

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **034865**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.03.31

(21) Номер заявки
201691614

(22) Дата подачи заявки
2015.03.13

(51) Int. Cl. **G01V 1/00** (2006.01)
G01V 1/38 (2006.01)
G01V 1/28 (2006.01)

(54) УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИСКРЕТИЗАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЕ ГРУПП ПРИ СЪЕМКЕ С СИСТЕМОЙ НАБЛЮДЕНИЙ "ПОПКОРН" И ОДНОВРЕМЕННЫМ СРАБАТЫВАНИЕМ ИСТОЧНИКОВ

(31) **61/953,138**

(32) **2014.03.14**

(33) **US**

(43) **2017.01.30**

(86) **PCT/US2015/020477**

(87) **WO 2015/138923 2015.09.17**

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

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

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

(56) **US-A1-2012147701**

US-A-4357689

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 pages 31,32

US-A1-2012014212

US-A1-2012033525

R.L. Abma ET AL.: "High Quality Separation of Simultaneous Sources by Sparse Inversion", 72nd EAGE CONFERENCE & EXHIBITION, EXTENDED ABSTRACTS, 1 June 2010 (2010-06-01), XP055216636, Retrieved from the Internet: URL: http://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CCYQFjAAahUKEwidgfv7pnIAhXCfnIKHeBtA0E&url=http%3A%2F%2Fwww.earthdoc.org%2Fpublication%2Fdownload%2F%3Fpublication%3D39103&usg=AFQjCNHdTiGcw4ZgZVkfFe3WZt8eN9Hazw&sig2=bvxEuiMXs2FWlyKj_ew4yg [retrieved on 2015-09-28] pages 2,3

(57) Так называемая "отработка по системе "попкорн" и, в частности, непрерывная отработка по системе "попкорн" в сочетании с синхронным возбуждением источников делает возможной значительную гибкость при получении высокоразрешенных данных и создании групп источников. Сочетание разделения синхронных источников и восстановления "попкорн" позволяет с помощью обработки после сбора данных создавать группы любой требуемой длины путем создания схемы "попкорн", которая учитывает скорость судна и конкретное расположение источников за буксирующим судном.

B1**034865****034865****B1**

Ссылка на родственные заявки

Согласно настоящей заявке испрашивается приоритет в соответствии с заявкой на выдачу патента США № 61/953138, зарегистрированной 14 марта 2014 г. и называющейся "Усовершенствование пространственной дискретизации и формирование групп при съемке с системой наблюдений "попкорн" и одновременным срабатыванием источников", которая полностью включена в настоящий документ посредством ссылки.

Область техники, к которой относится настоящее изобретение

Настоящее изобретение относится к предмету сейсмических исследований и наблюдений и, в частности, к способам получения сейсмических и других сигналов, которые характеризуют геологическую среду для целей сейсмических исследований и/или наблюдений.

Предшествующий уровень техники настоящего 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 распространяется вниз сквозь землю. Затем отражения этого сигнала регистрируют в разных местоположениях на поверхности. После этого сочетание из нескольких 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 располагаются 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 земных недр, находящийся 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 сейсмической трассы составляет от 5 до 16 с, что соответствует 2500-8000 отсчетов при интервале между отсчетами 2 мс. Обычно каждая трасса регистрирует срабатывание источника, поэтому каждому срабатыванию действующей пары источник-приемник соответствует одна трасса. Заметим, что для целей настоящего описания термин "источник" следует понимать либо как одиночное устройство, генерирующее сейсмический сигнал, либо совокупность таких устройств (которые могут быть собраны в группы или находиться на расстоянии друг от друга), которые срабатывают одновременно, либо и то и другое. Это должно быть понятно из контекста, в котором он упоминается. В типичной 2D съемке обычно происходит много срабатываний источников в разных местоположениях, в результате получают несколько десятков тысяч трасс, а в 3D съемке количество отдельных трасс может достигать многих миллионов.

При сейсмических наблюдениях морская группа источников (обычно это группа пневмопушек) состоит из разных одиночных блоков, которые буксируют за судном, перемещающимся на участке работ. Эти блоки (т.е. пневмопушки, гидропушки, электроискровые источники, виброисточники, бумеры, инфразвуковые "сирены" и пр.) обычно подвешивают в ряд под надувным бумом и в таком виде буксируют. Как правило, при глубоководных сейсмических съемках под каждый буй помещают по 6-8 источников. Такая конфигурация источников сейсмических колебаний условно называется подгруппой. Для целей настоящего описания изобретения под термином "группа" подразумеваются все источники, которые используют в сейсмической съемке, в случае морской съемки - источники, буксируемые одним, двумя или несколькими судами. Под подгруппой (которая может состоять из одного или более источников) будем понимать подмножество источников, которые должны срабатывать одновременно.

Если для достижения требуемых параметров сигнала необходимо больше источников, обычно используют дополнительные подгруппы с тем, чтобы надувной буй и группа сейсмических источников не становились слишком длинными и помещались на отведенном им месте на палубе, а также чтобы они не становились избыточно направленными и слишком длинными. Слишком длинные и направленные группы обладают нежелательными свойствами. Например, если количество источников обуславливает длину группы в несколько десятков метров, то не только буй и группа будут слишком длинными, чтобы поместиться на типичном сейсмическом судне, но и сигнал, выпускаемый этой группой, будет получен сейс-

мическими приемниками со значительной разностью нормальных приращений времени. То есть из-за разных местоположений в пределах подгруппы путь сигнала и время пробега источников различаются достаточно для того, чтобы разность составила значительную часть интервала времени. Таким образом, более высокочастотные компоненты будут не в фазе и, тем самым, ослаблены.

Как известно, до недавнего времени в области сбора и обработки сейсмических данных существует потребность в системе и способе, которые предлагают более эффективный способ сбора и обработки сейсмических данных, не страдающий недостатками известных техник. Соответственно следует признать, как это сделали авторы настоящего изобретения, что существует и некоторое время уже существовала насущная потребность в способе обработки сейсмических данных, который бы решал описанные выше задачи.

Однако прежде, чем перейти к описанию примеров осуществления настоящего изобретения, следует отметить и помнить, что последующее описание, а также прилагаемые чертежи не следует рассматривать как ограничение формулы изобретения приведенными и описанными примерами (или вариантами осуществления). Это справедливо, поскольку специалисты в этой области смогут разработать другие варианты настоящего описания изобретения в пределах прилагаемой формулы.

Краткое раскрытие настоящего изобретения

Согласно одному аспекту настоящего изобретения предлагаются система и способ морских сейсмических исследований, которые позволяют использовать буксируемые источники сейсмических колебаний более эффективно, чем это было возможно до настоящего времени.

Самосинхронная работа источников в морских условиях - это способ повышения плотности пространственной дискретизации пунктов взрыва (ПВ) при сейсмических съемках без снижения скорости морской сейсморазведочной станции. Типичный пример самосинхронного возбуждения может приводить к срабатыванию групп источников с интервалом, равным половине времени в обычной съемке. Это приводит к тому, что сейсмограммы перекрывают друг друга по времени, чего при сейсмических наблюдениях обычно избегают. Таким образом, для целей настоящего описания изобретения под наблюдениями с "самосинхронными источниками" подразумевается способ сбора сейсмических данных, при котором сигналы от срабатывания двух или более последовательных источников (группы), от того же источника или соседних источников фактически интерферируют (т.е. перекрывают друг друга), при этом группа источников считается "соседней", если источники буксирует одно судно. К счастью, перекрывающиеся возбуждения позднее могут быть разделены во время обработки в соответствии со способами, широко известными специалистам в данной области (например, разделения возбуждений путем инверсии). Некоторые варианты системы наблюдений типа "попкорн" и изложенный в настоящем документе способ могут включать самосинхронную работу источников, но это не является необходимым условием. Под "самосинхронной работой источников" следует понимать случаи, когда один источник (включая группу отдельных источников) срабатывает в достаточно быстрой последовательности 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.

