

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040720**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.07.21

(21) Номер заявки
201790733

(22) Дата подачи заявки
2015.09.29

(51) Int. Cl. **G01V 1/36** (2006.01)
G01V 1/38 (2006.01)
G01V 1/42 (2006.01)
G01V 1/46 (2006.01)
G01V 1/48 (2006.01)

(54) СЪЕМКА С НЕЗАВИСИМЫМ ОДНОВРЕМЕННЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ И РЕГИСТРАЦИЕЙ ВЕРТИКАЛЬНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ

(31) 62/057,320

(32) 2014.09.30

(33) US

(43) 2017.07.31

(86) PCT/US2015/052804

(87) WO 2016/053945 2016.04.07

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

(72) Изобретатель:
**Хорнби Брайан, Абма Реймонд Ли,
Хоу Дэвид Джон, Чжоу Минь, Нараньо
Джон (US)**

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

(56) US-A1-2012033525
US-A1-2012147701
US-A1-2011272147

(57) Способ для применения при вертикальном сейсмическом профилировании, который включает в себя независимое и одновременное возбуждение некоторого количества источников сейсмических колебаний на некотором количестве участков съемки для передачи сейсмических сигналов в дно моря; получение отражений сейсмических сигналов от подземных толщ, расположенных под дном моря, на некоторое количество сейсмических приемников; регистрацию полученных отражений; причем один из сейсмических источников и сейсмические приемники размещают в стволе скважины на дне моря.

B1**040720****040720****B1**

В соответствии с настоящей заявкой испрашивается внутренний приоритет в соответствии с индексом патентной классификации США 35 §119(e) согласно предварительной заявке № 62/057320, поданной 30 сентября 2014 г. Настоящая заявка является частичным продолжением находящейся на совместном рассмотрении заявки на выдачу патента США № 13/867705, которая называется "Способ сейсмической съемки", поданной 22 апреля 2013 г. от имени Дэвида Джона Хау, и является продолжением заявки на выдачу патента США № 12/310204 "Способ сейсмической съемки", поданной 30 августа 2007 г. от имени Дэвида Джона Хау, и в настоящее время отпавшей. Все заявки принадлежат одному и тому же правообладателю и тем самым включены посредством ссылки для всех целей, как если бы они были дословно изложены в настоящем документе.

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Раскрываемый в настоящем документе способ относится к вертикальному сейсмическому профилированию в сейсморазведке и, в частности, к сбору (съемке) и обработке данных сейсмического профилирования.

Предшествующий уровень техники настоящего изобретения

Сейсмическая съемка, которую иногда также называют геофизическими исследованиями, это область техники, которая занимается непрямым распознаванием строения, состава и содержания подземных толщ. Обычно это включает в себя передачу в недра Земли акустических сигналов с конкретными характеристиками. Конкретные характеристики акустических сигналов настраивают, поскольку для этой цели пригодны не любые акустические сигналы. Эти настроенные акустические сигналы обычно называют сейсмическими сигналами. Разные особенности в подземных толщах (толще) будут отражать эти сейсмические сигналы, которые затем регистрируют на поверхности земли, на дне моря или в скважине/скважинах, пробуренных в подземных толщах. Затем зарегистрированные отражения могут быть проанализированы для получения информации о подземных толщах.

Процесс передачи акустических сигналов и регистрации их отражений часто называют "сейсмической съемкой"; в этой области техники существует бесчисленное количество ее модификаций. Например, в зависимости от пространственного и временного охвата существуют одномерные (1D), двумерные (2D), трехмерные (3D) и четырехмерные (4D) съемки. Аналогичным образом, в зависимости от того, где проводится съемка - на земле, в воде или в переходной зоне суша-водоем (например, в приливно-отливных зонах, на периодически затопляемых участках, в болотистой местности и пр.), существуют наземные, морские съемки и съемки в переходной зоне.

Эти модификации часто имеют значительные технологические различия. Например, в наземных съемках энергия сейсмического сигнала распространяется в виде и поперечных, и продольных (упругих) волн. Однако в силу различий между сушей и водой, в воде энергия будет распространяться только в виде продольных волн. Поэтому в наземных и морских (под- или надводных) съемках регистрируют разную информацию. Вследствие этого типы датчиков, которые используют в наземных съемках, отличаются от датчиков, которые используют в морских съемках. В той мере, в какой в морских съемках могут использовать те же типы датчиков, что и в наземных съемках, их используют для определения направления распространения продольных, но не поперечных волн. По этой причине технологии и способы разных видов съемок не обязательно могут быть перенесены с одного вида сейсмических съемок на другой.

Один из типов сейсмических съемок - это скважинная сейсмическая съемка. В такой сейсмической съемке сейсмические датчики располагают в скважине или скважинах, пробуренных в подземных толщах. Эти съемки обычно используют для уточнения или дополнительного изучения характеристик подземных толщ не на обширной площади, а в непосредственной близости от ствола скважины. Конкретный вид скважинных сейсмических съемок известен как "вертикальное сейсмическое профилирование" или съемка методом "ВСП". Съемка методом ВСП отличается от большинства других типов сейсмических съемок в нескольких аспектах. Возможно, самым необычным является то, что приемники располагают в скважине "по вертикали", тогда как на поверхности суши или моря их располагают "по горизонтали".

Сейсмические съемки 3D ВСП нашли свое применение в отрасли, поэтому в данной области техники им продолжают уделять внимание. Было разработано множество способов для использования в сейсмических съемках 3D ВСП. Было продемонстрировано, что многие из них отвечают своему назначению. Однако эта область техники всегда открыта для улучшений или альтернативных средств, способов и конфигураций. Поэтому в данной области техники внимательно отнесутся к описанному в настоящем документе способу.

Краткое описание фигур

Прилагаемые фигуры, которые включены в настоящий документ и составляют его часть, иллюстрируют варианты осуществления настоящего изобретения и вместе с описанием служат для пояснения принципов настоящего изобретения. При этом на фигурах изображено следующее:

на фиг. 1 представлен один конкретный вариант осуществления морской съемки ВСП в соответствии с одним аспектом раскрываемого здесь способа;

на фиг. 2А-2С - сбор данных в съемке по фиг. 1, при этом на фиг. 2А представлен вид устройства и морских профилей в плане, а на фиг. 2В-2С изображены альтернативные схемы срабатывания;

на фиг. 3 для представленного варианта осуществления показана схема передачи сейсмических

данных из пункта их сбора в пункт обработки;

на фиг. 4 схематически представлены отдельные части архитектуры программных и аппаратных средств в том виде, как они могут быть использованы в некоторых аспектах раскрываемого здесь способа;

на фиг. 5 схематически показаны отдельные части архитектуры программных и аппаратных средств одного конкретного вычислительного устройства, которое используют для обработки сейсмических данных в представленном варианте осуществления.

Описание вариантов осуществления

Далее приведено подробное описание варианта осуществления (иллюстративных вариантов осуществления) настоящего изобретения, пример(ы) которого(ых) представлен(ы) на прилагаемых чертежах. Везде, где это возможно, для ссылки на одни и те же или подобные части на фигурах будут использованы одинаковые позиции.

На фиг. 1 представлен один конкретный вариант осуществления устройства для сейсмической съемки 100 ВСП в соответствии с одним аспектом раскрываемого в настоящем документе способа. На приемной стороне устройство обычно включает в себя некоторое количество сейсмических приемников 105 (обозначен только один), которые расположены в стволе 110 скважины, пробуренной с дна 115 моря в подземную толщу 117. Сейсмические приемники 105 подвешены на кабеле 120, который проходит от буровой установки 125 в подземную толщу 117.

Сейсмическая съемка 100 ВСП - это морская сейсмическая съемка ВСП, поскольку ее выполняют в морских условиях. Специалистам в данной области техники будет очевидно, что термин "морская" не обязательно подразумевает, что толща 130 воды является соленой водой. Толща воды может состоять из пресной и слабоминерализованной воды. Таким образом, несмотря на то, что вода в варианте осуществления на фиг. 1 действительно морская, в других вариантах осуществления она может быть пресной или слабоминерализованной. Однако термин "морская" на самом деле отличает представленную сейсмическую съемку, например, от наземной сейсмической съемки ВСП или сейсмической съемки ВСП в переходной зоне. В одном варианте осуществления в съемке ВСП применяют построение трехмерного (3D) изображения, для чего используют группы скважинных приемников и двумерную (2D) сетку местоположений сейсмических источников (или источников сейсмических колебаний) на поверхности; такую съемку называют съемкой 3D ВСП. Соответственно, в вариантах осуществления съемка может быть съемкой 2D или 3D ВСП, но дальнейшее описание будет касаться съемки 3D ВСП.

