованию 105 на борту буксировочного судна 100, которое может применяться для записи или анализа геофизических данных, таких как принятые отраженные волны или зарегистрированные сигналы, или передавать геофизические данные для анализа на берегу. В некоторых вариантах осуществления электронное оборудование 105 включает в себя по меньшей мере одну вычислительную систему (иллюстративный вариант осуществления которой рассматривается ниже со ссылкой на Фиг. 10), выполненную с возможностью управления активацией источников 102, записи данных от датчиков, рулевого управления элементами съемки и/или обработки данных от датчиков. В некоторых вариантах осуществления электронное оборудование 105 выполнено с возможностью управления источниками 102 (например, генерирования вибраций на основе различных функций частотной развертки свип-сигнала, указания на то, когда они должны быть активированы, где они должны быть расположены, какие коды им следует использовать и т.д.). Электронное оборудование 105 может также включать в себя навигационное оборудование (не показанное отдельно), которое может быть выполнено с возможностью управления, определения и записи, в выбранные моменты времени, геодезических координат буксировочного судна 100, источников 102 и/или датчиков, находящихся на сейсмоприемных косах 104. Геодезические координаты могут быть определены при помощи различных устройств, включая глобальные навигационные спутниковые системы, такие как система глобального позиционирования (GPS). Используя схему расположения, показанную на Фиг. 1, можно проводить морские геофизические съемки. Среди вариантов использования информации, полученной на основе таких съемок, может быть идентификация геологических формаций, свидетельствующая о наличии залежей нефти и/или природного газа. Параметры, подлежащие рассмотрению при проектировании геологической съемки, могут включать в себя глубину исследуемых подводных формаций, удаление между источниками и датчиками и рабочие частотные диапазоны для различных источников.

Примеры удалений между источниками и датчиками

На Фиг. 2 представлена схема, иллюстрирующая различные примеры расстояний (величин удаления) между сейсмическими датчиками и вибрационными источниками. Если контекст не требует иного, термин «удаление» интерпретируют в соответствии с его хорошо известным значением в данной области техники, которое включает в себя расстояние между источником и точкой в группе сейсмоприемных кос (например, местоположение датчика). Если источник и точка находятся на одинаковой глубине, удаление проходит в направлении, параллельном поверхности воды. Если источник и точка находятся на разных глубинах, удаление может быть или не быть измерено параллельно поверхности воды, например, в зависимости от методов обработки.

Как показано на Фиг. 2, источник S2 имеет большое удаление от датчика RX, а источник S1 имеет меньшее удаление от датчика RX. В некоторых вариантах осуществления система может записывать и/или анализировать отраженные волны от одного или обоих источников S1 и S2 и на одной или обеих из глубины 1 и глубины 2. В зависимости от глубины цели исследования, излучение на различных частотах и различные удаления могут быть или не быть полезными при обеспечении полезных данных метода отраженных волн. Как правило, энергия волн, отраженных от более глубоких целей исследования, может записываться и эффективно использоваться при больших удалениях, чем энергия волн, отраженных от целей на меньших глубинах. Отметим, например, как показано на Фиг. 2, что угол падения отраженных волн больше на глубине 1, чем на глубине 2 для обоих изображенных удалений. В некоторых вариантах осуществления имеет место верхний предел для углов падения отраженных волн, используемых при построении изображения. Как видно из Фиг. 2, более глубокие волны достигают этого максимального угла падения при большем удалении, чем малоглубинные отраженные волны. Справедливо также и то, что геологическая среда может отфильтровывать сейсмические сигналы, способные вызывать отражения от более глубоких целей, которые особенно ослаблены при более высоких частотах. Таким образом, излучение высокочастотных сигналов от источников при больших удалениях может не предоставлять полезные данные съемки, например, поскольку эти сигналы могут иметь неприемлемо большие углы падения при малоглубинных отражениях или слишком сильную фильтрацию со стороны геологической среды для более глубоких отражениях. Так, в традиционных методах, данные, соответствующие отражениям на основе сверхкритических углов падения, можно игнорировать, например, путем растяжения-обнуления, которое может включать в себя обнуление данных,

требующих большой величины кинематической поправки для отраженной волны (которая обуславливает растяжение формы импульса при больших удалениях).

Вибрационные источники, применяемые в отрасли геофизической съемки, как правило, имеют частотный выход в ограниченной полосе. Типы источников
5 могут рассматриваться в настоящем документе в соответствии с составом частот (спектральным составом), с возможностью излучения на которых они выполнены (например, более низкочастотный или более высокочастотный источник). Например, низкочастотный источник может быть выполнен с возможностью излучения на частотах от 5 до 25 Гц, а высокочастотный источник может быть
10 выполнен с возможностью излучения на частотах от 20 до 100 Гц.

В некоторых вариантах осуществления методы моделирования съемки применяются для определения пороговой величины удаления, за пределами которой маловероятно, что энергия отраженных волн от высокочастотного источника будут вносить вклад в сбор геофизических данных. Например,
15 достижение датчиков высокочастотным излучением от источников, расположенных за пределами пороговой величины удаления, может по существу быть предотвращено из-за фильтрации геологической средой. В некоторых вариантах осуществления эта пороговая величина удаления определяет границы участка относительно группы сейсмоприемных кос с сейсмическими датчиками,
20 на котором развертывание высокочастотных источников будет вносить значительный вклад в результат обработки геофизических данных. В некоторых вариантах осуществления только низкочастотные источники развернуты на удалениях за пределами этого участка, при этом как низкочастотные, так и высокочастотные источники развернуты в пределах этого участка. В других
25 вариантах осуществления, вместо того, чтобы ограничивать удаление или зоны развертывания для конкретного типа источника, источники могут быть развернуты при различных удалениях, но ими можно управлять, чтобы излучать только в некоторой части соответствующих диапазонов частот в зависимости от их удаления от группы сейсмоприемных кос (например, источником,
30 выполненным с возможностью излучения как на низких, так и на высоких частотах, можно управлять, чтобы излучать только сигналы с низкочастотным составом при размещении на большем удалении). Геофизические исследования можно проектировать и проводить таким образом, чтобы буксировать источники в различных зонах в зависимости от их частотных диапазонов и/или управлять,
35 чтобы излучать в различных частотных диапазонах, в зависимости от величин их удаления. Раскрытые методы могут сохранять энергию, уменьшать воздействие на окружающую среду и/или упрощать съемочные группы.

Примеры зон развертывания для различных типов источников

На Фиг. 3А представлена схема, иллюстрирующая примеры зон, в которых развернуты источники различного типа в соответствии с некоторыми вариантами осуществления.

5 В варианте осуществления, показанном на Фиг. 3А, многокосное судно 310 буксирует группу 320 сейсмоприемных кос, которая содержит одну или более сейсмоприемных кос, каждая из которых включает в себя один или более сейсмических датчиков. Хотя на Фиг. 3А показано единственное многокосное судно 310, в некоторых вариантах осуществления могут применяться несколько
10 судов, буксирующих отдельную часть, состоящую из одного или более источников, одного или более датчиков, или любую комбинацию источников и датчиков.

Зоны для развертывания различных типов источников могут быть определены на основе пороговой величины удаления для конкретного источника
15 или типа источника. Например, развертывание одного или более высокочастотных источников может быть ограничено круговой областью с радиусом окружности, представляющим собой пороговую величину удаления, измеряемую относительно центра группы сейсмоприемных кос (единственной точки), который совпадает с центром окружности. В другом примере
20 развертывание одного или более высокочастотных источников может быть ограничено размером, взятым поперек профиля, с пороговой величиной удаления, измеряемой относительно осевой линии группы сейсмоприемных кос. В этом примере зона может иметь продолговатую форму с полуокружностями, соответствующими каждому концу осевой линии. В некоторых вариантах
25 осуществления могут использоваться другие точки отсчета внутри или за пределами группы сейсмоприемных кос, такие как четыре угла прямоугольной группы сейсмоприемных кос, несколько точек вдоль осевой линии перемещения группы, смещенной относительно центра точки или линии внутри группы сейсмоприемных кос, полный периметр группы сейсмоприемных кос, или
30 местоположение между некоторыми из множества буксируемых групп, помимо прочего.

В других вариантах осуществления только один тип источника может быть развернут в зоне. Например, первая зона 360 может содержать только высокочастотные источники. В других вариантах осуществления в зоне можно
35 развернуть более одного типа источника. Например, первая зона 360 может содержать как низкочастотные, так и высокочастотные источники. В некоторых вариантах осуществления вторая зона 350 содержит только низкочастотные

источники, например, чтобы избежать излучения на более высоких частотах в этой зоне, достижение которым датчиков будет по существу предотвращаться из-за фильтрации геологической средой.

В некоторых вариантах осуществления различные зоны определяют участки, на которых возникает конкретный режим работы, в дополнение или вместо того, чтобы определять собой тип развертываемого источника. Например, источник, развернутый во второй зоне 350, может излучать низкочастотную часть частотного спектра, то есть способен излучать или может представлять собой тип источника, который может излучать только в конкретном низкочастотном диапазоне. Таким образом, в некоторых вариантах осуществления первая зона 360 и/или вторая зона 350 может содержать единственный тип широкополосного источника, выполненного с возможностью излучения как на низких, так и на высоких частотах. В этих вариантах осуществления источником широкополосного типа, выполненным с возможностью излучения как на низких, так и на высоких частотах, можно управлять для излучения только в поддиапазоне частот, на которых он способен излучать, при буксировании во второй зоне. Например, широкополосный источник, развернутый при большом удалении во второй зоне 350, может излучать только на низких частотах, поскольку, как может быть определено, высокочастотные отраженные волны не вносят значительный вклад в сигналы, принимаемые группой 320 сейсмоприемных кос. В некоторых вариантах осуществления, вместо ограничения конкретных зон, исследования (съёмки) можно проектировать и проводить таким образом, чтобы управлять источниками для излучения различных участков частотного диапазона, в котором они способны излучать, используя функцию их расчетного или измеренного удаления от одного или более местоположений в группе сейсмоприемных кос. Например, все N источников при N различных удалениях в этих вариантах осуществления могут излучать в различных частотных диапазонах. Вообще говоря, каждый «набор» источников, рассматриваемых в настоящем документе, может включать в себя один или более из рассматриваемого типа источника.

Следует отметить, что типы источников могут различаться в соответствии с составом частот, с возможностью излучения на которых они выполнены (например, более низкочастотный или более высокочастотный источник), но типы источников могут различаться в соответствии и с другими рабочими характеристиками. Например, первый тип источника может быть выполнен с возможностью излучения высокоамплитудных сейсмических волн в течение свип-сигнала большой длительности, а второй тип источника может быть выполнен с возможностью излучения более слабых сейсмических волн в течение более

короткого свип-сигнала. В еще одном примере первый тип источника может быть выполнен с возможностью излучения сейсмических волн по схеме быстрой активации, с короткими интервалами между последовательными свип-сигналами, а второй тип источника может быть выполнен с возможностью излучения сейсмических волн по схеме более медленной активации, с большим временем или расстоянием между последовательными свип-сигналами. В качестве другого примера, первый тип источника может быть выполнен с возможностью излучения сейсмических волн в соответствии с кодом, который позволяет электронному оборудованию отличать друг от друга сигналы, излучаемые различными источниками, а второй тип источника может излучать сейсмические волны без применения кода.

Геометрия системы наблюдений одной или более групп 320 сейсмоприемных кос может быть основана на требуемом удалении одного или более источников или типов источников. Например, при некоторых типах съемки, каждое из двух отдельных судов может буксировать отдельную группу сейсмоприемных кос, а также высокочастотный источник с малым удалением относительно соответствующей группы сейсмоприемных кос, а третье отдельное судно может буксировать низкочастотный источник при большем удалении относительно обеих групп сейсмоприемных кос. Проект геофизической съемки может включать в себя итерацию, с первоначальными требуемыми удалениями и частотными диапазонами, информирующими о первоначальной геометрии системы наблюдений, которая затем дает информацию о более точной модели удалений источников и рабочих частот и т. д.

На Фиг. 3В представлена другая схема, иллюстрирующая примеры зон для развертывания различных типов источников, включая несколько зон для конкретного типа источника. В некоторых вариантах осуществления конкретный набор из одного или более типов источника, может быть размещен в более чем одной зоне. Например, низкочастотные источники и высокочастотные источники могут быть помещены в зоне 380, перед группой 340 сейсмоприемных кос, а низкочастотные источники и другие высокочастотные источники могут быть помещены в зоне 390, позади группы 340 сейсмоприемных кос. В изображенном варианте осуществления зона 370 может предназначаться для развертывания второго типа источника (например, высокочастотных источников, а не низкочастотных источников). В других вариантах осуществления в зоне может быть помещен только один источник конкретного типа. Например, зона 380 может содержать только один высокочастотный источник. В других вариантах осуществления в зоне может быть помещено более одного источника

конкретного типа. Например, зона 390 может содержать два высокочастотных источника, по одному с каждой стороны группы 340 сейсмоприемных кос.

