

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **031362**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2018.12.28**

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

**(21)** Номер заявки  
**201500743**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2014.01.07**

---

**(54) СПОСОБ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ С ОДНОВРЕМЕННОЙ АКТИВАЦИЕЙ  
СЕЙСМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ И СБОРОМ УЗЛОВЫХ ДАННЫХ**

---

**(31)** 61/751,766; 13/829,210

**(56)** US-A1-20050120796

**(32)** 2013.01.11; 2013.03.14

US-A1-20110194378

**(33)** US

US-A1-20040013037

**(43)** 2015.12.30

US-A1-20060159524

**(86)** PCT/US2014/010472

US-A-5548562

**(87)** WO 2014/110024 2014.07.17

US-A1-20100271904

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ФЭЙРФИЛД ИНДАСТРИЗ  
ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)**

**(72)** Изобретатель:  
**Рей Клиффорд Х., Марк Этьенн,  
Томпсон Джеймс Нельсон (US)**

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

---

**(57)** Предложен способ осуществления сейсмической разведки, при котором развертывают узловые сейсмические датчики в выбранных местах зоны сейсморазведки; активируют множество сейсмических источников и используют узловые сейсмические датчики для регистрации сейсмических сигналов, генерируемых в ответ на активацию множества сейсмических источников.

**B1**

**031362**

**031362**

**B1**

### Перекрестные ссылки на родственные заявки

Заявка на настоящий патент испрашивает преимущество приоритета по патентной заявке США № 13/829210 под названием "Способы сейсморазведки с одновременной активацией сейсмических источников и сбором узловых данных" (Simultaneous Shooting Nodal Acquisition Seismic Survey Methods), поданной 14 марта 2013 г., а также, согласно разделу 35 кодекса законов США, статья 119(e), испрашивает преимущество приоритета по предварительной патентной заявке США № 61/751766 под названием "Способы сейсморазведки с одновременной активацией сейсмических источников и сбором узловых данных" (Simultaneous Shooting Nodal Acquisition Seismic Survey Methods), поданной 11 января 2013 г.; содержание вышеуказанных заявок полностью включено в настоящее изобретение посредством ссылок.

### Уровень техники

Сейсморазведка обычно использует источник сейсмической энергии для генерирования акустического сигнала, который распространяется в земле и частично отражается подповерхностными сейсмическими отражателями (т.е. границами между подземными литологическими слоями или слоями текучих сред, имеющими различные упругие свойства). Отраженные сигналы (известные как "сейсмические отражения") детектируются и регистрируются с помощью сейсмоприемников, расположенных на земной поверхности или вблизи нее, и таким образом осуществляется сейсморазведка земной коры. Зарегистрированные сигналы или данные о сейсмической энергии могут впоследствии подвергаться обработке для получения информации, относящейся к литологическим подповерхностным формациям и позволяющей идентифицировать их отличительные особенности, например границы этих литологических подповерхностных формаций.

Обычно сейсмические приемники размещаются в виде массива, состоящего из единственной гирлянды приемников, распределенных вдоль определенной линии с целью регистрации данных от сейсмического разреза, находящегося ниже линии приемников. Для получения данных по областям большего размера и для трехмерного представления формаций множество гирлянд приемников могут быть размещены рядом друг с другом, образуя, таким образом, сетку приемников. Часто приемники в пределах массива размещают удаленно или разносят друг от друга. Например, при наземной сейсморазведке, от сотен до тысяч приемников, носящих название геофонов, могут быть развернуты в пространстве различным образом, в частности в виде типовой сетчатой конфигурации, в которой каждая гирлянда протяженностью 1600 м состоит из детекторов, расположенных через каждые 50 м, и соседние гирлянды детекторов разнесены на 500 м. При морской сейсморазведке буксируемая сейсмическая коса с закрепленными на ней приемниками, носящими название гидрофонов, может простираться на расстояние до 12000 м сзади от буксирного судна.

Обычно несколько приемников соединяются комбинированным параллельно-последовательным образом посредством одной скрученной пары проводов с образованием единой группы приемников или канала. В процессе сбора данных выходной сигнал каждого канала оцифровывается и регистрируется для последующего анализа. В свою очередь, группы приемников обычно подключаются к кабелям, используемым для связи с приемниками и передачи собранных данных на регистраторы, расположенные в центральном пункте. Более конкретно, когда подобная сейсморазведка проводится на земной поверхности, кабельная телеметрия, используемая для передачи данных от детекторных модулей, требует их взаимного соединения посредством кабелей. Другие системы используют беспроводные способы передачи данных, поэтому отдельные детекторные модули не подключаются друг к другу. Третьи системы временно сохраняют данные до тех пор, пока эти данные не будут извлечены.

Хотя базовые процессы детектирования и регистрации сейсмических отражений в наземной и морской сейсморазведке являются одинаковыми, морская среда создает специфические проблемы, связанные с наличием толщи воды над земной поверхностью; наиболее серьезными из этих проблем являются высокое давление воды на больших глубинах и коррозионное действие соленой морской воды. Кроме того, затруднено даже простое развертывание и извлечение, поскольку операции должны осуществляться вне палубы сейсморазведочного судна под сильным воздействием внешних факторов, таких как волнение на море, погода и ограниченное пространство.

В одном из распространенных способов морской сейсморазведки сейсморазведочные работы осуществляются на водной поверхности; морские суда буксируют сейсмические косы, в которые встроены гидрофоны для детектирования энергии, отражающейся и возвращающейся обратно вверх через толщу воды. Сейсмические косы обычно содержат гирлянды гидрофонов, другие электрические проводники и материалы для обеспечения, по существу, нейтральной плавучести. Сейсмические косы изготовлены с возможностью плавания вблизи водной поверхности. Те же самые или иные морские суда буксируют источники акустической энергии, такие как пневматические пушки, для генерирования энергетических импульсов, которые распространяются вниз и проникают в подповерхностные геологические формации, находящиеся под толщей воды.

Помимо этого, уже в течение многих лет используются системы, размещаемые на морском дне. Эти системы обычно именуются "ОВС" (Ocean Bottom Cabling, системы с донной сейсмической косой) или "ОБС" (Ocean Bottom Seismometer, системы с донным сейсмометром). Известный уровень техники основан на трех основных группах донных сейсморазведочных устройств для измерения сейсмических сиг-

налов на морском дне. Устройства первого типа представляют собой системы ОВС, аналогичные буксируемой сейсмической косе; эти устройства содержат проводной кабель с геофонами и/или гидрофонами и размещаются на морском дне, при этом детекторные модули связаны между собой посредством кабельной телеметрии. Обычно сейсморазведочное судно развертывает сейсмическую косу с носа или кормы судна и извлекает косу на противоположном конце судна. Системы ОВС, подобные указанной, имеют недостатки, обусловленные физической конфигурацией кабеля. Например, при трехмерном развертывании геофонов, из-за непрочного сцепления кабеля и геофонов с отложениями на морском дне горизонтальные движения, не являющиеся движением донных отложений, например морские донные течения, могут привести к появлению ошибочных сигналов. Аналогичным образом, из-за своей протяженной конструкции системы ОВС имеют тенденцию к образованию удовлетворительного сцепления с дном лишь вдоль главной оси сейсмической косы при попытках зарегистрировать данные о поперечных волнах. Кроме того, для осуществления подобных операций требуются три судна, поскольку, помимо судна с источником сейсмической энергии, необходимо также судно для развертывания кабеля и еще одно отдельное судно для регистрации. Обычно регистрирующее судно стационарно прикреплено к сейсмической косе, в то время как развертывающее судно обычно находится в постоянном движении вдоль линии приемников, осуществляя развертывание и извлечение сейсмической косы. Поскольку регистрирующее судно находится в постоянном физическом контакте с сейсмической косой, необходимо прилагать усилия к удержанию этого судна на одном месте, при этом действие волнения на море и морских течений может приводить к сильному натяжению сейсмической косы, повышая вероятность обрыва косы или поломки оборудования, а также возникновения интерференции сигналов в сейсмической косе. Наконец, подобные кабельные системы имеют высокую стоимость и обычно являются дорогостоящими в эксплуатации.

Регистрирующие системы второго типа представляют собой системы OBS, в которых контейнер датчика и контейнер электронной части крепятся на морском дне. Эта система производит оцифровку сигналов и обычно использует проводной кабель для передачи данных на устройство радиосвязи, которое прикреплено к заякоренному канату и плавает на водной поверхности. В дальнейшем этот плавучий передатчик передает полученные сейсмические данные на судно, где эти данные регистрируются. При сейсморазведке обычно развертывается большое число модулей.

Сейсморазведочные регистрирующие системы третьего типа представляют собой системы OBS, известные как донные сейсмические регистраторы (Seafloor Seismic Recorders, SSR). Эти устройства содержат датчики и электронную часть в герметизированных контейнерах и регистрируют сигналы непосредственно на морском дне. Данные извлекаются после выборки датчиков с морского дна. Такие устройства обычно являются многоканальными. В настоящем изобретении основное внимание уделено OBS-системам SSR-типа.

OBS-системы SSR-типа обычно содержат один или более геофонных и/или гидрофонных датчиков, источник электропитания, регистратор сейсмических данных, таймер на кварцевом генераторе, схему управления и -в случае, когда используются геофоны в карданном подвесе и производится регистрация данных о поперечных волнах - компас или карданный подвес. Обычно источник электропитания представляет собой встроенный блок батарей, за исключением случаев, когда электропитание поступает от внешнего источника по кабелю. В тех случаях, когда в известных из уровня техники системах OBS использовались для электропитания собственные батареи, а не внешнее электропитание через кабель, этими батареями в известном уровне техники были свинцово-кислотные, щелочные или неперезаряжаемые батареи. Все системы OBS, известные из уровня техники, обычно требуют, чтобы отдельные модули могли раскрываться для проведения различных операций техобслуживания, контроля качества и извлечения данных. Например, операция извлечения данных из модулей, известных из уровня техники, требует, чтобы эти модули были физически раскрыты или разобраны с целью извлечения данных. Аналогично, указанные модули должны быть физически раскрыты и для замены использованных батарей.

Что касается функции таймирования в системах OBS, то синхронизация между моментом получения измерительных данных от датчика и моментом активации источника сейсмической энергии или моментом взрыва является критичной для согласования событий, связанных с источником сейсмической энергии, и событий, связанных с отражением. Ранее для этой цели в системах OBS использовались различные таймеры на кварцевых генераторах. Эти таймеры являются сравнительно недорогими и точными. Однако один из недостатков таймеров, известных из уровня техники, состоит в том, что используемые в них кварцевые кристаллы подвержены влиянию гравитации и температуры. Эти гравитационные и температурные эффекты могут вызвать сдвиг частоты частотного генератора и, как следствие, привести к ошибкам в сейсмических данных. Кроме того, поскольку кварцевые кристаллы подвержены влиянию гравитации, ориентация системы OBS может повлиять на работу таймера. Поскольку таймер обычно устанавливается внутри контейнера OBS таким образом, чтобы быть правильно ориентированным в состоянии, когда система OBS правильно ориентирована на морском дне, любая дезориентация системы OBS на морском дне может привести к ошибкам в работе таймера. Наконец, такие таймеры часто характеризуются дрейфом и сдвигами во времени из-за изменений температуры и термического износа, что также может привести к ошибкам в зарегистрированных сейсмических данных. Несмотря на то что с

учетом термического износа и сдвигов по времени, к полученным данным может быть применена математическая коррекция, в известном уровне техники отсутствуют устройства, которые были бы способны корректировать гравитационные эффекты в таймерах на кварцевых генераторах. В лучшем случае, в известном уровне техники корректируются только температурные эффекты в кварцевых генераторах.

Более современные системы OBS могут содержать механическое устройство для коррекции по наклону, а именно - карданный подвес. Карданный подвес представляет собой устройство, которое обеспечивает возможность свободного углового смещения в одном или более направлениях и используется для ориентирования системы OBS на морском дне. Ориентационные данные, генерируемые посредством карданного подвеса, могут впоследствии быть использованы для регулирования сейсмических данных, зарегистрированных посредством геофонов. В тех случаях, когда карданные подвесы использовались в известном уровне техники, они чаще всего встраивались в геофоны в качестве их части; такие геофоны именуется "геофонами в карданном подвесе". Один из недостатков этих механических карданных подвесов, известных из уровня техники, состоит в том, что данные устройства обеспечивают угловое ориентирование лишь в ограниченном диапазоне. Например, по меньшей мере одно из устройств, известных из уровня техники, обеспечивает шарнирный поворот вокруг продольной оси на  $360^\circ$ , однако шарнирный поворот вокруг поперечной оси ограничен углом  $30^\circ$ . В случае использования данного устройства, с целью обеспечения нормального функционирования указанных шарнирных подвесов, известных из уровня техники, сама система OBS должна быть размещена на морском дне, по существу, в целевом месте. В случае, если система OBS не ориентирована, по меньшей мере приблизительно, по горизонтали, например размещена на своей боковой стороне или перевернута вверх дном, механический карданный подвес, известный из уровня техники, не сможет нормально функционировать. Другие устройства с карданным подвесом механического типа не ограничены углом  $30^\circ$ , однако в таких механических устройствах механическое демпфирование может ухудшить точность зарегистрированного сигнала. Наконец, крепление геофона в карданном подвесе является дорогостоящим и требует больше места, чем в случае геофона без карданного подвеса. В случае систем OBS, использующих множество геофонов, их крепление в карданных подвесах может оказаться непрактичным ввиду требований, предъявляемых к размерам и занимаемому месту.

Как и в случае с ориентацией, определение местонахождения системы OBS на морском дне необходимо для правильной интерпретации сейсмических данных, зарегистрированных системой. Точность обработанных данных частично зависит от точности информации о местонахождении, используемой для обработки данных. Поскольку обычные навигационные устройства, такие как GPS, не будут функционировать в водной среде, в известных из уровня техники традиционных способах определения местонахождения систем OBS на морском дне используется гидролокатор. Например, с помощью гидролокационной системы может быть осуществлено "пингование" (гидролокационный поиск) устройства OBS для определения его местонахождения. В любом случае точность обработанных данных непосредственно зависит от точности, с которой определено местонахождение системы OBS. Таким образом, в высшей степени желательно использовать способы и устройства, которые будут выдавать точную информацию о местонахождении.

Аналогичным образом, в высшей степени желательно, чтобы было обеспечено запланированное позиционирование устройства OBS на морском дне.

Что касается функционирования вышеуказанных систем OBS, то системы, известные из уровня техники, обычно требуют некоторых внешних команд управления для инициации и сбора данных при каждой активации. Таким образом, сейсмоприемники должны быть либо физически соединены с центральной станцией управления и регистрации, либо "соединены" с нею беспроводным способом. Как было указано выше, специалистам в данной области техники понятно, что некоторые места проведения исследований создают экстремальные трудности при подключении детекторов и управлении ими; в частности, речь идет о морских районах с интенсивным судоходством, глубоководных местах, гористых местностях с изрезанным рельефом и джунглях. Трудности могут также возникать в тех случаях, когда массив приемников периодически перемещается с целью охвата большей площади.

В любом случае, каждый тип соединения, будь то через физический кабель или беспроводным способом, имеет свои недостатки. В системах кабельной телеметрии большие массивы сейсмоприемников или длинные сейсмические косы требуют больших количеств электрических кабелей, которые дороги и сложны в погрузке/выгрузке, развертывании и проведении иных манипуляций с ними. В случаях, когда используются донные сейсмические косы, коррозионная среда и высокие давления часто требуют армирования кабелей для глубин свыше 500 футов (150 м). Кроме того, обычные кабели требуют физического соединения между кабелем и детекторным модулем. Обычно жесткое присоединение датчиков к кабелю является непрактичным, поэтому более распространенный способ состоит в креплении кабеля к датчикам с использованием внешних соединений между кабелем и датчиками. Такой вид соединения между кабелем и датчиком является крайне уязвимым, особенно в морской среде, с ее высокой коррозионной активностью и высокими давлениями. Разумеется, с помощью систем, элементы которых физически соединены друг с другом посредством кабелей, намного легче подавать электропитание на датчики, син-

хронизировать датчики с моментами активации и друг с другом и осуществлять другие операции управления датчиками.