Возбуждение по системе "попкорн" - это возбуждение отдельных пневмопушек в пределах одной группы/подгруппы в течение некоторого периода времени вместо обычного одновременного срабатывания всех источников в группе. Вообще говоря, у такого подхода есть три варианта. Первый из них - возбуждение по системе "попкорн", когда источник не перекрывает сам себя. Второй вариант возбуждения по системе "попкорн" - самосинхронный "попкорн", 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, если одно судно с источниками (или, в более общем случае, больше, чем одна сейсмопартия) "стреляет" на фоне другого.

Один пример осуществления устраняет зависимость требуемой и идеальной длины группы физического размера группы. Например, если используется способ "попкорн" (обсуждаемый ниже), тогда каждый источник может срабатывать отдельно по схеме раз в N секунд, полученные при этом перекрывающиеся сигналы разделяют с использованием одного способа инверсии, предпочтительно способом инверсии "попкорн". Таким образом, каждый одиночный источник потенциально может быть точечным источником независимо от пространственного расположения источников, буксируемых за сейсмическим судном.

Ниже перечислены некоторые возможные примеры осуществления принципа изобретения, представленного в настоящем документе:

1. Один пример осуществления, в котором для повышения плотности пространственной дискретизации каждый сигнал от источника может быть обработан индивидуально.
2. Один пример осуществления, в котором источники по очереди могут быть возбуждены в одном местоположении. Другими словами, головной источник в группе (например, источник, который находится ближе всего к буксирующему судну) может срабатывать в определенном местоположении, а затем по мере попадания (посредством буксирования) в это местоположение могут быть возбуждены следующие источники, расположенные дальше от судна. Затем при помощи инверсии или аналогичной технологии

можно выполнить разделение перекрывающихся возбуждений.

3. Один пример осуществления, в котором физически короткая группа может быть как бы удлинена, если источники этой группы срабатывают задом наперед (от конца к началу).

Первый пример осуществления будет обеспечивать наибольшую гибкость, поскольку после разделения возбуждений отдельных источников для создания требуемой группы можно применить цифровое формирование группы или можно оставить отдельные точечные источники.

Во втором примере осуществления каждый источник может срабатывать в одном местоположении на поверхности по соответствующему расписанию времени возбуждения. Как вариант, время возбуждения может быть несколько изменено, так что в цифровом виде может быть построена группа, которая короче, чем реальная физическая группа.

Третий пример осуществления позволяет удлинять короткую группу путем составления расписания времен срабатывания отдельных источников, распределенных на большей длине, чем физическая длина группы. Обычно это предполагает, что источники срабатывают с конца к началу конкретной группы, но на длину группы, построенной в цифровом виде, может сильнее влиять время между срабатываниями на первом ПВ и последнем ПВ в группе и скорость судна, чем реальное местоположение пневмопушки в конкретной группе.

Согласно одному примеру осуществления здесь изложен способ сейсмических исследований над областью недр земли, в которой находятся структурные или стратиграфические особенности, благоприятные для присутствия, миграции или скопления углеводородов, в этом способе осуществляют буксирование сейсмической расстановки вблизи от области недр земли, причем упомянутая сейсмическая расстановка содержит некоторое количество морских источников сейсмических колебаний, организованных в некоторое количество подгрупп, в каждой из упомянутых подгрупп имеются относящиеся к ней один или более упомянутых морских источников сейсмических колебаний; этот метод предусматривает составление разных расписаний срабатывания для каждой из упомянутого некоторого количества подгрупп; регистрацию сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутого некоторого количества подгрупп в соответствии с упомянутым составленным расписанием срабатывания; выбор шага ПВ; в упомянутых сейсмических данных установление сейсмических трасс, соответствующих упомянутому выбранному шагу ПВ; использование упомянутых установленных сейсмических трасс для восстановления упомянутых зарегистрированных сейсмических данных в виде некоторого количества трасс сейсмических данных путем решения системы уравнений вида

$$d = Am,$$

где m - упомянутое некоторое количество трасс сейсмических данных, d - упомянутые установленные сейсмические трассы, A - набор форм импульсов "попкорн", соответствующих упомянутому расписанию срабатывания пушек; и построение изображения по меньшей мере части недр земли при помощи упомянутого некоторого количества трасс сейсмических данных.

Также в настоящем документе изложен способ сейсмических исследований над областью недр Земли, в которой находятся структурные или стратиграфические особенности, благоприятные для присутствия, миграции или скопления углеводородов, в этом способе осуществляют буксирование морской сейсмической расстановки вблизи от области недр земли, упомянутая морская сейсмическая расстановка содержит некоторое количество морских источников сейсмических колебаний, организованных в две и более подгруппы, причем в каждой из упомянутых подгрупп имеются относящиеся к ней один или более упомянутых морских источников сейсмических колебаний; этот метод предусматривает буксирование упомянутой морской сейсмической расстановки до местоположения, близкого к области недр земли; определение расстояния от каждой упомянутой подгруппы до упомянутого морского судна; при движении упомянутого морского судна последовательное срабатывание каждой из упомянутых групп по очереди в соответствии с упомянутым определенным расстоянием от упомянутого морского судна, начиная с наиболее удаленной из упомянутого некоторого количества подгрупп; регистрацию сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутых подгрупп; восстановление некоторого количества сейсмических трасс из упомянутых зарегистрированных сейсмических данных и построение изображения по меньшей мере части недр земли при помощи упомянутого некоторого количества сейсмических трасс.

В настоящем документе изложен также другой способ сейсмических исследований над областью недр земли, в которой находятся структурные или стратиграфические особенности, благоприятные для присутствия, миграции или скопления углеводородов, в этом способе осуществляют буксирование морской сейсмической расстановки вблизи от области недр земли, упомянутая морская сейсмическая расстановка содержит некоторое количество морских источников сейсмических колебаний, организованных в две и более подгруппы, в каждой из упомянутых подгрупп имеются относящиеся к ней один или более упомянутых морских источников сейсмических колебаний; этот метод предусматривает размещение упомянутой морской сейсмической расстановки таким образом, чтобы первая из упомянутого некоторого количества подгрупп находилась вблизи к местоположению над областью недр земли; возбуждение упомянутой первой из упомянутого некоторого количества подгрупп вблизи упомянутого местоположения; после срабатывания упомянутой первой из упомянутого некоторого количества подгрупп буксирование упомянутой морской сейсмической расстановки до тех пор, пока вторая из упомянутого множества

подгрупп не окажется вблизи от упомянутого местоположения; возбуждение упомянутой второй из упомянутого некоторого количества подгрупп вблизи от упомянутого местоположения; выполнение шагов с) и d) по меньшей мере для двух разных подгрупп из упомянутого некоторого их количества; регистрация сейсмических данных, источником которых является срабатывание упомянутого первого из упомянутого некоторого количества подгрупп и от срабатывания любой из упомянутых следующих подгрупп из упомянутого некоторого их количества вблизи от упомянутого местоположения; восстановление некоторого количества сейсмических трасс из упомянутых зарегистрированных сейсмических данных и построение изображения по меньшей мере части недр земли при помощи упомянутого некоторого количества сейсмических трасс.

Также в настоящем документе изложен способ сейсмических исследований с целью поиска углеводородов в некоторой области недр земли, этот метод предусматривает организацию доступа к некоторому множеству восстановленных сейсмических трасс из сейсмической съемки, которые были получены вблизи этой области недр земли в соответствии со способом съемки, включающим буксирование упомянутой морской сейсмической расстановки до местоположения, близкого к области недр земли; определение расстояния от каждой упомянутой подгруппы до упомянутого морского судна; при движении упомянутого морского судна последовательное срабатывание каждой из упомянутых групп по очереди в соответствии с упомянутым определенным расстоянием от упомянутого морского судна, начиная с наиболее удаленной из упомянутого некоторого количества подгрупп; регистрация сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутых подгрупп; восстановление некоторого количества сейсмических трасс из упомянутых зарегистрированных сейсмических данных и построение изображения по меньшей мере части недр земли при помощи упомянутого некоторого количества восстановленных сейсмических трасс, тем самым осуществляя поиски углеводородов в области недр земли.