Тип буровой установки 125 может быть любым известным в данной области техники и будет зависеть от таких широко известных соображений, как стоимость, местонахождение и глубина проведения работ. В зависимости от этих факторов в настоящее время в отрасли используют самые различные буровые установки, например буровые суда, полупогружные буровые платформы, самоподъемные плавучие буровые установки и погружные буровые установки. Буровая установка 125 в представленном изобретении полупогружная, но для практического использования раскрываемого здесь способа тип буровой установки значения не имеет. В других вариантах осуществления изобретения может быть использована любая буровая установка из вышеперечисленных (буровое судно, самоподъемная плавучая буровая установка, погружная буровая установка) или какой-либо другой тип буровой установки, известный в данной области техники для использования в морских условиях.

Специалистам в данной области техники будет очевидно, что во многих скважинах для поддержания целостности и конструкции стенок ствола скважины используют обсадные трубы. Ствол 110 скважины показан без обсадной трубы, поэтому такая скважина известна как необсаженная. Это сделано для простоты изображения и для ясности. В большинстве вариантов осуществления ствол 110 скважины будет, как правило, обсаженным. Однако для раскрываемого здесь способа не имеет значения обсажен или не обсажен ствол 110 скважины. Более того, другие варианты осуществления могут также включать в себя некоторое количество стволов 110 скважин, в каждом из которых находится некоторое количество датчиков 105.

Фиг. 1 также была упрощена за счет отсутствия на ней оборудования на подводном устье скважины. В зависимости от реализации такое оборудование может включать в себя, например, донный кондуктор, корпус низкого давления, корпус устья высокого давления, подвеску обсадной колонны, затрубное уплотнение "металл к металлу", защитные втулки и сменные вкладыши. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества настоящего раскрытия, будет очевидно, что в конкретных деталях осуществления будет присутствовать не только такое оборудование, но также и способы его взаимодействия с раскрываемым здесь способом.

Показано, что ствол 110 скважины пробурен и проходит в подземной толще 117 строго в вертикальном направлении. Специалистам в данной области техники, понимающим преимущества настоящего раскрытия, будет очевидно, что стволы скважин часто бурят таким способом, что они отклоняются от вертикали. Иногда это отклонение может быть весьма значительным. В данной области техники широко известно, что отклонение ствола скважины от вертикали можно осуществлять разными способами и, таким образом, раскрываемый здесь способ не ограничен использованием стволов скважин, которые проходят вертикально без отклонения.

В настоящем варианте осуществления приемники - это сейсмические приемники 105. Способы 3D ВСП теоретически предполагают, что датчики, расположенные в стволе скважины, могут быть не приемниками, а источниками. Однако так бывает редко из-за опасности, что работа источников может нарушить целостность ствола скважины. В представленном варианте осуществления каждый приемник включает в себя три геофона (по одному на каждую из осей x , y и z в декартовой системе координат) и датчик продольных волн для использования при суммировании p - z (по давлению и оси z). Другие варианты осуществления изобретения могут использовать разные конфигурации геофонов, гидрофонов (датчиков поперечных волн) или и тех, и других. Другие варианты осуществления приемников включают в себя, но не ограничиваются волоконно-оптическими, микроэлектромеханическими системами (MEMS), акселерометрами, датчиками вращения или любыми сочетаниями перечисленных выше приемников.

Вернемся к фиг. 1; на стороне источников устройство включает в себя некоторое количество сейсмических источников 135 (показаны только два), некоторое количество буксировочных судов 145 буксируют их по поверхности 140 воды. Источники могут быть любого типа, известного в данной области техники. В показанном варианте осуществления сейсмические источники 135 относятся к типу импульсных источников, известных в данной области техники. Или, точнее, сейсмические источники 135 - это пневмопушки. Однако в других вариантах осуществления могут быть использованы источники других типов. Например, некоторые варианты осуществления могут использовать импульсные источники, такие как сейсмические свип-генераторы (источники свип-сигнала).

Специалистам в данной области техники будет очевидно, что пневмопушки обычно развертывают в виде групп, а не единичных источников. Это справедливо и для представленного варианта осуществления. Каждый из сейсмических источников 135 развернут в группе 150, которая состоит из одинаковых сейсмических источников 135. Количество пневмопушек (т.е. сейсмических источников 135) в группе будет конкретной деталью осуществления и будет зависеть от факторов, которые хорошо известны специалистам в данной области техники. Показано, что группы 150 содержат по восемь пневмопушек, но это сделано только для иллюстрации.

В представленном варианте осуществления задействовано два буксировочных судна 145. Как показано на фиг. 2А, площадь 200 съемки поделена на два участка 205, 210 съемки. В представленном варианте осуществления два участка 205, 210 съемки являются равными половинами площади 200 съемки. В других вариантах осуществления настоящего изобретения два участка 205, 210 съемки могут делить площадь на неравные части. Изображение на фиг. 2А также упрощено разными способами. Например, площадь 200 съемки не обязательно должна быть правильной геометрической формы, и она может иметь размеры, гораздо большие по сравнению с буксировочными судами 145 и буровой установкой 125.

В раскрываемом здесь способе используют по меньшей мере два сейсмических источника 135 на двух участках 205, 210 съемки на поверхности 140 и, соответственно, два буксировочных судна 145. В других вариантах осуществления изобретения может быть использовано другое количество, например три или четыре сейсмических источника (или группы) на трех или четырех участках съемки. Теоретически в любом конкретном варианте осуществления не существует никаких ограничений на количество участков съемки, буксировочных судов 145 и сейсмических источников 135 или групп 150. Тем не менее, с практической точки зрения их количество будет ограничено экономическими соображениями.

Морскую сейсмическую съемку 100 выполняют в соответствии с заранее заданным проектом съемки, в котором каждому из буксировочных судов 145 и буровой установке 125 выделены соответствующие части. Каждое из двух судов 145 и буровая установка 125 оборудованы вычислительным устройством (не показано), в которое эту информацию загружают и в котором ее хранят. Для буксировочных судов 145 этой информацией является схема 155 морских профилей, а для буровой установки 125 это схема 160 регистрации.

Проведение морской сейсмической съемки 100 3D ВСП отличается от состояния техники по меньшей мере тем, что в нем используют независимое одновременное возбуждение источников, т.е. в представленном варианте осуществления - сейсмических источников 135. Это можно назвать "независимым одновременным возбуждением источников". В настоящем документе термин "независимое одновременное возбуждение источников" может относиться ко множеству или некоторому количеству сейсмических источников или групп источников, которые поделены по меньшей мере на две группы. Источники в каждой группе срабатывают "независимо", т.е. без согласования или с очень слабым согласованием со срабатыванием сейсмических источников в другой группе (других группах). При том, что сейсмические источники в этих группах срабатывают независимо, они срабатывают "одновременно" или в том же окне срабатывания, что и сейсмические источники в другой группе (других группах). В представленном варианте осуществления каждое из двух судов 145 буксирует свою группу 150 по схеме, которая и пространственно, и по времени независима от других, которые работают в соответствии с их собственными схемами морских профилей 155. Аналогично, во время следования по своим морским профилям 215, показанным на фиг. 2А, сейсмические источники срабатывают безотносительно того, что происходит на другом участке съемки.

Термин "одновременный" использован в том смысле, что зарегистрированная информация от фактически интерферирующих друг с другом возбуждений ("взрывов") накладывается, а не в том смысле,

что возбуждения происходят в одно и то же время. Например, первый источник может сработать в первое время, а второй источник может сработать во второе время, при этом по меньшей мере часть начального импульса от срабатывания первого источника накладывается на импульс второго источника. Другое общепринятое в отрасли название для такого возбуждения - "смешанное возбуждение", это название подчеркивает, что "взрывы" просто интерферируют друг с другом.