5 Определение пороговой величины удаления и определение удалений для каждого источника в зоне, созданной этой пороговой величиной удаления, может основываться на одной или более геофизических моделях. Для определения развертывания различных источников или типов источников могут применяться различные геофизические модели.

10 В некоторых вариантах осуществления геофизическая модель, информирующая о развертывании источников, может быть основана на параметрах, включающих в себя одно или более из, без ограничения: частотных диапазонов, с возможностью излучения в которых выполнены источники (или выполнены с возможностью управления), предполагаемой глубины подводных формаций, фильтрующих свойств подводных формаций, скорости распространения сейсмических волн, типов обработки данных, выполняемой в отношении записанных данных исследования (например, методов обработки изображения), требуемой геометрии системы наблюдений, требуемых азимутов, требуемых удалений, требуемых амплитуд, известных препятствий, эксплуатационных ограничений, морских течений, буксировочных способностей судна, количества имеющихся судов с источниками волн и т. д. Например, 20 предполагаемая глубина подводных формаций может информировать о предполагаемом количестве высокочастотных отраженных волн, полученных группой 340 сейсмоприемных кос, и, тем самым, о пороговой величине удаления, за пределами которой не будут развернуты высокочастотные источники. В качестве другого примера, геофизическая модель может прогнозировать 25 интенсивность сигналов, отраженных от подводной формации, на основе фильтрующих свойств подводной формации, таких как свойства материалов подводной формации, и азимутального угла, при котором сигнал отражается от формации.

30 Примеры спектрального состава в сигналах, излучаемых различными типами источников

 На Фиг. 4А-С изображен спектральный состав различных примеров типов источников. На Фиг. 4А изображены примеры частотных диапазонов для излучения различными типами источников. Система геофизической съемки 35 может включать в себя различные сейсмические источники, такие как морские вибраторы, пневмопушки и т. д. Хотя в методах, раскрытых в настоящем документе, применяются несколько типов источников для генерации некоторого

диапазона спектрального состава, другие варианты осуществления добиваются осуществления тех же методов при помощи единственного типа источника с использованием всего или только участка частотного диапазона, с возможностью излучения в котором он выполнен.

5 В некоторых вариантах осуществления более низкочастотный источник излучает сигнал S1, а более высокочастотный источник излучает сигнал S2. Амплитуда сигнала S1 может быть выше, чем у сигнала S2, чтобы достигать более глубоких целей. В некоторых вариантах осуществления частотный диапазон сигнала S2 шире, чем частотный диапазон сигнала S1, для
10 улучшения разрешения малоглубинных целей. В некоторых вариантах осуществления источник, выполненный с возможностью излучения только низкочастотных или высокочастотных сигналов, излучает полный частотный диапазон, с возможностью излучения в котором он выполнен. В других вариантах осуществления источник излучает только в поддиапазоне частот, с возможностью
15 излучения на которых выполнен источник. В некоторых вариантах осуществления источник излучает только в поддиапазоне частот, с возможностью излучения на которых он выполнен, в зависимости от его удаления от группы сейсмоприемных кос с датчиками. Например, высокочастотный источник может излучать в поддиапазоне, ширина полосы частот которого уменьшается линейно при
20 увеличении удаления источника от группы сейсмоприемных кос (т. е. при увеличении удаления в 2 раза ширина полосы поддиапазона уменьшается в 2 раза).

В некоторых вариантах осуществления система геофизической съемки использует низкочастотные и высокочастотные источники, у которых излучаемые
25 сигналы, S1 и S2 соответственно, перекрываются по спектральному составу. В других вариантах осуществления спектральный состав сигналов S1 и S2, излучаемых низко- и высокочастотными источниками, используемыми в системе съемки, является взаимно исключаящим. Если контекст не требует иного, термин «различный» в контексте частотных диапазонов включает в себя как частично
30 перекрывающиеся, так и неперекрывающиеся диапазоны.

На Фиг. 4В и 4С изображены примеры свип-сигналов для низко- и высокочастотных источников соответственно. Термин «свип» применяется в
данной заявке в соответствии с его принятым обычным значением в данной области техники, включающим в себя временной интервал, в котором
35 вибрационный источник активируют для излучения сейсмических волн. Как правило, за интервалом свип-сигнала следует интервал прослушивания, в течение которого отражения, вызванные вибрациями, записывают при помощи

сейсмических датчиков. Тот или иной свип-сигнал, реализуемый в конкретном частотном диапазоне, означает, что источник не излучает сейсмические волны за пределами частотного диапазона во время действия свип-сигнала. Во время действия свип-сигнала источник может излучать сейсмические волны на различных частотах в различные моменты времени в пределах общего конкретного частотного интервала свип-сигнала. На Фиг. 4В изображен пример акустического сигнала, излучаемого низкочастотным источником, представленный во временной области. На Фиг. 4С изображен пример акустического сигнала, излучаемого высокочастотным источником, представленный во временной области. В изображенных вариантах осуществления свип-сигналы начинаются на низкой частоте и разворачиваются в направлении высокой частоты свип-сигнала. В других вариантах осуществления могут быть реализованы любые из различных типов свип-сигналов.

Функция частотной развертки свип-сигнала может быть основана на удалении этого источника. В некоторых вариантах осуществления функция частотной развертки свип-сигнала для некоторого типа источника может быть основана на пороговой величине удаления, связанной с зоной, содержащей этот тип источника. Например, низкочастотные источники, помещенные за пределами большой пороговой величины удаления, могут излучать свип-сигналы с высокой амплитудой и большой длительностью для достижения более глубоких целей.

В некоторых вариантах осуществления система выполнена с возможностью увеличения длительности свип-сигнала для источников в зависимости от их соответствующих удалений. Например, низкочастотный источник, развернутый при большом удалении, может приводиться в действие для излучения на низких частотах в течение большей длительности, чем эквивалентный источник с меньшим удалением. В некоторых вариантах осуществления энергия волн, излучаемых источником, зависит от длительности свип-сигнала. Например, энергия волн, излучаемых источником, может быть прямо пропорциональна длительности свип-сигнала, используемого этим источником. Увеличение длительности свип-сигнала в меньшем низкочастотном диапазоне может давать преимущество, состоящее в увеличении энергетического содержания при более низких частотах, достигающих более глубоких целей.

В различных типах источников могут использоваться различные функции частотной развертки свип-сигнала. Например, единственный низкочастотный источник может излучать простой линейный свип-сигнал по всему его частотному диапазону, тогда как несколько высокочастотных источников в рамках того же

исследования могут излучать волны в соответствии с различными кодами, которые способствуют разделению сигналов от различных высокочастотных источников. Аналогичным образом, в различных источниках в пределах одного типа источников могут использоваться различные функции частотной развертки свип-сигнала.

Источники могут приводиться в действие одновременно при помощи различных кодов, некоррелированных по меньшей мере до порогового уровня. Например, в патенте США № 8,094,514, озаглавленном «Seismic Vibrator Array and Method for Using», рассмотрены примеры конструкций вибрационных источников и методов, позволяющих отличать друг от друга сигналы от различных вибрационных источников при одновременной работе. Золотые последовательности и m-последовательности являются примерами кодов, которые можно использовать для приведения в действие вибрационных источников, и могут обладать незначительной или отсутствующей взаимной корреляцией между различными кодами. Взаимная корреляция принятых сигналов с известными кодами, применяемыми для приведения в действие источников, может обеспечивать возможность разделения сигналов от различных источников во время обработки сигналов. Вслед за одновременными свип-сигналами вибрационные источники могут прекращать работу, чтобы сделать возможным период прослушивания, во время которого датчики записывают отраженные волны от свип-сигналов. В некоторых вариантах осуществления два или более источников одинакового типа приводят в действие при помощи одинакового кода. Это позволяет повышать амплитуду волн, излучаемых с использованием такого кода, например. В других вариантах осуществления два различных источника в одной и той же связке источников могут приводиться в действие различными кодами.

В некоторых вариантах осуществления источники одинакового типа могут использовать различные функции частотной развертки свип-сигнала в зависимости от зоны, в которой развернут конкретный источник. Например, низкочастотный источник, развернутый при большем удалении, может излучать более длительный свип-сигнал для достижения более глубоких целей. В качестве другого примера, некоторое количество высокочастотных источников, плотно развернутых при небольших удалениях, могут использовать различные коды, некоррелированные по меньшей мере до порогового уровня, чтобы способствовать различению между высокочастотными сигналами.

Примеры спектрального состава в сигналах, излучаемых источниками при различных удалениях

На Фиг. 5 изображен пример спектрального состава, излучаемого источниками, помещенными на различных удалениях. На Фиг. 5 источники S1, S2 и S3 развернуты при последовательно бóльших удалениях от датчика RX. В изображенном варианте осуществления каждый источник излучает энергию в различном частотном диапазоне, соответствующем конкретному удалению. Как показано, источник S3 излучает низкочастотные сигналы при большей амплитуде и большей длительности, чтобы достигать более глубоких целей. Источник S2 в изображенном варианте осуществления излучает более высокочастотные сигналы с меньшей амплитудой вследствие своего меньшего удаления, а источник S1 в изображенном варианте осуществления излучает самые высокочастотные сигналы по всей самой широкой полосе частот для улучшения разрешения малоглубинных целей при меньших удалениях. В изображенном примере показаны источники, работающие в трех различных частотных диапазонах, но источники могут быть выполнены с возможностью излучения (или управления излучением) в любом количестве разных частотных диапазонов в различных вариантах осуществления.

Как показано на Фиг. 5, источник может приводиться в действие в зависимости от его удаления или развертываться в конкретной зоне в зависимости от частот, с возможностью излучения на которых он выполнен. Удаление для источника может влиять на функцию частотной развертки свип-сигнала источника (например, амплитуду, длительность или код свип-сигнала). Зона, в которой развернут источник, может влиять на спектральный состав и/или функцию частотной развертки свип-сигнала, излучаемого источником. Например, все источники, развернутые в зоне с малой пороговой величиной удаления, могут излучать более высокочастотные сигналы при меньшей амплитуде по сравнению с источниками, развернутыми в другой зоне при бóльших удалениях.

Источниками можно управлять для излучения волн в перекрывающихся и неперекрывающихся частотных диапазонах. Например, в изображенном варианте осуществления источники S1 и S3 излучают сигналы с неперекрывающимся спектральным составом. В изображенном варианте осуществления верхний диапазон спектрального состава частот, излучаемых S3, перекрывается с нижним диапазоном спектрального состава частот, излучаемых S2. Аналогичным образом, верхний диапазон спектрального состава частот, излучаемых S2, перекрывается с нижним диапазоном спектрального состава частот, излучаемых S1. Как раскрыто выше, источники S1, S2 и S3 могут излучать только в поддиапазоне тех частот, с возможностью излучения на которых выполнен каждый источник. Например, источник S2 может быть выполнен с

возможностью излучения на частотах от 5 Гц до 100 Гц, но излучения только на частотах в диапазоне от 20 Гц до 50 Гц при развертывании с конкретным удалением. Частотные диапазоны, изображенные на Фиг. 5, приведены только в целях иллюстрации, но не предназначены для ограничения объема раскрытия настоящего изобретения.

Пример расстановки судов и схемы возбуждения

На результаты исследования может влиять не только спектральный состав свип-сигналов, но и расстановка и схема (порядок) активации различных источников. На Фиг. 6 изображен пример расстановки 610 судов и схема 620 активации, в котором используются различные типы источников, развернутых в различных зонах. В изображенном варианте осуществления два судна 612 и 614 буксируют источники и датчики соответственно. Судно 612 буксирует единственный источник 616, а судно 614 буксирует источники 615 и 618, а также группу 630 сейсмоприемных кос. Источник 616 второго типа развернут во второй зоне 650. Как источник 615 первого типа, так и источник 618 второго типа развернуты в первой зоне 660, имеющей меньшую пороговую величину удаления. В изображенном варианте осуществления «L» относится к относительно низкочастотному типу источника, а «H» относится к относительно высокочастотному типу источника, хотя в различных зонах в других вариантах осуществления могут применяться различные типы источников.