Вышеизложенное в общих чертах описывает наиболее важные принципы раскрываемого здесь изобретения настолько, чтобы можно было более точно понять нижеследующее подробное описание и оценить вклад авторов настоящего изобретения. Применение настоящего описания изобретения и последующей формулы изобретения не должно ограничиваться особенностями устройства или расположением компонент, изложенными в последующем описании или проиллюстрированными на чертежах. Напротив, принципы настоящего изобретения допускают другие примеры осуществления и использования и выполнения разными другими способами, прямо не перечисленными в настоящей заявке. Наконец, понятно, что используемые в настоящей заявке формулировки и терминология служат целям описания и не должны рассматриваться как ограничения, если только описание изобретения специально таким образом его не ограничивает.

Краткое описание фигур

Другие цели и преимущества станут очевидными после прочтения последующего подробного описания со ссылками на чертежи:

- на фиг. 1 проиллюстрирована общая среда обработки;
- на фиг. 2 представлена операционная логика, пригодная для использования с одним примером осуществления;
- на фиг. 3 продемонстрирован пример морской среды примера осуществления;
- на фиг. 4 представлена операционная логика, пригодная для использования с одним примером осуществления;
- на фиг. 5 проиллюстрирован известный подход к возбуждению источников с использованием группы морских сейсмических источников;
- на фиг. 6 проиллюстрировано преимущество одного примера осуществления;
- на фиг. 7А и 7В проиллюстрирован один пример осуществления, в котором отдельные источники в одной группе последовательно возбуждаются (7А) и подгруппы возбуждаются (7В) в одном местоположении на поверхности земли;
- на фиг. 8 представлена схема, иллюстрирующая как можно создать эффективную длину группы, которая длиннее, чем реальная длина группы;
- на фиг. 9 проиллюстрирована группа, состоящая из трех подгрупп, эта группа может быть использована в соответствии с одним из примеров осуществления;
- на фиг. 10 представлена иллюстрация конфигурации судно-источник, которая может быть использована для улучшенной пространственной дискретизации в направлении кросслайна.

Подробное раскрытие настоящего изобретения

В то время как следующие принципы пригодны для осуществления изобретения в разных формах, на чертежах ниже показаны и далее будут подробно описаны некоторые конкретные примеры осуществления. Однако настоящее описание изобретения следует рассматривать как пояснение изложенных здесь принципов, и оно не преследует цели ограничить формулу изобретения конкретными примерами осуществления или описанными здесь алгоритмами.

Примеры осуществления

В соответствии с одним примером осуществления предлагаемый способ морской сейсмической съемки позволяет использовать больше сейсмических источников, чем это возможно в обычной конфи-

группации с одной подгруппой. Следует отметить, что дополнительные описания некоторых аспектов одного примера осуществления можно получить по ссылке на заявку на выдачу патента США № 13/315947, US 2012/0147701 A2 "Заявка на патент "попкорн"", описание которого включено в настоящее описание посредством ссылки, что равносильно ее полному включению в этот пункт.

Отработка по системе "попкорн" имеет разные преимущества, но особый интерес для целей настоящего описания изобретения представляет то, что эта система может быть использована для управления или моделирования пространственной дискретизации сейсмических данных. Эта дискретизация может быть усовершенствована путем использования съемки с синхронными источниками или сочетания съемки с синхронными источниками и системы "попкорн". С таким улучшенным разрешением возможна новая гибкость при проектировании и создании групп источников.

Самосинхронная работа источников - это способ повышения плотности пространственной дискретизации сейсмической съемки без снижения скорости морской сейсморазведочной станции. Типичным примером самосинхронной работы источников может быть отработка за период времени, равный половине времени традиционной съемки, при этом в каждом возбуждении участвует некоторое количество одновременно срабатывающих источников. Вследствие этого сейсмограммы перекрывают друг друга по времени, чего при сейсмических наблюдениях обычно избегают. Однако перекрывающиеся возбуждения могут быть разделены во время последующей обработки в соответствии со способами, широко известными специалистам в данной области (например, при помощи инверсии или более конкретно в некоторых примерах осуществления путем разреженной инверсии).

Возбуждение по системе "попкорн" - это возбуждение отдельных пневмопушек в пределах одной группы в течение некоторого периода времени вместо обычной практики одновременного срабатывания нескольких пушек и может рассматриваться как крайняя форма самосинхронного возбуждения. Одно применение отработки по системе "попкорн" - непрерывная отработка "попкорн", то есть непрерывное возбуждение пневмопушек во время движения судна. Обработка данных непрерывной съемки по системе "попкорн" в некоторых примерах осуществления предусматривает выбор шага ПВ, подбор всех сейсмических трасс, зарегистрировавших возбуждения источников в местоположениях на поверхности, определенных выбранным шагом ПВ, разделение подобранных трасс, содержащих перекрывающиеся ПВ при помощи сочетания восстановления "попкорн", и разделение ПВ путем инверсии, как указано в первом разделении ПВ путем инверсии в патенте США № 8559270, описание которого включено в настоящее описание посредством ссылки, что равносильно ее полному включению в этот пункт.

Обратите внимание, что в последовательности обработки данных непрерывной отработки по системе "попкорн" вполне вероятно не будет шагов ПВ, выраженных натуральными числами. Поскольку источники в некоторых примерах осуществления системы "попкорн" срабатывают непрерывно (и даже случайным образом), срабатывание источников, вероятно, не будет помещено в равноудаленные друг от друга местоположения на поверхности, как это бывает при традиционных сейсмических съемках. Вследствие этого в настоящем примере осуществления шаг ПВ - это параметр обработки, который может быть изменен по мере необходимости. Например, для близкповерхностных съемок с высоким разрешением, где требуются небольшие шаги ПВ, может быть установлено небольшое значение шага ПВ. Для более глубоких объектов может быть установлено большое значение шага ПВ с тем, чтобы к каждой эффективной сейсмотрассе относилось больше пневмопушек. Наименьший шаг ПВ может быть установлен на некоторую величину, меньшую обычного расстояния между местоположениями срабатывания пневмопушек, поскольку способ разделения возбуждений путем инверсии позволяет выполнять требуемую интерполяцию. В каждом из этих случаев будут установлены сейсмические трассы, регистрирующие возбуждения источников в выбранных местоположениях, перекрывающиеся возбуждения будут разделены (если требуется), а затем использованы в последующей обработке, как более подробно описано ниже.

Описанный выше способ создает группы ПВ с длиной, приблизительно равной длине требуемого шага ПВ. Длину группы можно также увеличить путем группирования перекрывающихся возбуждений пневмопушек для создания такого же количества расчетных ПВ, что и для ПВ, содержащих отдельные возбуждения пневмопушек, которые являются общими для ПВ.

Альтернативой упомянутому выше способу создания групп является разделение всех возбуждений отдельных пневмопушек и затем создание групп из отдельных возбуждений. Этого можно добиться путем простого суммирования, суммирования со взвешиванием или регулирования направленности приема для отдельных трасс от каждого срабатывания пневмопушки. Конечно, предельным случаем может быть отказ от создания групп, то есть обработка трасс от отдельных срабатываний пневмопушек. Это обеспечит наилучшее пространственное разрешение, но может быть причиной более высокого уровня помех в трассах, которые в противном случае подавляют путем формирования групп.

Поскольку в настоящем примере осуществления шаг ПВ теперь является параметром обработки, который вводится после съемки, а не значением, установленным во время съемки, для разных целей может быть выбран оптимальный шаг ПВ. Другими словами, обычно шаг ПВ - это проектное решение до съемки, которое управляет сбором сейсмических данных в поле, тогда как в настоящем примере осуществления шаг ПВ для целей обработки может быть задан после съемки, это означает, что разные значения этого параметра могут быть выбраны в зависимости, например, от объекта в геологической среде,

изображение которого должно быть построено. В то время, как обычно для построения сейсмических изображений по данным непрерывной съемки по системе "попкорн" могут быть использованы два графа обработки (один для высокоразрешенных близповерхностных изображений и один для глубинных изображений), можно представить, что переменный по времени граф обработки может быть использован для одновременного получения близповерхностного высокоразрешенного изображения, а также построения изображений с использованием больших расстановок для лучшего изображения глубинного разреза.

Такое использование отработки по системе "попкорн" допускает значительную гибкость в создании групп и управлении разрешением и помехами до суммирования.