Такое независимое одновременное возбуждение источников вносит в сейсмическую запись некоторую степень случайности. Это ожидаемая особенность настоящего способа съемки. Например, это позволяет избавиться от необходимости согласовывать возбуждения от разных источников, а также местоположения этих источников во время их возбуждения. Это существенно сокращает функциональные ограничения во время проведения съемки. Независимое одновременное возбуждение не является совсем новым в области техники, связанной с сейсмическими съемками, которые выполняют и на суше, и на море. Один пример можно найти в заявке на патент США № 12/310204, поданной 30 августа 2007 г. от имени Дэвида Джона Хау ("заявка 204").

Раскрываемый здесь способ также отличается от "заявки 204" тем, что он описывает использование множества вибрационных источников сейсмических сигналов, причем каждый из источников имеет характерную форму импульса. В раскрываемом здесь способе желательно, чтобы все сейсмические источники имели одинаковую форму импульса. Отличия в форме импульса источников могут быть допустимыми, если они достаточно невелики и могут быть скорректированы во время обработки, как описано ниже. Однако в некоторых вариантах осуществления могут быть использованы сейсмические источники с разными свип-сигналами. И как описано ниже, в представленных вариантах осуществления используют импульсные источники, а не источники свип-сигнала.

Другое отличие раскрываемого здесь способа от традиционных морских сейсмических съемок 3D ВСП состоит в непрерывной регистрации. В традиционной практике времена и местоположения возбуждений известны, поэтому можно спрогнозировать время прихода отражений на приемники. Поэтому в традиционной практике регистрацию обычно выполняют во временном окне, в рамках которого ожидается приход отражений. В раскрываемом здесь способе случайный характер независимых одновременных возбуждений источников делает такие априорные знания невозможными, поэтому регистрацию выполняют непрерывно.

Вернемся к фиг. 2А; каждое из буксировочных судов 145 буксирует соответствующие ему сейсмические источники 135 вдоль морских профилей 215 независимо от других и в соответствии со своими схемами 155 морских профилей. Как упоминалось выше, специалистам в данной области техники будет понятно, что на буксировочных судах 145 находятся вычислительные ресурсы. Помимо прочих задач они могут реализовывать схему 155 морских профилей, включая автоматическую проводку по морским профилям 215 и возбуждение источников. Однако специалистам в данной области техники будет также понятно, что нередко по разным причинам приходится останавливать съемку с использованием буксировочного судна 145 или иным образом отключать автоматическую проводку. Одно из преимуществ независимого одновременного возбуждения источников в раскрываемом здесь способе заключается в том, что при прекращении работы одного буксировочного судна 145 не обязательно прекращать работу других.

Начальные точки 220 и конечные точки 225 для каждого из буксировочных судов 145 на соответствующих морских профилях 125 указаны при помощи пунктирных линий-выносок. Начальные точки 220, конечные точки 225 и морские профили 215 могут быть спроектированы для осуществления конкретного охвата подземной толщи 117 в соответствии с традиционной практикой. Морские профили 215 представленного варианта осуществления имеют форму "гоночного трека" или вытянутого овала с уплощенными концами. В других вариантах осуществления могут быть использованы другие формы.

В наиболее распространенном варианте осуществления создают регулярную прямоугольную сетку пунктов взрыва на изучаемой площади, при этом движение между профилями на регулярной сетке пунктов взрыва во время съемки происходит по криволинейным траекториям. На криволинейных траекториях между концами профилей могут быть или не быть расположены активные пункты взрыва, но конфигурация "гоночного трека" позволяет эффективно выполнять съемку за счет сведения к минимуму времени разворота, что дает возможность выполнять плавные повороты и избегать запутывания (перехлеста) групп источников или снижения эффективности параванов, которые поддерживают правильное положение групп пневмопушек.

Каждое буксировочное судно 145 продвигается вдоль отрезка 230, достигает его конца 235, после чего буксировочное судно 145 переходит на отрезок 240 и следует по нему до отрезка 245. Затем буксировочное судно 145 следует в противоположном направлении вдоль отрезка 245, с которого переходит на отрезок 230. Затем на конце 250 отрезка 240 буксировочное судно 145 совершает переход по отрезку 252 и попадает в начало следующего отрезка 230. Этот процесс повторяют до тех пор, пока не будет пройден последний отрезок 245 и буксировочное судно 145 не дойдет до конечной точки 225.

По мере того как буксировочное судно 145 проходит отрезки 230, 245, оно возбуждает сейсмические источники. Эти возбуждения носят "случайный" характер по сравнению с другим буксировочным судном (судами) 145, как описано выше. В данном случае это означает, что между срабатываниями двух

групп сейсмических источников согласованности нет или она очень слабая. Поэтому нет необходимости синхронизировать или согласовывать срабатывание сейсмических источников, буксируемых одним из буксировочных судов 145, со срабатыванием сейсмических источников, буксируемых другим буксировочным судном 145.

Срабатывание в каждой группе сейсмических источников не обязательно происходит случайным образом в пределах соответствующей собственной схемы 155 морских профилей. То есть в пределах каждой группы сейсмических источников, буксируемых соответствующим буксировочным судном 145, схему срабатывания планируют таким образом, что каждое срабатывание согласуется со срабатыванием другого сейсмического источника в этой группе. Сейсмические источники (т.е. в настоящем варианте осуществления это сейсмические источники 135) срабатывают последовательно, в среднем каждые 5-10 с. Обратите внимание, что в других вариантах осуществления могут быть использованы разные схемы возбуждения, в частности, в них могут быть использованы разные типы сейсмических источников.

Как правило, существует три способа обеспечить, чтобы взрывы от одного набора источников были близки к случайным по сравнению с другим набором источников. Первый способ состоит в том, чтобы суда с источниками двигались с разными скоростями и промежуток времени между пунктами взрыва был достаточно регулярным, а интервал, с которым повторяется интерференция, был достаточно длинным, чтобы интерференцию можно было считать случайной. Второй способ обеспечения случайности работы двух судов с источниками состоит в том, чтобы сделать нерегулярным расстояние между пунктами взрыва. В третьем способе расстояние между пунктами взрыва регулярное, но в ожидаемое время вступления в каждом местоположении источника добавлено небольшое (± 250 мс) случайное возмущение. В то время как несоответствие скорости судов обычно делает время между взрывами достаточно случайным, чтобы получить хорошее разделение на стадии обработки, дополнительная привнесенная случайность обеспечивает, чтобы, когда естественной случайности становится недостаточно, взрывы были, по меньшей мере, случайными по времени. В совокупности случайность взрывов от разных судов обеспечивает значительную случайность по временам взрыва от интерферирующих судов.

Хотя две группы источников сейсмических колебаний срабатывают независимо друг от друга, они также срабатывают в одно и то же время, т.е. "одновременно". В частности, две группы сейсмических источников срабатывают в пределах одного окна срабатывания/регистрации. Это не означает, что отдельные сейсмические источники срабатывают одновременно или в одно и то же время, хотя такое может произойти случайно. Напротив, сейсмические источники в каждой группе срабатывают в один и тот же период времени без взаимосвязи с точным временем срабатывания сейсмических источников в другой группе. Другое общепринятое в отрасли название для такого возбуждения - "смешанное возбуждение", это название подчеркивает, что "взрывы" просто фактически интерферируют друг с другом.

Несмотря на то, что съемка таким способом может быть выполнена с использованием традиционного возбуждения пневмопушек, при котором все пневмопушки в группе срабатывают одновременно, в представленном варианте осуществления использован способ возбуждения "попкорн", подобный тому, что раскрыт в заявке на патент США № 13/315947, выданной 9 декабря 2011 г. от имени Алана Росса и Рэймонда Ли Абмы ("заявка 947"). При таком подходе сейсмические источники в группе сейсмических источников срабатывают индивидуально по времени с тем, чтобы снизить максимальную мощность группы. Сейсмические возбуждения по схеме могут в результате дать меньшие пиковые уровни звукового давления, чем традиционные группы морских пневмопушек, и при этом сохранить приблизительно ту же энергию.

