

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036281**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.10.21

(51) Int. Cl. **G01V 1/13 (2006.01)**

(21) Номер заявки
201691879

(22) Дата подачи заявки
2015.01.22

(54) **АНАЛИТИЧЕСКИ СОЗДАННЫЕ РАСПИСАНИЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СЪЕМКАХ СО СРАБАТЫВАЮЩИМИ ПО СХЕМЕ И СИНХРОННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ**

(31) **61/930,211**

(32) **2014.01.22**

(33) **US**

(43) **2017.03.31**

(86) **PCT/US2015/012505**

(87) **WO 2015/112746 2015.07.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БиПи КОРПОРЕЙШН НОРД
АМЕРИКА ИНК. (US)**

(56) **WO-A1-2012078978
US-A1-2013155810**

RAY ABMA ET AL.: "Popcorn shooting: Sparse inversion and the distribution of airgun array energy over time", SEG TECHNICAL PROGRAM EXPANDED ABSTRACTS 2013, 19 August 2013 (2013-08-19), pages 31-35, XP055194149, DOI: 10.1190/segam2013-0592.1, Section: "Sparse inversion for signal reconstruction"

(72) Изобретатель:
Абма Реймонд Ли, Росс Аллан (US)

(74) Представитель:
**Гизатуллина Е.М., Угрюмов В.М.,
Карпенко О.Ю., Строкова О.В. (RU)**

(57) В соответствии с одним вариантом осуществления предлагается система и способ сбора сейсмических данных с использованием заранее заданной схемы возбуждения источников, этот способ предназначен для управления параметрами результирующего сейсмического сигнала. Один вариант осуществления использует группу источников сейсмических колебаний (или, в более общем случае, любой набор управляемых источников) для создания серии разнесенных во времени возбуждений источников, причем интервал между такими возбуждениями и их количество используют для формирования результирующего сигнала. В одном способе построения свип-сигналов пушки срабатывают с частотой, увеличивающейся с течением времени (уменьшающимся промежутком времени). Другие схемы могут быть созданы путем уменьшения частоты возбуждения с течением времени или путем сочетания указанных схем. В одном примере осуществления скорость увеличения или уменьшения частоты возбуждения в разных схемах будет отличаться.

B1**036281****036281****B1**

Ссылка на родственные заявки

Согласно настоящей заявке испрашивается приоритет в соответствии с предварительной заявкой на выдачу патента США № 61/930211, поданной 22 марта 2014 г. и называющейся "Аналитически созданные расписания возбуждения для применения в съемках со срабатывающими по схеме и синхронными источниками", которая полностью включена в настоящий документ посредством ссылки. Настоящая заявка родственна предварительной заявке на выдачу патента США № 61/421274, поданной 9 декабря 2010 г.; заявке на выдачу патента США № 13/315947, поданной 9 декабря 2011 г., которая называется "Способ и система сейсмической съемки"; предварительной заявке на выдачу патента США № 61/503407, поданной 30 июня 2011 г., которая называется "Способы сейсмической съемки для применения на море"; заявке на выдачу патента США № 13/315851, поданной 9 декабря 2011 г. Каждая из вышеупомянутых заявок на выдачу патента полностью включена в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к общему предмету сейсмических исследований и наблюдений и, в частности, к способам регистрации сейсмических и других сигналов, которые характеризуют геологическую среду для целей сейсморазведки и/или сейсмического мониторинга.

Предшествующий уровень техники изобретения

Сейсмическая съемка представляет собой попытку получить изображение или карту геологической среды земли, для чего в геологическую среду посылают акустические волны и регистрируют отражения, которые возвращаются от расположенных там слоев горных пород. Источником нисходящих акустических волн на суше могут быть, например, взрывы или сейсмические вибраторы, на море - пневматические сейсмические источники (пневмопушки). Во время сейсмической съемки источник волн помещают в разные местоположения у поверхности земли, над изучаемой геологической структурой. Каждый раз, когда источник срабатывает, он генерирует сейсмический сигнал, который проходит вниз через землю. Затем отражения этого сигнала регистрируют в множестве разных местоположений на поверхности. После этого сочетание из множества источников и приемников комбинируют для получения почти непрерывного разреза геологической среды, его длина может составлять многие мили. При двумерной (2D) сейсмической съемке местоположения регистрации обычно располагают вдоль одной линии, а при трехмерной (3D) съемке местоположения регистрации распределены на поверхности, образуя сетку. Проще говоря, можно считать, что сейсмический профиль 2D дает картину земных слоев в сечении (вертикальный срез) в том виде, как они расположены непосредственно под местоположениями регистрации. В результате 3D съемки получают куб данных или объем, который, по меньшей мере концептуально, является трехмерной картиной геологической среды, находящейся под участком съемки. В действительности и 2D, и 3D съемки исследуют некоторый объем земли, который находится под участком, охваченным съемкой. Наконец, 4D съемка (или сейсмический мониторинг) - это съемка, при которой регистрацию выполняют на одном участке в разное время - дважды или несколько раз. Очевидно, что при сопоставлении последовательных изображений геологической среды (в предположении, что учтены различия в форме импульса источника, приемника, регистрирующей аппаратуре, а также внешние помехи и пр.) наблюдаемые изменения будут обусловлены изменениями в геологической среде.

Сейсмическая съемка состоит из очень большого числа отдельных сейсмических записей или трасс. Цифровые отсчеты на трассах сейсмических данных обычно расположены с интервалом 0,002 с (2 миллисекунды или мс), однако часто используют интервалы дискретизации 4 и 1 мс. Типичная длина трассы составляет от 5 до 16 с, что при интервале дискретизации 2 мс соответствует 2500-8000 отсчетов. Обычно каждая трасса регистрирует одно срабатывание сейсмического источника, поэтому каждому срабатыванию действующей пары источник-приемник соответствует одна трасса. В типичной 2D съемке обычно бывает несколько десятков тысяч трасс, а в 3D съемке количество отдельных трасс может достигать многих миллионов.

При сейсмических съемках группа морских источников (часто это группа пневмопушек) состоит из множества одиночных блоков, которые буксируют за одним или несколькими судами, перемещающимся на участке работ. Эти блоки (т.е. пневмопушки, гидропушки, электроискровые источники, бумеры, виброисточники, инфразвуковые "сирены" и пр.) обычно подвешивают в ряд под надувным бумом и в таком упорядоченном виде буксируют. Как правило, при глубоководных сейсмических съемках под один буй помещают по 6-15 пушек.

В последнее время в морских сейсмических исследованиях представляет интерес использование методов по так называемой системе "попкорн" (более подробно она описана ниже в настоящем документе). Однако для использования потенциала, которым могут обладать съемки такого типа, при их проектировании учитывают некоторые соображения, отличные от традиционных сейсмических съемок.

Следует отметить и помнить, что последующее описание, а также прилагаемые чертежи не следует рассматривать как ограничение формулы изобретения представленными и описанными примерами (или вариантами осуществления). Это так, поскольку специалисты в области, к которой относится настоящее описание, смогут разработать другие варианты этого описания в пределах прилагаемой формулы.

Краткое раскрытие изобретения

В соответствии с одним аспектом предлагается система и способ морской сейсморазведки, которые

позволяют использовать источники сейсмических колебаний более эффективно, чем это было возможно ранее, и это обеспечивает средства управления параметрами (например, частотой, максимальной амплитудой и пр.) схемы типа попкорн, которая определяет возбуждение источников путем настройки момента и состав подгрупп срабатывающих источников.

В соответствии с одним вариантом осуществления предлагается способ сбора сейсмических данных с использованием заранее заданной схемы возбуждения источников, который предназначен для управления параметрами результирующего сейсмического сигнала. Один вариант осуществления использует группу источников сейсмических колебаний (или, в более общем случае, любой набор управляемых источников) для создания серии разнесенных (во времени) возбуждений источников, причем интервал между такими возбуждениями и их количество используют для формирования результирующего сигнала. Такую схему возбуждения можно рассматривать как аналог свип-сигнала Вибросейса. В одном способе создания таких свип-сигналов срабатывание пушек будет происходить с частотой, которая возрастает с течением времени, что можно рассматривать как сходство с сигналом "свип-вверх" (up-sweep) Вибросейса. Другие схемы могут быть созданы путем уменьшения частоты возбуждения с течением времени или путем сочетания указанных схем. В одном примере осуществления скорость увеличения или уменьшения частоты возбуждения в разных схемах будет отличаться. При проектировании схем одна общая цель может состоять в сведении к минимуму пикового импульса (выброса) при одновременном снижении величины корреляции любой одной схемы с любой другой схемой. Другая цель может состоять в получении схем возбуждения, которые не имеют значительных (например, искажающих) узких "впадин" в результирующем сейсмическом сигнале.