Этот пример осуществления позволяет не ограничивать требуемую и идеальную длину группы конкретными размерами группы. В одном примере осуществления при использовании способа "попкорн" каждый источник срабатывает отдельно по схеме раз в N секунд и его отделяют от сигналов перекрывающих источников при помощи способа "попкорн" или другого способа инверсии или разделения. Таким образом, каждая одиночная пушка потенциально может быть точечным источником независимо от пространственного расположения пушек, буксируемых за сейсмическим судном.

Настоящий подход допускает ряд возможностей изменения конфигурации. Общее для всех вариантов состоит в том, что срабатывание отдельных перекрывающихся источников требует в дальнейшем разделения в цифровом виде. Среди способов, которые могут быть использованы, находится инверсия и в некоторых примерах осуществления разреженная инверсия, в том смысле, в каком они известны и в каком их используют в области сейсмической обработки. К подходам, которые могут быть использованы в разных примерах осуществления, относятся следующие:

1. Сигнал от каждого источника сейсмических колебаний из группы может быть обработан индивидуально для повышения плотности пространственной дискретизации. Этот подход обеспечивает значительную гибкость, поскольку после разделения отдельных источников для создания любой требуемой группы может быть использовано формирование группы в цифровом виде или в некоторых примерах осуществления источники могут быть сохранены как точечные источники.

2. Каждый источник может срабатывать в том же местоположении, в котором сработал предыдущий источник, и позднее его восстанавливают как точечный и суммарный источник. Другими словами, в настоящем подходе для этого будет возможно организовать срабатывание всех источников из группы в одном местоположении в соответствии с расписанием времени срабатывания. Головная пушка в группе/подгруппе (например, источник, который находится ближе всего к буксирующему судну) может срабатывать в определенном местоположении, а затем по мере попадания (посредством буксирования) в это же местоположение могут срабатывать следующие источники. Как вариант, аналогичный результат может быть получен путем небольшого изменения времен срабатывания, так чтобы можно было построить группу, которая короче реальной физической группы. Затем при помощи инверсии или аналогичной технологии можно выполнить разделение перекрывающихся возбуждений.

3. Физически короткая группа может быть удлинена в цифровом виде, если источники в этой группе срабатывают задом наперед. Другими словами, этот вариант позволяет удлинять короткую группу путем составления расписания времен срабатывания отдельных источников, распределенных на большем расстоянии, чем физическая длина группы. Обычно это предполагает, что источники срабатывают с конца физической группы к ее началу, но на длину построенной группы может сильнее влиять время срабатывания, чем реальное местоположение пневмопушки в конкретной группе.

Описанный в предыдущих пунктах способ рассматривает размеры шага ПВ в продольном направлении. Использование отработки по системе "попкорн" может также улучшить дискретизацию по другим направлениям. Пневмопушки могут быть распределены вдоль направления кросслайна и срабатывать по схемам в соответствии с системой "попкорн". Полученные сейсмические сигналы затем могут быть обработаны и будут выглядеть как одна сейсмограмма, полученная с длинной поперечной группой, или как отдельные сейсмограммы с разными позициями на поперечном профиле. Можно также сформировать промежуточные дискреты в поперечном направлении.

Следует уделять определенное внимание проектированию схем "попкорн", чтобы обеспечить дискретизацию в продольном или поперечном направлении, которая позволит эффективно восстанавливать сейсмограммы по этим направлениям. Например, наилучшее восстановление ПВ для конкретной выборки будет гарантировать, что большинство построенных сейсмограмм будут иметь соответствующие им физические возбуждения, и распределение этих возбуждений может быть (в идеале) однородным по всем построенным сейсмограммам. Если предполагается один шаг ПВ, схемы "попкорн" могут быть спроектированы так, чтобы при таком шаге обеспечивать наилучшее разделение возбуждений.

Обратимся к фиг. 1, эта фигура содержит общий обзор одного варианта осуществления и связанной с ним обстановки. Как видно, проект 110 морской сейсмической съемки в целом будет составлен таким образом, который предполагает использование во время съемки принципов, изложенных в настоящем документе. В конкретном примере это означает, что будет выбрана группа (или некоторое количество подгрупп) с двумя или более источниками сейсмических сигналов, которые будут буксировать за собой судно с источниками. Специалисты в данной области поймут как это сделать и, в частности, как это сде-

лать, если требуется получить изображение определенного объекта геологической среды.

В поле сейсмические данные будут получены в соответствии с примером осуществления (блок 120). Как изложено в настоящем документе, отдельные источники в группе будут возбуждены и зарегистрированы в соответствии с проектом 110 съемки во время движения судна. Предполагается, что подавляющее большинство возбуждений источников будет перекрывать (или будет перекрыто) одним или более возбуждениями. В некоторых случаях приемниками будут датчики, буксируемые 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 обычно так делают, выполняют 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, их разделяют в соответствии со способами, широко известными специалистам в данной области (например, при помощи разреженной инверсии). Алгоритмы, выполняющие такое разделение, обычно доступны 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 разделения записей от разных источников сейсмических колебаний данные будут обработаны, как в целом описано выше, причем это зависит от проекта съемки. В некоторых случаях уже разделенные срабатывания источников могут быть объединены разными способами с тем, чтобы получить тот же эффект, что и одновременное возбуждение группы, объединены, чтобы сфокусировать группу и усилить коэффициент отражения от конкретного объекта (например, путем регулирования направленности приема). Полученные записи данных будут сейсмическими записями, сопоставимыми с теми, что обычно регистрируют другими способами.

Традиционное использование разделенных и может быть восстановленных сейсмограмм возможно множеством разных способов. Обычно сейсмические 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 подробности типичной последовательности сейсмической обработки, которую начинают со сбора данных в соответствии с примером 210 осуществления, затем будет выполнено редактирование 215, некоторая первичная обработка 220, 230 - подготовка сигнала и получение изображения, 240 - получение изображения разрезов или объемов, предварительная интерпретация 250 сейсмических данных, 260 - дальнейшее улучшение изображения в соответствии с целями исследования, расчет 270 атрибутов по обработанным сейсмическим данным, повторная интерпретация 280 сейсмических данных (если требуется) и, наконец, 290 - определение объекта под бурение.

Фиг. 3 содержит еще одну иллюстрацию того, как пример осуществления может быть реализован на практике. В одном примере 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 группу 330 сейсмических источников 340 и 350. Обратите внимание, что источники 340/350 в группе 330 могут быть разных размеров/мощности/частотного диапазона, и глубина их буксирования может быть неодинаковой. С другой стороны, все источники 340/350 в группе могут быть одного размера/мощности/частотного диапазона, и тот факт, что на фигуре они изображены значками разного размера, не должен быть истолкован как ограничение настоящего описания только группами, состоящими из источников разного размера. В некоторых примерах осуществления дополнительные приемники 335 (например, донные морские приемники) будут размещены на дне 325 океана. Конечно, главная цель состоит в том, чтобы получить изображения 324 строения геологической среды.

Фиг. 4 содержит пример операционной логики, пригодной для использования с одним примером осуществления. Прежде всего, будет разработан проект 405 морской съемки. Обычно цель будет состоять в построении изображения определенной особенности или области геологической среды. С таким проектом будут связаны технические характеристики источников, из которых должна быть составлена группа, буксируемая по участку работ (блок 410). Кроме того, и в некоторых примерах осуществления это будет сделано во время проектирования съемки, источники в группе будут разделены на две или более подгруппы. В некоторых примерах осуществления каждый источник будет отнесен только к одной группе. В других случаях один или более источников могут быть отнесены более чем к одной подгруппе. Источники могут быть разного размера и могут иметь разные частотные характеристики и пр. Также их могут буксировать на одинаковой глубине или на разных глубинах. Важно, чтобы в группе было по меньшей мере два разных источника (которые могут иметь или не иметь одинаковые свойства), и чтобы группа была разделена по меньшей мере на две разные подгруппы. Подходящие источники могут содер-

жать некоторое сочетание пневмопушек, гидропушек, электроискровых источников, виброисточников, бумеров, инфразвуковых сирен, морских вибросейсмических источников, неимпульсных морских источников и пр.