В представленном варианте осуществления пневмопушки в группах 150 имеют три разных размера. В данной области техники известно множество разных размеров пневмопушек. К известным размерам относятся, например, 40, 70, 80, 100, 120, 140, 175, 200, 250 и 350 куб.дюймов. В некоторых вариантах осуществления могут быть использованы группы пневмопушек одинакового размера или группы пневмопушек разного размера. Для целей настоящего изобретения размеры пневмопушек должны быть отнесены к большим, средним и малым, поскольку их три, и числовые значения будут зависеть от конкретной реализации.

Сейсмические источники срабатывают в соответствии с планом 250 срабатывания, предварительно загруженным на буксировочные суда 145 и определяющим схему срабатывания источников. Схема срабатывания зависит от нескольких факторов, таких как период времени от срабатывания первого сейсмического источника до срабатывания последнего сейсмического источника, порядок срабатывания источников, промежутки времени между срабатываниями и амплитуда, требуемая от каждой отдельной группы в схеме. Конкретные значения этих факторов в любом данном варианте осуществления будут зависеть от конкретной реализации.

Например, длина схемы срабатывания может находиться в приблизительных пределах от 1 до приблизительно 4 с, либо от 0.5 до 2 с, либо от 3 до 10 с. Промежуток времени между срабатываниями может находиться в приблизительных пределах от 50 до 500 мс, или от 150 до 250 мс, или от 250 мс до 1 с. Раскрываемый в настоящем документе способ допускает большую гибкость этих факторов.

Однако период времени, в течение которого выполняют возбуждения, находится в зависимости от максимальной амплитуды, которую ожидают от формы импульса схемы возбуждения, и от ожидаемой

разрешающей способности возбуждений. Очень короткий период времени срабатывания даст единичные срабатывания пушек, у которых пиковые амплитуды, как правило, конструктивно складываются, а также максимальную амплитуду схемы срабатывания, причем эта амплитуда будет несущественно ниже, чем у традиционной группы пневмопушек. Схема с большим временем срабатывания даст восстановленные возбуждения, которые размыты в пространстве в силу движения судна. Баланс этих факторов будет зависеть от конкретной реализации, и его вполне могут добиться специалисты в данной области техники, понимающие преимущества настоящего раскрытия. Порядок срабатывания пушек и интервал между срабатываниями могут быть использованы для разделения самых больших пушек в схеме последовательности с тем, чтобы свести к минимуму сложение мощностей отдельных пушек и предотвратить минимизацию амплитуд при срабатывании схемы.

В представленном варианте осуществления возбуждение в каждой из групп 150 на каждом из участков 205, 210 будет происходить по соответствующей схеме срабатывания. Схемы срабатывания должны отличаться так, чтобы провалы в спектре соседних пунктов взрыва не сильно накладывались друг на друга. Например, по меньшей мере одна трасса в окне обработки должна давать значительную энергию в ожидаемой полосе частот, где обычная ширина окна обработки составляет от 5 до 40 трасс. Понятие о значительной энергии будет существенно зависеть от обстановки, в которой проводят съемку, что понятно специалистам в данной области техники, понимающим преимущества настоящего раскрытия. Для данных с низким уровнем помех получения даже 5% от ожидаемого выхода будет достаточно для точного восстановления требуемого сигнала. При сильно зашумленных данных для точного восстановления сигнала может понадобиться 50% от ожидаемого выхода.

Для того чтобы в соседних схемах была существенная степень случайности, необходимо создать достаточное число схем. То есть последовательные схемы срабатывания могут все отличаться друг от друга. В рамках раскрываемых способов может быть создано и использовано любое количество схем срабатывания. Это количество может быть ограничено количеством источников в группе и также ограничениями и параметрами, выбранными для схем срабатывания.

Порядок срабатывания пушек в любой отдельной схеме источников связан с провалами в спектре отдельных схем. Желательно, чтобы провалы в спектре охватывали широкий диапазон разных частотных диапазонов. Поскольку порядок срабатывания отдельных источников в любой данной схеме является важным фактором для максимальной амплитуды любой отдельной схемы, время срабатывания каждого источника должно быть тщательно рассчитано и его следует контролировать.

В представленном варианте осуществления возбуждение может происходить либо в "непрерывном" режиме (как показано на фиг. 2В) или в режиме "запаздывания по времени" (как показано на фиг. 2С). Значки взрывов на этих чертежах показывают срабатывание соответствующего источника от S_1 до S_8 , а их относительные размеры отражают относительные размеры источников.

Непрерывный режим возбуждения, который показан на фиг. 2В, можно также назвать "непрерывным возбуждением по схеме" или "непрерывными схемами срабатывания". Режим непрерывного возбуждения на фиг. 2В включает в себя одну схему 255 возбуждения. Что касается фиг. 2С, режим запаздывания по времени можно также назвать "дискретным возбуждением по схеме" или "дискретными схемами срабатывания". Каждый источник S_1 - S_8 возбуждает две схемы 255, 260 срабатывания, которые разделены по времени запаздыванием t_D . Схемы 255, 260 срабатывания неодинаковы.

Эти два режима возбуждения в первую очередь различаются наличием времени запаздывания t_D . Можно считать, что непрерывный режим возбуждения - это то же самое, что режим с запаздыванием и величиной запаздывания $t_D=0$. Тогда, когда возбуждение по схеме или последовательное возбуждение используют с непрерывной изменяющейся схемой источников при продвижении вдоль линии возбуждения, взрывы могут быть разделены на восстановленные взрывы либо большой, либо небольшой пространственной протяженности. Затем восстановленные интервалы между взрывами используют в качестве параметра обработки.

Вернемся к фиг. 1; переданные сейсмические сигналы 165 проходят через толщу 130 воды, встречают дно 115 моря и продолжают распространяться до отражающего горизонта 170, который отражает часть сейсмических сигналов 165. Специалистам в данной области техники будет понятно, что для целей настоящего раскрытия это описание и изображение упрощены. Например, дно 115 моря также является отражающим горизонтом, но отражения (не показаны) от него неважны, поскольку не содержат в себе информации о подземной толще 117. Кроме того, любая изучаемая толща будет, как правило, включать в себя множество отражающих горизонтов, и эти отражающие горизонты будут более сложными, чем то, что показано. Такие детали будут понятны специалистам в данной области техники, которые оценят преимущества от использования настоящего изобретения.

В то время как сейсмические источники срабатывают, сейсмические приемники 105 регистрируют отражения 175. Приемники оцифровывают полученные отражения 175 для цифровой регистрации. Существует множество подходов к регистрации и сбору полученных данных. В представленном варианте осуществления полученные данные передают для регистрации по кабелю 120 на вычислительное устройство (не показано), которое находится на борту судна 125.

В отличие от традиционных морских сейсмических съемок 3D ВСП в раскрываемом в настоящем

документе способе используют "непрерывную" регистрацию полученных отражений. В традиционных морских сейсмических съемках 3D ВСП возбуждения точно рассчитаны по времени и согласованы так, что регистрация может происходить только в тех промежутках времени, в которых ожидается получение отражений. Случайность независимого одновременного возбуждения источников делает это непригодным для использования. Поэтому в способе, раскрываемом в настоящем документе, используют "непрерывную" регистрацию, так как время прихода отражений 175 точно неизвестно.

Использованный в настоящем документе термин "непрерывная регистрация" может касаться регистрации сейсмических данных в перерывы (по времени) между регистрацией сейсмических данных в традиционных съемках. Отсчеты цифровых данных обычно будут регистрировать как полученные с регулярным "шагом дискретизации", например 4 мс, вместе с измерением времени каждого отсчета цифровых данных. Однако регистрация непрерывна, так что отсчеты регистрируют тогда, когда их получают, поскольку в регистрации нет перерывов по времени. С другой стороны, при традиционном возбуждении обычно регистрируют запись фиксированной длины, в зависимости от требуемой глубины получаемого изображения эта запись составляет от 300 мс до 20 с. При традиционном возбуждении наложения выходных записей обычно не происходит, и всегда существует перерыв по времени между соседними записями.

Одна непрерывная запись такая же длинная, как много традиционных сейсмических записей и, таким образом, содержит в себе вступления сейсмических волн, сгенерированных при срабатывании множества сейсмических источников. Непрерывная запись может иметь длину в множество часов или дней (даже в геологических обстановках, в которых требуется сейсмическая запись длиной в несколько секунд). Она может быть, но не обязательно, разделена на множество более коротких записей, смежных друг с другом или перекрывающихся друг друга, или даже исключаящих некоторые временные окна из непрерывной записи.