Как показано на Фиг. 6, первая зона 660 и вторая зона 650 включают в себе границы относительно мест расположения соответствующих исследовательских судов, за пределами которых первый источник 615 и второй источник 618 соответственно не могут быть развернуты. Однако в некоторых вариантах осуществления зоны могут устанавливать критерии для результата обработки геофизических данных, которые информируют о развертывании источника, но не запрещают его. Например, первая зона 660 может определять участок, в котором необходимо развернуть первый источник 615 для достижения требуемой интенсивности сигнала, принимаемого сейсмическими датчиками. Хотя вариант осуществления на Фиг. 6 иллюстрирует зоны 650 и 660, ограничивающие развертывание источников, развертывание может не ограничиваться конкретной зоной. Первый источник 615 и вторые источники 616 и 618 могут различаться в зависимости от других характеристик, таких как схема активации, рабочая частота или длительность свип-сигнала, помимо прочего.

Различные наборы, состоящие из одного или более источников, могут приводиться в действие в соответствии с различными схемами активации. В изображенном варианте осуществления вторые источники 616 и 618

активируются с более низкой скоростью, чем первый источник 615. Вторые источники 616 и 618 активируются с более низкой скоростью вследствие того, что их реже активируют в единицах времени и/или расстояния. Вторые источники 616 и 618 могут излучать на более низких частотах, чем первый источник 615. Это может потенциально улучшить энергетическое содержание волн, восстанавливаемое на основе глубоких отражений, при улучшении разрешения для целей, намеченных при помощи более высокой скорости активации. Хотя и раскрытое выше в виде различных типов источников, установление различия между первым источником 615 и вторыми источниками 616 и 618 может быть основано на других характеристиках, таких как их режим работы. Например, все из первого источника 615 и вторых источников 616 и 618 могут быть широкополосными источниками, выполненными с возможностью излучения сейсмических волн как на низких, так и на высоких частотах, но первым источником 615 можно управлять, чтобы излучать только высокочастотные сигналы, а вторыми источниками 616 и 618 управлять, чтобы излучать только низкочастотные сигналы. В качестве другого примера, первый источник 615 может активироваться в соответствии с первой схемой активации, а вторые источники 616 и 618, хотя они относятся к тому же типу, что и первый источник 615 (например, широкополосный), могут активироваться в соответствии с другой схемой активации.

Один или более источников могут активироваться при большей длительности свип-сигнала, так как один или более источников активируются реже. Аналогичным образом, один или более источников какого-либо типа могут активироваться при большей длительности свип-сигнала, чем один или более источников другого типа. В изображенном варианте осуществления источники 616 и 618 активируются при большей длительности свип-сигнала, чем источник 615. Источники 616 и 618 могут излучать на более низких частотах при большей длительности свип-сигнала, с возрастанием длительности свип-сигнала по мере того, как источники 616 и 618 активируются реже.

Способ исследования, основанный на излучении источников на разных частотах

Обратимся теперь к Фиг. 7, на которой показан пример способа 700 получения результата обработки геофизических данных в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. Способ, показанный на Фиг. 7, может применяться в сочетании с любыми вычислительными системами, устройствами, элементами или компонентами, раскрытыми в настоящем документе, помимо прочих устройств. В различных вариантах осуществления некоторые показанные

элементы способа могут выполняться одновременно, в порядке, отличном от показанного, или могут быть опущены. Дополнительные элементы способа могут также выполняться по желанию. Процедура начинается в блоке 710.

5 На этапе 710 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксируют множество сейсмоприемных кос, каждая из которых содержит множество сейсмических датчиков. Сейсмические датчики могут быть физически встроены в сейсмоприемные косы или могут быть прикреплены к сейсмоприемным косам (например, таким образом, чтобы датчики можно было отсоединить, когда они не используются).

10 На этапе 720 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксируют первый набор из одного или более вибрационных источников внутри первой зоны, которая включает в себя удаления в пределах пороговой величины удаления от одного или более местоположений (точек) относительно группы сейсмоприемных кос. Как раскрыто выше со ссылкой на Фиг. 3А, первая
15 зона, ограничивающая развертывание различных типов источников, может быть определена на основе пороговой величины удаления, а выбор точек отсчета относительно группы сейсмоприемных кос для пороговой величины удаления может определять некоторые характеристики первой зоны.

20 На этапе 730 в изображенном варианте осуществления электронное оборудование приводит в действие первый набор источников для излучения волн в пределах первого частотного диапазона. Это может включать в себя фактически передачу различных функций частотной развертки свип-сигнала и/или кодов к источникам или посылки управляющей информации, которая указывает различные предварительно запрограммированные функции частотной
25 развертки свип-сигнала и/или коды для использования источниками, например. Один или более источников из первого набора источников могут быть выполнены с возможностью излучения волн во всем первом частотном диапазоне, но могут излучать волны только в пределах некоторого поддиапазона первого частотного диапазона.

30 На этапе 740 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксируют второй набор из одного или более вибрационных источников внутри второй зоны, которая предусматривает удаления, большие, чем пороговая величина удаления от одного или более местоположений (точек). Один или более источников из второго набора источников могут также быть развернуты в
35 первой зоне.

На этапе 750 в изображенном варианте осуществления электронное оборудование приводит в действие второй набор источников для излучения волн

во втором частотном диапазоне, причем первый частотный диапазон включает в себя более высокие частоты, чем второй частотный диапазон. Первый частотный диапазон может также включать в себя частоты в пределах второго частотного диапазона. Излучение различного спектрального состава в различных зонах может быть ограничено не только типом источника, развернутого в конкретной зоне, но и режимом работы конкретного источника (например, высокочастотного источника, излучающего только в поддиапазоне полосы частот, с возможностью излучения на которых он выполнен).

На этапе 760 в изображенном варианте осуществления в системе съемки используется множество сейсмических датчиков для записи отражений от одной или более подводных формаций на основе волн, излучаемых по меньшей мере первым и вторым наборами из одного или более вибрационных источников. Приведение в действие одного или более источников при помощи различных кодов может обеспечивать возможность разделения записанных сигналов от различных источников во время обработки сигналов.

На этапе 770 в изображенном варианте осуществления записанные сигналы сохраняют на материальном долговременном машиночитаемом носителе 1045 данных. Материальный долговременный машиночитаемый носитель данных, содержащий записанные сигналы (и/или результаты обработки записанных сигналов) может называться результатом обработки геофизических данных.

В различных вариантах осуществления раскрытые методы могут обеспечивать преимущество, состоящее в упрощении оборудования, применяемого для буксирования источников (например, применительно к съемкам с развертыванием различных источников), уменьшении сложности съемки без уменьшения разрешения, увеличении разрешения без увеличения сложности съемки и/или уменьшении воздействия на окружающую среду излучения сейсмических волн, например.

Способ исследования на основе различных схем возбуждения для источников при различных удалениях

Обратимся теперь к Фиг. 8, на которой показан пример способа 800 получения результата обработки геофизических данных с использованием различных схем активации источников для источников при различных удалениях в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. Способ, показанный на Фиг. 8, может применяться в сочетании с любыми вычислительными системами, устройствами, элементами или компонентами, раскрытыми в настоящем документе, помимо прочих устройств. В различных вариантах осуществления

некоторые показанные элементы способа могут выполняться одновременно, в порядке, отличном от показанного, или могут быть опущены. Дополнительные элементы способа могут также выполняться по желанию. Процедура начинается в блоке 810.

5 На этапе 810 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксируют множество сейсмоприемных кос, каждая из которых содержит множество сейсмических датчиков. Сейсмические датчики могут быть физически
10 встроены в сейсмоприемные косы или могут быть прикреплены к сейсмоприемным косам (например, таким образом, чтобы датчики можно было отсоединить, когда они не используются).

На этапе 820 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксируют первый набор из одного или более вибрационных источников для излучения волн в пределах первого частотного диапазона. Один или более
15 источников из первого набора источников могут быть выполнены с возможностью излучения волн во всем первом частотном диапазоне, но могут излучать волны только в пределах некоторого поддиапазона первого частотного диапазона.

На этапе 830 в изображенном варианте осуществления электронное оборудование активирует один или более источников из первого набора источников в соответствии с первой схемой активации источников. Схема
20 активации источников может быть описана различными способами, например, в виде расстояния между пунктами взрыва или схемы возбуждения взрыва. Возбуждение может включать в себя фактически передачу различных функций частотной развертки свип-сигнала и/или кодов к источникам или посылку управляющей информации, которая указывает различные предварительно
25 запрограммированные функции частотной развертки свип-сигнала и/или коды для использования источниками, например.

На этапе 840 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксирует второй набор из одного или более вибрационных источников, излучающих волны во втором частотном диапазоне, причем первый частотный
30 диапазон включает в себя более высокие частоты, чем второй частотный диапазон. Первый частотный диапазон может также включать в себя частоты в пределах второго частотного диапазона. Излучение различного спектрального состава различными источниками может быть ограничено не только типом развернутого источника, но и режимом работы конкретного источника (например,
35 высокочастотного источника, излучающего только в поддиапазоне полосы частот, с возможностью излучения на которых он выполнен).

На этапе 850 в изображенном варианте осуществления электронное оборудование активирует один или более источников из второго набора источников в соответствии со второй схемой активации, причем при второй схеме активации источников один или более источников из второго набора источников активируются реже и с большей длительностью свип-сигнала по времени и/или расстоянию, чем один или более источников из первого набора источников. Источники могут излучать на более низких частотах при большей длительности свип-сигнала, с возрастанием длительности свип-сигнала по мере того, как источники активируются реже. Это может потенциально улучшить энергетическое содержание волн, восстанавливаемое на основе глубоких отражений, при улучшении разрешения для целей, намеченных при помощи более высокой скорости активации.

На этапе 860 в изображенном варианте осуществления электронное оборудование записывает при помощи множества сейсмических датчиков отражения от одной или более подводных формаций на основе волн, излучаемых первым и вторым наборами из одного или более вибрационных источников. Приведение в действие одного или более источников при помощи различных кодов может обеспечивать возможность разделения записанных сигналов от различных источников во время обработки сигналов.

На этапе 870 в изображенном варианте осуществления записанные сигналы сохраняют на материальном долговременном машиночитаемом носителе 1045 данных. Материальный долговременный машиночитаемый носитель данных, содержащий записанные сигналы (и/или результаты обработки записанных сигналов) может называться результатом обработки геофизических данных.

В различных вариантах осуществления потенциальные преимущества раскрытых методов включают в себя уменьшенную сложность съемки без уменьшенного разрешения, увеличенное разрешение без увеличенной сложности съемки, улучшенное энергетическое содержание волн, восстанавливаемое на основе глубоких отражений, и /или уменьшенное воздействие на окружающую среду вследствие излучения сейсмических волн.

Способ исследования на основе геофизической модели

Обратимся теперь к Фиг. 9А, на которой показан пример способа 900 для выбора конфигурации съемки с использованием геофизической модели в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. Способ, показанный на Фиг. 9А, может применяться в сочетании с любыми вычислительными системами, устройствами, элементами или компонентами, раскрытыми в настоящем

документе, помимо прочих устройств. В различных вариантах осуществления некоторые показанные элементы способа могут выполняться одновременно, в порядке, отличном от показанного, или могут быть опущены. Дополнительные элементы способа могут также выполняться по желанию. Процедура начинается

5 в блоке 910.

На этапе 910 в изображенном варианте осуществления одно или более вычислительных устройств генерируют геофизическую модель. Как раскрыто выше, геофизическая модель может быть основана на параметрах, включающих в себя одно или более из, без ограничения: частотных диапазонов, с

10 возможностью излучения в которых выполнены источники, предполагаемой глубины подводных формаций, фильтрующих свойств подводных формаций, фильтрующих свойств морской среды, скорости распространения сейсмических волн, типов обработки данных, выполняемой в отношении записанных данных исследования, и требуемой геометрии системы наблюдений. Геофизическая

15 модель может использовать данные из предыдущих геофизических исследований для определения одного или более из вышеприведенных параметров. Геофизическая модель может включать в себя обработанные геофизические данные и может храниться на долговременном материальном машиночитаемом носителе данных. Геофизическая модель может создаваться в

20 море (например, при помощи оборудования, расположенного на исследовательском судне) или на берегу (например, при помощи расположенного на суше комплекса).

Геофизическая модель может прогнозировать различные характеристики геофизической формации, которые могут быть полезными для определения

25 местоположения и/или добычи полезных ископаемых. Геофизическая модель может использоваться для прогнозирования характеристик результата обработки геофизических данных, записываемого в ходе исследования, которое соответствует модели. Например, геофизическая модель может сопоставлять один или более частотных диапазонов излучаемых волн с предполагаемой

30 глубиной подводных формаций, чтобы прогнозировать отраженные волны, принимаемые сейсмическими датчиками в одном или более частотных диапазонах. В другом примере геофизическая модель может применять различные методы обработки изображения к геофизическим данным (например, сигналам, которые предполагается получить с помощью сейсмических датчиков в

35 зависимости от предполагаемой глубины подводных формаций и фильтрующих свойств морской среды в предыдущих геофизических исследованиях), чтобы прогнозировать разрешение изображения.