Необходимо отметить, что многие из вышеуказанных недостатков имеют место не только в кабельных, но и в беспроводных системах, если в последних требуются внешние кабели для подключения контейнера датчика к контейнерам оборудования для регистрации и/или радиотелеметрии. В частности, известные из уровня техники системы OBS содержат отдельные модули или контейнеры для детектирования и для регистрации/радиотелеметрии, смонтированные на каретке. Раздельные модули имеют внешние соединители, которые соединены друг с другом посредством кабелей, создавая те же проблемы, что и в случае кабельного подключения к центральному устройству управления, находящемуся на водной поверхности. Основная причина, по которой детекторные модули, т.е. контейнеры геофонов, отделяются от остальной (электронной) части системы, состоит в необходимости обеспечения эффективного сцепления геофонов с морским дном.

В случаях, когда используется беспроводной способ соединения, либо когда датчики функционируют с использованием предварительного программирования, управление датчиками усложняется. Например, критичным становится обеспечение синхронизации моментов регистрации с моментами активации, поскольку отдельные датчики не соединены друг с другом посредством кабелей описанным выше образом. Отсюда вытекает необходимость в высокоточных встроенных таймерах, о которых говорилось выше. В этой связи моменты активации каждого модуля для обнаружения и регистрации сигналов должны совпадать с моментами активации сейсмических источников. К числу факторов, вызывавших ранее беспокойство, относится также обеспечение нормального электропитания модулей. Многие патенты, относящиеся к известному уровню техники, были посвящены способам и механизмам включения электропитания датчиков во время сбора и регистрации данных и выключения электропитания во время периодов бездействия.

Предпринимались различные попытки устранения вышеуказанных недостатков. Например, в патенте США № 5189642 был описан донный сейсмический регистратор. Этот патент раскрывает вытянутое вертикальное шасси, выполненное на удаленных друг от друга горизонтальных кольцевых пластинах, соединенных вертикальными опорными стойками. Каждая опорная стойка выполнена на вложенных трубах, которые имеют возможность вертикального скольжения относительно друг друга и скреплены друг с другом посредством зажимного механизма. С нижней кольцевой пластиной разъемно соединено балластное кольцо. Кроме того, к нижней кольцевой пластине прикреплен корпус геофона. К верхней кольцевой пластине прикреплен пенопластовый буй. От верхней пластины вниз вытянут контейнер устройства управления. В контейнере устройства управления установлены источник электропитания, регистратор сейсмических данных, компас и схема управления. Внешний жесткий провод электрически соединяет контейнер устройства управления с контейнером геофона. Данная система не использует каких-либо жестких проводных соединений с поверхностной мониторинговой станцией; вместо этого она использует акустические или предварительно программируемые средства для управления модулями. Предполагается, что при отцеплении в воде балластное кольцо обеспечит достаточную массу для удержания системы в вертикальном положении и сцепления геофонов с морским дном после размещения на дне. Для минимизации вероятности появления геофонных шумов, обусловленных водными течениями, действующими на буй и контейнер устройства управления, указанные зажимные механизмы на каждой опорной стойке выключаются, давая возможность управляющему корпусу и бую скользить вверх на опорных стойках, в результате чего геофоны изолируются от других частей системы. После того как регистрация сейсмических волн завершена, балластное кольцо отсоединяется от шасси, и система поднимается на водную поверхность под действием положительной плавучести балласта. Для обеспечения развертывания и извлечения системы предусмотрены акустические преобразователи, радиомаяк и проблесковый световой маячок.

Еще одна морская система регистрации сейсмических данных описана в патенте США № 6024344. Этот патент описывает способ развертывания и позиционирования регистраторов сейсмических данных в глубоководных местах. Регистраторы данных закреплены на полужестком кабеле, который опускается в воду с надводного судна. Благодаря жесткости указанного кабеля, он обеспечивает поддержание фиксированных интервалов между регистраторами, когда они и кабель опускаются на морское дно. Этот кабель обеспечивает также электрическое соединение для передачи электропитания и сигналов между соседними регистраторами и между регистраторами и судном. После того как регистраторы размещены в надлежащем месте, они активируются либо предварительно настроенным таймером, либо с помощью сигнала управления, передаваемого через воду или по кабелю. После завершения сбора данных кабель и регистраторы извлекаются. Развертывание осуществляется с помощью машины для размотки кабеля, расположенной на надводном судне. Как показано на фиг. 1 к патенту № 6024344, развертывание осуществляется с кормы судна, когда последнее движется в направлении удаления от кабеля и регистраторов. Данный патент предполагает также необходимость хранения регистраторов в состоянии их расположения друг с другом для обеспечения их развертывания, а также необходимость отслеживания местонахождения системы OBS на дне в процессе сбора данных.

Компания GeoPro предлагает автономную, т.е. бескабельную, систему OBS, содержащую стеклян-

ную сферу диаметром 430 мм, в которую заключены все электрические компоненты системы, в том числе батареи, радиомаяк, модуль регистрации сейсмических данных, акустическая разъединительная система, глубоководный гидрофон и три геофона в карданном подвесе. Указанная сфера монтируется на балластированной платформе, которая противодействует плавучести сферы и закрепляет систему OBS на морском дне. Геофоны расположены в нижней части сферы вплотную к платформе. Для извлечения системы OBS после завершения сбора данных, на сферу передается акустический сигнал управления, обнаруживаемый глубоководным гидрофоном. Этот сигнал активирует акустическую разъединительную систему, осуществляющую отцепление сферы от балластированной платформы, которая остается на морском дне. Под действием положительной плавучести сферы свободно плавающая система поднимается к морской поверхности, где радиомаяк передает сигнал для определения местонахождения сферы и ее извлечения. Один из недостатков этой конкретной конструкции состоит в том, что геофоны не сцепляются напрямую с морским дном. Вместо этого любой сейсмический сигнал, регистрируемый геофонами, должен пройти через платформу и дно сферы и, проходя через них, подвергается действию помех и других искажающих факторов, описанных выше. Следует отметить, что такая форма корпуса, наряду с цилиндрической, является типовой для множества конструкций, используемых в известном уровне техники, поскольку хорошо известно, что такие формы более эффективно выдерживают высокие давления, которые могут иметь место в подводной среде.

Компании K.U.M. и SEND предлагают бескабельную систему OBS, содержащую раму, имеющую стержни и вершину и образующую треногу на дне. На стержнях закреплено пенопластовое плавучее устройство. К нижней части треноги прикреплен якорь, удерживающий раму на морском дне. На части треноги закреплены цилиндры под давлением, содержащие сейсмические регистраторы, батареи и систему отсоединения. К раме прикреплен гидрофон с целью приема командных сигналов с морской поверхности и активации системы отсоединения. В процессе разворачивания крановая стрела первоначально удерживается в вертикальном положении вместе с модулем геофона, закрепленным на свободном конце стрелы. Когда рама контактирует с морским дном, крановая стрела поворачивается наружу от рамы и отцепляет модуль геофона, оставляя его на морском дне приблизительно в 1 метре от рамной системы. Жесткий кабель обеспечивает возможность электрического соединения между модулем геофона и регистраторами. Модуль геофона представляет собой асимметричный диск диаметром приблизительно 250 мм, являющийся плоским с одной стороны и куполообразным с другой. Плоская сторона модуля геофона имеет канавку и контактирует с морским дном при своем отцеплении крановой стрелой. После завершения сбора данных акустический сигнал активирует систему отсоединения, которая отцепляет якорь от рамной системы. Пенопластовое плавучее устройство обеспечивает подъем рамной системы и геофона на морскую поверхность, где производится определение местонахождения системы с помощью радиомаяка и ее извлечение.

Компания SeaBed Geophysical реализует на рынке бескабельную систему OBS под названием CASE. Эта система содержит модуль управления, т.е. контейнер с электроникой, и узловой модуль или контейнер с геофоном, соединенные друг с другом посредством кабеля. Оба указанных контейнера размещены на удлиненной раме. Модуль управления помещен в трубчатый корпус, который содержит батареи, тактовый генератор, регистрирующий модуль и транспондер/модем для гидроакустической связи с поверхностью. Узловой модуль содержит геофоны, гидрофон, измеритель наклона и сменный кожух, представляющий собой открытый снизу цилиндр. Узловой модуль может отсоединяться от удлиненной рамы и модуля управления, однако остается на связи с последним через внешнее кабельное соединение. Использование трубчатого корпуса, такого, как в данном случае, является весьма типичным для конструкций, известных из уровня техники, поскольку корпус системы должен проектироваться в расчете на то, чтобы выдерживать высокие давления, которым подвергается устройство под водой. В процессе разворачивания узловой модуль целиком опускается на морское дно, где подводный аппарат с дистанционным управлением (отдельный от системы OBS) используется для отсоединения этого узлового модуля от рамы и его закрепления на морском дне путем вдавливания открытого на одном конце кожуха в морское дно. Удлиненная рама содержит кольцо, к которому может быть прикреплен кабель для разворачивания и извлечения. Для управления системой и передачи сейсмических данных на поверхность используются коммуникационный приемопередатчик и модем.

Каждое из указанных устройств, известных из уровня техники, воплощает в себе один или более недостатков известного уровня техники. Например, система OBS согласно патенту США № 5189642, а также устройства от компаний GeoPro и K.U.M./SEND, являются вертикальными системами, каждая из которых имеет относительно высокий вертикальный профиль. В связи с этим сейсмические данные, собираемые этими системами, подвержены помехам, обусловленным действием движений воды на устройства. Кроме того, было замечено, что боковое смещение, обусловленное движением морского дна под системой OBS с высоким профилем, может вызвать раскачивание системы OBS, в особенности при передаче движения от основания к вершине модуля, что приводит к еще большему ухудшению точности регистрируемых данных. Кроме того, все эти устройства, известные из уровня техники, являются асимметричными, так что они могут позиционироваться только в одном направлении. Обычно это достигается путем утяжеления одного конца каретки системы OBS. Однако во многих случаях такие устройства

должны проходить сквозь сотни футов воды и контактировать с зачастую твердым и неровным морским дном, которое к тому же может быть усеяно обломками. Все эти факторы могут привести к дезориентации системы при ее размещении на морском дне, что окажет негативное влияние на работу системы. Например, в случае, если такая система OSB, известная из уровня техники, размещена на боку, ее геофоны вообще не будут иметь сцепления с морским дном, что сделает систему непригодной к использованию. Кроме того, неправильная ориентация может помешать работе отсоединяющего механизма системы, что поставит под угрозу ее извлечение.

Вертикальный профиль указанных систем, известных из уровня техники, нежелателен также и по той причине, что такие модули легко запутываются в рыболовных снастях, сетях для ловли креветок, а также в разнообразных кабелях и других такого рода объектах, которые могут находиться вблизи места проведения сейсморазведки.

С другой стороны, системы, известные из уровня техники, которые имеют менее высокий профиль, такие как морские донные косы, имеют тенденцию к плохому сцеплению с дном, либо при своем размещении требуют внешней помощи, осуществляемой посредством дорогостоящего оборудования, такого как подводные аппараты с дистанционным управлением (ROV). Например, из-за своей удлиненной формы донные сейсмические косы показывают "хорошее" сцепление только при ориентации в единственном направлении, а именно - в направлении своей главной оси. Кроме того, даже при ориентации вдоль главной оси, из-за малой площади фактического сцепления между сейсмической косой и морским дном это сцепление может быть нарушено под действием изрезанного рельефа морского дна или других факторов, присутствующих на морском дне или вблизи него.

Еще один недостаток систем, известных из уровня техники, состоит в необходимости активации и деактивации модулей с целью осуществления регистрации и других операций. Для этого обычно требуется сигнал управления от надводного судна, передаваемый, как правило, акустически или по кабелю, протянутому от поверхности к модулю. Внешнее управление любого типа является нежелательным, поскольку оно требует передачи сигнала и наличия дополнительных компонентов в системе. Хотя для некоторых видов данных может использоваться акустическая передача, она обычно ненадежна при ее использовании для целей синхронизации из-за непредсказуемых изменений тракта прохождения сигнала. Разумеется, использование любых типов сигнальных кабелей для передачи электрических сигналов управления является также нежелательным, поскольку это повышает уровень сложности в эксплуатации и управлении модулем и требует внешних соединителей или разъемов. Такие кабели и соединители чрезвычайно подвержены утечкам и повреждениям под действием высокого давления и коррозионной морской среды при глубоководной морской сейсморазведке.

Аналогичная проблема имеет место и в случае модулей, которые используют внешние электрические кабели для взаимного соединения распределенных элементов модулей; в частности, речь идет об устройстве, раскрытом в патенте США № 5189642, и других аналогичных устройствах, в которых контейнер геофона отделен от контейнера электронной части. Кроме того, в случае, если электронные компоненты системы являются распределенными, вероятность неисправностей в системе повышается.

Многие из систем, известных из уровня техники, используют для сбора данных радиотелеметрию, а не регистрацию данных бортовым модулем. Разумеется, такие системы имеют ограничения, обусловленные характеристиками радиопередачи, такими как лицензионные ограничения по частотному спектру радиосигнала, ограничения по диапазону передачи, наличие препятствий для прямой видимости, ограничения, обусловленные антенной, ограничения по скорости передачи данных, ограничения по мощности и т.д.

Использование модулей OBS с плавучими устройствами для извлечения модулей нежелательно, поскольку типовые отсоединяющие устройства повышают стоимость и сложность модулей и обычно их приходится активировать для отпускания систем к поверхности. В процессе развертывания, поскольку такого рода системы являются свободно плавающими, их трудно позиционировать в нужном месте на морском дне. В дополнение к вышеуказанной опасности отказов из-за дезориентации, в процессе возврата зачастую оказывается проблематичным определение местонахождения свободно плавающих систем, и известны случаи их потери в море, несмотря на наличие радиосигналов и радиомаяков. Кроме того, в сложных погодных условиях указанные модули оказываются слишком громоздкими для их захвата и подъема на борт; они часто сталкиваются с крановой стрелой или корпусом судна, что может привести к повреждению системы.

Аналогичным образом, манипулирование модулями как в процессе развертывания, так и в процессе извлечения сталкивается с трудностями. В случае жесткой или полужесткой кабельной системы, применяемой для фиксации промежутков между отдельными регистрирующими модулями и их местонахождения, используемые кабели являются негибкими, крайне тяжелыми и трудными в манипулировании. Такие кабели не позволяют осуществлять их коррекцию во время развертывания. Например, как было пояснено выше, целевое расположение модулей в виде сетки предполагает конкретные позиции отдельных модулей вдоль линии их размещения. Если из-за дрейфа развертывающего надводного судна или по иным причинам произошло смещение развертывающего кабеля от целевой линии, поверхность судно должно изменить свое местонахождение с целью возврата кабеля на линию. Однако, в силу жесткости

кабеля, неправильное расположение части кабеля приведет к тому, что и все остальные модули на кабеле будут неправильно расположены вдоль целевой линии.

Кроме того, существующие процедуры, применяемые в известном уровне техники для извлечения сейсмических кос, имеют тенденцию к созданию чрезмерных напряжений в кабелях. В частности, широко применяемый способ извлечения сейсмической косы с морского дна состоит в том, что судно ведет задним ходом над сейсмической косой, выбирая ее через нос судна. Такой способ является нежелательным, поскольку скорость судна и скорость сейсмической косы должны очень точно регулироваться во избежание избыточного натяжения или дергания косы. Это регулирование зачастую затруднено, поскольку на судно влияют различные внешние факторы, такие как ветер, волны и морские течения. Сбои в регулировании натяжения или дергание косы приводят к волочению кабеля и прикрепленных к нему модулей по всей длине косы, что ведет к повреждению косы и всех модулей. Еще один недостаток данного способа состоит в том, что если судно движется слишком быстро, в косе может возникнуть слабина и она заплывет под судно, где может намотаться на гребные винты судна.

Наконец, в известном уровне техники описана кормовая система для манипулирования вышеуказанными модулями OBS как при хранении, так и при развертывании и извлечении этих модулей. С увеличением размера массива глубоководных сейсмических регистраторов возрастает необходимость в системе для эффективного хранения, слежения, обслуживания и манипулирования тысячами регистрирующих модулей, образующих этот массив. Дополнительные надводные суда, также как и дополнительный персонал для работы на них, требуют значительных затрат. Кроме того, увеличение численности персонала и количества судов повышает вероятность аварий и несчастных случаев, особенно в открытом море, где погода может резко ухудшаться.