Схема 160 регистрации будет включать в себя время, на котором возбуждение должно начаться и на котором ожидается его окончание; таким образом, получается время, в течение которого выполняют регистрацию. Каждый оцифрованный отсчет обычно регистрируют с шагом дискретизации 2 или 4 мс, как обсуждалось выше, времена и местоположения возбуждения регистрируют для каждого сейсмического источника до тех пор, пока суда с источниками не прекратят возбуждения. Так завершают сбор сейсмических данных.

Для выполнения анализа сейсмические данные по окончании съемки обрабатывают. Теоретически эта обработка может полностью или частично происходить на борту буровой установки 125 или в любом другом месте. Зарегистрированные данные имеют очень большой объем, их обработка требует интенсивных вычислений. Не многие полевые объекты, такие как буровая установка 125 и буксировочные суда 145, имеют достаточные вычислительные ресурсы для выполнения такой обработки за приемлемое время. Соответственно, по этой причине зарегистрированные отражения (т.е. сейсмические данные) 300 передают в вычислительный центр 305, который показан на фиг. 3.

Специалистам в данной области техники будет понятно, что сейсмические данные 300 - это массивы упорядоченных цифровых данных, которые находятся в среде для постоянного хранения. Полученные отражения преобразуют из аналоговой формы, которую воспринимают приемники, в цифровой сигнал, который затем записывают. Сейсмические данные 300 обычно сохраняют в среде для постоянного хранения, из которой впоследствии они могут быть обработаны.

Сейсмические данные 300 могут быть переданы в вычислительный центр 305 любым подходящим способом, известным в данной области техники. Например, в некоторых вариантах осуществления сейсмические данные 300 могут быть переданы по беспроводным линиям 310 связи через спутник 315. В других вариантах осуществления сейсмические данные 300 могут быть записаны на магнитную ленту 320 или диск и доставлены в вычислительный центр 305 по воздуху или по морю, а затем наземным транспортом (не показано).

Вычислительный центр 305 будет располагать вычислительной системой, подходящей для требуемой обработки. На фиг. 4 схематически показаны отдельные части архитектуры программных и аппаратных средств 400 в том виде, как они могут быть использованы в некоторых аспектах настоящего изобретения. В зависимости от конкретной реализации вычислительное устройство 400 может быть вычислительным устройством общего назначения или специальным вычислительным устройством. Вычислительное устройство 400 включает в себя, по меньшей мере, электронный процессор 403, взаимодействующий с хранилищем 406 по каналам 409 передачи информации.

Электронный процессор 403 может быть любым подходящим процессором или группой процессоров, известных в данной области техники. Специалистам в данной области техники будет понятно, что в разных вариантах осуществления в зависимости от известных подробностей конкретной реализации некоторые типы процессоров будут более предпочтительны. Обычно в процессе проектирования встречаются такие факторы, как мощность процессора, скорость, стоимость и потребление энергии, они сильно зависят от конкретной реализации. Поскольку их повсеместно используют в данной области техники, такие факторы будут легко согласованы друг с другом специалистами в данной области техники, понимающими преимущества от использования настоящего раскрытия. Электронный процессор 403 теорети-

чески может быть электронным микроконтроллером, электронным контроллером, электронным микропроцессором, группой электронных процессоров или надлежащим образом запрограммированной специализированной интегральной микросхемой (ASIC), программируемой логической матрицей (FPGA) или графическим процессором (GPU). В некоторых вариантах осуществления могут быть использованы некоторые сочетания этих типов процессоров.

Специалисты в данной области техники также поймут, что массивы данных, такие как сейсмические данные 110, имеют довольно большой объем, и что описанная здесь обработка требует большого объема вычислений. Поэтому обычные реализации электронного процессора 403 фактически содержат несколько групп электронных процессоров, распределенных между несколькими согласованно работающими вычислительными устройствами. Один из таких примеров осуществления обсуждается ниже. Эти соображения таким же образом оказывают влияние на реализацию хранилища 406 и каналы 409 передачи информации.

Хранилище 406 может включать в себя среду для постоянного хранения, такую как магнитный жесткий диск и/или оперативную память (RAM) и/или съемные носители, такие как магнитный USB-диск 412 и оптический диск 415. Хранилище 406 содержит ряд программных компонент. К этим компонентам относится операционная система (OS) 418, приложение (прикладная программа) 421, структуры данных, включая сейсмические данные (SDATA) 300. Хранилище 406 может быть распределено между несколькими вычислительными устройствами, как описано выше.

Так же, как и электронный процессор 403, конструктивные ограничения во всех конкретных вариантах осуществления могут оказывать влияние на конструкцию хранилища 406 в зависимости от конкретной реализации. Например, как отмечено выше, раскрываемая технология работает на объемных массивах данных, что обычно упрощается использованием разных накопителей данных, таких как избыточный массив независимых дисков (RAID). Специалистам в данной области техники известны также другие типы накопителей данных, которые могут быть использованы в дополнение или вместо RAID. Так же, как и в случае с электронным процессором 403, в процессе проектирования эти типы факторов общеизвестны, и специалисты в данной области техники, понимающие преимущества от использования настоящего раскрытия, легко смогут найти их оптимальное соотношение в зависимости от ограничений конкретного проекта реализации.

Электронный процессор 403 работает под управлением операционной системы 418 и выполняет приложение 421 с использованием канала 409 передачи информации. Этот процесс может начинаться автоматически, например, при запуске, или по команде пользователя. Команда пользователя может быть отдана напрямую при помощи пользовательского интерфейса. С этой целью компьютерная система 400 приведенного примера осуществления также использует пользовательский интерфейс 442.

Пользовательский интерфейс 442 содержит программу 445 пользовательского интерфейса (UIS) и дисплей 440. Он может также содержать периферийные устройства ввода/вывода (I/O), такие как кнопочная панель или клавиатура 450, мышь 455 или джойстик 460. Такие детали конкретной реализации не имеют значения для раскрываемой здесь технологии. Например, некоторые варианты осуществления могут не содержать периферийных устройств ввода/вывода, если дисплей 440 оснащен сенсорным экраном. Соответственно, раскрываемая здесь технология допускает разные варианты этого аспекта компьютерной системы 400, и могут быть использованы любые обычные реализации, известные в данной области техники.

Кроме того, отсутствуют требования, чтобы функциональные возможности описанной выше компьютерной системы 400 были реализованы так, как описано в настоящем документе. Например, приложение 421 может быть реализовано в виде других программных компонент, таких как служебный процесс или утилита. Функциональные возможности приложения 421 не должны быть объединены в одну программную компоненту и могут быть распределены между двумя или более программными компонентами. Таким же образом структуры данных могут быть реализованы с использованием любых подходящих структур данных, известных в данной области техники.

Как и в случае с электронным процессором 403 и хранилищем 406, реализация канала 409 передачи информации будет зависеть от конкретной реализации. Если компьютерная система 400 установлена на одном вычислительном устройстве, канал 409 передачи информации может быть, например, системой шин этого одного вычислительного устройства. Если компьютерная система 400 реализована на множестве объединенных в сеть вычислительных устройств, тогда канал 409 передачи информации может использовать проводную или беспроводную связь между вычислительными устройствами. По этой причине реализация канала 409 передачи информации будет существенно зависеть от конкретного варианта осуществления настолько, насколько это очевидно специалистам в данной области техники, понимающим преимущества от использования настоящего изобретения.

Как видно из описания в настоящем документе, некоторые части представленного здесь подробного описания изложены в терминах программно реализованной процедуры, содержащей символические представления операций над битами данных в памяти компьютерной системы или вычислительного устройства. Эти описания и представления являются средствами, которые специалисты в данной области техники используют для более эффективной передачи содержания своей работы другим специалистам в

данной области техники. Процедура и функционирование требуют конкретных манипуляций физическими величинами, которые приведут к физическим изменениям конкретного устройства или системы, на которой выполняют эти действия или на которой хранят результаты. Обычно, но не обязательно, эти величины принимают форму электрических, магнитных или оптических сигналов, которые можно хранить, передавать, комбинировать, сравнивать или выполнять с ними другие действия. Иногда считают удобным, особенно в целях широкого использования, называть эти сигналы битами, значениями, элементами, символами, термами, числами и т.д.