На этапе 920 в изображенном варианте осуществления одно или более судов буксируют один или более источников только в первой зоне в зависимости от геофизической модели. Например, судно может буксировать высокочастотные источники только в первой зоне, содержащей относительно меньшие удаления от группы сейсмоприемных кос с сейсмическими датчиками в зависимости от геофизической модели, указывающей на то, что вклад высокочастотных излучений за пределами величин удаления, находящихся внутри первой зоны, в результате исследования после отражения от целевых подводных формаций, является маловероятным. В других вариантах осуществления, в качестве дополнительного примера, судно может буксировать широкополосные источники только в первой зоне на основе геофизической модели, указывающей, что как низкочастотное, так и высокочастотное излучение необходимо для эффективного построения изображения подводных формаций, являющихся целью источников в первой зоне.

На Фиг. 9В показан другой пример способа 950 для выбора конфигурации съемки с использованием геофизической модели. Способ, показанный на Фиг. 9В, может применяться в сочетании с любыми вычислительными системами, устройствами, элементами или компонентами, раскрытыми в настоящем документе, помимо прочих устройств. В различных вариантах осуществления некоторые показанные элементы способа могут выполняться одновременно, в порядке, отличном от показанного, или могут быть опущены. Дополнительные элементы способа могут также выполняться по желанию. Процедура начинается в блоке 960.

На этапе 960 в изображенном варианте осуществления одно или больше вычислительных устройств (например, иллюстративный вариант осуществления, рассмотренный ниже со ссылкой на Фиг. 10) генерируют геофизическую модель. Как раскрыто выше со ссылкой на Фиг. 9А, геофизическая модель может быть основана на одном или более из некоторого количества различных типов параметров. Геофизическая модель может включать в себя данные из предыдущих геофизических исследований для определения одного или более из вышеприведенных параметров. Геофизическая модель может включать в себя обработанные геофизические данные и может храниться на долговременном материальном машиночитаемом носителе данных. Геофизическая модель может создаваться в море (например, при помощи оборудования, расположенного на исследовательском судне) или на берегу (например, при помощи расположенного на суше комплекса).

На этапе 970 в изображенном варианте осуществления электронное оборудование приводит в действие один или более источников для излучения сейсмических волн в различных частотных диапазонах в зависимости от геофизической модели и одного или более удалений для одного или более источников. Например, судно может буксировать один или более широкополосных источников при больших величинах удаления, а электронное оборудование может приводить в действие широкополосные источники для излучения волн только при низких частотах в зависимости от геофизической модели, указывающей на малую вероятность получения более высокочастотных излучений сейсмическими датчиками при используемых величинах удаления или за их пределами после отражения от подводных формаций, являющихся целью широкополосных источников. Электронное оборудование может приводить в действие один или более источников для излучения сейсмических волн в частотном диапазоне в зависимости от приведения в действие другого набора, состоящего из одного или более источников, для излучения сейсмических волн в другом частотном диапазоне. Например, электронное оборудование, приводящее в действие как низкочастотный, так и высокочастотный источник, буксируемые при приблизительно одинаковом месте удаления, может ограничивать излучение от более низкочастотного источника низкими частотами, поскольку оно приводит в действие более высокочастотный источник для излучения волн при высоких частотах.

Пример вычислительного устройства

Обратимся теперь к Фиг. 10, на которой показана структурная схема одного варианта осуществления вычислительного устройства (которое может также называться вычислительной системой) 1010. Вычислительное устройство 1010 может применяться для реализации различных частей настоящего изобретения. Вычислительное устройство 1010 может представлять собой любой подходящий тип устройства, включая, помимо прочего, систему персонального компьютера, настольный компьютер, переносной компьютер или ноутбук, универсальную вычислительную машину, веб-сервер, рабочую станцию или сетевой компьютер. Как показано, вычислительное устройство 1010 включает в себя блок 1050 обработки данных, запоминающее устройство 1012, интерфейс 1030 ввода-вывода, присоединенный через межсоединение 1060 (например, системную шину). Интерфейс 1030 ввода-вывода может быть соединен с одним или более устройствами 1040 ввода-вывода. Вычислительное устройство 1010 дополнительно включает в себя сетевой интерфейс 1032, который может быть

соединен с сетью 1020 для связи с, например, другими вычислительными устройствами.

В различных вариантах осуществления блок 1050 обработки данных включает в себя один или более процессоров. В некоторых вариантах осуществления блок 1050 обработки данных включает в себя один или более блоков сопроцессора. Несколько экземпляров блока 1050 обработки данных могут быть соединены с межсоединением 1060. Блок 1050 обработки данных (или каждый процессор внутри блока 1050) может содержать кэш-память или другой вид встроенной памяти. В некоторых вариантах осуществления блок 1050 обработки данных может быть реализован в виде блока обработки данных общего назначения, а в других вариантах осуществления он может быть реализован в виде блока обработки данных специального назначения (например, СЗИС (ASIC)). В общем случае, вычислительная система 1010 не ограничена каким-либо конкретным типом блока обработки данных или процессорной подсистемы.

Если контекст не требует иного, термины «блок обработки данных» и «элемент обработки данных» относятся к электронной схеме, выполненной с возможностью осуществления операций, или к памяти, содержащей хранящиеся в ней программные инструкции, которые выполняются одним или более процессорами для осуществления операций. Соответственно, блок обработки данных может быть выполнен в виде аппаратной схемы, реализованной различными способами. Аппаратная схема может включать в себя, например, заказные сверхбольшие интегральные схемы (СБИС) или матрицы логических элементов, серийно выпускаемые полупроводниковые приборы, такие как логические интегральные схемы, транзисторы или другие дискретные компоненты. Блок обработки данных может также быть реализован в программируемых аппаратных устройствах, таких как программируемые пользователем вентильные матрицы, программируемые матричные логические схемы, программируемые логические устройства и т. п. Блок обработки данных может также быть выполнен с возможностью выполнения программных инструкций из любого подходящего вида долговременных машиночитаемых носителей информации для осуществления указанных операций.

Подсистема 1012 хранения данных выполнена с возможностью использования блоком 1050 обработки данных (например, для хранения инструкций и данных, выполняемых и используемых соответственно блоком 1050 обработки данных). Подсистема 1012 хранения данных может быть реализована при помощи любого подходящего типа физических носителей памяти, включая

накопитель на жестком диске, накопитель на дискете, съемный дисковый накопитель, флэш-память, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ (RAM)— СОЗУ (SRAM), ОЗУ с расширенным выводом данных (EDO RAM), синхронное ДОЗУ (SDRAM), синхронное динамическое ОЗУ с двойной скоростью (DDR SDRAM), память типа RDRAM и т. д.), ПЗУ (ROM) (ППЗУ (PROM), ЭСППЗУ (EEPROM) и т. д.), и прочее. Подсистема 1012 хранения данных может состоять исключительно из энергозависимой памяти в одном варианте осуществления. Подсистема 1012 хранения данных может хранить программные инструкции, выполняемые вычислительным устройством 1010 при помощи блока 1050 обработки данных, включая программные инструкции, выполняемые, чтобы инициировать реализацию различных методов, раскрытых в настоящем документе, вычислительным устройством 1010.

Интерфейс 1030 ввода-вывода может представлять собой один или более интерфейсов и быть любым из различных типов интерфейсов, выполненных с возможностью подсоединения и обмена данными с другими устройствами в соответствии с различными вариантами осуществления. В одном варианте осуществления интерфейс 1030 ввода-вывода представляет собой мостовую микросхему от системной («передней») до одной или более внутренних («задних») шин. Интерфейс 1030 ввода-вывода может быть соединен с одним или более устройствами 1040 ввода-вывода при помощи одной или более соответствующих шин или других интерфейсов. Примеры устройств ввода-вывода включают в себя устройства хранения данных (жесткий диск, оптический диск, съемный флэш-накопитель, запоминающая матрица, сеть хранения данных (SAN) или сопряженный контроллер), сетевые интерфейсные устройства, пользовательские интерфейсные устройства или другие устройства (например, графические, звуковые и т. д.).

Также предусматриваются различные изделия, на которых хранятся инструкции (и, опционально, данные), выполняемые вычислительной системой для реализации методов, раскрытых в настоящем документе. Эти изделия включают в себя долговременные машиночитаемые носители памяти. Предусматриваемые долговременные машиночитаемые носители памяти включают в себя части подсистемы памяти вычислительного устройства, а также носители данных или носители памяти, такие как магнитные носители (например, диск) или оптические носители (например, CD, DVD и сопутствующие технологии и т. д.). Долговременные машиночитаемые носители могут представлять собой энергозависимое или энергонезависимое запоминающее устройство.

В некоторых вариантах осуществления может быть получен результат обработки геофизических данных. В некоторых вариантах осуществления результат обработки геофизических данных может представлять собой материальный, долговременный машиночитаемый носитель 1045 данных, на котором хранятся записанные данные, как показано на Фиг. 10. Этот носитель 5 данных может быть включен или не включен в состав устройства 1010 и может сохранять обработанные и/или необработанные геофизические данные из устройства 1010.

Хотя выше раскрыты конкретные варианты осуществления, эти варианты 10 осуществления не ограничивают объем раскрытия настоящего изобретения, даже если в связи с каким-либо конкретным признаком описан только один вариант осуществления. Примеры признаков, представленные в настоящем раскрытии изобретения, предназначены для целей иллюстрации, а не ограничения, если не оговорено иное. Приведенное выше описание охватывает 15 такие альтернативные варианты, модификации и эквиваленты, которые будут понятны специалисту, воспользовавшемуся раскрытым здесь изобретением.

В объем настоящего раскрытия изобретения входит любой признак или комбинация признаков, раскрытых в документе (явно или неявно), или любое их обобщение, независимо от того, смягчают ли они все или любые из 20 рассматриваемых здесь проблем, или нет. Соответственно, при рассмотрении дела по данной заявке (или по заявке, испрашивающей приоритет по ней) могут быть сформулированы новые пункты формулы изобретения для любой такой комбинации признаков. В частности, в контексте приложенной формулы изобретения, признаки из зависимых пунктов формулы изобретения могут 25 комбинироваться с признаками из независимых пунктов формулы изобретения, а признаки из соответствующих независимых пунктов могут комбинироваться любым надлежащим образом, а не просто в конкретных комбинациях, перечисленных в приложенной формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ получения результата обработки геофизических данных, включающий в себя следующие этапы:

5 буксируют группу сейсмоприемных кос, включающую в себя множество сейсмоприемных кос, каждая из которых содержит множество сейсмических датчиков;

10 буксируют первый набор из одного или более вибрационных источников внутри первой зоны, которая включает в себя удаления в пределах пороговой величины удаления от одного или более местоположений относительно группы сейсмоприемных кос;

приводят в действие первый набор источников для излучения волн в первом частотном диапазоне;

15 буксируют второй набор из одного или более вибрационных источников во второй зоне, которая включает в себя удаления, большие чем пороговая величина удаления от одного или более местоположений;

приводят в действие второй набор источников для излучения волн во втором частотном диапазоне, причем первый частотный диапазон включает в себя более высокие частоты, чем второй частотный диапазон;

20 записывают при помощи множества сейсмических датчиков сигналы, отраженные от одной или более подводных формаций, на основе волн, излучаемых первым и вторым наборами из одного или более вибрационных источников; и

25 сохраняют записанные сигналы на материальном машиночитаемом носителе данных.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что первый и второй частотные диапазоны являются взаимно исключаящими.

30 3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что один или более источников из первого набора источников излучают волны только в пределах поддиапазона первого частотного диапазона.

35 4. Способ по любому из пп. 1–3, дополнительно включающий в себя следующий этап:

определяют функцию частотной развертки свип-сигнала для одного или более источников из первого и второго наборов источников в зависимости от удалений для одного или более источников.

5 5. Способ по п. 4, дополнительно включающий в себя следующий этап:

увеличивают длительность свип-сигнала для одного или более источников из второго набора источников в ответ на увеличение удаления для одного или более источников.

10 6. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий в себя следующий этап:

определяют геометрию системы наблюдений из множества сейсмических источников в зависимости от требуемых удалений одного или более источников из первого и второго наборов источников.

15

7. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий в себя следующий этап:

приводят в действие один или более источников из первого и второго наборов источников при помощи различных кодов, некоррелированных по меньшей мере до порогового уровня.