В соответствии с одним вариантом осуществления предлагается способ сейсморазведки на углеводороды в области геологической среды земли; в этом способе предлагается набор источников сейсмических колебаний, причем упомянутый набор источников сейсмических колебаний включает в себя некоторое количество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп имеет связанный с ней один или более источников сейсмических колебаний; этот способ включает в себя выбор аналитической схемы возбуждения; назначение каждой из упомянутых подгрупп разных времен срабатывания в пределах упомянутой аналитической схемы возбуждения, тем самым формирование расписания возбуждения, которое имеет соответствующее некоторое количество связанных с ним интервалов возбуждения; размещение упомянутого набора источников сейсмических колебаний в первом местоположении вблизи от этой области геологической среды; возбуждение каждой из упомянутых подгрупп в соответствии с упомянутым расписанием возбуждения; регистрацию сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутых подгрупп; выполнение стадий (d) и (e) в некотором количестве разных местоположений вблизи от этой области геологической среды земли, посредством этого осуществляют сейсмическую съемку по системе "попкорн"; восстановление упомянутых зарегистрированных сейсмических данных упомянутой сейсмической съемки по системе "попкорн", тем самым получают некоторое количество сейсмических трасс для изображения по меньшей мере части этой области геологической среды земли.

В соответствии с еще одним вариантом осуществления предлагается способ сейсморазведки на углеводороды в области геологической среды земли, в котором предлагается набор источников сейсмических колебаний, причем упомянутый набор источников сейсмических колебаний включает в себя некоторое количество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп имеет связанный с ней один или более источников сейсмических колебаний; этот способ включает в себя определение аналитической схемы возбуждения, которая имеет некоторое количество связанных с ней интервалов возбуждения; назначение каждой из упомянутых подгрупп разных времен срабатывания в пределах упомянутой аналитической схемы возбуждения, тем самым формируют расписания возбуждения; размещение упомянутого набора источников сейсмических колебаний в первом местоположении вблизи от этой области геологической среды земли; возбуждение каждой из упомянутых подгрупп в соответствии с упомянутым расписанием возбуждения; регистрацию сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутых подгрупп; выполнение этой процедуры в некотором количестве разных местоположений вблизи от этой области геологической среды земли, посредством этого осуществляют сейсмическую съемку по системе "попкорн"; восстановление упомянутых зарегистрированных сейсмических данных упомянутой сейсмической съемки по системе "попкорн", тем самым получают некоторое количество сейсмических трасс для изображения по меньшей мере части этой области геологической среды земли.

Сейсмическая система, пригодная для использования в одном варианте осуществления настоящего изобретения, включает в себя группу источников сейсмических колебаний, которая включает в себя некоторое количество источников сейсмических колебаний и контроллер, функционально связанный с группой источников сейсмических колебаний, причем этот контроллер запрограммирован для возбуждения этого некоторого количества источников сейсмических колебаний в соответствии с одной или несколькими аналитическими схемами возбуждения.

Другой вариант осуществления включает в себя способ сейсморазведки на углеводороды в области геологической среды земли, в котором предлагается набор источников сейсмических колебаний, причем упомянутый набор источников сейсмических колебаний включает в себя некоторое количество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп имеет связанный с ней один или более источников сейсмических

колебаний; этот способ включает в себя выбор схемы возбуждения, которая задает порядок возбуждения каждой из упомянутых подгрупп и интервалы времени между последовательными срабатываниями подгрупп, причем длина упомянутых промежутков времени между последовательными срабатываниями подгруппы либо монотонно увеличивается, либо монотонно уменьшается; размещение упомянутого набора источников сейсмических колебаний в первом местоположении вблизи от этой области геологической среды земли; возбуждение каждой из упомянутых подгрупп в соответствии с упомянутой схемой срабатывания; регистрацию сейсмических данных по мере возбуждения каждой из упомянутых подгрупп; выполнение этой процедуры в некотором количестве разных местоположений вблизи от этой области геологической среды земли, посредством этого осуществляют сейсмическую съемку по системе "попкорн"; восстановление упомянутых зарегистрированных сейсмических данных упомянутой сейсмической съемки по системе "попкорн", тем самым получают некоторое количество сейсмических трасс для изображения по меньшей мере части этой области геологической среды земли.

Конечно, в пределах объема настоящего изобретения возможны другие варианты и разновидности осуществления, и они легко могут быть сформулированы специалистами в данной области техники на основании представленного здесь раскрытия.

Вышеизложенное в общих чертах описывает наиболее важные признаки раскрываемого здесь изобретения настолько, чтобы можно было более точно понять нижеследующее подробное описание и оценить вклад авторов настоящего изобретения. Применение настоящего изобретения не должно ограничиваться особенностями строения или расположением компонент, изложенными в последующем описании или проиллюстрированными на чертежах. Напротив, настоящее изобретение допускает другие примеры осуществления, а также использования и выполнения разными другими способами, прямо не перечисленными в настоящей заявке. Наконец, следует понимать, что используемые в настоящей заявке формулировки и термины служат целям описания и их не следует рассматривать как ограничения, если только описание изобретения специально таким образом не ограничивает изобретение.

Краткое описание фигур

Другие цели и преимущества вариантов осуществления станут очевидными после прочтения последующего подробного описания со ссылками на чертежи, где

на фиг. 1 проиллюстрирована общая среда обработки;

на фиг. 2 представлена операционная логика, пригодная для использования с одним вариантом осуществления;

на фиг. 3 продемонстрирован пример морской среды;

на фиг. 4 представлена операционная логика, пригодная для использования с одним вариантом осуществления;

на фиг. 5 - схема времен возбуждения, пригодная для использования в одном варианте осуществления;

на фиг. 6 - кусочно-монотонная схема возбуждения, пригодная для использования в одном варианте осуществления.

Подробное раскрытие изобретения

В то время как настоящее раскрытие пригодно для осуществления изобретения во множестве разных форм, на чертежах показаны и далее будут подробно описаны некоторые конкретные варианты осуществления. Следует понимать, однако, что настоящее раскрытие изобретения следует рассматривать как пояснение принципов этого изобретения на примере, и оно не преследует цели ограничить раскрытие конкретными примерами осуществления или описанными здесь алгоритмами.

Если в настоящем документе не указано иное, термин "группа" будет использован для обозначения всего согласованного набора источников, которые должны быть возбуждены. Эти источники могут быть возбуждены одновременно все, последовательно (на расстоянии друг от друга или в разное время), случайным образом и пр. В случае морской съемки их может буксировать одно или несколько судов. "Подгруппа" - это набор из одного или нескольких отдельных источников в группе, которые должны быть возбуждены одновременно. В примере фиг. 3 при одновременном возбуждении всех источников 350 они будут составлять подгруппу группы 330.

Использованный в настоящем документе термин "источник" следует понимать, в зависимости от контекста, как ссылку на отдельное устройство-источник, несколько устройств-источников в подгруппе или и то и другое.

Обратите внимание, что для целей настоящего раскрытия термины "схема возбуждения", "расписание возбуждения" и пр. будут использованы для обозначения времен/моментов срабатывания источников в группе. Обычно схема возбуждения будет обозначать, что все источники должны срабатывать одновременно. Однако в соответствии с одним вариантом осуществления каждый из источников может срабатывать отдельно. В других случаях одни источники будут срабатывать по отдельности, а другие - группами. В некоторых вариантах осуществления схема возбуждения будет состоять из списка источников в группе и относительных времен срабатывания для каждого из них, где "источник" может быть подгруппой из нескольких физических устройств, генерирующих сигнал.

Для целей настоящего изобретения термины "продолжительность схемы возбуждения", "продолжи-

тельность расписания возбуждения" и пр. обозначают период времени, в течение которого источники срабатывают согласно соответствующей схеме возбуждения. В конкретных примерах продолжительности схемы возбуждения составляют приблизительно от 1 до 10 с, и потенциально может быть использован каждый интервал в этом промежутке. Заметим, что в некоторых вариантах осуществления предполагается возможность использования нескольких продолжительностей схемы возбуждения, причем изменение продолжительности происходит в каждой точке возбуждения источника, в каждой второй точке возбуждения источника и пр. В некоторых вариантах осуществления может быть желательно выбирать разные продолжительности схем возбуждения для соседних возбуждений источников.