Однако следует помнить, что все эти названные и аналогичные термины должны быть связаны с соответствующими физическими величинами и являются просто удобными обозначениями, которые применяют для этих величин. Если в настоящем раскрытии специально не оговорено или из него иным образом не очевидно, эти описания относятся к действиям и процедурам электронного устройства, которое выполняет действия и преобразует данные, представленные в виде физических (электронных, магнитных или оптических) величин в хранилище некоторого электронного устройства, в другие данные, так же представленные в виде физических величин в хранилище или на передающих или отображающих устройствах. Типичными терминами в таком описании, среди прочих, могут быть: "обработка", "вычисление", "расчет", "нахождение", "отображение" и подобные им.

Кроме того, выполнение функций программного обеспечения изменяет вычислительное устройство, на котором оно происходит. Например, сбор данных будет физически изменять содержимое хранилища так же, как и последующая обработка данных. Физическое изменение - это "физическое преобразование", которое приводит к изменению физического состояния хранилища данных вычислительного устройства.

Обратите внимание, что программно реализованные аспекты изобретения обычно записывают на некоторый носитель - запоминающее устройство для хранения программ или реализуют с использованием некоторой среды передачи информации. Запоминающее устройство для хранения программ может быть магнитным (например, гибким диском или жестким диском) или оптическим (например, постоянное запоминающее устройство на компакт-диске или CD-ROM), оно может быть предназначено только для чтения или для неограниченного доступа. Таким же образом среда передачи информации может быть коаксиальным кабелем, витыми парами, оптическим волокном или некоторой другой средой передачи информации, известной в данной области техники. Изобретение не ограничено этими аспектами любых реализаций.

На фиг. 5 изображен пример части компьютерной системы 500, при помощи которой выполняют такую обработку в представленном варианте осуществления. Компьютерная система 500 подключена к (компьютерной) сети, но подключение компьютерной системы 500 к сети не является обязательным требованием. Другие варианты осуществления могут задействовать, например, одноранговую архитектуру или некоторый гибрид одноранговой и клиент-серверной архитектуры. Для применения настоящего изобретения размеры и местоположение компьютерной системы 500 не существенны. Размеры и масштаб могут изменяться от нескольких устройств локальной сети (LAN), расположенной в одном помещении, до многих сотен или тысяч устройств, распределенных по всему миру в виде корпоративной компьютерной системы.

Проиллюстрированная часть компьютерной системы 500 включает в себя сервер 510, запоминающее устройство 520 и рабочую станцию 530. Каждая из этих компонент может быть обычным способом реализована в аппаратных средствах. Другие варианты осуществления изобретения могут также содержать разные вычислительные устройства, которые используют для реализации компьютерной системы 500. Кроме того, специалистам в данной области техники будет очевидно, что компьютерная система 500 и даже та ее часть, что показана, будут гораздо более сложными. Однако такие детали обычны, и мы не будем их обсуждать или демонстрировать, чтобы не затруднять понимание заявленного ниже предмета изобретения.

На фиг. 5 показано, что приложение 421 находится на сервере 510, а сейсмические данные 300 находятся на запоминающем устройстве 520. Это только один из способов размещения разных программных компонент, наш способ не зависит от их расположения. Несмотря на то, что в некоторых вариантах осуществления проблемы быстрогодействия при определенных местоположениях могут быть смягчены, в иных случаях местонахождение компонент программного обеспечения значения не имеет.

Раскрываемый здесь способ допускает некоторые изменения в обработке в зависимости от способа сбора данных и реализации конкретных целей для конечного продукта. Специалистам в данной области техники будет очевидно, что независимо от подхода к обработке обычно будет существовать некоторый уровень предварительной обработки. Такую предварительную обработку обычно будут использовать в разных вариантах осуществления раскрываемого здесь способа. Однако в силу повсеместности в данной области техники и знакомства специалистов данной области техники с такой предварительной обработкой мы не будем дальше обсуждать ее для сохранения ясности и чтобы не отвлекаться от объекта изобретения, заявленного ниже.

В представленных вариантах осуществления обработка включает в себя, по меньшей мере, способ, известный как "разделение сигналов (от соседних источников)". Процедура разделения сигналов выделя-

ет из сейсмической записи отдельные взрывы, и для ослабления помех от других взрывов в некоторых вариантах осуществления ее сочетают с другими способами. Примеры разделения сигналов в соответствии со способом, раскрываемым в настоящем документе, включают в себя "прочесывание" (осуществление гребенчатой фильтрации) записи, "прочесывание" и последующую фильтрацию записи, а также способ разреженной инверсии, известный как разделение взрывов при помощи инверсии SSI.

В одном конкретном варианте осуществления обработка включает в себя процедуру, которая в данной области техники известна как "прочесывание" (один из способов сортировки данных, в частности, путем применения специальной "гребенчатой" функции). Несмотря на то, что возбуждение происходит "случайным образом", как описано выше, времена, на которых срабатывают взрывы, являются частью сейсмической записи, поскольку они известны по факту. Затем это знание может быть использовано для "прочесывания" сейсмической записи с целью обнаружения взрывов среди помех, связанных с другими взрывами. Этот способ позволяет извлечь взрывы без дополнительных усилий, направленных на устранение помех. "Прочесывание" дает в результате записи, из которых можно получить относительно менее зашумленные изображения.

В другом варианте осуществления для устранения помех "прочесывание" сочетают с фильтрацией. "Прочесывание" в этом варианте осуществления может быть выполнено, как описано, и затем к "прочесанным" данным применяют фильтр. Затем "прочесанные" данные могут быть отсортированы в сейсмограммы, в которых помехи выглядят случайными, а сигнал выглядит когерентным. Например, в некоторых вариантах осуществления могут быть использованы сейсмограммы общего пункта приема, хотя могут быть использованы другие типы сейсмограмм. Затем сейсмограммы фильтруют. Фильтрацию могут выполнять, например, путем применения преобразования Фурье, Радона, вейвлет-преобразования, курвлет-преобразования или сейслет-преобразования.

Однако в представленном варианте осуществления использован третий способ обработки. Поскольку в представленном варианте осуществления используют способ возбуждения "попкорн", описанный в "заявке 947", это особенно удобно для обработки способом разреженной инверсии. Этот способ разреженной инверсии также описан в "заявке 947", он основан на известных способах, описанных, например, в работе Abma R.L. и др. "High Quality Separation of Simultaneous Sources by Sparse Inversion" (Высококачественное разделение синхронных источников при помощи разреженной инверсии) (расширенные тезисы 72-й ежегодной конференции и выставки EAGE, 2010 г.) и в заявке на патент США № 12/542433, дополненной в соответствии с описанием в "заявке 947".

Распространение сейсмических волн через подземную толщу обычно создает непрерывные волновые поля. Эту непрерывность можно использовать для ограничения решений в традиционных подходах. Таким образом, традиционный способ инверсии модифицируют путем наложения ограничений пространственной непрерывности данных

$$d \approx A C m$$

где d - данные съемки, A - оператор свертки, C - оператор непрерывности, m - требуемые данные.

Оператор непрерывности C гарантирует, что данные m пространственно непрерывны. Для расчета оператора непрерывности могут быть использованы многомерные преобразования Фурье с заданием порогов.

В других вариантах осуществления могут быть использованы другие критерии когерентности. Один из таких альтернативных критериев - способ курвлетов, предложенный в работе Lin, Tim и Felix J. Herrmann "Designing Simultaneous Acquisitions with Compressive Sensing" (Проектирование синхронных съемок с восстановлением сигнала по его предыдущим сжатым/разреженным значениям) (расширенные тезисы 71-й ежегодной конференции и выставки EAGE, 2009 г.). При достаточном количестве итераций задание порогов для курвлетов может дать результаты, аналогичные результатам описанного выше способа, но задание порогов в пространстве FK (в области частот и волновых чисел) может быть эффективнее и быстрее, чем соответствующий подход с курвлетами. Примеры других способов включения в инверсию предположения о когерентном волновом поле могут включать в себя разные преобразования Радона и фильтры ошибок прогнозирования.