20

8. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий в себя следующий этап:

определяют первую и вторую зоны на основе геофизической модели.

25

9. Способ по п. 8, отличающийся тем, что геофизическая модель основана на параметрах, включающих в себя одно или более из: предполагаемой глубины подводных формаций, фильтрующих свойств подводных формаций или скорости распространения сейсмических волн.

30

10. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно включающий в себя следующий этап:

приводят в действие один или более источников из первого набора источников в соответствии с первой схемой активации; и

35

приводят в действие один или более источников из второго набора источников в соответствии со второй схемой активации, причем согласно второй схеме активации один или более источников из второго набора источников

активируют реже по времени или расстоянию, чем один или более источников из первого набора источников.

11. Способ по п. 10, дополнительно включающий в себя следующий этап:

5 активируют источники из второго набора источников с использованием второй длительности свип-сигнала, которая больше, чем первая длительность свип-сигнала, используемая для источников из первого набора источников.

12. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно

10 включающий в себя следующий этап:

буксируют по меньшей мере часть первого набора источников и по меньшей мере часть второго набора источников при помощи различных судов.

13. Способ по любому из предшествующих пунктов, дополнительно

15 включающий в себя следующий этап:

буксируют по меньшей мере один источник из первого и второго наборов источников при помощи судна, отличного от судна, выполняющего буксирование по меньшей мере части группы сейсмоприемных кос.

14. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем,

20 что первая зона представляет собой одно из: круговой области с пороговым радиусом от точки на группе сейсмоприемных кос, продолговатой области в пределах порогового расстояния от осевой линии группы сейсмоприемных кос или области в пределах порогового расстояния одного или более
25 местоположений, расположенных снаружи группы сейсмоприемных кос.

15. Способ по любому из предшествующих пунктов, отличающийся тем,

30 что приведение в действие второго набора источников включает в себя приведение в действие второго набора источников для излучения сигналов, имеющих большую амплитуду, чем амплитуда сигналов первого набора источников.

16. Система, содержащая:

35 группу сейсмоприемных кос, включающую в себя множество сейсмоприемных кос, каждая из которых содержит множество сейсмических датчиков;

буксировочное оборудование;

первый набор из одного или более вибрационных источников, выполненных с возможностью излучения волн в первом частотном диапазоне, причем буксировочное оборудование выполнено с возможностью буксирования первого набора источников внутри первой зоны, которая включает в себя
5 удаленности в пределах пороговой величины удаленности от одного или более местоположений относительно группы сейсмоприемных кос; и

второй набор из одного или более вибрационных источников, выполненных с возможностью излучения волн во втором частотном диапазоне, причем первый частотный диапазон включает в себя более высокие частоты, чем
10 второй частотный диапазон, и причем буксировочное оборудование выполнено с возможностью буксирования источников из второго набора источников во второй зоне, которая включает в себя удаленности, большие, чем пороговая величина удаленности от одного или более местоположений.

15 17. Система по п. 16, дополнительно содержащая:

одно или более судов, содержащих буксировочное оборудование, выполненное с возможностью буксирования части источников и датчиков.

18. Система по п. 16 или 17, дополнительно содержащая:

20 управляющее оборудование, выполненное с возможностью расположения множества сейсмических датчиков в соответствии с геометрией системы наблюдений, определяемой в зависимости от требуемых удаленностей одного или более источников из первого и второго наборов источников.

25 19. Система по любому из пп. 16–18, отличающаяся тем, что первый и второй частотные диапазоны являются взаимно исключающими.

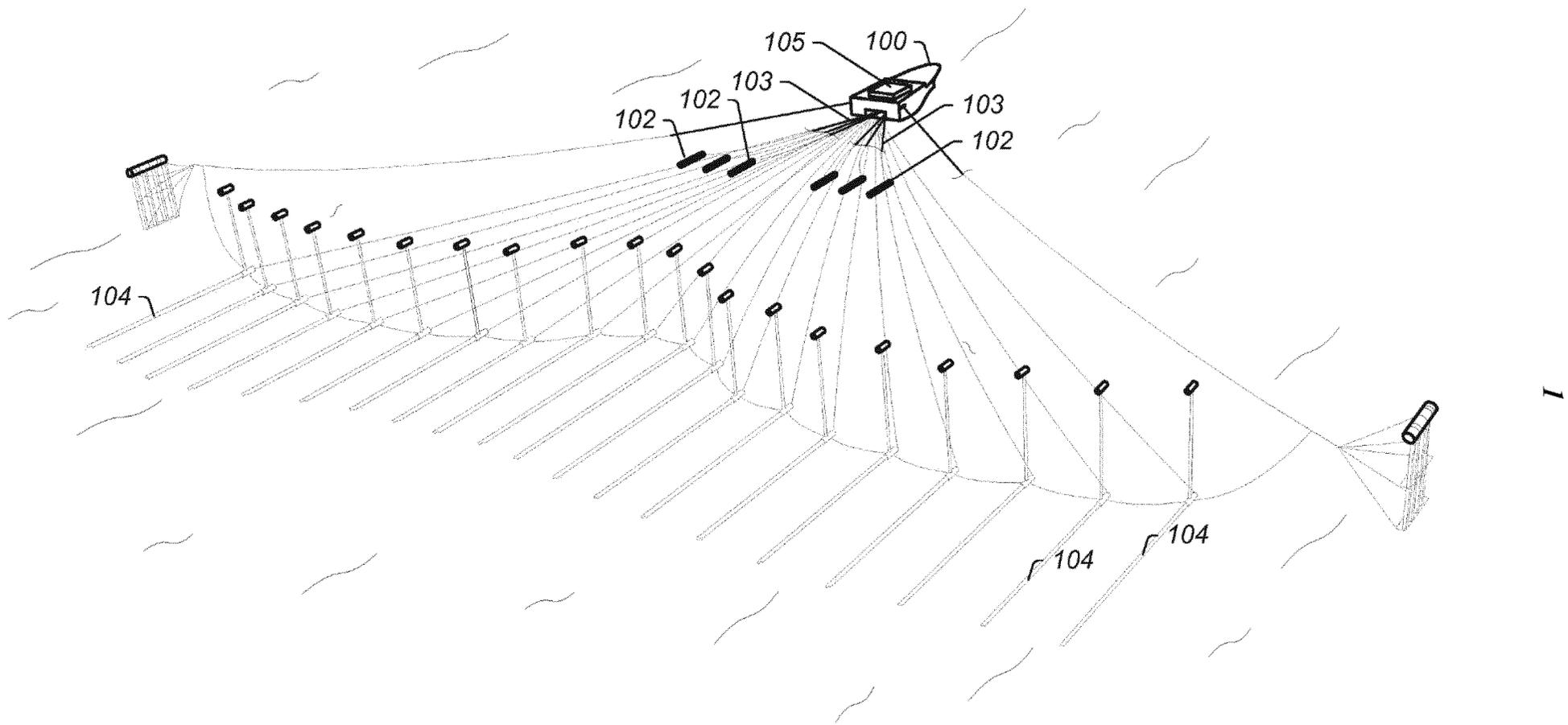
20. По меньшей мере один долговременный машиночитаемый носитель данных, содержащий хранящиеся на нем инструкции, выполнимые одним или
30 более вычислительными устройствами для осуществления операций, включающих в себя следующее:

приводят в действие первый набор из одного или более вибрационных источников, для излучения волн в первом частотном диапазоне, причем первый набор источников буксируют внутри первой зоны, которая включает в себя
35 удаленности в пределах пороговой величины удаленности от одного или более местоположений относительно группы сейсмоприемных кос; и

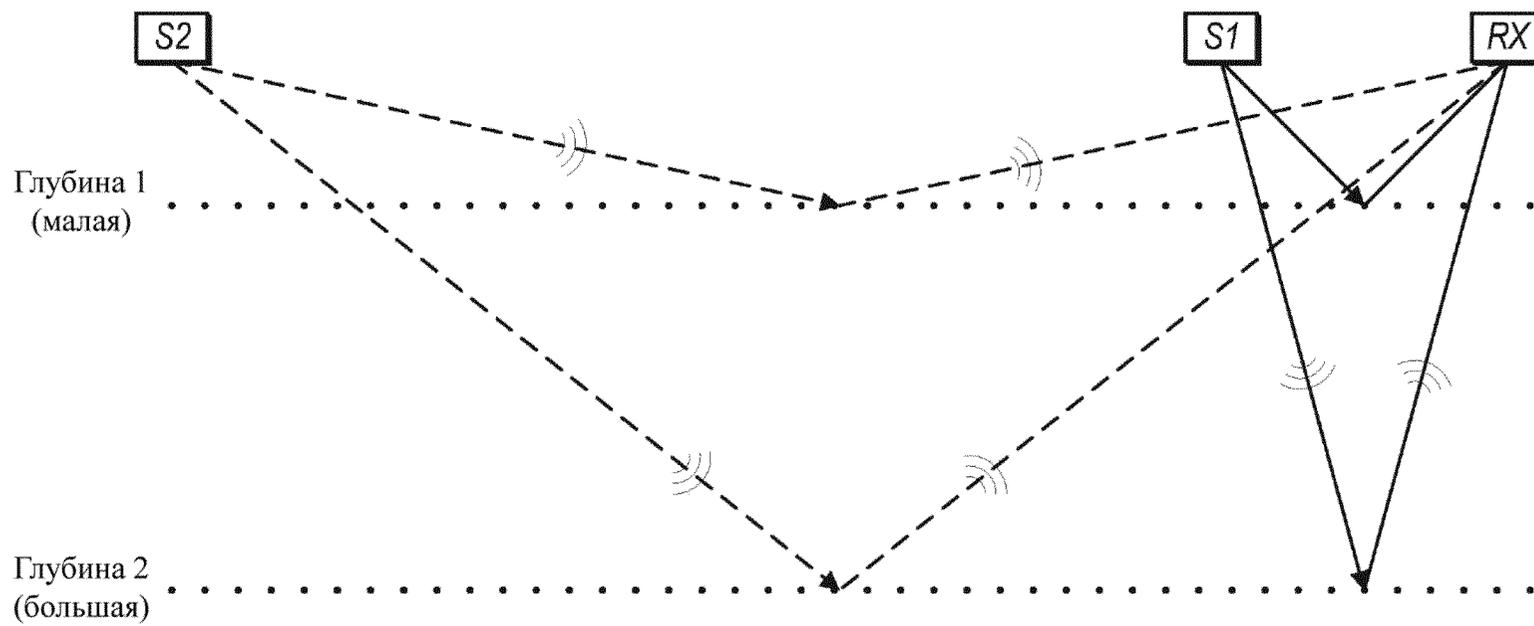
приводят в действие второй набор из одного или более вибрационных источников, для излучения волн во втором частотном диапазоне, причем второй набор источников буксируют во второй зоне, которая включает в себя удаления, большие, чем пороговая величина удаления от одного или более местоположений, и причем первый частотный диапазон включает в себя более высокие частоты, чем второй частотный диапазон;

записывают при помощи множества сейсмических датчиков сигналы, отраженные от одной или более подводных формаций, на основе волн, излучаемых первым и вторым наборами из одного или более вибрационных источников; и