Кроме того, используемые в настоящем документе термины "интервалы возбуждения", "интервалы между источниками" и "расстояние между источниками" будут относиться к периодам времени между последовательными возбуждениями источников в схеме возбуждения. Например, "первый" интервал между источниками будет обозначать период времени между срабатываниями первого и второго источников, "второй" интервал между источниками будет обозначать период времени между срабатываниями второго и третьего источников и пр., где "источники" следует понимать в широком смысле как подгруппу из нескольких устройств-источников, которые срабатывают одновременно. Данный интервал между источниками может быть равен нулю, но некоторое их количество может отличаться от нуля.

Кроме того, для целей настоящего раскрытия под "аналитической" схемой возбуждения понимают схему, которая имеет монотонно увеличивающиеся, монотонно уменьшающиеся или кусочно-монотонные интервалы возбуждения; это более подробно описано ниже.

Синхронная работа источников в морских условиях - это, например, способ повышения плотности пространственной дискретизации воздействий источников ("взрывов") в сейсмических съемках без снижения скорости судна, которое буксирует источники. В типичном примере синхронного срабатывания источников срабатывание групп источников может происходить с интервалом, равным половине временного интервала обычной съемки. Это приводит к тому, что сейсмограммы перекрывают друг друга по времени, что обычно нежелательно при сейсмических наблюдениях.

Для целей настоящего раскрытия изобретения под наблюдениями с "синхронными источниками" подразумевают способ сбора сейсмических данных, при котором сигналы от двух или более последовательных срабатываний источников, от того же источника или другого источника перекрываются (фактически интерферируют) друг с другом. Рассматриваемый источник(и) может буксировать одно судно или разные суда. Под "самосинхронной работой источников" следует понимать случаи, когда один источник (включая группу отдельных источников) срабатывает достаточно быстро, так что более поздние отражения от первого срабатывания этого источника перекрываются по времени и фактически интерферируют с ранее пришедшими отражениями от одного или нескольких последующих срабатываний этого же или соседнего источника. В конкретном примере последовательные срабатывания источников с интервалом 5 с можно рассматривать как синхронные источники, если длина трассы (записи) превышает 5 с, например, составляет 10 с.

Используемый в настоящем документе термин "возбуждение по системе "попкорн" - это последовательное возбуждение источников в группе (или другом наборе источников) в течение некоторого периода времени в отличие от обычной практики одновременного срабатывания всех пушек в группе. Вообще говоря, у такого подхода есть три разновидности. Первая из них - возбуждение по системе "попкорн", когда источники перекрывают друг друга, но конкретный источник не перекрывает сам себя. Второй вариант возбуждения по системе "попкорн" - "попкорн" с самосинхронными источниками, при котором самого себя перекрывает один или более источников. Наконец, еще в одном варианте возбуждения по системе "попкорн" настоящая система и способ могут быть реализованы так, что одно судно с источниками (или, в более общем случае, больше, чем одна сеймопартия) "стреляет" на фоне другого.

Перекрывающиеся воздействия, которые в сейсмической записи находятся достаточно далеко друг от друга по времени, можно позднее разделить в ходе обработки в соответствии с описанными ниже способами, включая разделение при помощи инверсии. Некоторые разновидности системы наблюдений типа "попкорн" и изложенный в настоящем документе способ могут включать самосинхронную работу источников, но это не является необходимым условием.

Обратимся к фиг. 1, эта фигура содержит общее представление одного варианта осуществления и связанной с ним среды. Как показано, в общем случае проект 100 морской сейсмической съемки будет выполнен и оценен в соответствии со способами и с использованием алгоритмов (блок 140), изложенными в настоящем документе и, в частности, включающими аналитическое проектирование схем возбуждения. В конкретном примере это означает, что будет выбрана группа (или некоторое количество подгрупп) с двумя или более источниками сейсмических сигналов, которые будет буксировать за собой судно с источниками. Специалисты в данной области поймут как проектируются съемки и, в частности, как это может быть сделано, если требуется получить изображение определенного объекта в геологической среде.

В поле сейсмические данные будут собраны в соответствии с настоящим изобретением (блок 120). Как изложено в настоящем документе, отдельные источники в группе (или несколько источников, которые составляют подгруппу) будут возбуждены и будет выполнена регистрация в соответствии с задан-

ным расписанием, которое определяет когда будет использована конкретная схема возбуждения и момент использования такой схемы согласно проекту 110 съемки, причем во многих вариантах осуществления это будет происходить во время движения судна.

Предполагается, что в соответствии с одним вариантом осуществления подавляющее большинство возбуждений источников будут перекрывать одно или несколько других возбуждений (или перекрываться ими), включая некоторые случаи, где источники могут перекрывать сами себя (например, при самосинхронной работе источников). В некоторых случаях приемниками будут датчики, которые буксируют за судном с источниками или другим судном. В других случаях вместо буксируемых сейсмоприемных кос или вместе с ними могут быть использованы донные морские приемники.

Затем, и так обычно делают, выполняют некоторую первичную обработку для того, чтобы каждую сейсмическую запись поставить в соответствие с поверхностью или другим местоположением (блок 130). Это может быть выполнено в поле или в центре обработки данных. В любом случае используют компьютерную систему 150, которая может быть рабочей станцией, сервером, мейнфреймом, параллельным компьютером, объединенными в сеть компьютерами или рабочими станциями и пр.

Затем определяют срабатывания отдельных источников или подгрупп, их обрабатывают для получения кодированного сигнала. В соответствии с одним вариантом осуществления, который более подробно описан ниже, формы импульса каждого источника будут использованы для восстановления зарегистрированных данных в трассы, которые сопоставимы с традиционно создаваемыми трассами. В случае, когда используют самосинхронную работу источников, может понадобиться дополнительное разделение перекрывающихся воздействий в соответствии со способами, известными специалистам в данной области техники (например, при помощи разреженной инверсии). Алгоритмы, выполняющие деконволюцию и (если требуется) разделение сейсмических данных, обычно имеются на компьютере, который использует их посредством доступа к некоторому пространству на локальном или удаленном жестком диске или в другом хранилище (блок 140). Другие алгоритмы, полезные для обработки сейсмических данных, таким же образом будут доступны для центрального процессора 150, который может быть любым традиционным или нетрадиционным программируемым вычислительным устройством.

После определения и, при необходимости, разделения записей от разных источников сейсмических колебаний данные будут обработаны как кратко описано выше, причем это зависит от проекта съемки. В некоторых случаях возбуждения источников могут быть скомбинированы разными способами с тем, чтобы получить тот же эффект, что и одновременное возбуждение всей группы или набора источников, объединенных так, чтобы сфокусировать группу и усилить коэффициент отражения от конкретного объекта (например, путем регулирования направленности приема) или свести к минимуму влияние провалов в спектре. Результирующие записи данных будут сейсмическими записями, сопоставимыми с теми, что обычно регистрируют другими способами.

Результирующие сейсмические данные могут быть использованы любыми путями. Обычно данные обрабатывают и просматривают на дисплее компьютера, такого как у рабочей станции 170. Результаты сейсмической обработки могут быть использованы для построения карт или графиков сейсмических данных и/или сейсмических атрибутов 180 в соответствии со способами, широко известными специалистам в данной области.

Фиг. 2 содержит дополнительные подробности типичной последовательности сейсмической обработки, которую начинают со сбора 210 данных в соответствии с проектными соображениями настоящего раскрытия, затем выполняют редактирование 215, некоторую первичную обработку 220, подготовку 230 сигнала и построение изображения, построение 240 изображений разрезов или объемов, предварительную интерпретацию 250 сейсмических данных, дальнейшее улучшение 260 изображения в соответствии с целями исследования, расчет 270 атрибутов по обработанным сейсмическим данным, повторную интерпретацию 280 сейсмических данных (если требуется) и, наконец, определение 290 объекта под бурение. В одном варианте осуществления один аспект способа "попкорн" может быть реализован как часть блока 215. Заметим, что если один вариант осуществления изложенных здесь способов был реализован с использованием наземных или морских вибраторов, увязку вибраторов можно выполнить в этом блоке и, в некоторых случаях, как часть восстановления по системе "попкорн".

Фиг. 3 содержит иллюстрацию того, как один вариант осуществления может быть реализован на практике в морских условиях. В одном варианте осуществления одно или более сейсмических судов 310 будут буксировать в толще воды 320 некоторое количество приемных датчиков 332. Кроме того, по меньшей мере одно из судов 310 будет буксировать набор 330 сейсмических источников 340 и 350. Заметим, что источники 340/350 в наборе 330 могут быть разных размеров/мощности/частотного диапазона, и глубина их буксирования может быть неодинаковой. С другой стороны, все источники 340/350 в наборе могут быть одного размера/мощности/частотного диапазона, и тот факт, что на рисунке они изображены значками разного размера, не должен быть истолкован как ограничение настоящего раскрытия только группами источников разного размера. В некоторых вариантах осуществления дополнительные приемники 335 (например, донные морские приемники, приемники в стволе скважин для использования при вертикальном сейсмическом профилировании и пр.) будут размещены на дне 325 океана. Конечно, главная цель сейсмической съемки состоит в том, чтобы получить изображение строения геологической среды 324.