Существует несколько способов инверсии, известных в данной области техники, которые подходят для нахождения требуемых данных m . В одном конкретном варианте осуществления способ инверсии аналогичен способу интерполяции путем проецирования на выпуклые множества (POCS), который описан в работе Abma R. и Kabir N. "3D interpolation of irregular data with a POCS algorithm" (3D интерполяция нерегулярных данных с помощью алгоритма POCS) (журнал Geophysics, вып. 71, E91-E97, 2006 г.) и заявке на патент США № 12/464907, поданной 13 мая 2009 г. В других вариантах осуществления могут быть использованы другие способы. Могут быть использованы любые подходящие способы решения, известные специалистам в данной области техники.

В общем случае с целью обеспечения согласованности в модели m , которую находят при помощи инверсии для следующего выражения, способ обработки данных, полученных раскрываемым способом, для обеспечения согласованности может включать в себя использование способа преобразования Фурье, такого как быстрое преобразование Фурье (FFT)

$$d \approx A C m$$

Требуемый результат m находят итеративным способом, который включает в себя сортировку данных d для получения сейсмограммы ОПП, "прочесывание" разности между данными d и оценкой данных d' , добавление этой "прочесанной" разности к рассчитываемой модели m , получение Фурье-преобразования модели в окнах, применение порогов к преобразованным данным для устранения самых слабых отражений в Фурье-области, обратное преобразование Фурье в окнах, слияние окон в полную модель m , вычисление оценки данных d' по новой модели и повторение этого процесса до получения приемлемого результата m .

В случае использования съемки способом "попкорн" будут добавлены стадии удаления схем отработки "попкорн" из данных съемки и добавления схем отработки "попкорн" в вычисленную модель m для получения оценки данных d' .

Перечисленные ниже статьи, приложения и патенты включены путем ссылки для указанных целей:

Abma R. и Kabir N. "3D interpolation of irregular data with a POCS algorithm" (3D интерполяция нерегулярных данных с помощью алгоритма POCS) (журнал Geophysics, вып. 71, E91-E97, 2006 г.) - принципы способа интерполяции путем проецирования на выпуклые множества (POCS).

Заявка на патент США № 12/310204 "Способ сейсмической съемки", поданная 30 августа 2007 г. от имени Дэвида Джона Хау ("заявка 204") и имеющая общего правообладателя с настоящей заявкой - все изложенные в ней принципы.

Заявка на патент США № 12/464907 "Способ интерполяции сейсмических данных при помощи проецирования на выпуклые множества", поданная 13 мая 2009 г. от имени изобретателя Рэймонда Л. Абмы, опубликованная 26 ноября 2009 г. в качестве публикации патента 20090292476 A1 и имеющая общего правообладателя с настоящей заявкой - все принципы, касающиеся способа интерполяции путем проецирования на выпуклые множества (POCS).

Lin, Tim и Felix J. Herrmann "Designing Simultaneous Acquisitions with Compressive Sensing" (Проектирование синхронных съемок с восстановлением сигнала по его предыдущим сжатым/разреженным значениям) (расширенные тезисы 71-й ежегодной конференции и выставки EAGE, 2009 г.) - принципы способа курвлетов.

Заявка на патент США № 12/542433 "Способ разделения независимых синхронных источников", поданная 17 августа 2009 г. от имени изобретателя Рэймонда Л. Абмы и имеющая общего правообладателя с настоящей заявкой - принципы, касающиеся способа разреженной инверсии.

Abma R.L. и др. "High Quality Separation of Simultaneous Sources by Sparse Inversion" (Высококачественное разделение синхронных источников при помощи разреженной инверсии) (расширенные тезисы 72-й ежегодной конференции и выставки EAGE, 2010 г.) - принципы, касающиеся способа разреженной инверсии.

Заявка на патент США № 12/851590 "Способ разделения независимых синхронных источников", поданная 6 августа 2010 г. от имени изобретателя Рэймонда Л. Абмы и имеющая общего правообладателя с настоящей заявкой - принципы способа разреженной инверсии для независимых синхронных источников возбуждения.

Заявка на патент США № 13/315947 "Система и способ сейсмической съемки", поданная 9 декабря 2011 г. от имени Аллана Росса и Рэймонда Ли Абмы и имеющая общего правообладателя с настоящей заявкой - принципы, касающиеся способа возбуждения сейсмических источников "попкорн".

Заявка на патент США № 13/867705 "Способ сейсмической съемки", поданная 22 апреля 2013 г. от имени Дэвида Джона Хау и имеющая общего правообладателя с настоящей заявкой - все изложенные в ней принципы.

В случае противоречия любой включенной статьи, приложения или ссылки настоящему раскрытию изобретения настоящее изобретение превалирует.

Другие варианты осуществления настоящего изобретения будут понятны специалистам в данной области техники при рассмотрении раскрытого в настоящем документе описания изобретения и практического использования изобретения.

Предполагается, что описание изобретения и примеры будут рассматриваться только в качестве иллюстрации, а истинное существо и объем изобретения приведены в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ морской сейсмической разведки, включающий вертикальное сейсмическое профилирование, который предусматривает

независимое и одновременное возбуждение множества сейсмических источников, сгруппированных во множество групп, работающих соответствующим образом на множестве различных участков съемки, для передачи сейсмических сигналов в дно моря, причем сейсмические источники каждой группы испускают сигналы пространственно и по времени независимо от сейсмических источников любой другой группы посредством следующего:

движения с разными скоростями множества судов, связанных соответственно с множеством групп, так, что промежуток времени, с которым повторяется интерференция между сигналами, испускаемыми

различными группами, является случайным;

введения нерегулярных расстояний между пунктами взрыва сейсмических источников в каждой из групп, так что промежуток времени между пунктами взрыва сейсмических источников в каждой из групп является случайным;

получение отражений сейсмических сигналов от подземных толщ, которые находятся под дном моря, на множество сейсмических приемников; и

регистрацию отражений сейсмических сигналов для получения сейсмической записи.

2. Способ по п.1, в котором множество участков съемки включает два участка съемки.

3. Способ по п.1, в котором множество сейсмических источников организовано в массивы.

4. Способ по п.3, в котором независимое и одновременное возбуждение множества сейсмических источников включает срабатывание по схеме возбуждения, которая включает запаздывание по времени между двумя разными схемами взрывов, причем сейсмические источники первой группы из множества групп срабатывают согласно первой схеме взрывов из двух различных схем взрывов, и сейсмические источники второй группы множества групп срабатывают согласно второй схеме взрывов из двух различных схем взрывов.

5. Способ по п.1, в котором независимое и одновременное возбуждение множества сейсмических источников содержит

возбуждение каждого сейсмического источника первой группы из множества групп по первой схеме возбуждения и

возбуждение каждого сейсмического источника второй группы из множества групп по второй схеме возбуждения,

причем первая схема возбуждения и вторая схема возбуждения различны.

6. Способ по п.5, в котором запаздывание по времени присутствует между первой схемой возбуждения и второй схемой возбуждения.

7. Способ по п.1, в котором регистрация отражений сейсмических сигналов представляет собой непрерывную регистрацию отражений сейсмических сигналов.

8. Способ по п.1, дополнительно предусматривающий обработку сейсмической записи, которая состоит из отражений сейсмических записей, путем разделения сигналов сейсмической записи для извлечения отдельных возбуждений из сейсмической записи.

9. Способ по п.8, в котором разделение сигналов сейсмической записи включает по меньшей мере одно из осуществления гребенчатой фильтрации сейсмической записи для поиска взрывов, устранения помех из сейсмической записи путем фильтрации и выполнения разреженной инверсии этой сейсмической записи.

10. Способ по п.8, в котором разделение сигналов сейсмической записи включает в себя выполнение разреженной инверсии, в которой для обеспечения согласованности в модели используют метод преобразования Фурье

$$d \approx A C m$$

где d - данные съемки, A - оператор свертки, C - оператор непрерывности, m - требуемые данные.