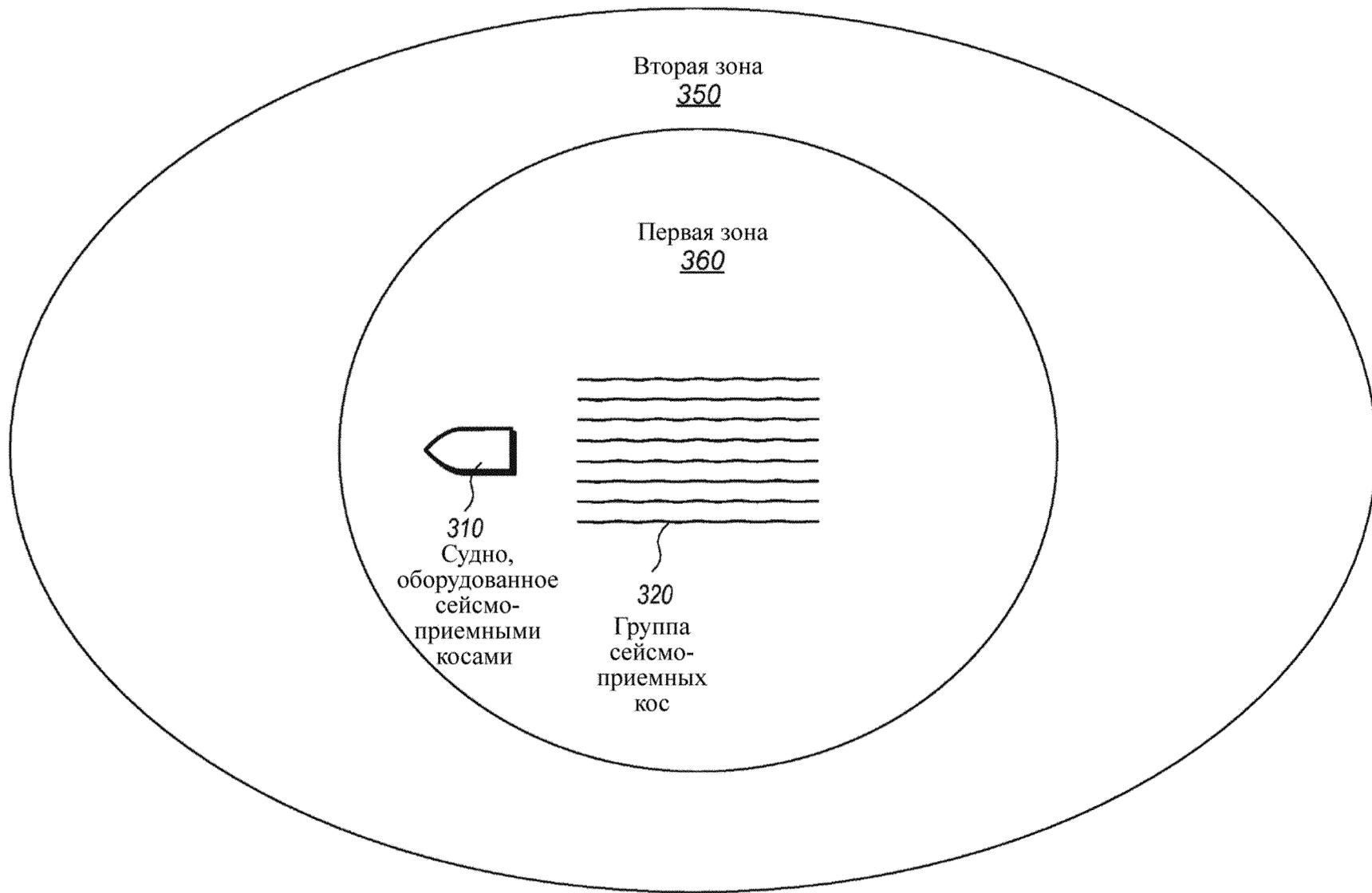
сохраняют записанные сигналы на материальном машиночитаемом носителе данных.