В примере на фиг. 3 каждый из отдельных источников 340 и 350 в наборе может иметь свое собственное, случайным образом созданное расписание возбуждения, независимое от других. В качестве другого примера источники на фиг. 3 могут быть сгруппированы в две подгруппы, и тогда будет необходимо разработать только два расписания возбуждения: одно для источников 340, другое для источников 350. Специалисты в данной области техники легко смогут составить разные сочетания источников, подгрупп и расписаний возбуждения, которые будут соответствовать существу изложенных здесь принципов.

В одном варианте осуществления один из способов проектирования схем "попкорн" (фиг. 4) связан с тем, что ниже мы называем "аналитическим" способом. В одном варианте осуществления и как в целом представлено на фиг. 4, процесс проектирования будет начинаться с определения количества и размеров доступных источников сейсмических колебаний, параметров объекта в геологической среде (например, глубина, падение, толщина/мощность, скорости и пр.) и другой информации, которую обычно рассматривают при планировании сейсмической съемки (блок 405). Способы определения в целом хорошего выбора параметров для традиционной сейсмической съемки хорошо известны специалистам в данной области техники.

Для целей настоящего раскрытия особенно важен выбор количества и размеров источников сейсмических колебаний (блок 410). Как будет более подробно обсуждаться ниже, такая информация об источниках будет использована в некоторых вариантах осуществления в связи с программой, которая генерирует синтетические сейсмические данные при выборе хорошей или наиболее подходящей схемы (или схем) возбуждения для использования в съемке. Кроме того, конечно, возможно, что начальный выбор количества и размеров источников сейсмических колебаний будет изменен после создания (или получения в результате полевых испытаний и пр.) и исследования таких синтетических данных. Таким образом, выбор параметров съемки следует рассматривать как потенциально итеративную процедуру, причем выбор некоторых параметров оказывает влияние на выбор других параметров или определяет его.

Далее, в одном варианте осуществления будет создано некоторое количество возможных расписаний возбуждения (блок 415). В некоторых вариантах осуществления цель будет состоять в том, чтобы управлять формой, распределением частот и/или другими параметрами сейсмического импульса путем настройки моментов срабатывания подгрупп в схеме возбуждения, т.е. посредством изложенного в документе аналитического подхода "попкорн". В некоторых вариантах осуществления схемы будут выбраны или не выбраны (блок 416) в соответствии с одним или несколькими следующими правилами:

Схемы возбуждения будут выбраны так, что промежутки времени между последовательными срабатываниями подгруппы будут монотонно уменьшаться. Таким образом, эту схему возбуждения можно считать в целом как "ускоряющую" срабатывания источников таким способом, который напоминает "свип-вверх" (up-sweep) Вибросейса. В других случаях схемы возбуждения будут спроектированы так, что интервалы между источниками будут монотонно увеличиваться (т.е. срабатывания источников будут "замедляться"). В других случаях может быть использована некоторая комбинация (например, увеличение, а следом за ним уменьшение).

При выборе из других приемлемых схем возбуждения может быть выбрана схема, которая дает наименьшую максимальную амплитуду сигнала источника (т.е. схема, которая дает наименьшую общую амплитуду источника).

Схемы возбуждения могут быть выбраны так, чтобы они не были слишком похожи друг на друга, и это будет особенно полезно для схем возбуждения, которые используют в близких друг к другу пунктах взрыва.

Для выбора некоторых схем с целью включения или исключения из рассмотрения можно использовать исследование частотного спектра сейсмических данных, собранных в соответствии с каждой из схем. В некоторых случаях частотные спектры, рассчитанные по синтетическим сейсмическим данным или данным, которые были собраны иным способом при срабатывании схемы возбуждения, могут быть проанализированы на предмет присутствия или отсутствия провалов в частотном спектре, выбросов и пр.

Помимо вышесказанного, другие критерии, которые могут быть использованы, включают в себя требования ко времени "перезарядки" пушки, ограничения на подачу воздуха, повторное использование пушек в схеме "попкорн", доступность запасных пушек, использование пневмопушек либо с нарушением поверхности воды для ослабления провалов в частотном спектре, либо с подавлением пульсации газового пузыря.

Также в дополнение к вышесказанному в некоторых вариантах осуществления свип-сигналы будут линейными, так что схема будет определена после выбора продолжительности схемы и наименьшего временного интервала между последовательными воздействиями в схеме и, в некоторых случаях, скорости увеличения или уменьшения интервала между воздействиями. Очевидно, что возможны другие сочетания параметров, например количества источников, временного интервала между первым и вторым (или последним и предпоследним) воздействиями, скоростью увеличения или уменьшения и пр. Специалисты в данной области техники легко смогут определить сочетание параметров, которые будут однозначно задавать конкретную схему. Для нахождения схемы, которая будет приемлема в конкретном местоположении съемки, можно изменять (например, систематически, алгоритмически, случайно и пр.) другие параметры.

Скорость увеличения или уменьшения времен срабатывания можно считать приблизительно соответствующими сжатию или растяжению управляющего вибросейсмического сигнала в свип-сигнале Вибросейса. Длина схемы будет зависеть от количества пушек, частоты возбуждения и изменения частоты возбуждения. В некоторых вариантах осуществления группа может содержать от 45 до 60 источников (пушек). Однако результирующие схемы не должны быть такими короткими, что максимальный импульс (т.е. максимальная амплитуда сигнала, который генерирует данная схема) становится нежелательно большим, либо такими длинными, что место воздействия имеет слишком большой пространственный размер. В некоторых вариантах осуществления несколько схем могут быть созданы либо случайным образом, либо систематически; они могут быть оценены по максимальным амплитудам, присутствию провалов в спектре в пределах полосы сейсмических частот и пр.

В одном способе построения свип-сигналов источники будут возбуждаться с частотой, увеличивающейся с течением времени. Другие схемы могут быть созданы путем снижения частоты возбуждения с течением времени. Скорость увеличения или уменьшения частоты возбуждения в разных схемах может быть разной. В одном варианте осуществления одна общая цель может состоять в сведении к минимуму пикового импульса при снижении величины корреляции любой одной схемы с любой другой.

Один способ определения приемлемости конкретной схемы может состоять в генерировании синтетических сейсмограмм с использованием параметров выбранных источников (например, типичных форм импульса, частотного состава и пр. каждого источника) в сочетании с возможной схемой. Затем может быть проанализирован частотный состав или другая характеристика результирующего сейсмического сигнала (форма импульса составного источника) с тем, чтобы увидеть будет ли приемлемым результирующий частотный состав. Например, форма импульса составного источника с частотным спектром, в котором присутствуют относительно глубокие провалы в полосе сейсмических частот, может быть неприемлемой в связи с ожидаемым строением геологической среды. Возможные схемы источников также могут быть протестированы на геологических моделях геологической среды с тем, чтобы получить синтетические сейсмические трассы и соответствующую синтетическую сейсмическую съемку, что обеспечивает оценку фактического отклика от геологической среды, который может быть получен в поле при условии использования такой схемы. Конечно, другой критерий, который может быть использован при выборе схем возбуждения, это качество отображения значительных отражений.

Осложнение может возникнуть в том случае, если изменения промежутков времени между последовательными возбуждениями источников выбраны нелинейными. В качестве примера и аналогии нелинейные свип-сигналы Вибросейса предназначены для излучения в землю большей энергии при некоторых частотах, обычно низких. В данном случае частотный состав устанавливают отдельными пневмопушками, а форму схемы следует выбирать так, чтобы не образовывалось значительных провалов в частотном спектре. Даже это - строгое требование, поскольку провалы потенциально могут быть заполнены в результате соседних воздействий. Однако наиболее точные результаты будут вероятнее всего получены, если сигнал будет насколько это возможно свободен от провалов в частотном спектре.

В случае нелинейной схемы возбуждения источников может быть желательно избегать срабатывания двух пушек настолько близко друг к другу по времени, что они будут создавать неприемлемо высокую амплитуду источника. В зависимости от конкретной схемы нелинейный свип-сигнал может создавать некоторые проблемы, связанные со снижением амплитуды в определенных диапазонах частот, но это не будет создавать сложностей за исключением крайних случаев. С другой стороны, такие же проблемы могут возникать даже в линейном случае. Например, рассмотрим схему длительностью 1 с, в которой первая и вторая пушки разделены промежутком $3/4$ с, а остальные должны уместиться в оставшиеся $1/4$ с. Большинство оставшихся пушек могут срабатывать поверх друг друга, что обычно считают неприемлемой ситуацией.