Таким образом, было бы желательно иметь систему сбора сейсмических данных, которая не требует ни внешних кабельных соединений для связи/электропитания (как идущих с поверхности, так и соединяющих сами модули сбора сейсмических данных), ни внешних управляющих сигналов любого типа для управления работой системы. Иначе говоря, модули должны функционировать по принципу "сбросил - и забыл". При этом устройство должно быть удобным в обслуживании и не должно требовать раскрытия для осуществления таких операций, как извлечение данных, контроль качества и подзарядка батарей. Устройство должно также проектироваться в расчете на стойкость к воздействию коррозионной среды высокого давления, что обычно имеет место при применении в море на больших глубинах. Кроме того, устройство должно проектироваться с возможностью оптимального самостоятельного ориентирования для обеспечения максимального сцепления при контакте с морским дном без помощи внешнего оборудования, такого как подводные аппараты с дистанционным управлением, и сведения к минимуму вероятности дезориентации. Также устройство должно быть менее подвержено зацеплению и запутыванию в сетях для ловли креветок, рыболовных снастях и т.п.

Устройство должно содержать таймерный механизм, который невосприимчив к ориентации. Также ориентация не должна влиять на карданные подвесы геофонов.

Устройство должно быть легко развертываемым и при этом иметь возможность размещения с высокой степенью точности в определенном месте. Также устройство должно быть легко извлекаемым без помощи плавучих устройств и отсоединяющих механизмов, и при этом части модулей не должны оставаться в море в процессе извлечения. Кроме того, конструкция устройства и процедура извлечения должны быть такими, чтобы свести к минимуму опасность аномального натяжения кабеля, соединяющего сейсморазведочные модули.

Должна быть также создана система для простого манипулирования сотнями тысяч регистрирующих модулей, образующих массив для развертывания в морской среде. Такая система должна иметь возможность развертывания, извлечения, слежения, техобслуживания и хранения отдельных регистрирующих модулей с привлечением минимального количества персонала и без помощи дополнительных надводных судов. Система должна также свести к минимуму опасность повреждения отдельных модулей во время проведения указанных операций. Кроме того, желательно включение устройств безопасности в систему с целью минимизации вреда для персонала, работающего с регистрирующими модулями.

### **Сущность изобретения**

В настоящем изобретении предложена система для сбора сейсмических данных в морской среде путем развертывания множества непрерывно функционирующих, беспроводных, автономных морских донных детекторных модулей или блоков, каждый из которых характеризуется симметричным низкопрофильным корпусом и уникальным внешним буфером для обеспечения сцепления с морским дном и предотвращения запутывания в рыболовных сетях. Указанные блоки прикреплены друг к другу с помощью гибкого нежесткого неэлектропроводного кабеля, который используется для управления развертыванием блоков в воде. Развертывание и извлечение блоков осуществляется с палубы морского судна, которая имеет уникальную конфигурацию и оснащена конвейерной системой и манипулирующей системой для прикрепления и отсоединения блоков от нежесткого кабеля. В одном из вариантов отдельные блоки хранятся произвольным образом в разрезных стеллажах приспособления, выполненного по принципу джук-бокса (музыкального автомата) в качестве части конфигурации палубы. При размещении блока внутри прорези стеллажа сейсмические данные, ранее зарегистрированные этим блоком, могут быть

извлечены, и сам блок может быть заряжен, протестирован, повторно синхронизирован и заново введен в действие без необходимости раскрытия этого блока. В другом варианте отдельные блоки размещаются на расположенных друг над другом поворотных каруселях, благодаря чему данные, ранее зарегистрированные этими блоками, могут быть извлечены, и сами блоки могут быть заряжены, протестированы, повторно синхронизированы и заново введены в действие без необходимости их раскрытия. В процессе развертывания и извлечения манипулирование нежестким кабелем и прикрепленными к нему блоками осуществляется таким образом, чтобы свести к минимуму вероятность натяжения развертываемой сейсмической косы в результате движения надводного судна. Это обеспечивается посредством нежесткой кабельной системы, которая имеет уникальную конфигурацию и спроектирована с возможностью автоматического сдвига в сторону в случае, если достигнут определенный уровень натяжения кабеля.

Более конкретно, каждый отдельный детекторный модуль содержит дискообразный водонепроницаемый корпус, состоящий из двух круглых параллельных торцевых пластин, соединенных по периметру посредством боковой стенки малой высоты с образованием контейнера, который является симметричным относительно оси пластин и имеет очень низкий профиль (отношение высоты к диаметру пластин), т.е., по существу, корпус выполнен в форме колеса. В некоторых вариантах указанные пластины могут иметь другую форму, например шестиугольную или восьмиугольную, что также обеспечивает возможность изготовления симметричного корпуса из таких пластин. Корпус укреплен изнутри для защиты целостности корпуса от воздействия внешнего давления и для обеспечения жесткой механической связи между корпусом модуля и геофонами. В одном из вариантов реализации настоящего изобретения модуль выполнен таким образом, чтобы он эффективно сцеплялся с морским дном и осуществлял сбор сейсмических данных независимо от того, какой торцевой пластиной он размещен на морском дне, благодаря чему устраняются многие проблемы с ориентацией, характерные для известного уровня техники. Пластины могут содержать ребра, выступы или канавки для улучшения сцепления с морским дном.

В одном из вариантов реализации настоящего изобретения вокруг боковой стенки модуля расположен буфер, форма поперечного сечения которого спроектирована таким образом, чтобы модуль принудительно становился на морское дно одной из торцевых пластин контейнера, благодаря чему обеспечивается высокая прочность сцепления между модулем и морским дном. По меньшей мере в одном из вариантов реализации настоящего изобретения буфер задуман и спроектирован таким образом, чтобы предотвращать запутывание корпуса в сетях для ловли креветок, рыболовных снастях и т.п.

Модуль использует несколько различных устройств для соединения с кабелем. В одном из вариантов реализации настоящего изобретения каждый модуль содержит запорный механизм для обеспечения возможности прикрепления модулей к кабелю. В другом варианте предложен крепежный кронштейн, расположенный со смещением от центра на боковой стороне корпуса. Еще в одном варианте крепежный кронштейн расположен по центру на одной из круглых торцевых пластин модуля, образующих корпус.

Модуль является автономным, так что все электронные компоненты расположены внутри корпуса, в том числе контейнер многонаправленного геофона, устройство регистрации сейсмических данных, источник электропитания и таймер.

В одном из вариантов реализации настоящего изобретения таймер является рубидиевым. Этот рубидиевый таймер намного меньше подвержен влиянию температуры, гравитации и ориентации на морском дне.

В другом варианте модуль содержит кварцевый таймер и измеритель наклона. Влияние гравитации на кварцевый таймер предпочтительно корректируется в реальном времени непосредственно в самом модуле с помощью выходных данных измерителя наклона.

Источник электропитания предпочтительно представляет собой перезаряжаемые батареи, которые могут функционировать в соленой среде, например литий-ионные батареи.

Модули, содержащие измеритель наклона, могут также использовать выходные данные этого измерителя для выполнения различных функций, помимо коррекции кварцевого таймера. Например, в одном из аспектов настоящего изобретения данные от измерителя наклона используются для так называемого "математического карданного подвешивания". В частности, в настоящем изобретении карданное подвешивание геофонов осуществляется математически с использованием выходных данных измерителя наклона, и таким образом оно сделано нечувствительным к ориентации модуля, в отличие от механических карданных подвесов.

Разумеется, выходные данные измерителя наклона могут также использоваться для определения местонахождения модуля на морском дне, т.е. для той же цели, для которой эти данные обычно применяются в известном уровне техники. Однако в отличие от устройств, известных из уровня техники, одним из аспектов настоящего изобретения является получение и использование выходных данных измерителя наклона непрерывным по времени образом. Модули, известные из уровня техники, обычно всего лишь однократно определяют местонахождение модуля на момент начала регистрации сейсмических данных. При этом отмечалось, что местонахождение модулей может изменяться вдоль курса развертывания, поскольку модули подвергаются воздействию внешних факторов, таких как морские течения, снасти для ловли креветок и т.д. Таким образом, в настоящем изобретении выходные данные измерителя наклона считываются как функция времени. Считывание осуществляется неоднократно во время выполнения

соответствующих операций, так что сейсмические данные могут корректироваться по мере необходимости.

Что касается коррекции по наклону, времени или аналогичным параметрам, которые могут повлиять на точность собранных сейсмических данных, то во всех устройствах, известных из уровня техники, эта коррекция производится в центре обработки данных. Ни одно из устройств, известных из уровня техники, не производит подобную коррекцию непосредственно в модуле, когда он находится, развернут, или даже на борту развертывающего судна. Таким образом, один из способов согласно настоящему изобретению состоит в выполнении указанной коррекции непосредственно в модуле, когда последний развернут.

Модуль может также содержать компас, гидрофон, акустический локационный преобразователь и/или один или более акселерометров. Показания компаса могут использоваться для задания системы координат данных по каждому отдельному модулю относительно системы координат общего обзора. В одном из вариантов реализации настоящего изобретения датчики, такие как акселерометры, используются для отслеживания местонахождения модуля, когда он опускается через толщу воды и располагается на морском дне. В частности, такие датчики выдают внутренние навигационные данные и регистрируют позиционную информацию по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$ , когда модуль проходит через толщу воды. Эта позиционная информация, вместе с информацией о начальном местонахождении и скорости, используется для определения вероятного местонахождения модуля.

В другом аспекте настоящего изобретения модуль активируется, когда он находится на борту сейсморазведочного судна, и деактивируется после извлечения из воды, и таким образом обеспечивается непрерывный сбор данных с момента, предшествующего развертыванию с судна, и до момента, следующего за извлечением на судно. Кроме того, в одном из вариантов модуль начинает регистрацию данных до начала развертывания в воде. Системы, которые активируются и начинают регистрацию данных до начала развертывания в воде, тем самым стабилизируются до момента, когда потребуется детектирование сигнала. Таким образом, сводится к минимуму вероятность того, что изменившееся состояние функционирования электронной части нарушит процесс детектирования и регистрации сигнала.

В другом аспекте настоящего изобретения устройство регистрации сейсмических данных содержит память с циклическим доступом и осуществляет регистрацию непрерывно даже тогда, когда оно не используется. Таким образом, исключается необходимость в инициации или пусковых командах и обеспечивается, чтобы модуль стабилизировался в нужные моменты регистрации и служил для резервного сохранения данных от предыдущих регистраций до того момента, пока предыдущие данные не будут перезаписаны. В течение всего времени, пока таймер синхронизирован, такое регистрирующее устройство находится в готовности к развертыванию в любой момент. Кроме того, штатные операции, такие как сбор данных, контроль качества и зарядка батареи, могут выполняться без прерывания записи. В случае использования модуля, осуществляющего непрерывную регистрацию, такого как вышеуказанные, этот модуль может использоваться как на земле, так и в морской среде.

Использование нежесткого кабеля является еще одним аспектом настоящего изобретения. Хотя в самых ранних системах, известных из уровня техники, в качестве буксирного средства для надводных плавучих устройств мог использоваться канат, в тех случаях, когда системы OBS были соединены друг с другом, в известном уровне техники использовались только жесткие или полужесткие проволочные кабели. Одна из причин, по которым проволочные кабели были желательны для использования в системах OBS, известных из уровня техники, состояла в необходимости взаимного электрического соединения систем. Однако в настоящем изобретении используется гибкий нежесткий кабель, поскольку блоки, как было указано выше, функционируют независимо и не требуют внешних коммуникаций или соединений.

Нежесткий кабель согласно настоящему изобретению предпочтительно изготовлен из синтетического волоконного материала, такого как полиэстер, и покрыт отформованной поверх него защитной оболочкой, такой как полиуретановый корпус. В защитной оболочке выполнены ребра или канавки с целью снижения сопротивления движению в воде.

Нежесткий кабель согласно настоящему изобретению полезен также в уникальном способе развертывания блоков. В частности, нежесткий кабель имеет лишь незначительную отрицательную плавучесть. При закреплении между двумя блоками, каждый из которых имеет отрицательную плавучесть намного больше, чем кабель, во время погружения двух соединенных друг с другом блоков через толщу воды сопротивление движению нежесткого кабеля намного больше, чем сопротивление движению модулей, и таким образом кабель действует как парашют или тормоз, замедляя погружение блоков и удерживая их в вертикальном положении. Это особенно желательно в модулях, которые должны быть размещены с конкретной ориентацией, например в тех модулях, которые имеют асимметричную конфигурацию буфера, поскольку кабель, будучи прикрепленным к соединителю, смонтированному в центре на верхней пластине, действует таким образом, чтобы удерживать ориентацию модуля во время его погружения через толщу воды и размещения на морском дне. Кроме того, поскольку кабель согласно настоящему изобретению является нежестким, имеет место слабина кабеля между соседними блоками. Оператор на судне может использовать эту слабину для выполнения коррекции мест погружения во время развертывания блоков.

Кроме того, нежесткий кабель позволяет повысить эффективность уникального способа извлечения, при котором сейсмическую косу выбирают через корму судна в то время, когда последнее "совершает обход" (т.е. движется вдоль) косы передним ходом. В результате сопротивление движению сейсмической косы, создаваемое водой, заставляет косу парашютировать или прогнуться сзади от судна, что сводит к минимуму избыточное натяжение косы и делает ее менее подверженной наматыванию на гребные винты судна.

В одном из вариантов реализации настоящего изобретения расположенная на палубе сейсморазведочного судна система хранения содержит стеллаж с множеством прорезей, расположенных в виде вертикальных и горизонтальных рядов с целью размещения отдельных модулей. Каждая прорезь содержит портал связи, так что когда модуль размещен внутри прорези, он с помощью этого портала сопрягается с главной станцией управления. Через портал связи может осуществляться загрузка информации, зарегистрированной в данном модуле, подзарядка батарей и контроль качества модуля; также может быть повторно запущен процесс регистрации, а сам модуль может быть повторно активирован. В другом варианте реализации настоящего изобретения система хранения содержит расположенные одна над другой образные карусели. Каждая карусель содержит ролики, обеспечивающие возможность перемещения регистрирующих модулей вдоль карусельного тракта конвейерным способом до момента, пока модуль не будет позиционирован рядом с порталом связи. Независимо от типа используемой системы хранения она может быть выполнена с размерами стандартного грузового контейнера, составляющими 8'×20'×8' (2,4 м×6 м×2,4 м), так что системы хранения и любые размещаемые в них сейсморазведочные модули могут легко транспортироваться морем посредством стандартных контейнеровозов.

Каждый модуль может содержать уникальное средство идентификации, например метку радиочастотной идентификации (RFID) или похожие средства идентификации, обеспечивающие отслеживание отдельных модулей, когда ими манипулируют на палубе. Кроме того, как было указано выше, каждый модуль может содержать акустический локационный преобразователь или акселерометры для определения местонахождения модуля на морском дне. Поскольку отдельные модули являются автономными, информация о местонахождении, в сочетании со средством идентификации, позволяет произвольно вставлять модули в стеллаж для хранения, но при этом обеспечивает возможность извлечения и размещения в нужной последовательности данных из множества модулей согласно ранее имевшей место последовательности расположения этих модулей на морском дне. Таким образом, устраняется необходимость в сохранении физической последовательности расположения модулей. Иначе говоря, модули, которые были расположены рядом друг с другом на сейсмической косе, не обязательно должны храниться рядом друг с другом в стеллажах.

Кроме того, общая система развешивания и извлечения модулей, по существу, автоматизирована на палубе. Конфигурация палубы включает в себя конвейерную систему, проходящую вблизи стеллажей и вытянутую до края палубы, прилегающего к воде. С целью перемещения модулей между стеллажами и конвейерной лентой предусмотрена роботизированная рука. В одном из вариантов предусмотрены намоточно-размоточная машина для кабеля и кабельная катушка/контейнер, предназначенные для размотки нежесткого кабеля таким образом, чтобы он перемещался вблизи конвейерной системы за борт судна. Поскольку модули размещаются на конвейерной системе с целью их прикрепления к нежесткому кабелю, скорость конвейера регулируется таким образом, чтобы она совпадала со скоростью подачи кабеля, и таким образом обеспечивается возможность прикрепления модулей в процессе подачи. При этом специалистам в данной области техники будет понятно, что скорость размотки сейсмической косы не является постоянной, поскольку скорость движения судна в воде непостоянна даже в условиях спокойного моря и слабого ветра.