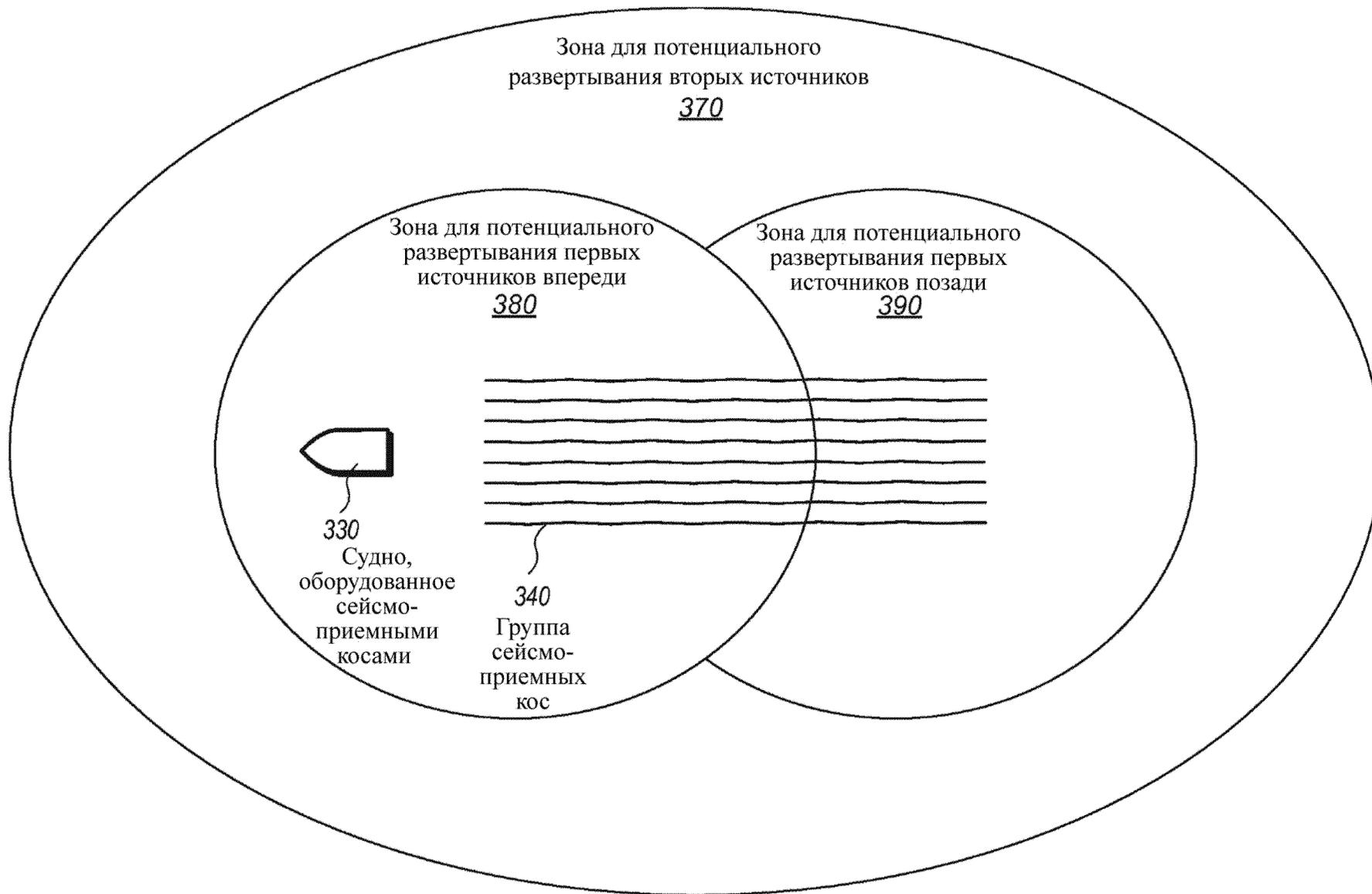
ФИГ. 1



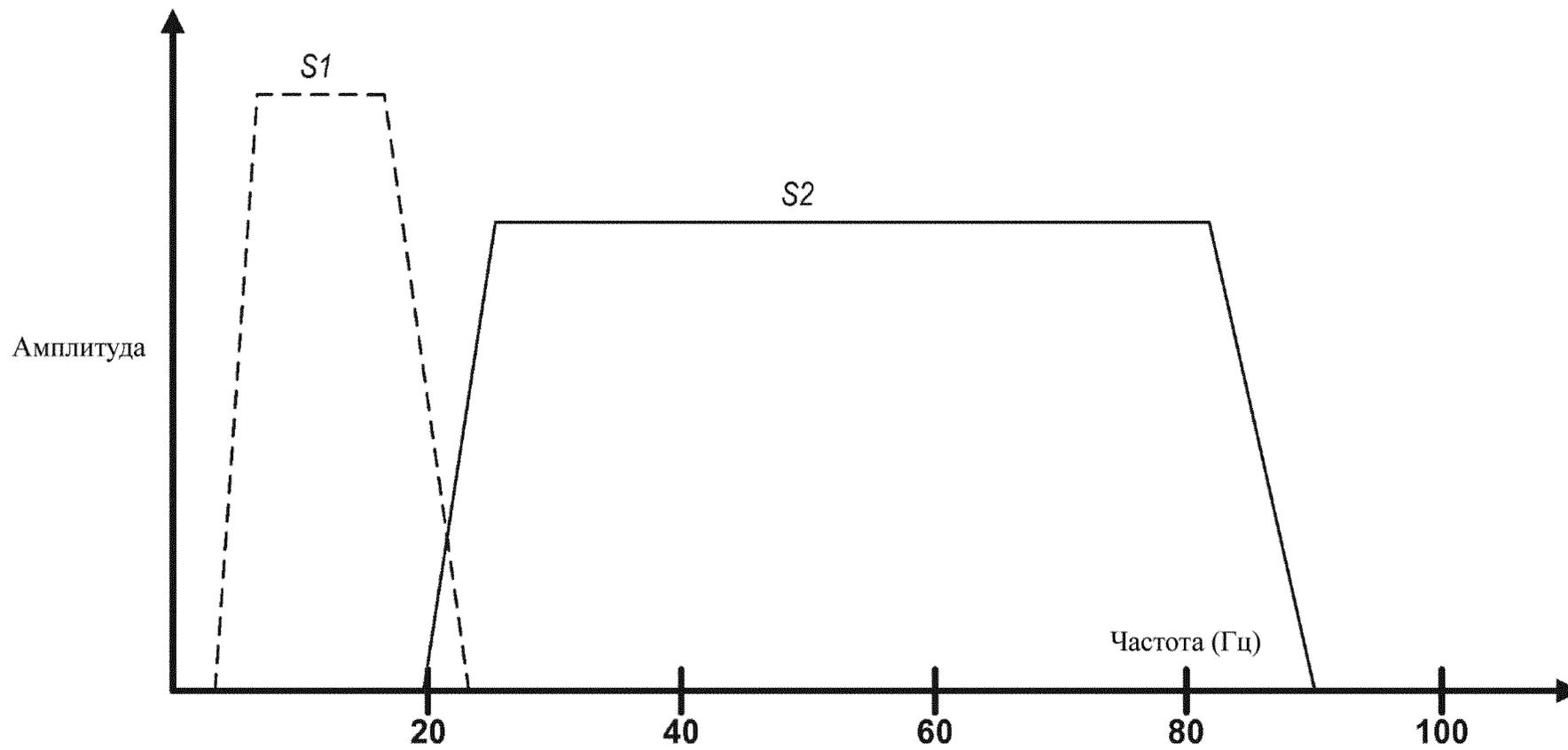
ФИГ. 2



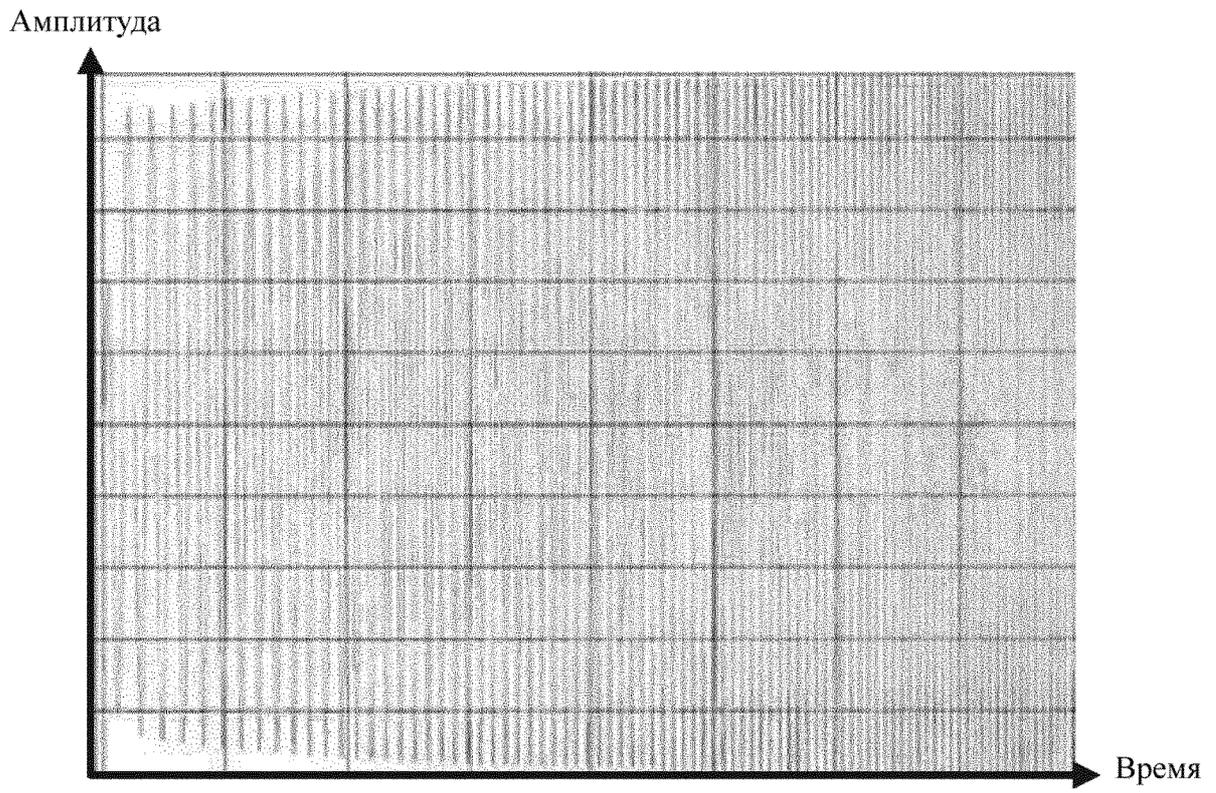
ФИГ. 3А



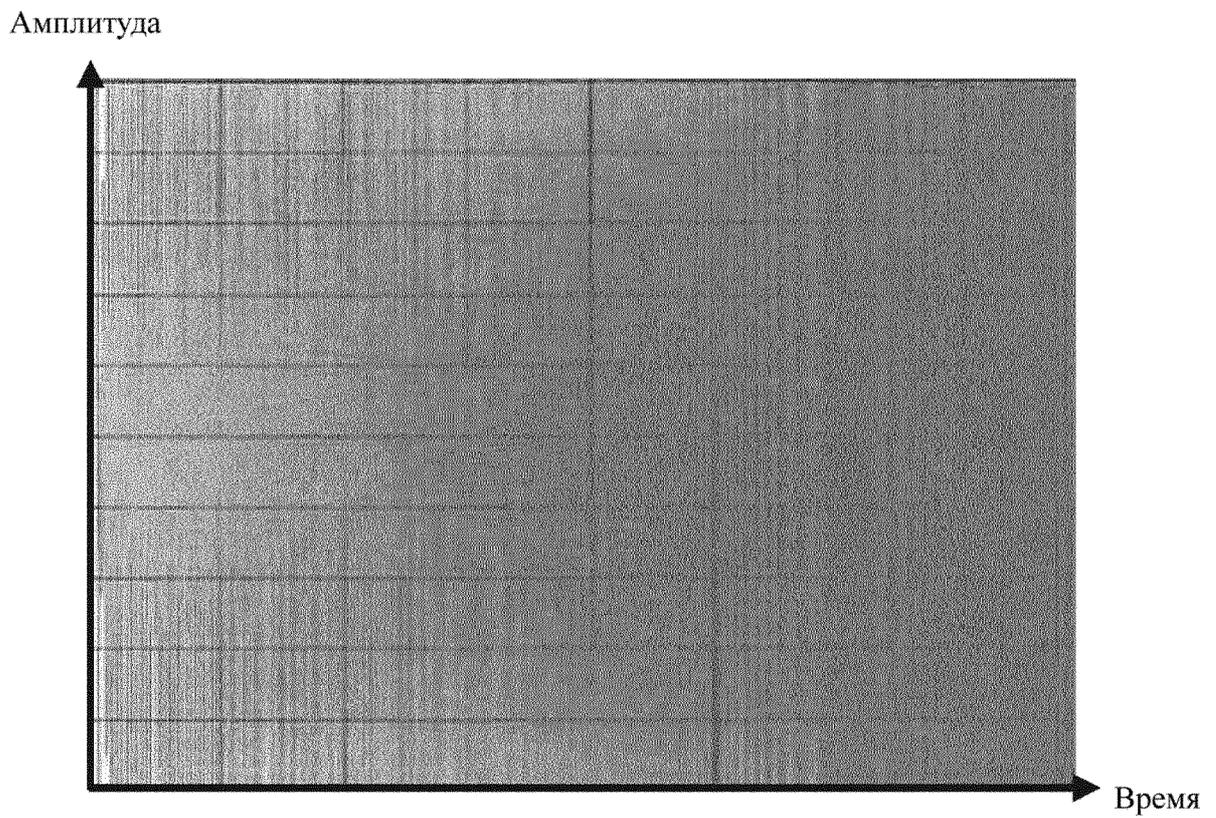
ФИГ. 3В



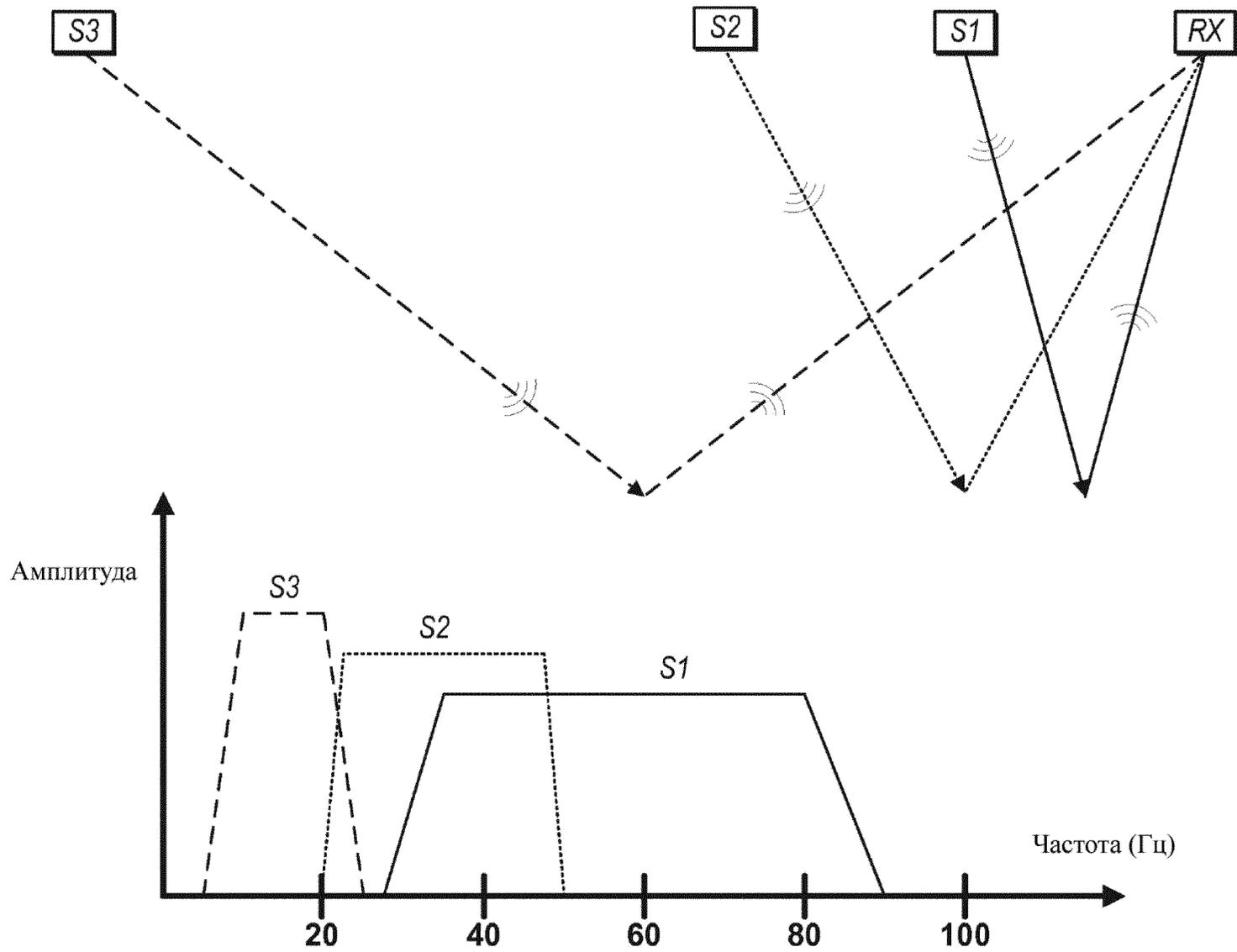
ФИГ. 4А



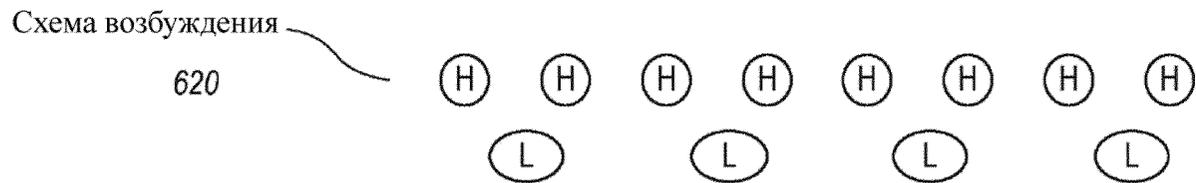
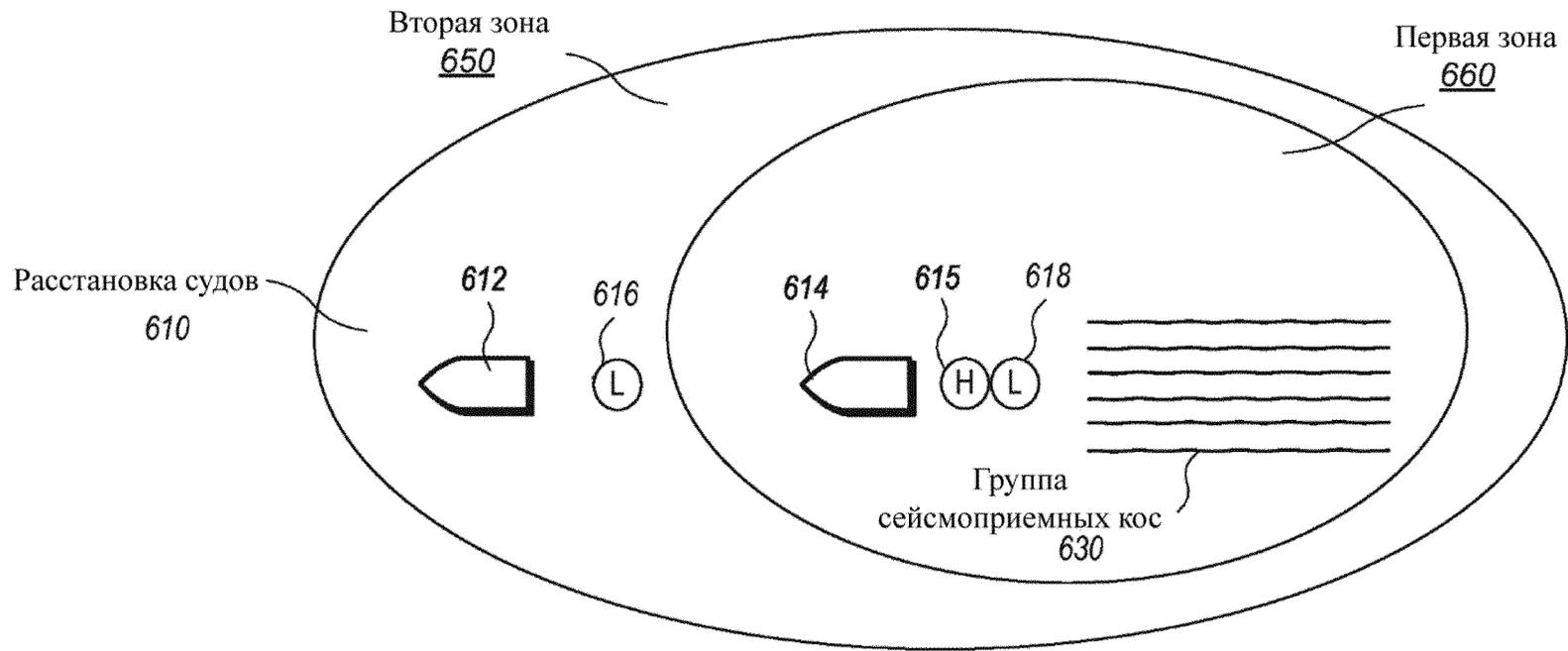
ФИГ. 4В