Еще одна проблема состоит в том, что в целом было бы лучше, если бы не так много источников имело одинаковый или приблизительно одинаковый промежуток времени. Вероятным результатом последовательного срабатывания нескольких источников с равными промежутками времени может быть образование провала в частотном спектре, соответствующего времени задержки. Конечно, несколько идентичных интервалов могут быть допустимы, но в целом следует их избегать, если нет особых причин сделать иначе. Вообще говоря, хорошей может быть такая последовательность возбуждений, которая не создает провалов в частотном спектре или ослабляет диапазон частот. Если предположить, что продолжительность схемы достаточно велика, большинство линейных свип-сигналов не будет иметь этих проблем при условии, что они организованы так, что пушки не сосредоточены в слишком небольшом интервале времени.

Что касается продолжительности времени срабатывания, одной важной переменной является общее количество срабатываний источников. Как описано выше, в большинстве вариантов осуществления было бы полезно не иметь слишком близко расположенных друг к другу источников. Таким образом, и в качестве конкретного примера, если 60 источников должны быть возбуждены по отдельности в соответствии со схемой линейного монотонного уменьшения, продолжительность времени возбуждения может составлять от 5 до 10 с, причем в некоторых условиях может быть выбрана большая или меньшая продолжительность. Учитывая некоторое сочетание продолжительности времени возбуждения, количества воз-

буждений источников и/или функции, которая описывает изменяющиеся промежутки времени между возбуждениями источников, специалисты в данной области техники легко смогут построить соответствующую схему возбуждения.

Один пример не очень оптимальной схемы возбуждения - срабатывание группы на одной глубине в данном пункте взрыва, затем срабатывание другой группы на другой глубине в следующем пункте взрыва. В этом случае каждый пункт взрыва будет иметь значительный провал в частотном спектре, соответствующий глубине пушки. С этой конфигурацией восстановление по системе "попкорн" будет возможно, но восстановление не будет настолько точным, как было бы в другом случае. Лучшим набором схем может быть сочетание пушек на обеих глубинах в каждом пункте взрыва. Комбинированный набор пушек будет заполнять провалы в частотном спектре благодаря глубинам обоих наборов пушек. В продолжение этого способа: пушки, срабатывающие в каждом пункте взрыва с несколькими разными глубинами, будут стремиться уменьшить влияние спектральных провалов, вызванных глубинами пушек. Это сделает восстановление по системе "попкорн" относительно простым и устойчивым, что внесет положительный вклад в точность результата.

На фиг. 5 представлено схематическое изображение того, как в одном варианте осуществления могут быть выбраны временные интервалы. На этом рисунке времена возбуждения для группы сейсмических источников показаны стрелками 505-530, где 505 - первый источник в группе, которую возбуждают, затем следует второй источник 510 и т.д. Как видно, в этом примере во всей схеме возбуждения увеличивают задержку возбуждения или интервал между источниками (Δt_i) между последовательными возбуждениями. Например, Δt_1 (временной интервал между срабатываниями источников 505 и 510) больше, чем Δt_2 , который больше, чем Δt_3 , и т.д. В более общем случае это означает, что

$$\Delta t_i \leq \Delta t_j, \text{ для } i > j.$$

В этом конкретном примере каждый промежуток между источниками короче, чем предыдущий, что означает повышение частоты срабатывания источников. Для целей настоящего раскрытия интервалы возбуждения, которые удовлетворяют приведенному выше неравенству, будут рассматриваться как монотонно уменьшающиеся. Аналогично, монотонно увеличивающийся интервал возбуждения будет использован для описания случаев, когда интервалы срабатывания источников в схеме возбуждения регулярно увеличивают. Однако следует понимать: для того чтобы относить схему возбуждения к монотонно увеличивающейся или уменьшающейся, должно быть по меньшей мере два строгих неравенства для интервалов между источниками (например, $\Delta t_k < \Delta t_l$ для некоторых k и l).

Кроме того, следует отметить, что в некоторых вариантах осуществления интервалы возбуждения могут кусочно-монотонно увеличивать, уменьшать или и увеличивать и уменьшать. Например, простой кусочно-монотонный набор интервалов возбуждения может быть определен в виде

$$\Delta t_i \leq \Delta t_j, \text{ для } i > j, i, j \geq K$$

$$\Delta t_i \geq \Delta t_j, \text{ для } i > j, i, j \leq K.$$

На фиг. 6 представлена простая кусочно-монотонная схема возбуждения с двумя областями. В этом конкретном примере промежутки между воздействиями 605-620 монотонно уменьшают, в то время как промежутки между воздействиями от 620 до 635 монотонно увеличивают. Очевидно, что областей может быть больше чем две, и это особенно актуально при большом количестве источников (например, 60 или примерно столько).

Могут быть другие виды распределения моментов (возбуждения), например такие, в которых каждый промежуток между источниками больше предыдущего (т.е. скорость срабатывания источников замедляют), либо каждый интервал между срабатываниями меньше или равен предыдущему (или больше или равен) и пр. В других вариантах осуществления скорость уменьшения (или увеличения) промежутка между источниками может быть переменной во времени.

Кроме того, другие факторы, которые могут быть рассмотрены при проектировании схем возбуждения, будут включать в себя одновременное либо последовательное возбуждение источников в подгруппе (например, должны ли два источника в группе срабатывать одновременно или по отдельности). Однако в большинстве случаев временные интервалы схем возбуждения будут монотонно увеличивать или уменьшать, в том числе некоторые, но не все временные интервалы могут быть одинаковыми.

Что касается фиг. 4, в некоторых вариантах осуществления (и в соответствии с более подробным описанием ниже) будет создано несколько аналитических схем возбуждения (рамки 415, 416, 417 и 418 на фиг. 4), они будут оценены и, если их признают подходящими, будут затем использованы в ходе съемки. Таким образом, в некоторых вариантах будут созданы схемы возбуждения и затем во время съемки их будут использовать попеременно - либо детерминированно, либо случайным образом. В некоторых вариантах осуществления расписания возбуждения будут изменять в каждом пункте взрыва таким образом, чтобы расписания возбуждения в двух соседних пунктах взрыва не были одинаковыми. В некоторых случаях схемы возбуждения будут созданы в полевых условиях в реальном или близком к реальному времени. В других случаях их будут создавать заранее, в процессе проектирования до проведения съемки.

После создания схемы возбуждения (рамка 415) в соответствии с вариантом осуществления, приведенным на фиг. 4, она будет исследована с тем, чтобы установить, будет ли эта схема хорошим кандидатом на использование в поле (рамка 416). В одном варианте осуществления для отбора возможных схем возбуждения будут использованы некоторые или все представленные выше принципы. Например, созданные этим способом расписания возбуждения могут быть исследованы на наличие у расписания значительных провалов или выбросов в спектре, что может произойти при неподходящих промежутках между импульсами. В соответствии с этим вариантом осуществления, если схема возбуждения пригодна (ветка "ДА" в пункте 416 принятия решения), она будет сохранена для последующего использования (рамка 417). Вместе с тем, если схему возбуждения сочли неподходящей (ветка "НЕТ" в пункте 416 принятия решения), можно создать другую схему.

После накопления достаточного количества расписаний возбуждения (ветка "ДА" пункта 418 принятия решений), расписания готовы для использования в поле (блок 420). В некоторых вариантах осуществления во время действия расписания выполняют непрерывную регистрацию (блок 425), а в других случаях будет использован традиционный подход к регистрации (т.е. начало регистрации, возбуждение источников в текущем пункте взрыва, завершение регистрации). При непрерывном возбуждении по системе "попкорн" может быть необходимо особенно тщательное проектирование схем. Непрерывная отработка по системе "попкорн" позволяет использовать в качестве параметра обработки расстояние между пунктами взрыва, но непрерывная отработка по системе "попкорн" также предполагает существенный элемент одновременного возбуждения. В одном примере осуществления для того, чтобы обеспечить хорошее разделение воздействий, которые определены для данного промежутка между воздействиями путем обработки, используемые схемы "попкорн" должны быть предназначены для удовлетворительной работы с несколькими возможными интервалами между воздействиями. В то время как расписания для соседних воздействий, скорее всего, не будут независимыми друг от друга, будет лучше избегать сильных корреляций между расписаниями при использовании их с разными интервалами воздействия, которые, вероятно, могут быть использованы в ходе обработки данных. Специалисты в данной области техники легко смогут определить какой подход к регистрации лучше использовать в каждом конкретном случае: непрерывный, традиционный или какой-то другой.