В другом варианте реализации настоящего изобретения конвейер пересекается с кабелем, разматываемым с помощью намоточно-размоточной машины. В месте пересечения сейсморазведочный модуль прикрепляется к кабелю, после чего прикрепленный модуль опускается в воду. Для надежного зажатия кабеля перед прикреплением к нему модуля предусмотрен кабельный захват, расположенный после крепежной станции по направлению подачи, и таким образом в процессе крепления модуля к кабелю предотвращается избыточное натяжение кабеля со стороны, расположенной до крепежной станции по направлению подачи. Этот кабельный захват может содержать высвобождающую систему, которая вынуждает оператора использовать обе руки для раскрытия кабельного захвата, тем самым сводя к минимуму опасность для оператора в случае, когда модуль высвобождается и сторона кабеля, расположенная до крепежной станции по направлению подачи, снова натягивается.

Что касается натяжения кабеля, то он состоит из секций, которые крепятся одна к другой с помощью разрывного соединителя уникальной конструкции. Этот соединитель состоит из первого и второго фитингов, вставленных один в другой. Через вставленные друг в друга фитинги пропущен срезной штифт для скрепления фитингов друг с другом. Каждый фитинг прикреплен к концу соответствующей кабельной секции, так что когда фитинги скреплены друг с другом, кабельные секции образуют более длинный участок кабеля. Если натяжение кабеля превысило предел прочности на срез срезного штифта, последний ломается и кабель разделяется.

Кроме того, в то время как в одном из вариантов реализации настоящего изобретения используется зажимной механизм, который обеспечивает возможность зажатия модулей непосредственно на участке кабеля определенной длины, в другом варианте используется муфта, прикрепляемая к кабелю. Зажимной механизм осуществляет прикрепление к муфте, поверх которой на концах отформованы выступы. Вместо того чтобы закреплять эти выступы между соседними участками кабеля, как принято в известном уровне техники, муфта согласно настоящему изобретению может быть зажата или размещена вокруг участка кабеля и закреплена на своем месте без разрезания кабеля. В данном варианте муфта прикрепляется к кабелю путем пропускания штифтов через муфту и кабель в плоскостях  $x$  и  $y$ , перпендикулярных оси кабеля. Выступы формируются поверх штифтов на концах каждой муфты. Хотя для задания области крепления по длине муфты может использоваться формирование поверх противоположных концов муфты, последняя может также иметь раструбные концы, которые дополнительно задают область крепления.

В одном из аспектов настоящего изобретения раскрыт способ осуществления сейсморазведки, согласно которому: развертывают узловые сейсмические датчики в местах, находящихся в зоне сейсморазведки; активируют множество сейсмических источников; и используют узловые сейсмические датчики для регистрации сейсмических сигналов, генерируемых в ответ на активацию множества сейсмических источников.

В некоторых вариантах, по меньшей мере, некоторые из узловых сейсмических датчиков регистрируют смешанные сейсмические сигналы.

В некоторых вариантах на этапе активации множества сейсмических источников осуществляют неоднократную активацию по меньшей мере двух из сейсмических источников в моменты времени, разделенные изменяемыми возмущающими временными интервалами.

В некоторых вариантах возмущающие временные интервалы изменяют случайным или псевдослучайным образом.

В некоторых вариантах, по меньшей мере, некоторые из узлов выполнены с возможностью непрерывной регистрации сейсмических сигналов с целью генерирования сейсмических данных на этапе неоднократной активации по меньшей мере двух сейсмических источников.

В некоторых вариантах осуществляют извлечение непрерывно зарегистрированных сейсмических данных, собранных на этапе неоднократной активации по меньшей мере двух сейсмических источников; и производят обработку извлеченных данных с целью получения сейсмографических данных, показывающих по меньшей мере одну сейсмограмму общего пункта приема.

В некоторых вариантах осуществляют разделение смешанных сейсмографических данных.

В некоторых вариантах при разделении смешанных сейсмографических данных увеличивают количество данных, соответствующих активации первого из сейсмических источников, и одновременно с этим уменьшают количество данных, соответствующих активации второго из сейсмических источников.

В некоторых вариантах при увеличении количества данных, соответствующих активации первого из сейсмических источников, осуществляют когерентное комбинирование данных, соответствующих множеству активаций первого из сейсмических источников, с использованием когерентных данных по меньшей мере от части из множества детекторных узлов.

В некоторых вариантах при уменьшении количества данных, соответствующих активации второго из сейсмических источников, осуществляют некогерентное комбинирование данных, соответствующих множеству активаций второго из сейсмических источников, с использованием некогерентных данных по меньшей мере от части из множества детекторных узлов.

В некоторых вариантах по меньшей мере часть из узловых сейсмических датчиков представляет собой морские донные датчики.

В некоторых вариантах развертывают, по меньшей мере, некоторые из морских донных датчиков с использованием подводного аппарата с дистанционным управлением.

В некоторых вариантах развертывают, по меньшей мере, некоторые из морских донных датчиков с использованием системы "узел-на-канате".

В некоторых вариантах синхронизируют узловые сейсмические датчики с эталонным временем в процессе их развертывания.

В некоторых вариантах синхронизируют узловые сейсмические датчики с эталонным временем в процессе их извлечения.

В некоторых вариантах реализации синхронизируют узловые сейсмические датчики с эталонным временем в то время, пока осуществляется развертывание этих датчиков.

В некоторых вариантах по меньшей мере один из узловых сейсмических датчиков содержит приемник GPS, используемый для синхронизации этого датчика с эталонным временем в то время, пока осуществляется развертывание этого датчика.

В некоторых вариантах, по меньшей мере, некоторые из узловых сейсмических датчиков развертывают в морской среде на глубине более 100, 500, 1000 м.

В некоторых вариантах по меньшей мере один из узловых сейсмических датчиков осуществляет непрерывную регистрацию сейсмических данных в процессе развертывания.

В некоторых вариантах при активации множества сейсмических источников осуществляют сле-

дующее: обеспечивают наличие множества морских судов, каждое из которых способно транспортировать по меньшей мере один из множества сейсмических источников; и используют эти морские суда для активации сейсмических источников в множестве выбранных мест.

В некоторых вариантах по меньшей мере один из узловых сейсмических датчиков содержит: корпус; по меньшей мере один сейсмический датчик, расположенный внутри корпуса; таймер, расположенный внутри корпуса; источник электропитания, расположенный внутри корпуса; и регистратор сейсмических данных, расположенный внутри корпуса.

В некоторых вариантах по меньшей мере один сейсмический датчик содержит геофон, гидрофон, акселерометр или их комбинацию.

В некоторых вариантах по меньшей мере один сейсмический источник содержит по меньшей мере одну пневматическую пушку.

В некоторых вариантах по меньшей мере один из сейсмических источников содержит по меньшей мере один элемент из следующего перечня: устройство для возбуждения сейсмических волн методом падающего груза, сейсмическое вибрационное устройство и взрывной источник.

В некоторых вариантах на этапе активации множества сейсмических источников модулируют выходной сигнал каждого сейсмического источника с использованием репрезентативной модуляционной характеристики, задающей отличительные особенности данного сейсмического источника.

В некоторых вариантах используют зарегистрированные сейсмические сигналы для получения сейсморазведочных данных, показывающих характеристики геологических подповерхностных структур в зоне сейсморазведки.

В некоторых вариантах осуществляют вывод сейсморазведочных данных.

Различные варианты могут включать любые из вышеописанных элементов, как по отдельности, так и в подходящих комбинациях.

#### **Краткое описание чертежей**

Фиг. 1 показывает в сечении вид сверху сейсмического регистрирующего модуля согласно настоящему изобретению.

Фиг. 2 показывает вид спереди модуля на фиг. 1.

Фиг. 3 показывает вид сзади модуля на фиг. 1.

Фиг. 4 показывает вид сверху модуля на фиг. 1.

Фиг. 5 показывает вид сзади модуля с поперечным сечением буфера, окружающего модуль.

Фиг. 6 показывает вид сзади модуля с поперечным сечением клинового буфера.

Фиг. 7 показывает вид сверху модуля с клиновым буфером на фиг. 6.

Фиг. 8 показывает перспективный вид модуля с шарнирно закрепленными ножками.

Фиг. 9 показывает схему способа извлечения блоков через корму.

Фиг. 10 показывает множество модулей, прикрепленных к нежесткой линии, в процессе развертывания.

Фиг. 11 показывает систему осуществления сейсморазведки с помощью множества сейсмических источников, характеризующуюся развертыванием по методике "узел-на-канате".

Фиг. 12 показывает систему осуществления сейсморазведки с помощью множества сейсмических источников, характеризующуюся развертыванием по методике, основанной на использовании подводных аппаратов с дистанционным управлением.

Фиг. 13 показывает блок-схему способа осуществления сейсморазведки с помощью множества сейсмических источников.

Фиг. 14 показывает блок-схему способа обработки данных, собранных при осуществлении сейсморазведки с помощью множества сейсмических источников.

На фиг. 15 в графической форме показан пример части данных, собранных в результате осуществления сейсморазведки с использованием множества сейсмических источников.

На фиг. 16 в графической форме показан результат разделения данных на фиг. 15.

Фиг. 17 показывает схему сейсморазведки с общим пунктом приема в морском донном узле.

#### **Подробное описание предпочтительных вариантов реализации изобретения**

В подробном описании настоящего изобретения одинаковые цифровые обозначения применяются для обозначения одинаковых элементов по всему тексту, при этом некоторые стандартные компоненты оборудования, такие как крепежные принадлежности, фитинги и т.д., могут не упоминаться для простоты описания. Тем не менее, специалисты в данной области техники поймут, в каких случаях могут применяться эти стандартные компоненты.

На фиг. 1 показана система или блок 10 для сбора сейсмических данных согласно настоящему изобретению. Блок 10 содержит водонепроницаемый корпус 12, имеющий боковую стенку 14, образующую внутренний водонепроницаемый отсек 16. Внутри отсека 16 расположены: по меньшей мере один геофон 18, таймер 20, источник электропитания 22, управляющий механизм 23 и регистратор 24 сейсмических данных. В данном варианте блок 10 является автономным, так что источник электропитания 22 удовлетворяет всем требованиям по электропитанию блока 10. Управляющий механизм 23 выполняет все функции управления блоком 10, благодаря чему исключается необходимость в подключении к внеш-

ним средствам управления. Блок 10 утяжелен для того, чтобы иметь отрицательную плавучесть, так что он погружается в направлении морского дна, будучи развернутым в толще воды.

Специалисты в данной области техники высоко оценят тот факт, что блок 10 представляет собой автономную систему сбора данных, которая не требует внешних подключений или управления для регистрации сейсмических сигналов. Необходимо также отметить, что геофон 18 смонтирован внутри блока 10 и поэтому не требует внешних проводов или соединителей для своего подключения. Было выяснено, что при использовании такой конструкции корпуса, более подробно описанной ниже, геофон 18 эффективно сцепляется с морским дном, благодаря чему сейсмические данные, передаваемые через блок 10 на геофон 18, не подвергаются искажениям из-за интерференции.

Наряду со стандартными элементами, описанными выше, блок 10 может также содержать компас 36 и измеритель наклона 38. Кроме того, в предпочтительном варианте реализации настоящего изобретения в качестве геофона 18 используется блок геофонов, содержащий три геофона для детектирования сейсмических волн в каждой из плоскостей  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Если иное не оговорено специально, все ссылки на геофоны, используемые в настоящем изобретении, подразумевают стандартные геофоны, и то же самое относится к другим известным устройствам для детектирования сейсмической волновой активности, включая без ограничений акселерометры.

В другом варианте реализации настоящего изобретения было признано полезным использовать четыре геофона, расположенных в четырехугольной конфигурации, с тем, чтобы каждый геофон регистрировал данные в нескольких плоскостях. В стандартной трехмерной конфигурации три геофона размещены на  $90^\circ$  относительно друг друга, и каждый из них регистрирует сигнал в одной из плоскостей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . В конфигурации с четырьмя геофонами последние ориентированы перпендикулярно плоскости четырехугольника, так что каждый геофон осуществляет регистрацию в части из группы плоскостей системы координат  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Например, один геофон может регистрировать сейсмические данные в плоскости  $x$  и плоскости  $z$ . Конфигурации с четырьмя и более геофонами являются желательными, поскольку они обеспечивают резервирование в сейсморазведочном модуле в случае отказа геофона, относящегося к какой-либо конкретной плоскости. Ни одна из систем OBS, известных из уровня техники, не использует четыре и более геофонов для регистрации сейсмических данных вышеописанным способом.

В одном из важных аспектов изобретения таймер 20 представляет собой рубидиевый таймер. Ранее рубидиевые таймеры не использовались в сейсморазведке, отчасти из-за их высокой стоимости по сравнению с традиционными таймерами на кварцевом тактовом генераторе. Тем не менее, поскольку блок 10 согласно настоящему изобретению предназначен для более эффективного функционирования при одной из нескольких ориентации, необходим такой таймер, который не был бы подвержен влиянию ориентации, способному нарушить работу традиционных таймеров на кварцевом тактовом генераторе, известных из уровня техники. Кроме того, рубидиевые таймеры менее подвержены влиянию температуры и гравитации, способному нарушить работу известных из уровня техники таймеров в морской среде.

Источник электропитания 22 предпочтительно представляет собой литий-ионную батарею. В тех случаях, когда системы OBS, известные из уровня техники, использовали свои собственные автономные батареи, а не внешние кабели для подачи электропитания, этими батареями были свинцово-кислотные, алкалиновые или неперезаряжаемые батареи.

Ни одна из систем OBS, известных из уровня техники, не использовала литий-ионные батареи. Тем не менее, из-за герметичности и автономности блока согласно настоящему изобретению, желательно использовать батареи, которые не испускают газов и являются легко перезаряжаемыми, в частности литий-ионные батареи.

На фиг. 2 и 3 можно видеть одну из уникальных отличительных особенностей блока 10, а именно - его низкопрофильную конфигурацию. Более конкретно, корпус 12 содержит первую 26 и вторую 28 торцевые пластины 28, соединенные друг с другом по периметру боковой стенкой 14. В одном из вариантов пластины 26 и 28 имеют дискообразную форму, так что внешняя форма корпуса 12 напоминает колесо. В любом случае, как можно догадаться, каждая из пластин 26, 28 характеризуется шириной ( $W$ ), а стенка 14 характеризуется высотой ( $H$ ), причем ширина  $W$  пластин 26, 28 больше, чем высота  $H$  стенки. Разумеется, в случае, когда пластины 26, 28 имеют дискообразную форму, любые ссылки на ширину  $W$  должны быть заменены ссылками на диаметр  $D$ . Тем не менее, применительно к описанию низкого профиля следует отметить, что низкопрофильная характеристика корпуса остается неизменной независимо от того, имеет ли корпус 12 круглую форму и характеризуется диаметром  $D$  или он характеризуется высотой  $H$ . Без ограничения характеристики низкого профиля в целом, в одном из вариантов высота  $H$  составляет не более 50% от ширины  $W$  или диаметра  $D$ . В качестве одного из неограничительных примеров, высота  $H$  блока 10 составляет примерно 6,5 дюйма (16,5 см), а ширина/диаметр блока 10 составляет примерно 18,5 дюйма (50 см).

Как показано на чертежах, блок 10 является, по существу, внешне симметричным относительно осей  $x$  и  $y$ , так что при своем развертывании блок 10 может располагаться любой из своих торцевых поверхностей 30, 32 на морском дне и при этом прочно сцепляться с дном. Таким образом, ориентация блока 10 становится намного менее критичной по сравнению с известными из уровня техники системами OBS, спроектированными в расчете на размещение на дне только определенной стороной вверх. Кроме

того, из-за узкого профиля блока 10 его равновесие при расположении на дне боковой поверхностью 34 обычно является неустойчивым. Таким образом, если блок 10 опустится на морское дно своей боковой поверхностью 34, он опрокинется и окажется расположенным на морском дне одной из своих торцевых поверхностей 30, 32.

Блок 10 также содержит внутренние ребра 33, используемые для укрепления пластин 26, 28, чтобы они могли выдерживать высокое давление, характерное для морской среды. Ребра 33 предотвращают любое "дребезжание" или смещение пластин 26, 28, которое в противном случае могло бы создать помехи для детектирования сейсмических волн. В отличие от известного уровня техники, блок 10, как было сказано выше, эффективен в качестве контейнера для геофонов, поскольку сейсмические волны могут без искажений проходить через торцевую пластину блока на геофоны 18. В этой связи, благодаря низкому профилю и высокой жесткости блока 10, расположение места крепления геофона 18 внутри корпуса 12 становится менее критичным и тем самым устраняются проблемы, характерные для конструкций, известных из уровня техники.