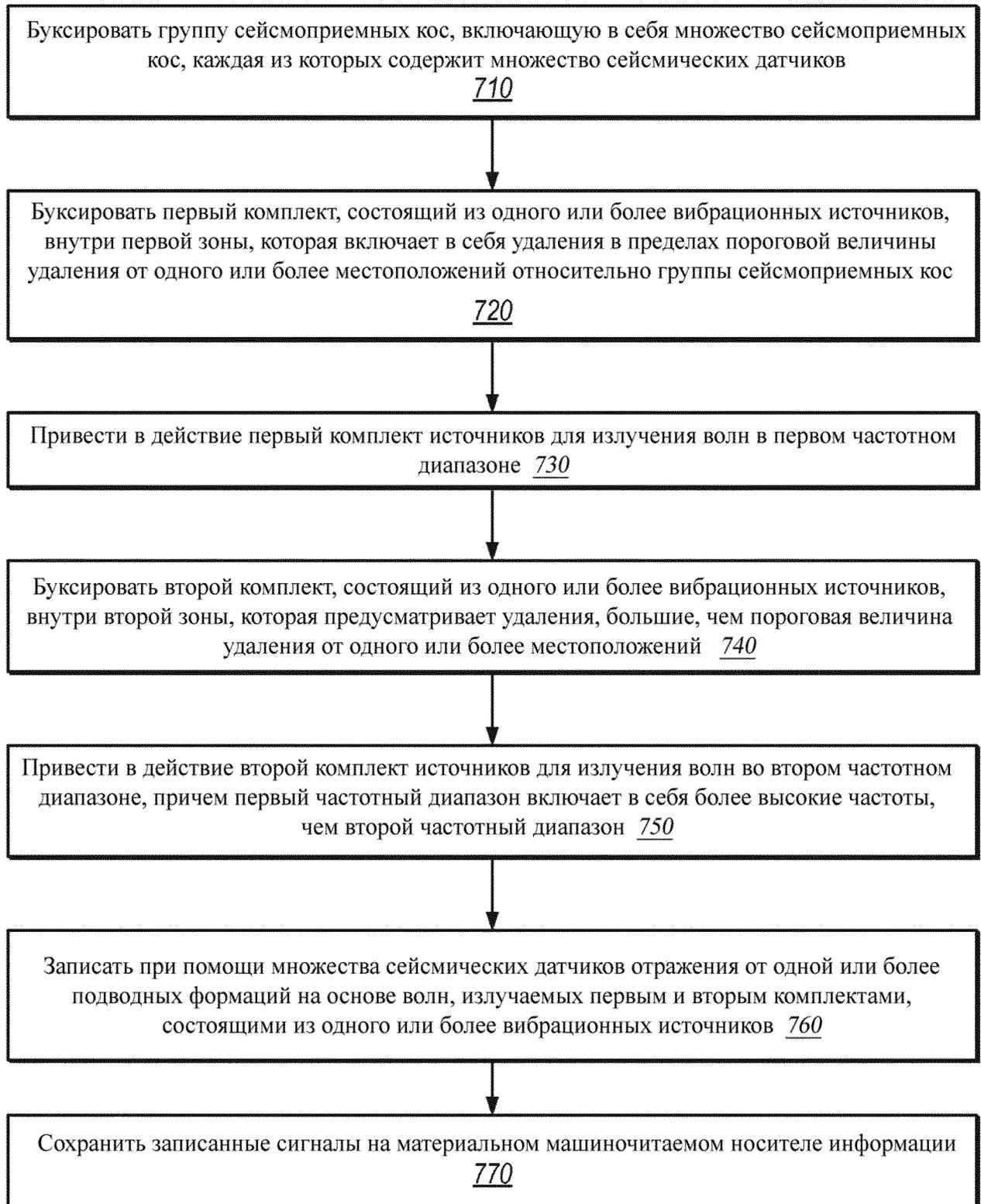
ФИГ. 4С



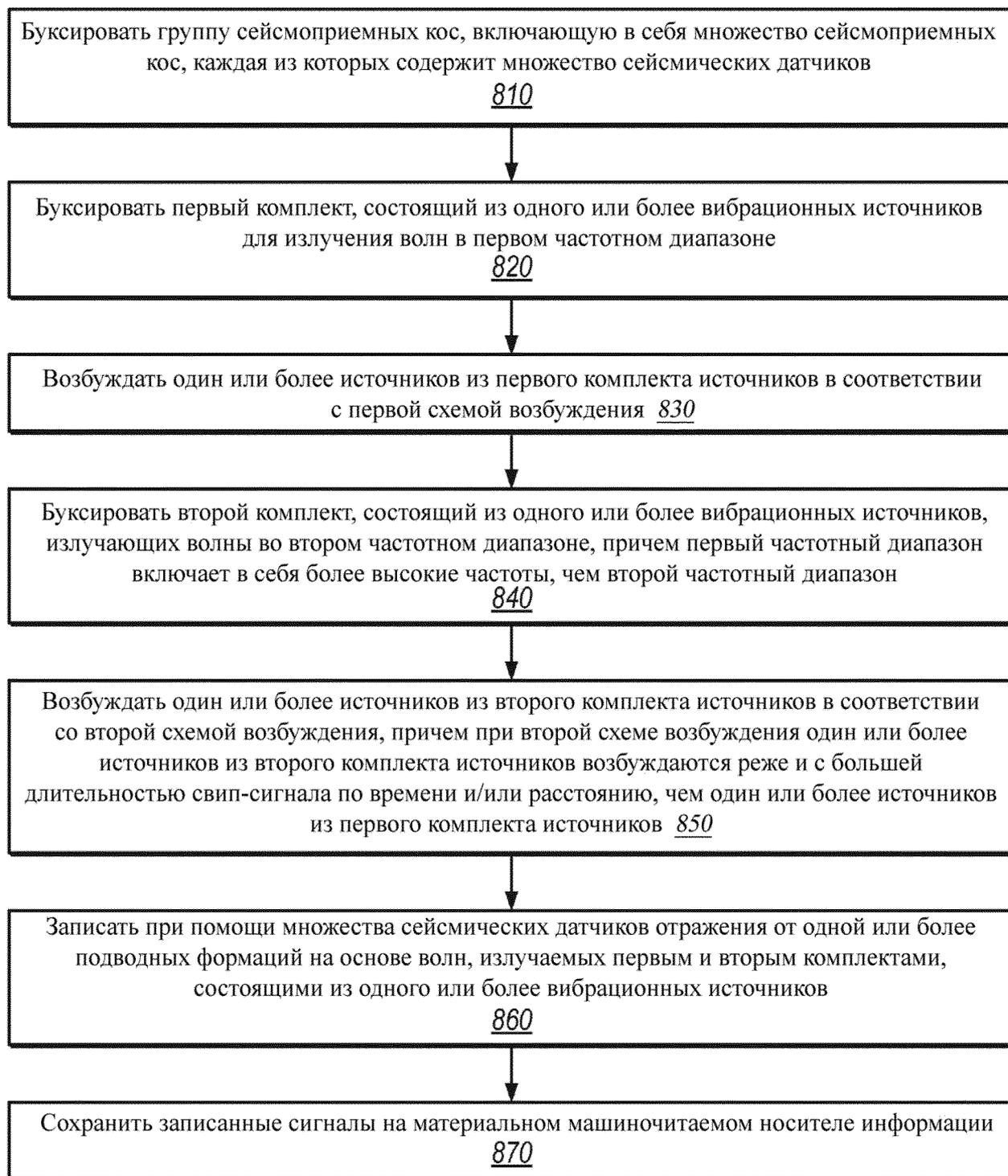
ФИГ. 5



ФИГ. 6



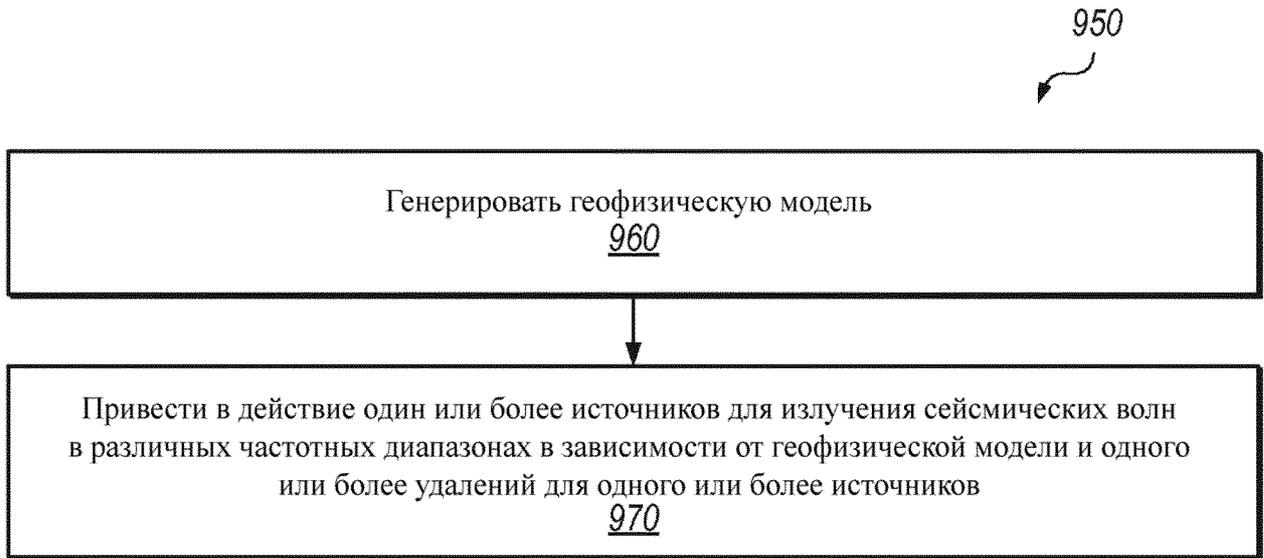
ФИГ. 7



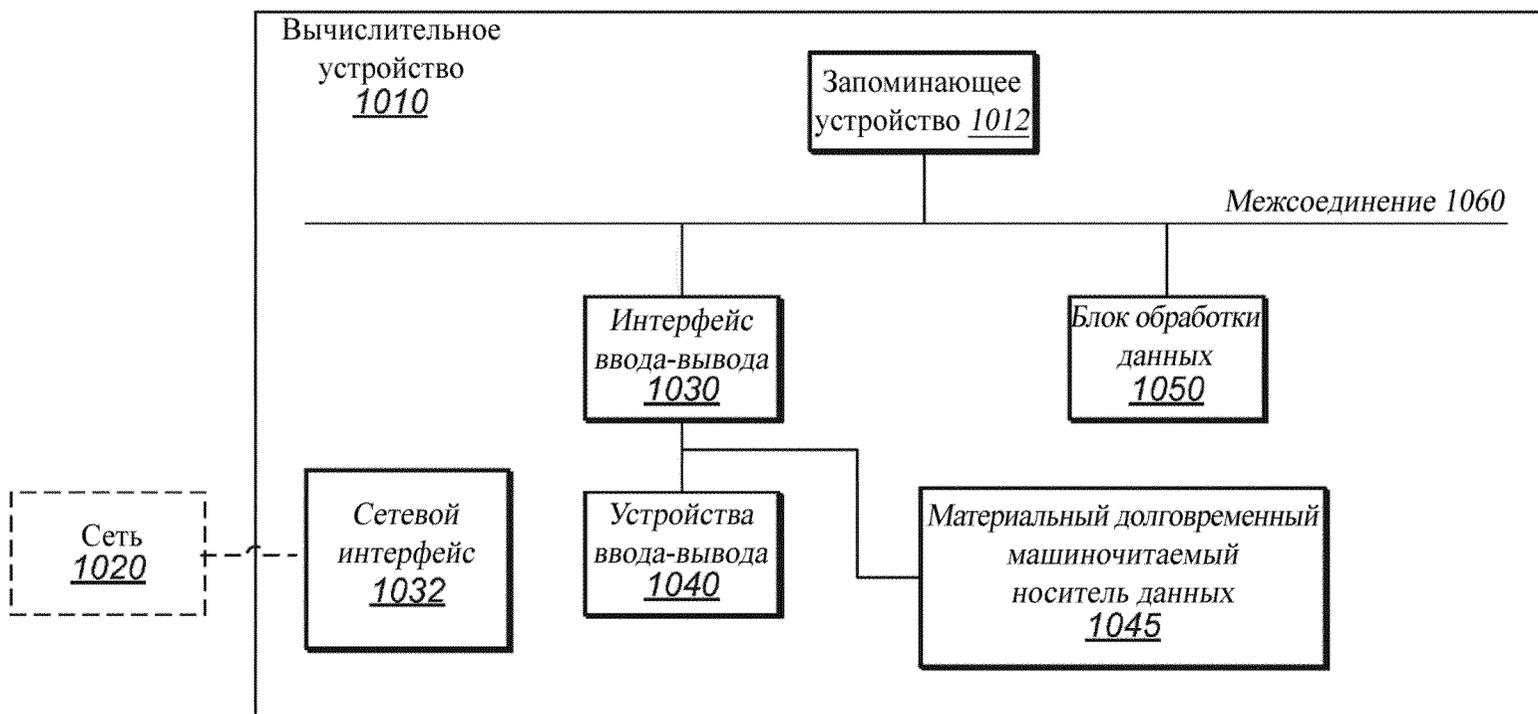
ФИГ. 8



ФИГ. 9А



ФИГ. 9В



ФИГ. 10