После сбора данных (съемки) в соответствии со способами, описанными в настоящем документе, в некоторых вариантах осуществления данные могут быть обработаны при помощи разреженной инверсии (блок 430), что подробно описано ниже, а затем обработаны дополнительно (например, с использованием некоторых или всех процедур, представленных на фиг. 2) для получения изображений геологической среды (блок 435) и их использования в сейсморазведке (блок 440).

В одном варианте осуществления цель будет состоять в формировании сейсмических данных, полученных по системе "попкорн", для приведения их в соответствие или для достижения сходства с данными, которые могут быть созданы с использованием обычной пневмопушки или группы пневмопушек с известной формой импульса. Конечно, учитывая известную или оцененную форму импульса, результирующие сейсмические данные могут быть дополнительно обработаны так, чтобы приблизить к импульсному источнику в соответствии с методами, известными специалистам в данной области техники (например, путем деконволюции).

В соответствии с другими вариантами осуществления для вычисления подходящих схем съемки могут быть использованы методы, основанные на алгоритмах модельного отжига, генетических алгоритмах, нейронных сетях, экспертных системах и других методах искусственного интеллекта, а также методах минимума энтропии. Вкратце, задача проектирования параметров - это, по существу, оптимизационная задача с набором ограничений и набором целей. В зависимости от важности ограничений и целей для конкретной сейсмической съемки при решении этих задач будут приняты некоторые компромиссы между разными целями и разными ограничениями.

Численные эксперименты/прогнозы показали, что настоящий подход может дать очень хорошее восстановление, гораздо лучшее, чем может быть нужно с точки зрения практики.

После сбора данных (блок 430) каждая запись в сейсмических данных будет содержать множество срабатываний источников, которые необходимо будет обработать, чтобы можно было арифметически сложить их. Т.е. можно считать, что каждая трасса является результатом срабатывания сложного многоимпульсного источника, который возбуждают в течение некоторого периода времени. Один способ формирования результирующей составной формы колебаний для приближения к импульсному сигналу состоит в применении деконволюции. Для целей настоящего описания термин "восстановление" следует понимать как обозначение шага (шагов) обработки, необходимых для преобразования трасс, полученных во время съемки, в более традиционные сейсмические трассы.

В одном примере осуществления зарегистрированные сейсмические данные "d" могут быть связаны с требуемым возбуждением несмешанных/восстановленных источников "m" следующим матричным уравнением:

$$d = Am$$

где "A" - набор, матрица или линейный оператор форм импульса "попкорн", которые должны быть применены к сигналу, где "форма импульса "попкорн" - составная форма импульса, которую формируют,

когда все источники в наборе срабатывают в соответствии с заданным расписанием. В некоторых примерах осуществления можно также применить условие когерентности "С" (например, возбуждение в одном местоположении на поверхности будет, как правило, похоже на возбуждения в соседних местоположениях и пр.)

$$d = A C m.$$

Поскольку матрица A может быть недоопределена, в некоторых примерах осуществления для получения d может быть использован итеративный метод. Ниже представлен один из возможных методов нахождения d ;

задать $m = 0$;

задать $d_{\text{расчетное}} = 0$.

Цикл вычислений

$$\Delta d = d - d_{\text{расчетное}}$$

$$\Delta m = A^{-1} \Delta d$$

$$m = m + \Delta m,$$

применить к m когерентный фильтр $d_{\text{расчетное}} = A m$.

Заново рассчитать Δd и повторять эту процедуру до получения удовлетворительного результата. Как показано выше, в одном примере осуществления в качестве когерентного фильтра для ослабления помех могут быть использованы f - k преобразование, F - X деконволюция и пр. В некоторых приложениях это преобразование может быть применено к сейсмограммам равных удалений или сейсмограммам общего пункта приема путем f - k преобразования и удаления (например, обнуления) всех значений ниже определенного порогового значения. Специалистам в данной области техники будет понятно, что определенные значения параметров, которые управляют когерентным фильтром, необходимо выбирать на основании опыта и/или метода проб и ошибок, но это по силам специалистам с опытом работы в поле. Выбор параметров когерентной обработки может зависеть от качества зарегистрированных сейсмических данных, используемых параметров "попкорн", размеров группы, используемых источников и пр.

Непрерывная регистрация по системе "попкорн" позволяет использовать в качестве параметра обработки интервал между воздействиями, но непрерывная регистрация по системе "попкорн" может также включать значительную часть, связанную с одновременной и/или самосинхронной работой источников и последующим разделением перекрывающихся срабатываний источников. С учетом вышесказанного во многих вариантах осуществления самосинхронная работа источников не потребует и в таком случае не будет необходимости в разделении данных, и восстановление можно будет выполнять как описано выше.

Выше значительная часть обсуждения была посвящена морским сейсмическим съемкам, но это было сделано только с целью иллюстрации, а не из намерения ограничить сферу применения настоящей системы и способа только этими видами съемки. Специалисты в данной области поймут, как представленные выше варианты осуществления можно легко применять, например в 2D, 3D, 4D и пр. морских съемках, наземных съемках, скважинных съемках и их сочетаниях.

Следует также отметить и помнить, что приведенные в настоящем документе варианты осуществления представлены только в качестве примеров, и принципы изобретения не должны ограничиваться этими примерами, если специально не указано иное.

Кроме того, в настоящем описании сейсмические источники могут быть названы "пушками", "пневмопушками" и пр., однако это было сделано только для целей иллюстрации, и теоретически могут быть использованы любые морские источники, включая, но не ограничиваясь пневмопушками, гидропушками, электроискровыми источниками, бумерами, вибросейсмическими системами, инфразвуковыми сиренами, морскими вибраторами и пр. Кроме того, как отмечалось ранее, настоящее раскрытие изобретения может быть применено также на суше. При этом в случаях, когда в настоящем документе использован термин воздействие, он не должен быть истолкован как ограничение настоящего описания изобретения только работой с импульсными источниками. Таким образом, когда в настоящем документе использован термин "сейсмическая съемка", этот термин следует понимать в применении к съемкам на воде, суше или любым их сочетаниям.

К тому же там, где настоящий документ ссылается на способ, который состоит из двух или более определенных стадий, эти определенные стадии могут быть выполнены в любом порядке или одновременно (за исключением случаев, когда контекст исключает такую возможность), и этот способ может также включать одну или более других стадий, которые выполняют до любой из определенных стадий, между двумя определенными стадиями, или после всех определенных стадий (за исключением случаев, когда контекст исключает такую возможность).

Дополнительные подробности, относящиеся к способам синхронных источников и самосинхронных источников, можно найти по одной или нескольким следующим ссылкам, описания которых включены в настоящий документ путем ссылки во всей своей полноте и во всех смыслах, как если они были бы полностью здесь изложены: (1) заявка на выдачу патента США № 12/542433 (в настоящее время выдан USPN 8295124 B2 под названием "Способ разделения независимых синхронных источников"); (2) заявка

на выдачу патента США № 12/851590 (в настоящее время выдан USPN 8559270 B2); (3) заявка на выдачу патента США № 13/315925 под названием "Сейсмические источники свип-сигнала с разделением в пространстве и по частоте".

Кроме того, когда в настоящем документе диапазон указан в виде "от (первого числа) до (второго числа)" или "(первое число) - (второе число)", это означает диапазон с первым числом на нижней границе и вторым числом на верхней границе. Например, от 25 до 100 следует интерпретировать как обозначение диапазона с нижней границей 25 и верхней границей 100. Кроме того, следует отметить, что там, где указан диапазон, при этом также имеется в виду каждый возможный поддиапазон или интервал в пределах этого диапазона, если контекст не указывает на иное. Например, если описание изобретения указывает на диапазон от 25 до 100, то имеется в виду, что такой диапазон также включает такие поддиапазоны, как 26-100, 27-100 и пр., 33-47, 60-97, 41-45, 28-96 и пр., а также любые другие возможные сочетания нижних и верхних значений в установленном диапазоне, например 25-99, 25-98, 41-45, 28-96 и пр. Обратите внимание, что целочисленные значения диапазона использованы в этом абзаце только с целью иллюстрации, и десятичные и дробные значения (например, 46.7-91.3) также следует понимать как возможные конечные точки поддиапазона, если только они специально не исключены.

Также следует отметить, что термины приблизительного соответствия (например, "примерно", "главным образом", "приблизительно" и пр.) следует интерпретировать в соответствии с их обычным и принятым значением, как оно используется в родственных областях техники, если в настоящем документе не указано иное. В отсутствие точного определения в настоящем раскрытии изобретения и в отсутствие обычного и принятого использования в родственных областях техники такие термины должны интерпретироваться как $\pm 10\%$ от базового значения.