Каждый модуль содержит уникальное идентификационное средство, такое как метка 40 радиочастотной идентификации (RFID) или аналогичный идентификационный маркер, благодаря чему обеспечивается возможность отслеживания отдельных модулей во время манипулирования ими на палубе, как будет описано ниже. В дополнение к этому, каждый модуль может содержать акустический локационный преобразователь 42, который обеспечивает возможность определения местонахождения модуля на морском дне.

На фиг. 1 также показан гидрофон 44, обеспечивающий возможность измерения давления, и соединитель 46, обеспечивающий возможность связи с блоком 10, когда последний находится на палубе или размещен в стеллаже, как будет описано ниже. Соединитель 46 может представлять собой стандартный штырьковый соединитель, либо инфракрасный или другой аналогичный соединитель, не требующий жесткого проводного подключения и предназначенный для связи с блоком 10. Блок 10 может обслуживаться через соединитель 46 без снятия одной из пластин 26, 28 или раскрытия корпуса 12 иным образом. В частности, соединитель 46 обеспечивает возможность проведения контроля качества, извлечения зарегистрированных сейсмических данных, синхронизации таймера 20 и перезарядки источника электропитания 22. Поскольку соединитель 46 используется только вне воды, может быть также предусмотрен водонепроницаемый, стойкий к давлению защитный колпачок 47 для защиты соединителя 46. При наличии защитного колпачка 47 соединитель 46 может представлять собой любой стандартный соединитель, соответствующий выполняемым функциям блока. Соединитель 46 не обязательно должен удовлетворять требованиям, обычно предъявляемым к внешним соединителям для работы в условиях высокого давления и коррозионной окружающей среды.

Наконец, на фиг. 1 показан крепежный кронштейн 48 для захвата блока 10 путем зажатия или иным образом и манипулирования блоком 10. Кронштейн 48 расположен на корпусе 12 таким образом, чтобы радиальный угол между кронштейном 48 и любым оборудованием, которое может выступать от блока 10, например преобразователем 42 или гидрофоном 44, был тупым или острым. В варианте, показанном на чертеже, этот угол является острым. Дело в том, что обычно при разворачивании или извлечении таких устройств, как блоки 10, они могут ударяться о борт судна или о другое оборудование во время манипулирования этими устройствами, из-за чего может быть повреждено оборудование, выступающее от устройств. Путем размещения кронштейна 48 на окружной поверхности корпуса 12 таким образом, чтобы радиальная ось, проходящая из центра корпуса 12 через кронштейн 48, менее чем на 90° отстояла от радиальной оси, проходящей из центра корпуса 12 через выступающее оборудование, в частности преобразователь 42, вероятность повреждения этого оборудования снижается.

В одном из вариантов реализации настоящего изобретения к боковой стенке 14 вместо кронштейна 48 крепится зажимной механизм, предпочтительно в месте, сводящем к минимуму вероятность повреждения оборудования, выступающего от блока 10. Одним из эффективных зажимных механизмов является двухпозиционный механизм, имеющий противолежащие зажимы, которые могут раскрываться и закрываться, обеспечивая возможность прикрепления блоков к кабелю с целью разворачивания. Указанный зажимной механизм может также быть косо прикреплен к стенке 14 таким образом, чтобы главная ось зажимного механизма и ось z блока 10 не пересекались. Подобная ориентация дополнительно защищает оборудование, выступающее от блока 10.

На фиг. 4 показана внешняя поверхность 50 одной или обеих пластин 26, 28. В частности, на поверхности 50 может быть выполнен рельеф 51 в виде ребер или канавок для улучшения сцепления между блоком 10 и морским дном. В варианте, показанном на чертеже, рельеф 51 выполнен в виде шевронного рисунка на поверхности 50.

На фиг. 4 и 5 показан также крепежный кронштейн 54, который может быть применен для того, чтобы зажимать или иным образом захватывать блок 10 и манипулировать им таким образом, чтобы пластины 26, 28 оставались, по существу, горизонтальными во время погружения модуля 10 через толщу воды посредством кронштейна 54, прикрепленного к кабелю. Для этого кронштейн 54 может быть размещен по центру или иным образом позиционирован на одной из пластин 26, 28 над центром тяжести блока 10.

Как показано на фиг. 4-8, одним из аспектов настоящего изобретения является применение буфера, обычно указываемого как буфер 52 и расположенного вокруг блока 10. фиг. 4-8 показывают три различных конфигурации буфера 52, указываемые как буфер 52а, буфер 52b и буфер 52с. Во-первых, ему может быть придана такая форма, которая заставит блок 10 опрокинуться и встать одной из своих торцевых поверхностей 30, 32 на морское дно в случае, если блок 10 опустился на дно своей боковой поверхностью 34. Во-вторых, буфер 52 служит в качестве средства защиты блока 10 и любых наружных устройств, таких как преобразователь 42, которые могут выступать от корпуса 12. И наконец, буфер может иметь такую форму, которая предотвращает запутывание блока 10 в сетях и неводах для ловли креветок, а также в "шекочущих" цепях креветочных тралов. В любом случае буфер может выполнять некоторые из перечисленных функций.

Как было указано выше, буфер 52 может иметь различные конструкции. На фиг. 5 буфер 52а, окружающий корпус 12, показан в сечении на виде сбоку блока 10, а на фиг. 4 буфер 52а показан на виде сверху блока 10. Более конкретно, показанный на фиг. 5 буфер 52а имеет круглую или криволинейную форму поперечного сечения 55. Как показано на фиг. 5, буфер 52а имеет выступ 56, который вставлен в паз 58, выполненный по периметру корпуса 12. Часть 60 буфера 52а выходит за периметр корпуса 12, защищая таким образом боковую стенку 34 корпуса 12. Благодаря скругленной форме буфера 52а, блок 10 опрокинется какой-либо из своих торцевых пластин 26, 28 на морское дно в случае касания дна в положении, когда пластины 26, 28 перпендикулярны дну. Кроме того, буфер 52а выполняет функцию защиты блока 20 от ударов и функцию защиты персонала при манипулировании блоком 10.

Альтернативный профиль буфера показан на фиг. 6 и 7, на которых буфер 52b имеет клиновидное поперечное сечение 62. Как и в предыдущем варианте, буфер 52b содержит выступ 56, который вставлен в паз 58, выполненный по периметру корпуса 12. Часть 64 буфера 52b выступает за периметр корпуса 12, защищая таким образом пластины 26, 28 и боковую стенку 34 корпуса 12. Буфер 52b, показанный на фиг. 6 и 7, содержит также выемки 66, которые могут использоваться в качестве рукояток для ручного захвата и манипулирования блоком 10. Как можно догадаться, в варианте с буфером 52b желательно ориентировать блок 10, имеющий этот буфер, на морском дне таким образом, чтобы клин буфера 52b был обращен вниз. Таким образом, в данном варианте пластина 28 рассматривается как верхняя, а пластина 26 - как нижняя торцевая пластина блока 10.

В варианте с буфером 52b, показанном на фиг. 6 и 7, буфер имеет дополнительную часть 68, показанную в состоянии закрепления на верхней пластине 28; часть 68 имеет поперечное сечение 70 скругленной формы, переходящее в поперечное сечение 62 клиновидной формы. В одном из вариантов в части 68 буфера могут быть отформованы или выполнены иным образом стеклянные шарики для повышения плавучести части 68. В результате повышения плавучести верхней части блока 10 обеспечивается его правильная ориентация, т.е. такая ориентация, при которой клиновидная часть буфера 52b обращена вниз, когда блок 10 погружается сквозь толщу воды и располагается на морском дне.

В случае, если цепь или аналогичный длинномерный предмет будет заведен на блок 10, когда последний сцеплен с морским дном, эта цепь просто проскользнет по клиновидной поверхности буфера 52b и сойдет с верхней части блока 10. Помимо этого, часть 68 буфера предотвращает зацепление указанной цепи или длинномерного предмета за любое оборудование, которое может выступать от верхней поверхности блока 10.

Еще один вариант буфера 52 показан на фиг. 8; в этом варианте буфер 52с содержит ножку или клин 72, имеющий узкий конец 74 и широкий конец 76. Широкий конец 76 вставлен и шарнирно закреплен между двумя кронштейнами 78, прикрепленными к боковой стенке 14 корпуса 12. Предпочтительно, кронштейны 78 имеют такую форму, чтобы их внешние кромки 80 образовали, по существу, гладкую переходную поверхность к поверхности клина 72. В процессе развертывания блок 10 может расположиться на морском дне опорной поверхностью любой из пластин 26, 28, и шарнирно закрепленный клин 72 опустится на морское дно, образуя скат или юбку, по которой будет скользить цепь креветочного траля или другая аналогичная снасть, если она будет заведена на блок 10. Таким образом, буфер 52с вынудит прохождение цепи над верхней частью блока 10, предотвращая тем самым зацепление цепи за блок 10.

Одна из функций модуля регистрации сейсмических данных согласно настоящему изобретению состоит в непрерывности работы модуля. В данном аспекте изобретения сбор данных инициируется до начала позиционирования модуля на земной поверхности. В одном из предпочтительных вариантов реализации настоящего изобретения морской сейсморазведочный модуль активируется и начинает сбор данных до начала своего развертывания в воде. Системы активируются и начинают сбор данных до начала своего развертывания и таким образом стабилизируются до момента, когда потребуется детектирование сигнала. В результате сводится к минимуму вероятность того, что из-за изменившегося состояния функционирования электронной части нарушится детектирование сигнала. Разумеется, в случае модуля с непрерывным сбором данных, такого как вышеуказанный модуль, новизна состоит в "непрерывном" характере работы модуля, и данная функция применима как на земле, так и в морской среде.

В аналогичном варианте регистрации данных инициируется до начала позиционирования вдоль линии приемников. Например, модуль регистрации морских сейсмических данных активируется еще при

нахождении на разворачивающемся судне и начинает сбор данных до своего развертывания в воде. Как и в предыдущем случае, это обеспечивает возможность стабилизации модуля до того, как потребуется регистрация сигнала. С этой целью одним из компонентов стабилизации системы является стабилизация таймера. Хорошо известно, что среди различных компонентов системы таймеры обычно требуют наибольшего времени для стабилизации. Поэтому в одном из вариантов реализации настоящего изобретения, независимо от того, осуществляет ли модуль непрерывное детектирование данных или непрерывную регистрацию данных, таймер всегда остается включенным.

В любом из двух вышеописанных способов модуль может быть использован в нескольких циклах развертывания и извлечения без прерывания непрерывного функционирования модуля. Таким образом, например до начала развертывания, инициируется регистрация. Регистрация продолжается непрерывно, в то время как устройство разворачивается, извлекается и повторно разворачивается. До тех пор, пока остается достаточно свободного места в памяти, может поддерживаться непрерывность регистрации в течение множества циклов развертывания, извлечения и повторного развертывания.

В этой связи, в случае, когда модуль регистрации сейсмических данных содержит память с циклическим доступом, он может осуществлять непрерывную регистрацию даже в то время, когда он не используется для сейсмического детектирования. Таким образом, в дополнение к преимуществам, описанным выше, становится ненужной инициация или подача пусковой команды. Кроме того, непрерывная регистрация с использованием памяти с циклическим доступом обеспечивает резервирование данных, собранных на предыдущих операциях регистрации, до тех пор, пока эти данные не будут перезаписаны. Дополнительное преимущество состоит в том, что устройство находится в состоянии готовности к развертыванию в любой момент, пока синхронизирован таймер.

В случае, если регистрация продолжается после того, как модуль был извлечен, стандартные операции, такие как сбор данных, контроль качества и зарядка батареи, могут выполняться без прерывания регистрации. Одно из преимуществ такой системы состоит в том, что устройство может использоваться для регистрации результатов контроля качества вместо сейсмических данных при проведении такого контроля. Иначе говоря, вход данных переключается с сейсмических данных на результаты контроля качества. Когда контроль качества завершен, устройство может возобновить регистрацию сейсмических данных или других необходимых данных, таких как данные, относящиеся к местонахождению и времени.

В одном из предпочтительных вариантов реализации настоящего изобретения морской сейсмозведочный модуль содержит инерционную систему навигации для получения информации о местонахождении по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  в то время, когда модуль погружается сквозь толщу воды и располагается на морском дне. Обычно такая система измеряет величину линейного перемещения по каждой из осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ , а также величину углового перемещения вокруг каждой из осей  $x$ ,  $y$  и  $z$ . Иначе говоря, эта система осуществляет измерение по шести степеням свободы модуля, когда он опускается с судна на морское дно, и использует полученную измерительную информацию для определения местонахождения модуля на морском дне. В предпочтительном варианте позиционная информация по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  может быть получена с помощью акселерометров. Информация об угловой ориентации, т.е. о наклоне и направлении, может быть получена с помощью измерителя наклона и компаса или других ориентирующих устройств, таких как гироскопы. В одном из вариантов реализации настоящего изобретения три акселерометра и три гироскопа используются для получения инерционной навигационной информации, используемой для определения местонахождения модуля на морском дне.

В любом случае, путем комбинирования информации от акселерометров и информации о наклоне и направлении как функции времени с информацией о начальном местонахождении и скорости модуля на момент его опускания в воду, может быть определена траектория перемещения модуля через толщу воды. Более важно то, что может быть определено местонахождение модуля на нижней границе толщи воды, т.е. на морском дне. Через определенные интервалы будет производиться выборка по времени для обеспечения необходимой точности. Частота выборки по времени может варьироваться для различных измерительных приборов. Например, выборка данных от компаса, используемых для определения направления, и данных от измерителя наклона, используемых для определения наклона, может производиться с более низкой частотой, чем выборка данных от акселерометров. Ранее ни одно из судов для морской сейсмозведки не использовало акселерометров для определения местонахождения подобным способом. Таким образом, предложенные способ и система устраняют необходимость в определении местонахождения на морском дне другими способами, например с помощью акустических локационных преобразователей и т.п.

Независимо от вышеизложенного, данный способ определения местонахождения особенно эффективен при использовании вместе с вышеописанным способом непрерывной регистрации. Поскольку модуль уже осуществляет регистрацию данных к тому моменту, когда его опускают на поверхность воды, позиционная информация по осям  $x$ ,  $y$  и  $z$  легко регистрируется в этом модуле и становится частью полной информации, регистрируемой модулем.

В настоящем изобретении предложен также уникальный способ извлечения OBS-модулей 300, прикрепленных к кабелю 302, как показано на фиг. 9. Более конкретно, было выяснено, что извлечение кабе-

ля 302 через буксирующий конец 304 (обычно - корму) судна 306 в то время, когда последнее движется другим концом 30S (обычно - носом) вперед вдоль кабеля, сводит к минимуму сопротивление движению кабеля на морском дне 310 в то время, когда производится подъем кабеля, и предотвращает нежелательное натяжение или "дергание" кабеля, что является обычным в способах, известных из уровня техники. В частности, гидродинамическое сопротивление воды перемещению модулей OBS и кабеля в способе согласно настоящему изобретению обеспечивает парашютирование или прогиб (обозначен цифрой 312) кабеля 302 сзади от судна 306; таким образом, толща воды используется в качестве ударного амортизатора и минимизируется нежелательное натяжение.

В данном способе регулирование скорости судна 306 не является столь же критичным, как в известном из уровня техники способе извлечения через нос судна. Кроме того, поскольку кабель 302 образует прогиб 312 в воде сзади от судна, когда последнее движется в противоположную сторону от места прогиба, кабель менее подвержен намотке на гребные винты судна, в отличие от способа, известного из уровня техники. Разумеется, специалистам в данной области техники будет понятно, что в способе согласно настоящему изобретению кабель может выбираться через нос или через корму судна, пока последнее движется в направлении вдоль кабеля и последний выбирается на буксирующем конце судна.

В любом случае, к кабелю (обычно к одному или обоим концам развертываемого кабеля) может быть также прикреплена плавучая отсоединяющая система 314 для того, чтобы обеспечить подъем по меньшей мере части кабеля к поверхности, где кабель может быть легко захвачен с целью извлечения вышеописанным способом. Такая система хорошо известна из уровня техники и может содержать плавучее устройство, которое освобождается из придонной области в нужный момент времени с целью извлечения кабеля, или плавучее устройство, которое постоянно плавает на водной поверхности, но остается прикрепленным к кабелю во время его развертывания.