11. Способ по п.10, в котором нахождение решения для m последовательно включает упорядочивание полученных данных d в сейсмограммы общего пункта приема; гребенчатое фильтрование разности полученных данных d и оцененных данных d' ; добавление разности между полученными данными d и оцененными данными d' к рассчитанной модели m ;

Фурье-преобразование окон модели;

задание порогов преобразованных данных для устранения слабых волн в Фурье-области;

обратное Фурье-преобразование окон;

объединение окон в полную модель m и

вычисление вторых оцененных данных d' по новой модели до получения приемлемого результата m .

12. Способ по п.8, который дополнительно включает в себя ослабление помех путем фильтрации сейсмической записи.

13. Способ по п.12, в котором фильтрация включает в себя применение преобразования Фурье, Радона, вейвлет-преобразование, курвлет-преобразование или сейслет-преобразование.

14. Способ морской сейсмической разведки, включающий вертикальное сейсмическое профилирование, который предусматривает

сбор данных вертикального сейсмического профилирования, который включает в себя

независимое и одновременное возбуждение множества сейсмических источников, сгруппированных во множество групп, работающих на множестве участков съемки, для передачи сейсмических сигналов в дно моря, причем сейсмические источники каждой группы испускают сигналы пространственно и по времени независимо от сейсмических источников любой другой группы посредством следующего:

движения с разными скоростями множества судов, связанных, соответственно, с множеством групп,

так что промежуток времени, с которым повторяется интерференция между сигналами, испускаемыми различными группами, является случайным; и

введения нерегулярных расстояний между пунктами взрыва сейсмических источников в каждой из групп, так что промежуток времени между пунктами взрыва сейсмических источников в каждой из групп является случайным;

получение отражений сейсмических сигналов от подземных толщ, которые находятся под дном моря, на множество сейсмических приемников;

регистрацию отражений для получения сейсмической записи и

обработку данных вертикального сейсмического профилирования посредством разделения сигналов сейсмической записи, содержащей отражения сейсмических сигналов, для извлечения возбуждений из сейсмической записи.

15. Способ по п.14, в котором множество сейсмических источников расположены во множестве участков съемки.

16. Способ по п.14, в котором независимое и одновременное возбуждение множества сейсмических источников, сгруппированных во множество групп, содержит

возбуждение каждого сейсмического источника первой группы в качестве части схемы возбуждения и

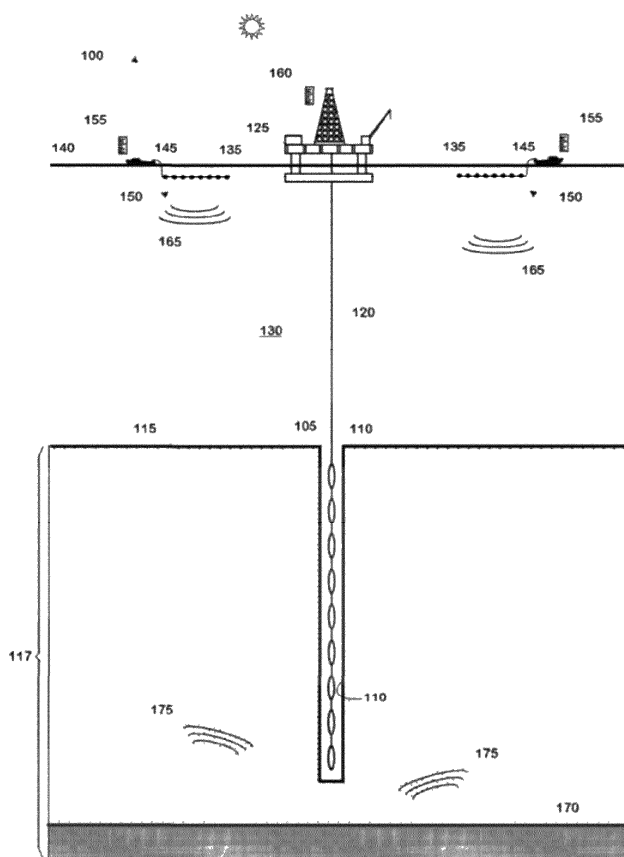
возбуждение каждого сейсмического источника второй группы в качестве части второй схемы возбуждения,

причем первая схема возбуждения и вторая схема возбуждения различны.

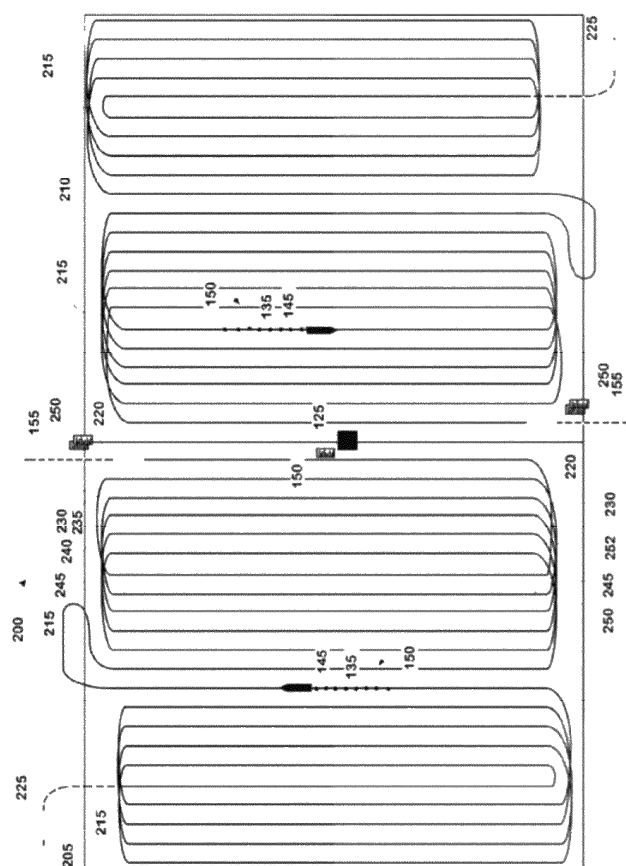
17. Способ по п.14, в котором регистрация отражений сейсмических сигналов представляет собой непрерывную регистрацию отражений сейсмических сигналов от подземных толщ.

18. Способ по п.14, дополнительно предусматривающий обработку сейсмической записи, которая состоит из отражений сейсмических сигналов, путем разделения сигналов сейсмической записи для извлечения отдельных возбуждений из сейсмической записи.

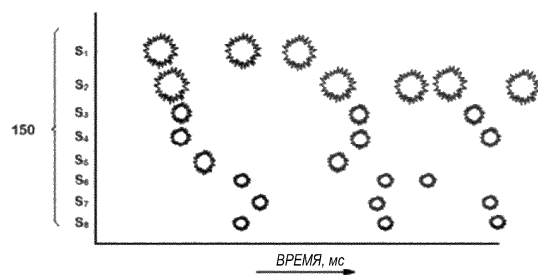
19. Способ по п.18, в котором разделение сигналов сейсмической записи включает по меньшей мере одно из осуществления гребенчатой фильтрации сейсмической записи для поиска взрывов, устранения помех из сейсмической записи путем фильтрации и выполнения разреженной инверсии этой сейсмической записи.



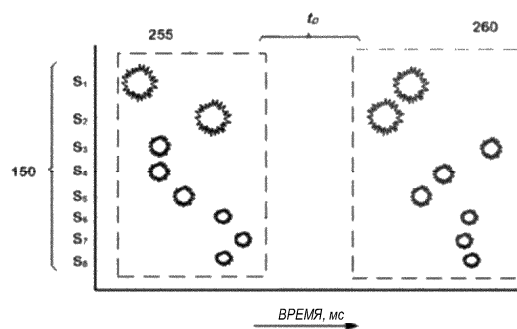
Фиг. 1



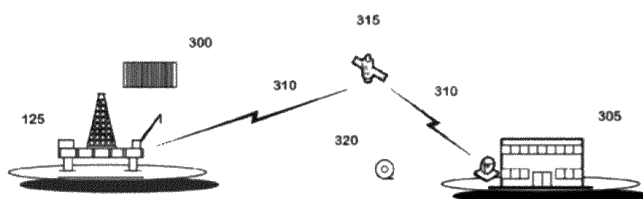
Фиг. 2А



Фиг. 2В



Фиг. 2С



Фиг. 3