Помимо выбора сейсмической группы и/или вместе с таким выбором будет определено как группа должна быть разделена на подгруппы. В некоторых примерах осуществления некоторые подгруппы могут состоять из одного сейсмического источника. В других примерах осуществления некоторые подгруппы могут содержать два или более источника.

Затем будет разработано расписание возбуждений для каждой из подгрупп (блок 415). Каждое расписание возбуждения применяется к одному или более источникам в каждой подгруппе и по меньшей мере два из этих расписаний должны различаться.

В качестве примера на фиг. 3 каждый из отдельных источников 340 и 350 в группе может иметь свое собственное расписание возбуждения, независимое от других. В качестве другого примера источники на фиг. 3 могут быть сгруппированы в две подгруппы, и необходимо будет 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 настоящему описанию изобретения.

Восстановление сигналов по данным съемки "попкорн" будет зависеть от схем пневмопушек, использованных для съемки с возбуждением по системе "попкорн". Плохо спроектированные схемы снижают точность восстановления, тогда как хорошо спроектированные схемы повышают ее. Для примера, в первом способе проектирования съемки типа "попкорн" используют подход Монте-Карло, при котором генерируют множество случайных схем, а затем для получения наилучшей схемы проверяют их по ряду критериев. Примером еще одного способа может быть аналитическое проектирование схем. Разные аспекты подходов к проектированию расписаний возбуждения источников можно найти в совместно рассматриваемой заявке на выдачу патентов США №№ 13/315947 и 61/903587, описание которой включено в настоящее описание посредством ссылки.

Вернемся к фиг. 4; затем одно или больше сейсмических судов будут направлены на участок работ и будет начата съемка (блок 420). Кроме судна с источниками, могут быть использованы другие суда для буксирования кабелей с сейсмическими датчиками. Например, известно об использовании дополнительных судов с косами, если требуется выполнение широкоазимутной съемки. Кроме того, и как в целом показано на фиг. 3, в некоторых случаях могут быть использованы морские донные приемники в сочетании с морскими сейсмическими косами или вместо них.

Затем будет начата непрерывная или периодическая регистрация, и каждый источник (или группа источников) будет срабатывать в соответствии с собственным заранее определенным расписанием (блок 425). С учетом вышесказанного предпочтительнее будет непрерывная регистрация, хотя это необязательное требование. Предполагается, что расписания срабатывания источников будут приводить к тому, что сигналы с источниками, срабатывающими по разным расписаниям, будут перекрываться. В связи с этим также предполагается, что необходимо будет впоследствии разделять срабатывания источников при помощи, например, разреженной инверсии в соответствии со способами, широко известными специалистам в данной области.

В одном примере осуществления каждая запись сейсмических данных после съемки будет содержать несколько возбуждений источников, предварительным условием для дальнейшей обработки сейсмических данных является их разделение или обработка иным способом. Для целей настоящего описания термин "восстановление" следует понимать как обозначение шага (шагов) обработки, необходимых для преобразования трасс, полученных во время съемки по изложенной здесь системе "попкорн", в более традиционные сейсмические трассы.

В одном примере осуществления зарегистрированные сейсмические данные "d" (которые могут быть, например, сейсмограммами равных удалений или сейсмограммами общего пункта приема) могут быть связаны с требуемым возбуждением несмешанных/восстановленных источников "m" следующим матричным уравнением

$$d = Am,$$

где m, вообще говоря, представляет сейсмические данные, которые могли быть получены при помощи более традиционной сейсмической съемки без одновременного срабатывания источников или возбуждения по системе "попкорн"; A - матрица, которая описывает свертку разных импульсов в m, где "импульс попкорн" - составной импульс, который формируют, когда источники в наборе срабатывают в соответствии с заданным расписанием возбуждения. Другими словами, каждую строку в A можно считать составным импульсом источника, сдвинутым по времени. В некоторых примерах осуществления можно также применять условие когерентности "C" (например, возбуждение в одном местоположении на поверхности будет обычно похоже на возбуждения в соседних местоположениях и пр.):

$$d = ACm.$$

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
 $d_{\text{расчетное}} = Am$.

Заново рассчитать Δd и повторять до получения удовлетворительного результата. Как показано выше, в одном примере осуществления для ослабления помех в качестве когерентного фильтра могут быть использованы f-k преобразование, F-X деконволюция, преобразование Радона и пр. В некоторых приложениях это преобразование может быть применено к сейсмограммам равных удалений или сейсмограммам общего приема путем f-k преобразования и удаления (например, обнуления) всех значений ниже определенного порогового значения. Специалистам в данной области будет понятно, что определенные значения параметров, которые управляют когерентным фильтром, необходимо выбирать на основании опыта и/или метода проб и ошибок, но этот выбор 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 отработка по системе "попкорн" позволяет использовать в качестве параметра обработки шаг ПВ, но непрерывная отработка по системе "попкорн" может также включать значительную часть, связанную с одновременным возбуждением и последующим разделением перекрывающихся срабатываний источников (блок 430). С учетом вышесказанного во многих примерах осуществления самосинхронная отработка не потребуется и в таком случае не будет необходимости в разделении данных, и восстановление можно будет выполнять как описано выше.

Затем для получения изображений геологической среды уже разделенные срабатывания источников могут быть подвергнуты дальнейшей обработке, как обсуждалось ранее (блок 435).

Наконец, при выделении перспективных объектов, интерпретации геологической среды и пр. (блок 440) будет доступно использование сейсмических разрезов, анализа атрибутов и пр.

Теперь обратимся к фиг. 5, где проиллюстрирован обычный подход к использованию групп источников в морской обстановке. В этом случае все источники 540 в группе будут срабатывать одновременно, что приведет к регистрации одного срабатывания (схематически показано в виде восходящего луча 505). Поскольку все источники 540 срабатывают одновременно, шесть точек отражения, связанных с шестью срабатываниями источников, получают размытые так, будто акустическая волна вышла из геометрического центра группы (т.е. между источниками 3 и 4, на схеме это место начала восходящего луча 505). Конечно такое латеральное размытие вносит определенные неточности в получаемое обычным способом изображение геологической среды. Следует отметить и помнить, что источники 540 могут иметь одинаковые размеры, частотные составы и пр. либо в зависимости от требований конкретной съемки они могут быть разных размеров, частотных составов и пр.

С другой стороны, если шесть источников 540 срабатывают одновременно (фиг. 6), эти шесть источников могут быть восстановлены как один ПВ, сопоставимый со схемой на фиг. 5, или восстановлены как шесть отдельных ПВ, что повысит пространственную дискретизацию в шесть раз. В этом случае каждый из шести источников будет генерировать свое собственное восходящее волновое поле 605, которое может быть выделено, отдельно обработано и скомбинировано (или нет) с возбуждениями других источников из этой группы. В другом варианте схемы некоторые из источников, допустим, первые три, могут быть собраны в одну группу, а последние три - в другую, при этом источники в каждой группе будут срабатывать одновременно. Это может дать два разных "источника", которые затем можно скомбинировать и/или обрабатывать по отдельности.

При этом предыдущее наблюдение означает, что срабатывания отдельных источников в системе "попкорн" могут быть использованы для восстановления сигнала, сопоставимого с сигналом, который может быть получен, если источник в группе сработал в той же точке геологической среды. В качестве примера на схеме фиг. 7А показано, что судно 320 буксирует шесть групп 710 источников 720. При этом, хотя значки источников в группе 710 имеют одинаковые размеры, из этого не следует, что на практике все источники имеют одинаковые размеры, одинаковую глубину буксирования и одинаковый частотный состав или другие свойства. Напротив, следует понимать и помнить, что источники 720 могут быть любого размера, могут буксироваться на разной глубине и пр.