Нежесткий кабель согласно настоящему изобретению применяется также в уникальном способе развертывания блоков, как показано на фиг. 10. Более конкретно, по меньшей мере два OBS-модуля 400 связывают вместе с помощью нежесткого кабеля 402. Кабель 402 и модули 400 развертывают в толще воды 404. Поскольку модули 400 обладают намного большей отрицательной плавучестью, чем нежесткий кабель 402, эти модули будут показывать тенденцию к погружению сквозь толщу воды быстрее кабеля, так что участок кабеля, находящийся между соседними модулями, парашютирует и образует прогиб, показанный цифрой 406. Сопротивление погружению кабеля сквозь толщу воды выполняет роль тормоза, замедляющего спуск модулей и обеспечивающего более простое управление размещением модулей 400 на морском дне 408. В частности, эффект парашютирования обеспечивает возможность управления ориентацией модулей, например тех из них, которые оснащены клиновидным буфером, показанным на фиг. 6 и 7. Кроме того, нежесткий кабель обеспечивает возможность мягкого размещения модулей на морском дне и их плотного сцепления с дном.

Это является преимуществом по сравнению со способами, известными из уровня техники, поскольку последние используют жесткий или полужесткий кабель для развертывания модулей OBS. Такие кабели имеют тенденцию к быстрому погружению сквозь толщу воды вместе с модулями. Иначе говоря, по своей характеристике сопротивления перемещению эти кабели отличны от более легкого нежесткого кабеля согласно настоящему изобретению. В кабеле и модулях OBS, использующих данный способ, известный из уровня техники, ориентация отдельных модулей намного сильнее подвержена дестабилизации, в частности колебаниям с отклонением от курса и переворачиванию, когда модуль погружается сквозь толщу воды.

Дополнительное преимущество способа развертывания согласно настоящему изобретению состоит в том, что нежесткий кабель может образовывать слабины между соседними модулями как в процессе развертывания, так и после расположения модулей на морском дне. На практике было определено, что во время проведения обычных операций, таких как описанные выше, длина нежесткого кабеля между двумя соседними модулями обычно составляет намного больше, чем фактическое расстояние между модулями после того, как они расположились на морском дне. Иначе говоря, после расположения на морском дне может иметь место значительная слабина нежесткого кабеля между соседними модулями. По этой причине нежесткий кабель согласно настоящему изобретению не используется для разнесения модулей относительно друг друга. В любом случае оператор на судне может использовать слабину, образующуюся в нежестком кабеле, для проведения коррекции сейсмической косы, когда она уложена на дно. В частности, если из-за дрейфа развертываемого судна или по иным причинам укладываемая сейсмическая коса отклонилась от целевой линии, надводное судно может изменить свое положение с тем, чтобы оставшаяся часть кабеля и прикрепленных к нему блоков снова начала располагаться на целевой линии. Слабина кабеля, обусловленная отсутствием жесткости, дает возможность оператору осуществить возврат на целевую линию и обеспечить, чтобы оставшиеся отдельные модули расположились приблизительно в целевых местах вдоль целевой линии. Напротив, если бы такие модули были прикреплены к жесткому или полужесткому кабелю, то данный кабель не имел бы никакой регулировочной слабину, и оставшиеся модули, даже в случае их возможного расположения вдоль целевой линии, нельзя было бы расположить в целевых местах вдоль этой линии. Кроме того, когда модули 400 располагаются на морском дне, кабель 402 между ними провисает (обозначено цифрой 410). В результате отдельные модули "разъединяются"

друг с другом и предотвращаются вибрации сейсмической косы и передача вдоль нее нежелательных шумов.

В случае, если таймер 20 выполнен на кварцевом тактовом генераторе, информация от измерителя наклона 38 может использоваться для коррекции влияния гравитации на отсчет времени таймером. В известном уровне техники информация от измерителя наклона использовалась только для коррекции сейсмических данных. В кварцевых таймерах, за исключением коррекции температурных эффектов, никаких других коррекций не производилось. Поэтому одним из аспектов настоящего изобретения является использование информации от измерителя наклона для коррекции погрешностей отсчета времени, обусловленных влиянием гравитации на кварцевый таймер. Такая коррекция таймера может быть осуществлена непосредственно внутри блока во время регистрации данных или непосредственно перед ней, либо эта коррекция может быть применена к данным после того, как они извлечены из блока.

Кроме того, информация от измерителя наклона 38 может быть использована для применения "математического карданного подвешивания" к сейсмическим данным. В случаях, когда сейсмические данные корректировались в известном уровне техники с целью ориентирования, такая коррекция основывалась на механических карданных шарнирах, установленных в системах OBS, известных из уровня техники. Тем не менее, типовой механический карданный шарнир может вызвать снижение точности данных из-за демпфирования шарнира в его каретке. В одном из аспектов настоящего изобретения было определено, что математическая коррекция, не связанная с механическим карданным подвешиванием, так называемое "математическое карданное подвешивание", является более предпочтительной по сравнению с механическими способами карданного подвешивания, известными из уровня техники. Таким образом, настоящее изобретение может использовать информацию от измерителя наклона для математического регулирования сейсмических данных, чтобы учесть вертикальную ориентацию блока. Такое "математическое карданное подвешивание" может быть осуществлено непосредственно внутри блока во время или непосредственно до или после регистрации данных, либо оно может быть применено к данным после того, как они извлечены из блока.

Кроме того, информация от компаса 36 может быть использована для дополнительного совершенствования "математического карданного подвешивания" путем учета угловой ориентации модуля. В частности, данные от компаса могут быть объединены с данными от измерителя угла при "математическом карданном подвешивании" с целью более полной коррекции сейсмических данных с учетом эффектов, обусловленных ориентацией блока.

Одновременная активация сейсмических источников со сбором узловых данных.

В некоторых вариантах сейсморазведка может осуществляться с использованием сейсмометрических контейнеров ("блоков", "узлов"), например того типа, который описан здесь, с целью регистрации сейсмических сигналов, генерируемых в ответ на активацию множества сейсмических источников. Например, как будет более подробно описано ниже, донные детекторные узлы могут использоваться для регистрации сейсмических сигналов, генерируемых в ответ на неоднократную активацию множества сейсмических источников, например пневматических пушек, буксируемых множеством судов, в выбранные моменты времени в выбранных местах. Эти активации иногда называют "взрывами" ("shots"). Морские донные детекторные узлы развертываются в выбранных местах и могут использоваться для непрерывной регистрации сейсмических данных во время активации множества сейсмических источников; позднее эти узлы выбираются на судно и зарегистрированные сейсмические данные извлекаются из них для обработки.

Использование множества источников может быть предпочтительным, например, благодаря тому, что оно обеспечивает возможность выполнения плана сейсморазведки с заданным количеством точек активации за меньшее время, чем при использовании одного источника. Однако использование множества источников может привести к сложностям при обработке данных. Например, данный детекторный узел может принимать сейсмическую энергию, поступающую от множества источников в одно и то же время, результатом чего становятся "смешанные" данные. Соответственно, сейсморазведка, при которой это происходит, может быть названа "сейсморазведкой с одновременной активацией". Имейте в виду, что хотя для обсуждения вышеуказанного подхода к сейсморазведке используется термин "одновременная активация", на практике активации, как правило, являются лишь приблизительно одновременными и обычно (например, как в случае, более подробно описанном ниже) не являются строго одновременными. В контексте данного применения, приблизительно одновременные активации различных источников происходят в достаточно близкие друг к другу моменты времени, при этом по меньшей мере один узел, используемый для сбора сейсмических данных, будет принимать сигнал, который, по меньшей мере, за некоторый период времени представляет сейсмические данные, обусловленные всеми указанными активациями. Такой сигнал можно назвать "смешанным сейсмическим сигналом".

В некоторых случаях смешанные данные, зарегистрированные в ответ на смешанный сейсмический сигнал, могут оказаться непригодными, например в случае использования методик обработки, разработанных в предположении единственного сейсмического источника (как это имеет место во многих традиционных методиках обработки сейсмических данных).

Соответственно, в некоторых вариантах сейсморазведка может осуществляться таким образом, что-

бы обеспечить возможность обработки данных с целью выделения сигналов от нескольких источников; эту обработку обычно называют разделением. Например, в некоторых вариантах соотношение по времени между моментами активации может изменяться (например, случайным образом, псевдослучайным образом или в соответствии с выбранной функцией времени). Это соотношение по времени может впоследствии использоваться для разделения зарегистрированных сейсмических сигналов. Например, как будет более подробно описано ниже, когда выбран данный тип соотношения по времени, комбинирование данных по множеству активаций для заданного приемника может привести к тому, что сейсмический сигнал от одного источника будут комбинироваться когерентно (и тем самым будет увеличиваться количество данных от этого источника в комбинированных данных), в то время как сейсмический сигнал от другого источника или источников будет комбинироваться некогерентно (и тем самым будет уменьшаться количество данных от этого источника или источников в комбинированных данных). В некоторых вариантах сигналы от других источников могут ослабляться, например, на 50, 75, 90, 95, 99% или более. В некоторых вариантах таким образом обеспечивается возможность полного или по существу полного разделения данных и, как следствие, возможность проведения над этими данными дальнейшей обработки согласно методикам, разработанных для несмешанных сейсмических данных.

Как указывалось выше, "одновременная активация" может обеспечить значительное сокращение времени сбора данных при сейсморазведке. В случае, когда используются два источника, время, необходимое для осуществления сейсморазведки, может быть резко сокращено, приблизительно на 50%. Если же используется более двух источников, то время, необходимое для сейсморазведки, может быть сокращено еще больше. Аналогичным образом, когда сейсморазведка проводится в пределах установленного промежутка времени, благодаря повышению эффективности в результате использования множества источников может быть собрано большее количество данных по области определенной площади, либо может быть разведана область большей площади.

Каждый из вышеописанных сейсмометрических контейнеров ("блоков", "узлов") может использоваться как элемент сейсморазведки, осуществляемой с помощью одновременной активации. Например, на фиг. 11 и 12 показан пример, использующий автономные донные узлы для осуществления сейсморазведки. Как этот, так и другие примеры могут быть использованы для осуществления сейсморазведки с одновременной активацией. Хотя описываемые здесь узлы и источники рассматриваются, в первую очередь, применительно к морской среде, описываемые здесь принципы могут применяться и для других случаев, например для наземных источников и узлов (см., например, вибрационные сейсмические источники).

Фиг. 11 показывает вариант, согласно которому автономные морские донные датчики разворачиваются и извлекаются на морское судно с использованием методики "узел-на-канате". Такой процесс развертывания по существу аналогичен процессам, описанным выше, в частности показанным на фиг. 9 и 10. На чертежах показаны два судна с сейсмическими источниками, осуществляющих сейсморазведку с одновременной активацией после развертывания узлов. Однако следует понимать, что в различных вариантах может использоваться различное количество судов с сейсмическими источниками. В некоторых вариантах развертывающее судно может одновременно выполнять функцию судна с сейсмическим источником (например, быть оснащено пневматической пушкой).

Фиг. 12 показывает вариант, согласно которому автономные донные датчики разворачиваются и извлекаются с морского судна, использующего подводные аппараты с дистанционным управлением (ROV). Как показано на чертеже, для транспортировки детекторных узлов на морское дно с целью размещения на нем посредством ROV используется носитель. Преимуществом такого подхода является то, что уменьшается или полностью исключается необходимость в частых обратных рейсах ROV на поверхность для повторной загрузки узлами. Данный процесс развертывания может быть по существу аналогичен тому, который описан выше, например в патенте США № 2011/0286900, опубл. 24 ноября 2011 г.; его содержание полностью включено сюда посредством ссылки. На чертеже показаны два судна с сейсмическими источниками, осуществляющих сейсморазведку с одновременной активацией после развертывания узлов. Тем не менее следует понимать, что в различных вариантах количество судов с сейсмическими источниками может быть различным. В некоторых вариантах развертывающее судно может также служить в качестве судна с сейсмическим источником (например, судно может быть оснащено пневматической пушкой).

В различных вариантах развертывание узлов может осуществляться другими подходящими способами. Например, в некоторых вариантах узлы могут сбрасываться с поверхности, при этом может использоваться направляющая система для проведения узлов через толщу воды к выбранным местам.

Сейсморазведка, как указано здесь, может включать один или более этапов, на которых производится развертывание узлов для сбора сейсмических данных и последующее извлечение узлов, а также один или более этапов, на которых производится извлечение данных из узлов и обработка извлеченных данных. Далее со ссылками на фиг. 13 будет описан пример процесса сбора данных с использованием указанных узлов. На шаге 1300 планируют донно-узловую сейсморазведку с использованием множества сейсмических источников для конкретной области. Использование множества сейсмических источников может повысить эффективность сейсморазведки благодаря сокращению времени, необходимого для про-

ведения сейсморазведки, или увеличению количества данных по плотности или площади, которые могут быть получены за заданный промежуток времени. На шаге 1310 подготавливают узлы для развертывания. Подготовка может включать в себя калибровку узлов, синхронизацию узлов с главным таймером и активацию узлов, например, для осуществления непрерывной регистрации. В некоторых вариантах синхронизация может осуществляться позже, например после того, как узлы были развернуты, осуществили сбор данных и затем были извлечены. В таком варианте узлы могут синхронизироваться с главным таймером перед отключением, и моменты получения зарегистрированных данных могут быть определены ретроспективно на основе разницы во времени между моментом, когда были зарегистрированы определенные элементы данных, и моментом, когда был синхронизирован данный узел. В других вариантах узлы могут быть синхронизированы в процессе развертывания. Например, в случае наземной или мелководной сейсморазведки узлы могут иметь возможность приема сигналов, например, от глобальной спутниковой системы позиционирования, и эти сигналы могут быть использованы для синхронизации. Примеры описания наземных узлов можно найти, в частности, в патентной заявке США № 61/722024, зарегистрированной 2 ноября 2012 г., патенте США № 7561493, выданном 14 июля 2009 г., и патентной публикации США № 2009/0290453, опубликованной 26 ноября 2009 г. Кроме того, в некоторых вариантах морские донные узлы могут быть синхронизированы в процессе развертывания на морском дне до, после или во время проведения сейсморазведки. В некоторых вариантах это может быть осуществлено с использованием подводного канала связи (например, оптического канала связи, канала беспроводной радиосвязи, индукционного канала и т.п.) между узлом и ROV, находящимся вблизи этого узла. ROV может получать сигнал времени через подключенный канал связи от развертывающего судна, которое, в свою очередь, может осуществлять доступ к GPS или иным источникам эталонного времени.

На шаге 1320 осуществляют развертывание автономных морских донных узлов. Эти узлы могут быть размещены в предварительно заданных местах на морском дне в соответствии с проектными вариантами сейсморазведки. В некоторых вариантах, например в иллюстративном варианте, показанном на фиг. 11, узлы могут развертываться, будучи буксируемыми последовательно с помощью судна, при этом каждый из узлов соединен с ближайшими к нему предыдущим и последующим узлами посредством каната, кабеля и т.п. Как уже было указано выше, узлы являются функционально автономными, поскольку ни электропитание, ни данные, ни команды управления не передаются по кабелю, который предназначен исключительно для физического соединения узлов, что обеспечивает возможность их простого развертывания и извлечения. В других вариантах, таких как иллюстративный вариант, показанный на фиг. 12, узлы могут быть также и физически независимыми друг от друга и развертываться по отдельности с помощью подводных аппаратов в дистанционном управлении. Один или более узлов могут быть опущены с судна, например, в клетки или корзине, и подводный аппарат с дистанционным управлением может по одному забирать узлы из этой клетки или корзины и распределять их по целевым местам. В некоторых вариантах узлы могут быть размещены в особо глубоких местах, например глубже 1000 м от морской поверхности. Тем не менее, для различных задач могут использоваться любые другие подходящие глубины развертывания, например 1, 10, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000 м и глубже; диапазон глубин может составлять, например, 0-2000 м, с любыми промежуточными глубинами в этом диапазоне.