Кроме того, хотя следующие принципы пригодны для осуществления изобретения в разных формах, на чертежах ниже показаны и далее будут подробно описаны некоторые конкретные примеры осуществления. Однако следует понимать, что настоящее раскрытие изобретения следует рассматривать как пояснение принципов изложенной в настоящем документе системы и способа с помощью примеров, и оно не преследует цели ограничить изобретение конкретными вариантами осуществления или описанными здесь алгоритмами.

В то время как раскрываемые система и способ описаны и проиллюстрированы в настоящем документе путем ссылок на конкретные примеры осуществления в соответствии с прикрепленными к настоящему документу чертежами, возможны различные изменения и дальнейшие модификации помимо тех, что представлены или предложены в настоящем документе, которые могут быть сделаны специалистами в данной области без отступления от существа идеи этого изобретения, объем которого будет определен в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сейсморазведки на наличие углеводородов в пределах области геологической среды земли, в котором предусмотрена группа источников сейсмических колебаний, причем упомянутая группа источников сейсмических колебаний содержит некоторое количество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп включает один или более упомянутых относящихся к ней морских источников сейсмических колебаний; указанный способ включает:

(а) выбор схемы возбуждения из множества схем возбуждения, имеющих монотонно увеличивающиеся, монотонно уменьшающиеся или кусочно-монотонные интервалы возбуждения, где стадия (а) содержит следующие стадии:

(a1) создание множества возможных схем возбуждения;

(a2) определение максимальной амплитуды каждой из упомянутого множества возможных схем возбуждения применительно к группе источников сейсмических колебаний;

(a3) определение схемы возбуждения с наименьшей максимальной амплитудой среди упомянутого множества возможных схем возбуждения;

(a4) выбор схемы возбуждения с наименьшей максимальной амплитудой среди упомянутого множества возможных схем возбуждения;

(b) назначение для каждой из упомянутого множества подгрупп источников сейсмических колебаний разного времени срабатывания в пределах упомянутой схемы возбуждения, тем самым формируя расписание возбуждения, с которым связано соответствующее множество интервалов возбуждения так, чтобы свести к минимуму наличие выбросов или провалов в частотном спектре, причем упомянутое множество интервалов возбуждения монотонно изменяется по продолжительности в зависимости от числа источников сейсмических колебаний в группе источников сейсмических колебаний и размера каждого из источников сейсмических колебаний в группе источников сейсмических колебаний;

(с) размещение упомянутой группы источников сейсмических колебаний в первом местоположении вблизи области геологической среды земли;

(d) возбуждение каждой из упомянутых подгрупп в соответствии с упомянутым расписанием возбуждения;

(е) регистрация сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутого некоторого количества подгрупп;

(f) выполнение стадий (d) и (е) в множестве разных местоположений вблизи от области геологической среды земли, посредством чего выполняют сейсмическую съемку, причем указанная сейсмическая съемка соответствует установленному порядку последовательного возбуждения источников в течение некоторого периода времени;

(g) восстановление упомянутых сейсмических данных, зарегистрированных при указанной сейсмической съемке, посредством чего получают некоторое количество сейсмических трасс;

(h) использование упомянутого некоторого количества сейсмических трасс для получения изображений по меньшей мере части геологической среды земли.

2. Способ по п.1, в котором по меньшей мере одна из упомянутых подгрупп содержит один из упомянутой группы источников сейсмических колебаний.

3. Способ по п.1, в котором по меньшей мере стадии с (с) по (g) выполняют множество раз в множестве разных местоположений вблизи от области геологической среды земли, посредством чего выполняют сейсмическую съемку вблизи этой области геологической среды земли.

4. Способ по п.1, в котором по меньшей мере стадии с (с) по (g) выполняют множество раз в множестве разных местоположений вблизи от области геологической среды земли, посредством чего выполняют сейсмическую съемку вблизи этой области геологической среды земли.

5. Способ по п.1, в котором упомянутая продолжительность времени возбуждения находится в интервале от 1 до 10 с.

6. Способ по п.1, в котором стадию (g) выполняют путем решения уравнения

$$d = Am,$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, которые получены путем восстановления;

d - упомянутые зарегистрированные сейсмические данные;

A - набор форм импульсов, которые соответствуют упомянутому расписанию возбуждения.

7. Способ по п.1, в котором стадию (g) выполняют путем решения уравнения

$$d = ACm$$

где m - упомянутое некоторое количество сейсмических трасс, полученных путем восстановления;

d - упомянутые зарегистрированные сейсмические данные;

A - набор форм импульсов "попкорн", соответствующих упомянутому расписанию возбуждения;

C - матрица условий когерентности.

8. Способ по п.1, в котором длину упомянутого некоторого количества интервалов возбуждения либо монотонно увеличивают, либо монотонно уменьшают.

9. Способ сейсморазведки на наличие углеводородов в пределах области геологической среды земли, в котором предусмотрена группа источников сейсмических колебаний, причем упомянутая группа источников сейсмических колебаний содержит некоторое количество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп включает один или более упомянутых относящихся к ней морских источников сейсмических колебаний; указанный способ включает:

(a) создание набора схем возбуждения, имеющих связанные с ними некоторое количество интервалов возбуждения, причем упомянутые схемы возбуждения имеют монотонно увеличивающиеся, монотонно уменьшающиеся или кусочно-монотонные интервалы возбуждения;

(b) назначение для каждой из упомянутого некоторого количества подгрупп разного времени срабатывания в пределах по меньшей мере одной схемы возбуждения, выбранной детерминированно или случайным образом из вышеупомянутого набора схем возбуждения, тем самым формируя расписание возбуждения так, чтобы свести к минимуму наличие выбросов или провалов в частотном спектре, причем упомянутое множество интервалов возбуждения монотонно изменяется по продолжительности в зависимости от числа источников сейсмических колебаний в группе источников сейсмических колебаний и размера каждого из источников сейсмических колебаний в группе источников сейсмических колебаний;

(с) размещение упомянутой группы источников сейсмических колебаний в первом местоположении вблизи области геологической среды земли;

(d) возбуждение каждой из упомянутых подгрупп в соответствии с упомянутым расписанием возбуждения;

(е) регистрация сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутого множества подгрупп;

(f) выполнение стадий (d) и (е) в множестве разных местоположений вблизи от области геологической среды земли, посредством чего выполняют сейсмическую съемку; причем указанная сейсмическая съемка соответствует установленному порядку последовательного возбуждения источников в течение некоторого периода времени;

(g) восстановление упомянутых сейсмических данных, зарегистрированных при сейсмической съемке, посредством чего получают некоторое количество сейсмических трасс;

(h) использование упомянутого некоторого количества сейсмических трасс для получения изображения по меньшей мере части геологической среды земли.

10. Способ по п.9, в котором упомянутые интервалы возбуждения либо монотонно увеличивают, либо монотонно уменьшают.

11. Способ по п.9, в котором упомянутые интервалы возбуждения кусочно-монотонны.

12. Способ по п.9, в котором по меньшей мере одна из упомянутых подгрупп содержит один из упомянутой группы источников сейсмических колебаний.

13. Способ по п.9, в котором по меньшей мере стадии с (а) по (f) выполняют множество раз в множестве разных местоположений вблизи от области геологической среды земли, посредством чего выполняют сейсмическую съемку вблизи этой области геологической среды земли.

14. Способ по п.9, в котором упомянутая схема возбуждения имеет связанную с ней продолжительность времени возбуждения и в котором упомянутая продолжительность времени возбуждения составляет от 1 до 10 с.

15. Способ по п.9, в котором стадию (g) выполняют путем решения уравнения

$$d = Am,$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, которые получены путем восстановления;

d - упомянутые зарегистрированные сейсмические данные;

A - набор форм импульсов, которые соответствуют упомянутому расписанию возбуждения.

16. Способ по п.9, в котором стадию (g) выполняют путем решения уравнения

$$d = ACm.$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, полученных путем восстановления;

d - упомянутые зарегистрированные сейсмические данные;

A - набор форм импульсов, соответствующих упомянутому расписанию возбуждения;

C - матрица условий когерентности.