На этой фигуре судно 310 показано с интервалом в 1 с по мере его передвижения по воде слева направо. В этом примере осуществления каждый отдельный источник 720 срабатывает по очереди в одном и том же местоположении по мере того, как буксир протягивает его над этим местоположением. На источник, который срабатывает, указывает стрелка 710. Таким образом, если судно 310 на этой фигуре плывет со скоростью 4.86 узлов (2.5 м/с), расстояние между источниками 720 вдоль линии составляет 2.5

м, и источники срабатывают по очереди с интервалом в 1 с, начиная с головного источника (т.е. ближайшего к буксирующему судну 310), затем срабатывает второй и т.д., каждый из шести источников 720 будет срабатывать вблизи одного местоположения на поверхности земли. Если впоследствии шесть возбуждений источников будут восстановлены и суммированы в один ПВ, эффективная длина группы будет нулевой независимо от того, что физическая длина группы в этом примере составляет 12.5 м. Аналогичным образом, на фиг. 7В подгруппы (пары) 710 источников последовательно возбуждают так, что каждая пара источников срабатывает в одном местоположении. Как можно было ожидать, на обеих фиг. 7А и 7В отражения, которые регистрируют от геологической среды, будут перекрываться по времени и будет необходимо разделять их, прежде чем обрабатывать для получения изображений геологической среды.

С другой стороны, обратимся к примеру на фиг. 8, где показано как можно использовать эту буксируемую группу 710 для создания эффективно удлиненного источника в соответствии с расписанием возбуждений. То есть, например, можно создать виртуальную группу источников, которая будет длиннее реальной. В этом примере судно 310 буксирует шесть источников 720 группы 710. Как и прежде, судно 310 на фиг. 8 показано с интервалом в 1 с по мере того, как оно буксирует группу 710. Если судно плывет со скоростью 4.86 узлов (2.5 м/с), расстояние между источниками вдоль линии составляет 2.5 м, и источники 720 срабатывают с интервалом в 1 с, первым срабатывает источник, наиболее удаленный от судна, затем второй по дальности и пр., после восстановления и объединения шести ПВ в один эффективная длина группы составит 25 м, тогда как физическая длина группы 12.5 м.

Обратимся к примеру на фиг. 9, в этом случае судно 310 буксирует группу 910 из 18 источников, эта группа состоит из трех подгрупп по шесть источников в каждой. В традиционной съемке все 18 источников могут быть возбуждены одновременно и будут обработаны как единый ПВ, впоследствии можно считать, что он расположен приблизительно в геометрическом центре группы. С учетом вышесказанного в некоторых случаях местоположение ПВ может быть определено на основе энергии или давления и пр. Но в любом случае при одновременном срабатывании этой группы 910 будет считаться, что ПВ находится в местоположении, которое является компромиссным значением на основании числа и положения источников в группе/подгруппе.

В соответствии с одним примером осуществления большинство или все источники срабатывают не одновременно, а последовательно по схемам, которые отвечают разным численным или геофизическим критериям. Например, в схеме "попкорн" срабатывание источников может происходить в следующем порядке: 2, 9, 16, 1, 10, 14, 6, 8, 12, 17, 7, 16, 4, 11, 15, 13, 5, 3. Схему можно построить таким образом, что определенный источник может быть задействован в схеме больше одного раза либо может быть совсем не задействован; обычно каждый источник задействуют один раз за каждое срабатывание схемы. В способе "попкорн" сейсмические данные, которые зарегистрированы при срабатывании источников, могут быть восстановлены к одной точке, такой как геометрический центр. Либо сейсмические данные от каждого отдельного источника могут быть помещены в местоположение того источника, который был возбужден. Либо сейсмические данные от группы или подгруппы могут быть восстановлены или рассмотрены как один ПВ. Например, источники 1-6 могут быть рассмотрены как один ПВ; аналогично, источники 7-12 и 13-18 или источники 1, 7, 13 могут быть объединены в группу, за которой по времени следует группа, в которую объединены источники 2, 8, 14, а за ней группа из источников 3, 9, 15 и т.д. Либо за источниками 6, 12, 18 могут следовать 5, 11, 17 и пр. Источники могут быть возбуждены или не возбуждены в местоположении предыдущего возбуждения источника. Схемы могут быть разработаны таким образом, что эта последовательность обеспечивает регулирование направленности приема по заданному азимуту. Таким образом, способы, описанные в настоящем документе, обеспечивают большую гибкость при выборе итоговой длины группы источников и расстояния между ПВ (пространственной дискретизации).

Наконец, обратимся к фиг. 10; этот пример осуществления демонстрирует как пространственная дискретизация может быть осуществлена в поперечном направлении. В этом случае пневмопушки 720 могут быть распределены при помощи параванов (или других средств) в соответствии со способами, широко известными специалистам в данной области. При повторном срабатывании каждая пневмопушка будет генерировать несколько линий общих средних (глубинных) точек (ОСТ или ОГТ) по количеству линий сейсмических приемников. Поскольку расстояние между линиями будет равно половине расстояния между источниками, количество полученных линий ОСТ/ОГТ будет в 17 раз больше (в этом примере), чем если бы источники срабатывали одновременно и в обычном порядке. Либо данные могут быть восстановлены как один ПВ с большим охватом площади.

Дополнительные подробности, относящиеся к способам синхронных источников и самосинхронных источников, можно найти по одной или нескольким следующим ссылкам, описания которых включены в настоящее описание путем ссылки во всей своей полноте и во всех смыслах, как если бы были полностью здесь изложены: заявка на выдачу патента США № 12/542433 (номер дела ВР 39397; Метод разделения независимых синхронных источников/ USSN), заявка на выдачу патента США № 61/154613 (номер дела ВР 39467; Разделение синхронных сейсмических источников путем нелинейной инверсии/аннулированный USSN), заявка на выдачу патента США № 13/315925 (номер дела ВР 40082; Разделенные по расстоянию и частоте сейсмические источники со свип-генератором).

При этом 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).

Более 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.

Термин "по меньшей мере" и число после него использованы в настоящем документе для обозначения начала диапазона, который начинается с этого числа (и который может быть диапазоном с верхней границей или без верхней границы в зависимости от переменной, которую определяют). Например, "по меньшей мере 1" означает 1 или больше чем 1. Термин "не более чем" и число после него в настоящем документе использованы для обозначения конца диапазона, который заканчивается этим числом (который может быть диапазоном с нижней границей 1 или 0 или без нижней границы в зависимости от переменной, которую определяют). Например, "не более чем 4" означает 4 или меньше чем 4, а "не более чем 40%" означает 40% или меньше чем 40%. Термины приблизительного соответствия (такие как "примерно", "в основном", "приблизительно" и пр.) следует интерпретировать в соответствии с их обычным и принятым значением, как оно используется в родственных областях техники, если не указано иное. В отсутствие точного определения и в отсутствие обычного и принятого использования в родственных областях техники такие термины следует интерпретировать как $\pm 10\%$ от базового значения.

Следует отметить, что описание выше было сформулировано преимущественно в терминах традиционных морских сейсмических съемок, но это было сделано только с целью иллюстрации, а не из намерения ограничить представленное здесь описание изобретения только этими видами съемки. Специалисты в данной области только при помощи представленных выше примеров легко поймут как примеры осуществления могут применяться в 2D, 3D, 4D и пр. морских съемках, скважинных съемках, ВСП и любых их сочетаниях.

Несмотря на то, что в настоящем описании изобретения сейсмические источники могут быть названы "источниками", "пневмопушками" и пр., 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 и пр. Кроме того, как отмечалось ранее, аспекты настоящего описания изобретения могут быть применены также на суше. При этом в случаях, когда в настоящем документе использован термин "срабатывание/возбуждение", 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, если иное специально не указано.