На шаге 1330, по существу, одновременно активируют два или более сейсмических источников ("взрывов"). Моменты активаций могут быть несколько разнесены по времени согласно методике псевдослучайных возмущений для уменьшения искажений сигналов и для обеспечения разделения сигналов, собранных в ответ на различные активации. В некоторых вариантах может использоваться множество судов для возбуждения сейсмических волн, каждое из которых имеет по меньшей мере один сейсмический источник. В других вариантах может использоваться единственное судно для возбуждения сейсмических волн, оснащенное множеством сейсмических источников, размещенных в физически различных позициях. График активации может также включать последовательное чередование между источниками. Например, четыре сейсмических источника могут быть размещены относительно друг друга таким образом, чтобы они располагались, по существу, в четырех углах квадрата. При первой активации по указанному графику могут активироваться два из указанных источников, и при второй активации могут активироваться остальные два источника. В этом варианте пары источников могут быть выбраны таким образом, чтобы не происходило одновременное возбуждение источников, расположенных в соседних углах квадрата. При каждой активации источника регистрируется точное время активации и местонахождение источника. Время активации источника может быть зарегистрировано компьютером, который установлен на судне, осуществляющем возбуждение сейсмических волн, и синхронизирован с задающим тактовым генератором. Место активации источника может быть определено на основании геолокационных данных, таких как данные GPS. Источники могут активироваться таким образом, чтобы соотношение между моментами активации или позициями источников при активации постоянно изменялось. Изменение возмущающего временного интервала между моментами активации или расстояния между позициями активации, по существу, для одновременных активаций может быть случайным, псевдослучайным или соответствовать выбранной функции.

В различных вариантах развернутые узлы могут непрерывно детектировать, оцифровывать и регистрировать сейсмические волновые поля (давление и движение частиц), поступающие на морское дно во

время сейсморазведки (например, с помощью одного или более сейсмических датчиков, таких как гидрофоны, геофоны, акселерометры и их комбинации). Эти узлы могут также периодически детектировать, оцифровывать и регистрировать пространственную ориентацию (например, угол наклона) векторного датчика движения. Сейсморазведка может включать множество повторений шага 1330 для сбора данных от множества сейсмических источников во множестве мест по всей зоне сейсморазведки. Эти данные впоследствии могут использоваться для создания подробных карт и изображений подповерхностных геологических структур в зоне сейсморазведки. Сейсмические источники неоднократно активируются, как описано выше, в то время как судно (суда), несущее (несущие) эти источники, медленно движется (движутся) через зону сейсморазведки с целью изменения физического местонахождения сейсмических источников. В некоторых вариантах судно (суда), осуществляющее (осуществляющие) возбуждение сейсмических волн, может (могут) следовать через зону сейсморазведки по прямой линии, параллельной стороне заданной квадратной области, поворачивать на  $180^\circ$  в момент достижения границы этой области, затем немного перемещаться вбок и возвращаться на линию, параллельную ранее пройденной траектории. Такая траектория перемещения может повторяться столько, сколько это необходимо для охвата всей зоны сейсморазведки. В других вариантах реализации изобретения возможны иные варианты геометрии траекторий перемещения судов, включая спиральные и круговые траектории, змеевидные волнистые траектории и любые другие известные траектории для сейсморазведки.

Пример узла, осуществляющего сбор данных на вышеописанном шаге 1330, показан на фиг. 17. Данный чертеж иллюстрирует методику сейсморазведки с общим пунктом приема, осуществляемой с использованием морского донного узла 1701. Серия активаций 1702 осуществляется из различных географических точек, расположенных через постоянные регулярные или по существу регулярные интервалы на водной поверхности 1703. Звуковые волны 1706 распространяются до морского дна 1704, проходят через него и отражаются от поддонной геологической структуры 1705. После этого звуковые волны возвращаются к морскому дну 1704, где они детектируются донным узлом 1701.

В некоторых вариантах изменение временных интервалов между одновременными активациями может быть обеспечено путем осуществления активаций через изменяемые пространственные интервалы в то время, когда источники находятся в движении вдоль траектории сейсморазведки (например, с постоянной скоростью). В других вариантах могут использоваться постоянные пространственные интервалы между позициями активации, однако моменты одновременных активаций регулируются таким образом, чтобы обеспечить их смещение на величину возмущающего временного интервала, как описано выше.

В различных вариантах указанный возмущающий временной интервал между моментами активации двух различных источников может быть короче, чем временной интервал между последовательными активациями отдельного источника. Иллюстративные относительные значения возмущающего временного интервала (т.е. задержки по времени между двумя последовательными активациями одного и того же источника) могут составлять  $1/2$ ,  $1/5$ ,  $1/10$ ,  $1/100$ ,  $1/1000$ ,  $1/10000$  и менее. Например, в некоторых типовых вариантах возмущающий временной интервал может составлять порядка 100 мс, в то время как временной интервал между моментами активации составляет порядка 1 сс, десятков секунд, минуты, нескольких минут или более.

В некоторых вариантах предпочтительно регистрировать время и место всех активаций, даже холостых, т.е. тех, которые не являются частью процесса сейсморазведки (например, осуществляемых во время возвратного движения судна между линиями сейсморазведки). Таким образом, обеспечивается возможность исключения данных по любым холостым активациям из сейсморазведочных данных.

На шаге 1340 извлекают все узлы с морского дна после завершения активации всех запланированных сейсмических источников во всех запланированных местах. В вариантах, использующих физическое соединение между узлами, например с помощью каната, сбор узлов может осуществляться по одному путем постепенной намотки сейсмической косы на барабан, установленный на судне. В вариантах, использующих физически несоединенные узлы, сбор узлов может осуществляться с помощью подводных аппаратов с дистанционным управлением (ROV) или подводных аппаратов с автономным управлением (AUV). Непрерывно зарегистрированные данные могут затем быть извлечены из каждого узла после завершения сбора узлов. Измеренный сдвиг по времени также может быть использован для синхронизации данных от всех узлов. В другом варианте подводные аппараты могут извлекать данные из узлов, когда последние остаются на своих местах на морском дне, с помощью канала связи любого подходящего типа (например, подводного оптического канала передачи данных).

Ниже со ссылками на фиг. 14 описан иллюстративный процесс обработки собранных данных. На шаге 1410 принимают данные, извлеченные из узлов. На шаге 1420 по каждому источнику используют известные моменты активации источника для выделения и организации сегментов непрерывной записи на сейсмограммах общего пункта приема. Длительность по времени выделенных сегментов может определяться максимальной интересующей глубиной, соответствующей максимальному времени, которое, как ожидается, потребуются сейсмическим волнам, чтобы достичь максимальной интересующей глубины и вернуться на датчик. Ориентационные данные также могут быть использованы для вращения данных о движении частиц с получением вертикальных и нужных горизонтальных составляющих. Когерентный

сейсмический сигнал на каждой сейсмограмме общего пункта приема (описанной ниже) может быть использован для детектирования и оптимизации позиций источника и приемника.

На шаге 1430 осуществляют разделение данных. Данные, полученные общим приемником, могут быть разделены (с помощью любой подходящей методики) с целью получения приблизительной картины, которая могла бы быть зарегистрирована в эксперименте с единственным источником в результате использования того факта, что полезный сигнал является когерентным, а сигнал помехи - некогерентным. Сейсмограммы общего пункта приема показывают когерентный сигнал от источника, в отношении которого моменты активации были использованы для выделения данных, а также показывают некогерентную интерференцию сигналов от всех источников, чья активация происходила в том же временном интервале. Когерентность между временными сегментами сигнала, относящегося к первому источнику, обусловлена тем фактом, что временные интервалы между моментами активации этого источника (в течение этих временных интервалов источник также немного смещается в пространстве в новое место зоны сейсморазведки) являются постоянными (например, равны 1 минуте). Некогерентность между сигналами, относящимися к другим источникам, является результатом непрерывного изменения вышеуказанного возмущающего временного интервала. Данный процесс может быть повторен в отношении сейсмограмм, построенных для других источников, и таким образом будут получены разделенные данные, соответствующие каждому из источников.

На фиг. 15 изображен график, показывающий пример данных, собранных в качестве части результатов сейсморазведки с множеством сейсмических источников. На фиг. 16 изображен график, показывающий результат разделения данных на фиг. 15. На фиг. 15 контур двухпиковой структуры сравнительно хорошо заметен, однако на графике он затемнен значительным количеством собранных сигналов из других мест, не соответствующих четко выраженной двухпиковой структуре. Этот затемняющий шум обусловлен, главным образом, тем фактом, что множество сейсмических источников активируется в одно и то же время из географически разнесенных мест. На фиг. 16 двухпиковая структура видна более четко, и шумы на графике значительно уменьшены. Это уменьшение шумов в результате разделения данных стало возможным благодаря тому, что первый сейсмический источник является когерентным, а второй сейсмический источник сделан некогерентным путем внесения небольших случайных возмущений по времени. В данном примере две линии активации являются параллельными и удалены друг от друга примерно на 500 футов (150 м). В наибольшем сближении они находятся в пределах расстояния соответственно 4000 и 5000 футов (1200 и 1500 м) от стационарного приемника. На каждой линии интервал между местами активации номинально составляет 82,5 фута (25 м). Стандартная скорость судна, равная примерно 4,6 узла (2,36 м/с), определяет минимальный промежуток времени между активациями, равный примерно 10600 мс. Случайный возмущающий временной интервал при активации, составляющий  $\pm 1000$  мс (для обеих линий), обеспечивает некогерентность при интерференции.

Нужно иметь в виду, что, хотя один из примеров разделения данных описан выше, следует понимать, что могут быть использованы и другие методики, например основанные на методиках, описанных в ссылках, цитируемых в Приложении В. В некоторых вариантах вышеуказанное разделение может применяться к другим типам сейсмограмм, известных из уровня техники, таким как сейсмограмма общей средней точки, вместе с надлежащим образом адаптированными методиками разделения данных, основанными на когерентности или шумоподавлении. В различных вариантах в качестве подходящих методик разделения могут использоваться пространственно-временная (FK-) фильтрация, фильтрация тау-пи, частотно-временное шумоподавление, FX-предсказание, сингулярная декомпозиция, а также другие соответствующие методики и их комбинации. Например, в некоторых вариантах могут использоваться методики разделения, описанные в работе Г. Хенненфента и Ф. Дж. Херманна от 2008 г. "Простое шумоподавление: реконструкция волнового поля с помощью флуктуационной неполной выборки", Геофизика, 73, № 3, V19-V28 (Hennenfent, G., and F. J. Herrmann, 2008, Simply denoise: wavefield reconstruction via jittered undersampling: Geophysics, 73, no. 3, V19-V28), и в работе Ф. Дж. Херманна от 2009 г. "Выборка и разреженность по Найквисту: как получить больше информации из меньшего объема выборки", 79-я ежегодная конференция Международного геофизического общества, Расширенные рефераты, 28, 3410-3413 (Herrmann, F. J., 2009, Sub-Nyquist sampling and sparsity: how to get more information from fewersamples: 79th Annual International Meeting, SEG, Extended Abstracts 28, 3410-3413). Содержание этих работ полностью включено в настоящее описание посредством ссылок.

Разделенные данные могут в дальнейшем обрабатываться таким же образом, что и в случае, когда сбор данных произведен при использовании единственного источника. В качестве примеров последующих операций обработки данных от морских донных узлов можно назвать сепарацию волнового поля на восходящую и нисходящую компоненты, пространственную интерполяцию и регуляризацию, обратную свертку, подавление кратных волн, анализ скоростей и перенос.

Например, в варианте, показанном на чертеже, на дополнительном шаге 1440 может осуществляться перенос данных. При переносе данных разделенные сейсморазведочные данные преобразуются в данные, характеризующие пространственные и физические характеристики геологических структур в зоне сейсморазведки. На шаге 1450 производится суммирование данных. В некоторых вариантах данные могут суммироваться до переноса, в то время как другие варианты могут включать только перенос после

суммирования, осуществляемый на дополнительном шаге 21460. Суммирование данных подразумевает комбинирование множества источников данных и генерирование новых массивов данных, включающих информацию, полученную на основе различных входных данных. Затем на шаге 1470 преобразуют данные с целью получения картографической информации и/или информации изображения, которая показывает геологические структуры в двух или трех измерениях и может быть применена для разведки нефтяных и газовых месторождений.

Хотя вышеописанные примеры относятся к разделению данных, полученных в результате запланированных активаций сейсмических источников, следует понимать, что эти методики могут быть также применены и для разделения сигналов, полученных в результате незапланированных активаций сейсмических источников (например, в результате геологических событий, сторонней активности вблизи зоны сейсморазведки и т.д.), при условии, что время и пространственное местонахождение незапланированных активаций могут быть определены хотя-бы приблизительно.

Хотя в настоящем описании были описаны и проиллюстрированы различные варианты реализации настоящего изобретения, специалисты с обычным уровнем квалификации в данной области техники легко найдут и иные средства и/или устройства для осуществления описанных здесь функций и/или для получения описанных здесь результатов и/или одного или более описанных здесь преимуществ, при этом предполагается, что все эти изменения и/или модификации будут находиться в пределах объема описанных здесь вариантов реализации настоящего изобретения. В более общем плане, специалисты в данной области техники легко поймут, что все описанные здесь параметры, размеры, материалы и конфигурации являются иллюстративными, и что фактические параметры, размеры, материалы и/или конфигурации будут зависеть от конкретных условий и задач применения идей настоящего изобретения. Специалисты в данной области техники путем всего лишь обычного экспериментирования смогут определить множество эквивалентов описанных здесь конкретных вариантов реализации настоящего изобретения. Таким образом, необходимо понимать, что вышеуказанные варианты представлены лишь в качестве примеров и, следовательно, в рамках приложенной формулы изобретения и ее эквивалентов варианты изобретения могут быть реализованы на практике иным образом, чем те конкретные варианты, которые содержатся в описании и формуле. Раскрытые здесь варианты реализации настоящего изобретения ориентированы на каждое отдельное отличительное свойство, систему, предмет, материал, комплект и/или способ, описанные здесь. Кроме того, любая комбинация из двух и более указанных отличительных свойств, систем, предметов, материалов, комплектов и/или способов, не являющихся взаимно несовместимыми, включается в объем притязаний настоящего изобретения.

Вышеописанные варианты могут быть реализованы любыми из множества способов. Например, эти варианты могут быть реализованы с помощью оборудования, программного обеспечения или их комбинации. В случае реализации с использованием программного обеспечения, программные коды могут выполняться на любом подходящем процессоре или группе процессоров, независимо от того, установлены ли они на единственном компьютере или распределены по нескольким компьютерам.

Кроме того, компьютер может иметь одно или более входных и выходных устройств. Эти устройства могут использоваться, среди прочего, и в качестве интерфейса пользователя. Примерами выходных устройств, которые могут использоваться в качестве интерфейса пользователя, являются принтеры или мониторы для визуального представления выходных данных, а также динамики или другие акустические устройства для акустического представления выходных данных. Примерами входных устройств, которые могут использоваться в качестве интерфейса пользователя, являются клавиатуры и указательные устройства, такие как мыши, сенсорные панели и цифровые планшеты. В качестве еще одного примера, компьютер может получать входную информацию через устройство распознавания речи или в другой звуковой форме.

Указанные компьютеры могут быть соединены друг с другом посредством одной или более сетей в любой подходящей форме, включая локальную или глобальную сеть, например корпоративную сеть, интеллектуальную сеть (IN) и Интернет. Такие сети могут быть основаны на любой подходящей технологии, функционировать в соответствии с любым подходящим протоколом и включать в себя беспроводные, проводные и оптоволоконные сети.

Компьютеры, применяемые для выполнения по меньшей мере части описанных здесь функций, могут содержать память, один или более процессорных модулей (также именуемых здесь для простоты "процессорами"), один или более интерфейсов связи, один или более мониторов и одно или более пользовательских устройств ввода. Память может содержать любой носитель, допускающий считывание компьютером, и может хранить компьютерные команды (именуемые также "командами, выполняемыми процессором") для выполнения различных функций, описанных здесь. Интерфейсы связи могут быть подключены к проводной или беспроводной сети, шине или другим средствам связи, обеспечивая возможность для компьютера передавать данные на другие устройства и/или принимать данные от этих устройств. Мониторы могут быть установлены, например, для того, чтобы пользователь мог визуально наблюдать различную информацию, связанную с выполнением команд. Пользовательские устройства ввода могут быть установлены, например, для того, чтобы пользователь мог выполнять ручные регулировки, осуществлять выбор и ввод различных данных и/или любым из множества способов взаимодейст-

вывать с процессором во время выполнения команд.

Описанные здесь различные способы и процессы могут быть закодированы в виде программного обеспечения, выполняемого одним или более процессорами, использующими любые из множества операционных систем или платформ. Кроме того, такое программное обеспечение может быть написано с использованием любого из множества языков программирования и/или инструментов написания сценариев, а также может быть скомпилировано в виде выполняемых машинных языковых кодов или промежуточных кодов, которые выполняются средой или виртуальной машиной.