17. Способ сейсморазведки на наличие углеводородов в пределах области геологической среды земли, в котором предусмотрена группа источников сейсмических колебаний, причем упомянутая группа источников сейсмических колебаний содержит некоторое количество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп включает один или более упомянутых относящихся к ней морских источников сейсмических колебаний; указанный способ включает:

(а) выбор схемы возбуждения, пригодной для сведения к минимуму наличие выбросов или провалов в частотном спектре этой схемы, причем упомянутая схема возбуждения задает порядок срабатывания для каждой из подгрупп и промежутков времени между всеми последовательными срабатываниями подгруппы, причем длительность упомянутых промежутков времени между последовательными срабатываниями подгруппы либо монотонно увеличивают, либо монотонно уменьшают в зависимости от числа источников сейсмических колебаний в группе источников сейсмических колебаний и размера каждого из источников сейсмических колебаний в группе источников сейсмических колебаний;

(b) размещение упомянутой группы источников сейсмических колебаний в первом местоположении вблизи области геологической среды земли;

(с) возбуждение каждой из упомянутых подгрупп в соответствии с упомянутой схемой возбуждения;

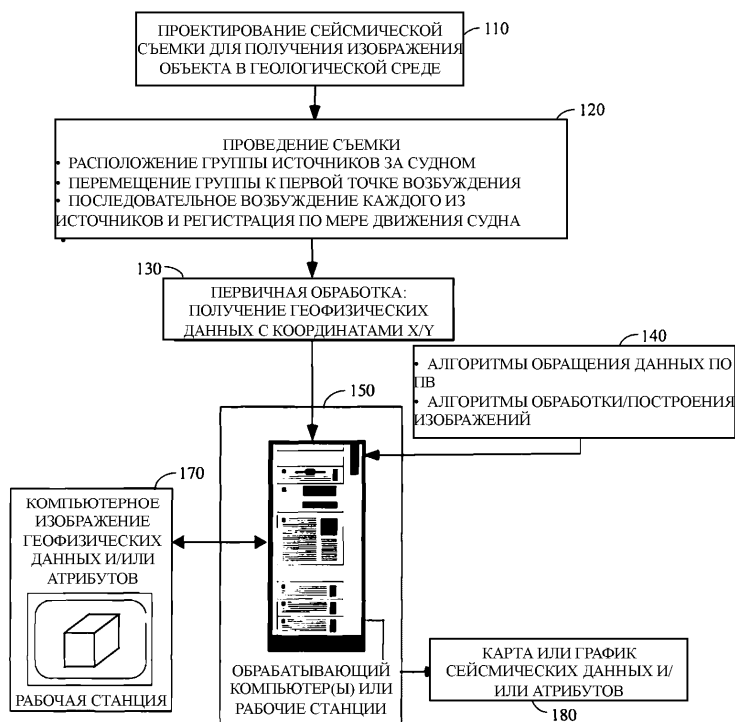
(d) регистрация сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутого множества подгрупп;

(е) выполнение стадий (с) и (d) в множестве разных местоположений вблизи от области геологической среды земли, посредством чего выполняют сейсмическую съемку, причем сейсмическая съемка соответствует установленному порядку последовательного возбуждения источников в течение некоторого периода времени;

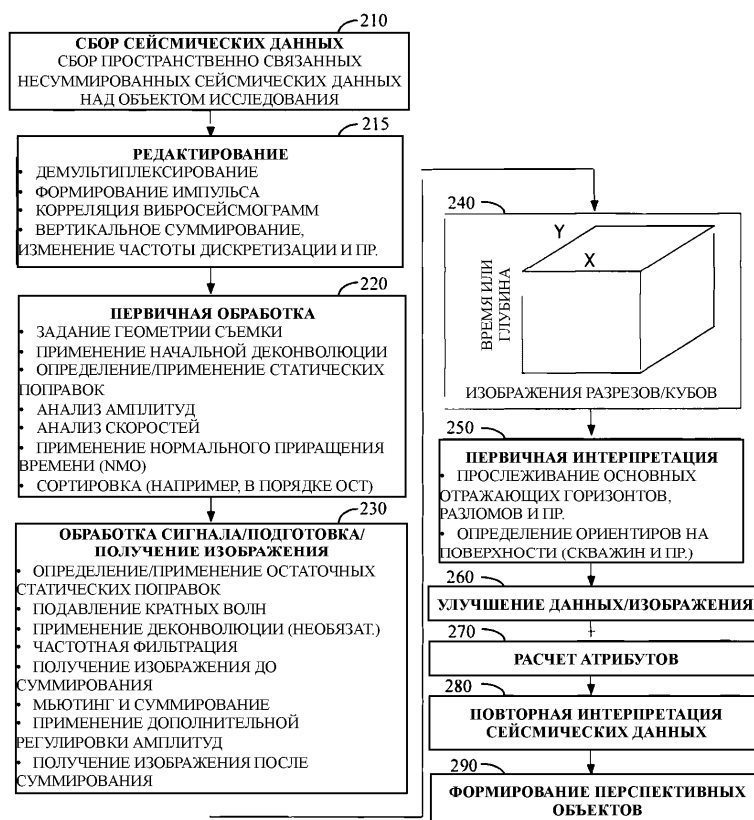
(f) восстановление упомянутых сейсмических данных, зарегистрированных при сейсмической съемке, посредством чего получают множество сейсмических трасс;

(g) использование упомянутого множества сейсмических трасс для получения изображения по меньшей мере части геологической среды земли.

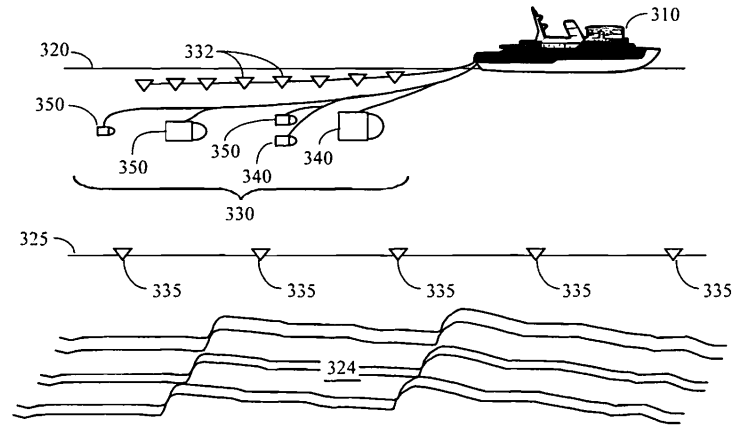
18. Способ по п.17, в котором, по меньшей мере, стадии от (а) до (d) повторяют множество раз для некоторого количества разных схем возбуждения.



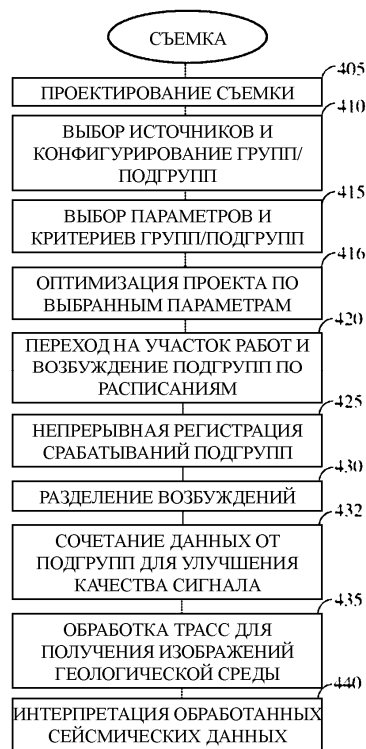
Фиг. 1



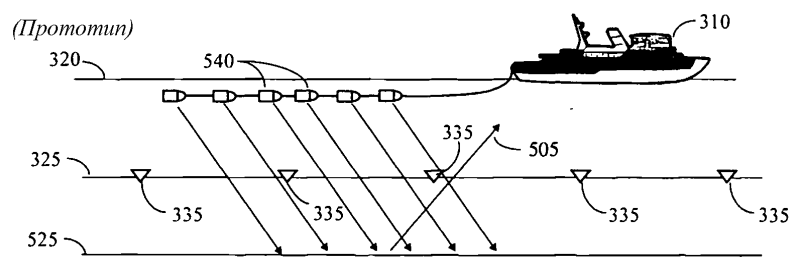
Фиг. 2



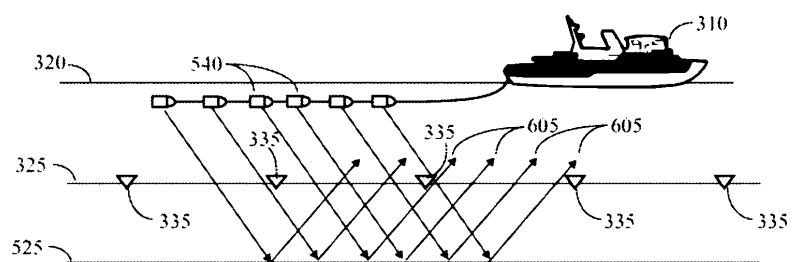
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2