В то время как настоящее изобретение пригодно для осуществления в разных формах, в настоящем документе на чертежах показаны и подробно описаны некоторые конкретные примеры осуществления. Однако понятно, что настоящее раскрытие изобретения следует рассматривать как пояснение принципов изобретения на примере, и оно не преследует цели ограничить его конкретными примерами осуществления или описанными здесь алгоритмами. Специалисты в данной области смогут внести разные изменения и дальнейшие варианты помимо тех, что показаны или предложены в настоящем документе, без отступления от сущности изобретения, объем которого определен ниже в формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сейсмических исследований над областью геологической среды земли, содержащей структурные или стратиграфические признаки, благоприятные для присутствия, миграции или скопления углеводородов, в котором сейсмическую группу буксируют судном вблизи этой области геологической среды земли, причем упомянутая сейсмическая группа содержит множество морских сейсмических источников, организованных во множество подгрупп, каждая из указанных подгрупп имеет один или несколько отнесенных к ней упомянутых морских сейсмических источников, причем способ включает:

- а) создание разных расписаний возбуждения для каждой из упомянутого множества подгрупп;
- б) регистрацию сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутого множества подгрупп в соответствии с упомянутым созданным расписанием возбуждения;
- в) выбор шага между пунктами взрыва (ПВ) как параметра обработки, задаваемого после съемки, при этом шаг между пунктами взрыва используют для создания группы пунктов взрыва, заданной после съемки, с длиной, соответствующей длине шага между пунктами взрыва и скорости судна;
- г) выявление в упомянутых зарегистрированных сейсмических данных сейсмических трасс, соответствующих упомянутому выбранному шагу между ПВ;
- е) восстановление упомянутых установленных сейсмических трасс в множество трасс сейсмических данных путем решения системы уравнений вида

$$d = Am,$$

где m - упомянутое множество трасс сейсмических данных, d - упомянутые установленные сейсмические трассы, A - набор форм импульсов "попкорн", соответствующих упомянутому расписанию возбуждения; и

- ф) использование упомянутого множества трасс сейсмических данных для получения изображения по меньшей мере части геологической среды земли.

2. Способ по п.1, в котором по меньшей мере одна из упомянутого множества подгрупп содержит один из упомянутого множества морских сейсмических источников.

3. Способ по п.1, в котором упомянутый каждый из упомянутых морских сейсмических источников выбран из группы, состоящей из пневмопушки, гидропушки, электроискрового источника, бумера, вибросейсмического источника и инфразвуковой сирены.

4. Способ сейсмических исследований над областью геологической среды земли, содержащей структурные или стратиграфические особенности, благоприятные для присутствия, миграции или скопления углеводородов, в котором морскую сейсмическую группу буксируют судном вблизи этой области геологической среды земли, причем упомянутая сейсмическая группа содержит множество морских сейсмических источников, организованных в две или более подгруппы, каждая из которых содержит один или несколько отнесенных к ней упомянутых сейсмических источников; способ включает:

- а) буксирование упомянутой морской сейсмической группы в местоположение, близкое к области геологической среды земли;
- б) определение расстояния каждой из упомянутых подгрупп до упомянутого морского судна;
- в) по мере движения упомянутого морского судна последовательное активирование каждой из упомянутых подгрупп по очереди в соответствии с их упомянутым определенным расстоянием от упомянутого морского судна, начиная с наиболее удаленной из упомянутого множества подгрупп;
- г) регистрация сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутых подгрупп;
- е) восстановление множества сейсмических трасс из упомянутых зарегистрированных сейсмических данных при помощи разделения отдельных активаций каждой из указанных подгрупп, и создание групп из отдельных активаций как параметра обработки, вводимого после съемки, причем группы, заданные после съемки, имеют длины, соответствующие длине по меньшей мере одного шага между пунктами взрыва и скорости судна; и
- ф) использование упомянутого множества сейсмических трасс для получения изображений по меньшей мере части геологической среды земли.

5. Способ по п.4, в котором по меньшей мере одна из упомянутого множества подгрупп содержит один из упомянутого множества морских сейсмических источников.

6. Способ по п.4, в котором упомянутый каждый из упомянутых морских сейсмических источников выбран из группы, состоящей из пневмопушки, гидропушки, электроискрового источника, бумера, вибросейсмического источника и инфразвуковой сирены.

7. Способ по п.4, в котором стадию е) выполняют путем решения уравнения

$$d = Am,$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, d - упомянутые зарегистрированные сейсмические трассы, A - набор форм импульсов "попкорн".

8. Способ по п.4, в котором стадию е) выполняют путем решения уравнения

$$d = ACm.$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, d - упомянутые зарегистрированные сейсмические данные, A - набор форм импульсов "попкорн", C - матрица когерентности.

9. Способ сейсмических исследований над областью геологической среды земли, содержащей структурные или стратиграфические особенности, благоприятные для присутствия, миграции или скопления углеводородов, в котором морскую сейсмическую группу буксируют судном вблизи этой области геологической среды земли, причем упомянутая сейсмическая группа содержит множество морских сейсмических источников, организованных в две или более подгруппы, каждая из этих подгрупп содержит один или несколько отнесенных к ней упомянутых сейсмических источников; способ включает:

- а) размещение упомянутой морской сейсмической группы так, чтобы первая из упомянутого множества подгрупп находилась вблизи от местоположения над этой областью земли;

b) активирование упомянутой первой из упомянутого множества подгрупп вблизи от упомянутого местоположения;

c) после срабатывания упомянутой первой подгруппы из множества буксирование упомянутой морской сейсмической группы до тех пор, пока вторая из упомянутого множества подгрупп не окажется вблизи упомянутого местоположения;

d) активирование упомянутой второй из упомянутого множества подгрупп вблизи от упомянутого местоположения;

e) выполнение стадий c) и d) по меньшей мере для двух разных подгрупп из множества;

f) регистрация сейсмических данных, полученных при активации упомянутой первой из упомянутого множества подгрупп, и при активации любой из упомянутых вторых из упомянутого множества подгрупп, сработавших вблизи от упомянутого местоположения;

g) восстановление множества сейсмических трасс из упомянутых зарегистрированных сейсмических данных при помощи разделения отдельных активаций каждой из указанных подгрупп, и создание групп из отдельных активаций как параметра обработки, задаваемого после съемки, причем группы, заданные после съемки, имеют длины, соответствующие длине по меньшей мере одного шага между пунктами взрыва и скорости судна; и

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

10. Способ по п.9, в котором по меньшей мере одна из упомянутого множества подгрупп содержит один из множества морских сейсмических источников.

11. Способ по п.9, в котором каждый из упомянутых морских сейсмических источников выбран из группы, состоящей из пневмопушки, гидропушки, электроискрового источника, бумера, вибросейсмического источника и инфразвуковой сирены.

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

$$d = Am,$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, d - упомянутые зарегистрированные сейсмические трассы, A - набор форм импульсов "попкорн".

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

$$d = ACm.$$

где m - упомянутое множество сейсмических трасс, d - упомянутые зарегистрированные сейсмические данные, A - набор форм импульсов "попкорн", C - матрица когерентности.

14. Способ сейсмических исследований с целью поисков углеводородов в некоторой области геологической среды земли, причем способ включает:

a) оценку множества восстановленных сейсмических трасс сейсмической съемки, которые были получены вблизи от области геологической среды земли в соответствии со способом сбора сейсмических данных, причем способ содержит следующие стадии:

1) буксирование морской сейсмической группы судном в местоположение, близкое к области геологической среды земли;

2) определение расстояния каждой из упомянутых подгрупп до упомянутого морского судна;

3) по мере движения упомянутого морского судна последовательная активация каждой из упомянутых подгрупп по очереди в соответствии с их упомянутым определенным расстоянием от упомянутого морского судна, начиная с наиболее удаленной из упомянутого множества подгрупп;

4) регистрация сейсмических данных по мере активации каждой из упомянутых подгрупп;

5) восстановление множества сейсмических трасс из упомянутых зарегистрированных сейсмических данных при помощи разделения отдельных активаций каждого из указанных подгрупп, и создание групп из отдельных активаций как параметра обработки, задаваемого после съемки, причем группы, заданные после съемки, имеют длины, соответствующие длине по меньшей мере одного шага между пунктами взрыва и скорости судна; и

b) использование упомянутого множества восстановленных сейсмических трасс для получения изображения по меньшей мере части геологической среды земли, тем самым осуществляют поиски углеводородов в этой области геологической среды земли.

15. Система сейсмических исследований, включающая:

сейсмическую группу, которую буксируют судном вблизи области геологической среды земли, упомянутая сейсмическая группа содержит множество подгрупп, каждая из упомянутых подгрупп включает один или более упомянутых связанных с ней морских сейсмических источников;

первую вычислительную систему, которая сконфигурирована для выполнения разных расписаний возбуждения для каждой из упомянутого множества подгрупп;

множество приемников, сконфигурированных для регистрации сейсмических данных по мере срабатывания каждой из упомянутого множества подгрупп в соответствии с упомянутым созданным расписанием возбуждения;

вторую вычислительную систему, сконфигурированную для

установления в упомянутых зарегистрированных сейсмических данных сейсмических трасс, соот-

ветствующих упомянутому выбранному шагу между пунктами взрыва (ПВ), причем выбранный шаг между пунктами взрыва является параметром обработки, задаваемым после съемки, который используют для создания групп пунктов взрыва, заданных после съемки с длиной, соответствующей длине шага между пунктами взрыва и скорости судна;

восстановления упомянутых установленных сейсмических трасс в множество трасс сейсмических данных путем решения системы уравнений вида

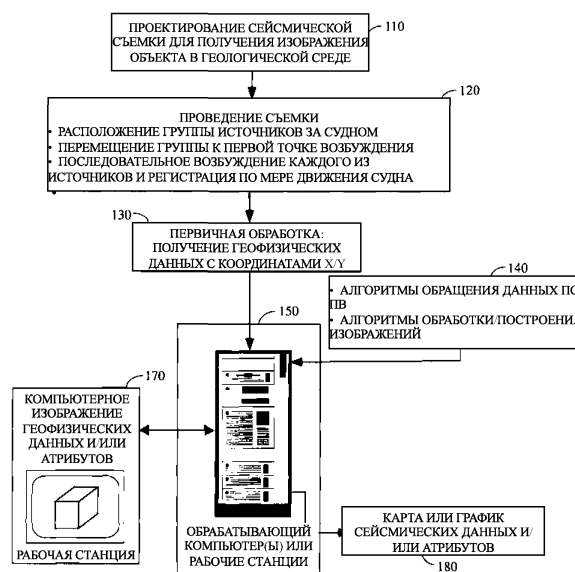
$$d = Am,$$

где m - упомянутое множество трасс сейсмических данных, d - упомянутые установленные сейсмические трассы, A - набор форм импульсов "попкорн", соответствующих упомянутому расписанию возбуждения; и

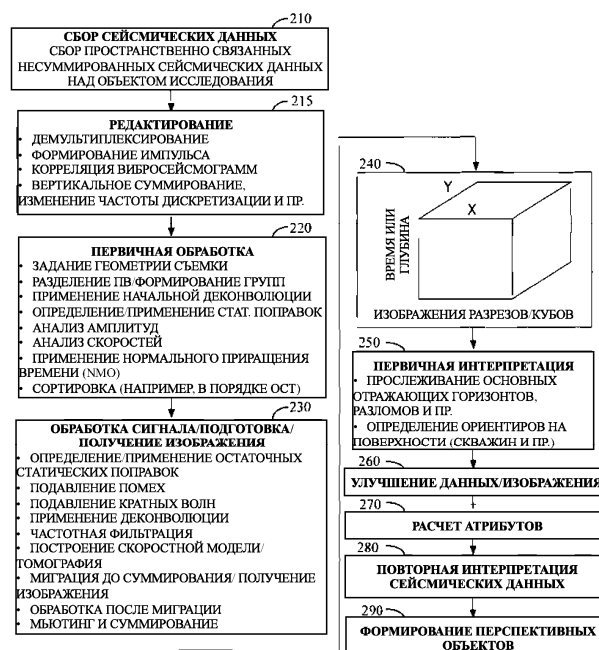
получения изображения по меньшей мере части геологической среды земли с использованием упомянутого множества трасс сейсмических данных.

16. Система по п.15, в которой по меньшей мере одна из упомянутого множества подгрупп содержит один из упомянутого множества морских сейсмических источников.

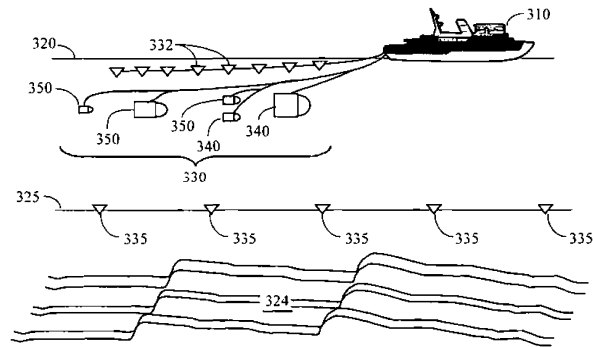
17. Система по п.15, в которой упомянутый каждый из упомянутых морских сейсмических источников выбран из группы, состоящей из пневмопушки, гидропушки, электроискрового источника, бумера, вибросейсмического источника и инфразвуковой sireны.



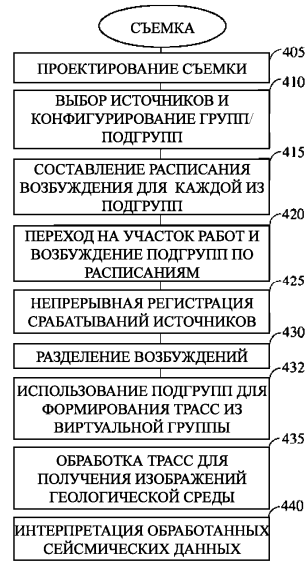
Фиг. 1



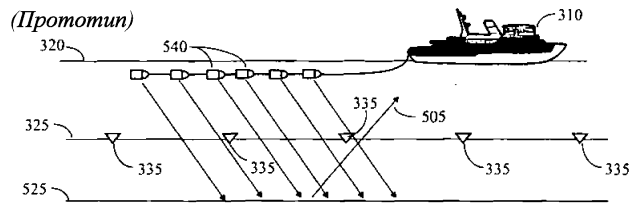
Фиг. 2



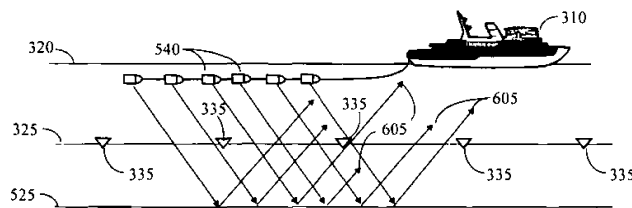
Фиг. 3



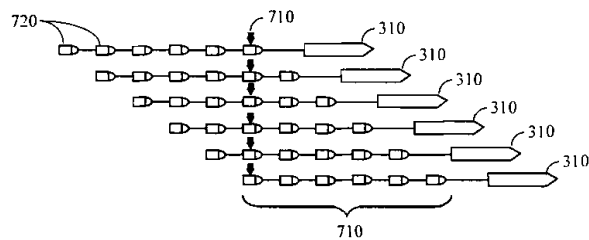
Фиг. 4



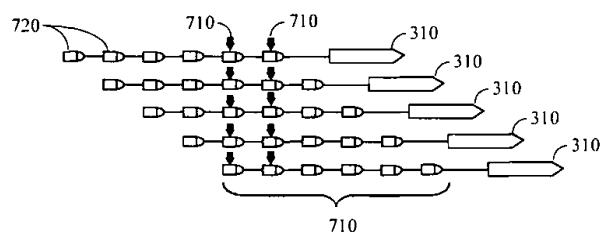
Фиг. 5



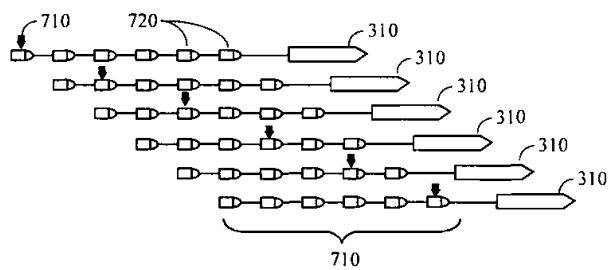
Фиг. 6



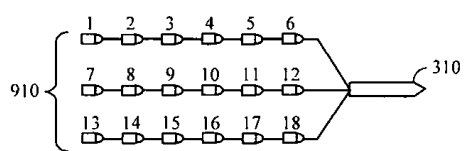
Фиг. 7А



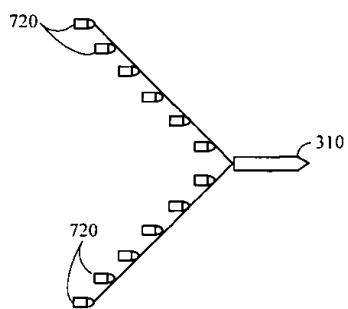
Фиг. 7В



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

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