В этой связи различные идеи настоящего изобретения могут быть закодированы и записаны на одном или более машиночитаемых носителях (например, в компьютерной памяти, одном или более гибких дисках, оптических дисках, компакт-дисках, магнитной ленте, флэш-памяти, схемных конфигурациях в виде программируемых пользователем вентильных матриц или других полупроводниковых устройств, а также энергонезависимых носителях и иных вещественных компьютерных носителях) в виде одной или более программ, которые при их выполнении одним или более компьютерами или другими устройствами обработки реализуют способы, представленные в вышеописанных различных вариантах настоящего изобретения. Машиночитаемый носитель может быть переносным, так что записанные на нем программы могут быть загружены в один или более различных компьютеров или других устройств обработки с целью реализации вышеописанных различных аспектов настоящего изобретения.

Термины "программа" или "программное обеспечение" используются здесь в общем смысле для ссылки на любой тип компьютерных кодов или наборов команд, выполняемых компьютером, которые могут быть применены для программирования компьютера или другого устройства обработки с целью реализации различных аспектов настоящего изобретения, как описано выше. Кроме того, следует учесть, что, согласно одному из аспектов, одна или более компьютерных программ, которые при своем выполнении реализуют способы согласно настоящему изобретению, не требуют нахождения в единственном компьютере или другом устройстве процессоре, но могут быть распределены модульным образом по множеству различных компьютеров или процессоров с целью реализации различных аспектов настоящего изобретения.

Выполняемые компьютером команды могут быть представлены в различных формах, например в виде программных модулей, выполняемых одним или более компьютерами или другими устройствами. Обычно программные модули содержат подпрограммы, программы, объекты, компоненты, структуры данных и т.д. и выполняют конкретные задачи или используют определенные абстрактные типы данных. Обычно функции программных модулей могут произвольно комбинироваться или распределяться различным образом.

Кроме того, структуры данных могут записываться на машиночитаемый носитель в любой подходящей форме. Для простоты пояснения, структуры данных могут быть представлены в виде полей, имеющих определенное относительное положение в структурах данных. Указанное относительное положение может быть реализовано путем запоминания полей в позициях машиночитаемого носителя, повторяющих относительное положение полей. Тем не менее, для обеспечения нужной связи между информациями полей в структуре данных может быть использован любой подходящий механизм, включая использование указателей, тегов или других средств, которые обеспечивают нужную связь между элементами данных.

Кроме того, различные идеи настоящего изобретения могут быть реализованы в виде одного или более способов, показанных на примерах. Действия, выполняемые в качестве составной части способа, могут быть упорядочены любым подходящим образом. Соответственно, могут быть предложены такие варианты реализации, в которых действия выполняются в ином порядке, чем в иллюстративных примерах; этот порядок может предусматривать выполнение нескольких действий одновременно, даже несмотря на то, что в иллюстративных вариантах эти действия указаны как последовательные.

Настоящее описание относится к предметам, находимым по ссылкам на заявки США и международные заявки, перечисленные в приложениях А и В; содержание всех этих заявок полностью включено сюда посредством ссылок. Должно быть понятно, что все определения, приведенные и используемые здесь, соответствуют определениям в словарях, определениям в документах, включенных посредством ссылок, и/или обычным значениям определяемых терминов.

Используемые в приведенном описании и формуле изобретения формы единственного числа должны пониматься в смысле "по меньшей мере один", если четко не оговорено иное.

Союз "и/или", используемый в приведенном описании и формуле изобретения, должен пониматься в смысле "один или оба" из элементов, соединенных подобным образом, т.е. эти элементы присутствуют совместно в одних случаях и отдельно - в других случаях. Множество элементов, перечисленных с использованием союза "и/или", должно пониматься в том же смысле, т.е. "один или более" из элементов, соединенных подобным образом. Могут дополнительно присутствовать другие элементы, помимо тех, которые были конкретно указаны через "и/или", независимо от того, связаны или нет эти другие элементы с конкретно указанными. Таким образом, поскольку примеры не являются ограничительными, выражение "А и/или В" при использовании с неограничительным словом, таким как "содержащий" (comprising), может относиться в одном из вариантов только к А (дополнительно включая иные элементы, чем

В); в другом варианте - только к В (дополнительно включая иные элементы, чем А); в третьем варианте - как к А, так и к В (дополнительно включая другие элементы); и т.д.

Используемый в приведенном описании и формуле изобретения союз "или" следует понимать в том же смысле, что и "и/или", как было пояснено выше. Например, при разделении элементов перечня союз "или" или "и/или" следует понимать во включающем смысле, т.е. включая по меньшей мере один, но при этом также включая более чем один из данного множества или перечня элементов и, дополнительно, включая дополнительные элементы, не входящие в перечень. Только выражения, четко указывающие обратное, такие как "только один из" или "строго один из", либо, при использовании в формуле изобретения, "состоящий из", будут относиться к включению строго одного элемента из множества или перечня элементов. Как правило, союз "или" при его использовании здесь следует понимать только как указатель исключительного выбора (т.е. "первый или второй, но не оба"), когда ему предшествуют выражения, носящие исключительный характер, такие как "любой один из", "один из", "только один из" или "строго один из". Выражение "состоит по существу из" при его использовании в формуле изобретения следует понимать в том же смысле, в котором оно обычно используется в области патентного права.

Используемое в приведенном описании и формуле изобретения выражение "по меньшей мере один" в отношении перечня из одного или более элементов следует понимать в том смысле, что по меньшей мере один элемент выбран из любого одного или более элементов списка, но не обязательно включая все до единого элементы, конкретно указанные в перечне элементов, и не исключая любые комбинации элементов в списке элементов. Данное определение также допускает, что элементы могут присутствовать дополнительно, за исключением элементов, конкретно указанных в рамках перечня элементов, к которому относится выражение "по меньшей мере один", независимо от наличия или отсутствия отношения к тем элементам, которые указаны конкретно. Таким образом, в неограничительном примере выражение "по меньшей мере один из А и В" (или, в эквивалентном варианте, "по меньшей мере один из А или В") в одном из вариантов может относиться по меньшей мере к одному, дополнительно включая более одного, А при отсутствии В; в другом варианте - по меньшей мере к одному, дополнительно включая более одного, В при отсутствии А; в третьем варианте - по меньшей мере к одному, дополнительно включая более одного, В (и дополнительно включая другие элементы) и т.д.

В формуле изобретения также, как и в приведенном выше описании, все переходные термины, такие как "содержащий", "включающий", "несущий", "имеющий", "вмещающий", "использующий", "поддерживающий", "образованный" и т.п., следует понимать как неограничительные, т.е. в смысле "включая что-то, но не ограничиваясь этим". Лишь переходные термины "состоящий из" и "состоящий по существу из" следует понимать как ограничительные или частично ограничительные переходные термины, как указано в Руководстве по проведению патентной экспертизы, раздел 2111.03, издание патентного управления США.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ сейсморазведки, согласно которому
  - развертывают узловые сейсмические датчики в надлежащих местах зоны сейсморазведки;
  - задают функцию таймирования для активации множества сейсмических датчиков, которая включает в себя отношение возмущающего временного интервала к временному интервалу между последовательными активациями, которое меньше чем или равно  $1/2$ , причем возмущающий временной интервал указывает на задержку между двумя последовательными активациями двух различных сейсмических источников из множества сейсмических источников и временной интервал между последовательными активациями указывает на задержку между двумя последовательными активациями от отдельного сейсмического источника из множества сейсмических источников;
  - активируют множество сейсмических источников, соответствующих местам зоны сейсморазведки с использованием репрезентативной модуляционной характеристики, сконфигурированной для идентификации каждого из множества сейсмических источников и основанной на функции таймирования;
  - регистрируют с помощью узловых сейсмических датчиков сейсмические сигналы, генерируемые в ответ на активацию множества сейсмических источников; и
  - разделяют сейсмические сигналы, зарегистрированные с помощью узловых сейсмических датчиков для генерирования данных, представляющих подземные структуры, имеющие нефть или газ, на основе вышеуказанной функции таймирования.
2. Способ по п.1, согласно которому регистрируют смешанные сейсмические сигналы с помощью по меньшей мере одного из узловых сейсмических датчиков.
3. Способ по п.2, в котором возмущающий временной интервал включает в себя изменяемый возмущающий временной интервал, причем в способе неоднократно активируют по меньшей мере два из указанного множества сейсмических источников в моменты времени, разделенные изменяемыми возмущающими временными интервалами.
4. Способ по п.3, согласно которому изменяемые возмущающие временные интервалы изменяют случайным или псевдослучайным образом.

5. Способ по п.3, согласно которому выполняют с помощью узловых сейсмических датчиков непрерывную регистрацию сейсмических сигналов для генерирования сейсмических данных во время повторной активации по меньшей мере двух из сейсмических датчиков.

6. Способ по п.5, согласно которому дополнительно извлекают сейсмические данные, непрерывно зарегистрированные во время повторной активации по меньшей мере двух из сейсмических источников; и

осуществляют обработку сейсмических данных, собранных во время повторной активации по меньшей мере двух из сейсмических датчиков с целью получения сейсмографических данных по меньшей мере для одной сейсмограммы общего пункта приема.

7. Способ по п.6, согласно которому осуществляют разделение сейсмографических данных.

8. Способ по п.7, согласно которому при разделении сейсмографических данных увеличивают количество данных, соответствующих активации первого из сейсмических источников, и одновременно уменьшают количество данных, соответствующих активации второго из сейсмических источников.

9. Способ по п.8, согласно которому при увеличении количества данных, соответствующих активации первого из сейсмических источников, осуществляют когерентное комбинирование данных, соответствующих множеству активаций первого из сейсмических источников, с использованием когерентных данных по меньшей мере от части указанного множества детекторных узлов.

10. Способ по п.8, согласно которому при уменьшении количества данных, соответствующих активации второго из сейсмических источников, осуществляют некогерентное комбинирование данных, соответствующих множеству активаций второго из сейсмических источников, с использованием некогерентных данных, по меньшей мере, от некоторых из узловых сейсмических датчиков.

11. Способ по п.1, согласно которому, по меньшей мере, некоторые из узловых сейсмических датчиков представляют собой морские донные датчики.

12. Способ по п.11, согласно которому осуществляют развертывание, по меньшей мере, некоторых из морских донных датчиков с использованием подводных аппаратов с дистанционным управлением.

13. Способ по п.11, согласно которому осуществляют развертывание, по меньшей мере, некоторых из морских донных датчиков с использованием системы узел-на-канате.

14. Способ по п.1, согласно которому узловые сейсмические датчики синхронизируют с эталонным временем при их развертывании.

15. Способ по п.1, согласно которому узловые сейсмические датчики синхронизируют с эталонным временем при их извлечении.

16. Способ по п.15, согласно которому узловые сейсмические датчики синхронизируют с эталонным временем при их развертывании.

17. Способ по п.16, согласно которому по меньшей мере один из узловых сейсмических датчиков содержит приемник GPS, используемый для синхронизации этого по меньшей мере одного сейсмического датчика с эталонным временем.

18. Способ по п.1, согласно которому осуществляют развертывание, по меньшей мере, некоторых из узловых сейсмических датчиков на глубине более 100 м.

19. Способ по п.1, согласно которому осуществляют развертывание, по меньшей мере, некоторых из узловых сейсмических датчиков на глубине более 500 м.

20. Способ по п.1, согласно которому осуществляют развертывание, по меньшей мере, некоторых из узловых сейсмических датчиков на глубине более 1000 м.

21. Способ по п.1, согласно которому, по меньшей мере, некоторые из узловых сейсмических датчиков непрерывно регистрируют сейсмические данные в процессе развертывания.

22. Способ по п.1, согласно которому при активации множества сейсмических источников обеспечивают наличие множества морских судов, каждое из которых приспособлено для транспортировки по меньшей мере одного из сейсмических источников; и

используют эти морские суда для активации сейсмических источников в множестве выбранных мест.

23. Способ по п.22, согласно которому по меньшей мере один из множества сейсмических источников содержит пневматическую пушку.

24. Способ по п.1, согласно которому по меньшей мере один из узловых сейсмических датчиков содержит по меньшей мере одно из следующего:

корпус;

по меньшей мере один сейсмический датчик, расположенный внутри корпуса;

таймер, расположенный внутри корпуса;

источник электропитания, расположенный внутри корпуса; и

регистратор сейсмических данных, расположенный внутри корпуса.

25. Способ по п.24, согласно которому по меньшей мере один сейсмический датчик содержит геофон.

26. Способ по п.25, согласно которому по меньшей мере один из множества сейсмических источников содержит по меньшей мере одну воздушную пушку.

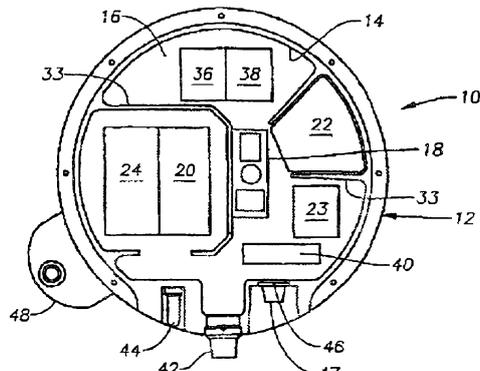
27. Способ по п.1, согласно которому по меньшей мере один из множества сейсмических источников содержит по меньшей мере одно из следующего:

- устройство возбуждения сейсмических волн падающим грузом;
- сейсмическое вибрационное устройство и
- взрывной источник.

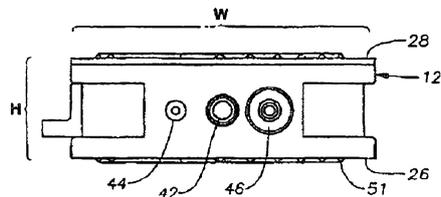
28. Способ по п.1, согласно которому при активации множества сейсмических источников осуществляют модуляцию выходного сигнала каждого сейсмического источника с соответствующей модуляционной характеристикой, показывающей индивидуальные особенности этого сейсмического источника.

29. Способ по п.1, согласно которому используют сейсмические сигналы для генерирования сейсморазведочных данных, характеризующих подповерхностные геологические структуры в зоне сейсморазведки.

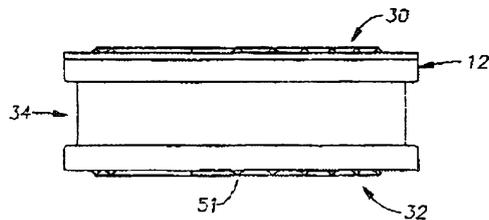
30. Способ по п.1, согласно которому выводят сейсморазведочные данные.



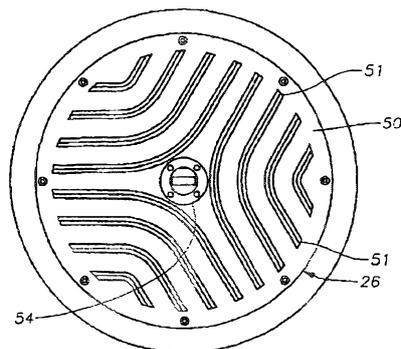
Фиг. 1



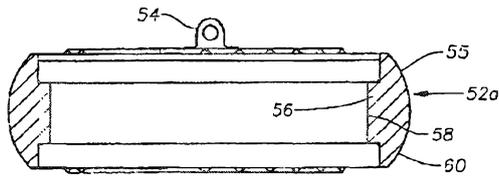
Фиг. 2



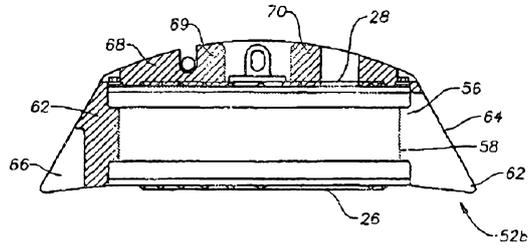
Фиг. 3



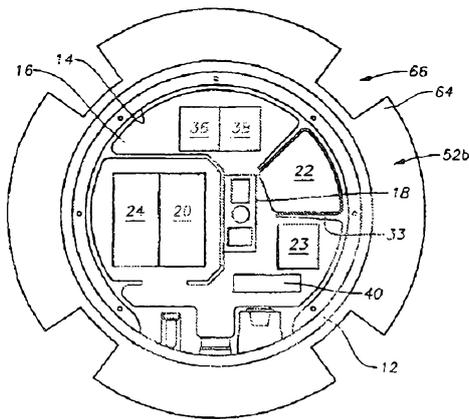
Фиг. 4



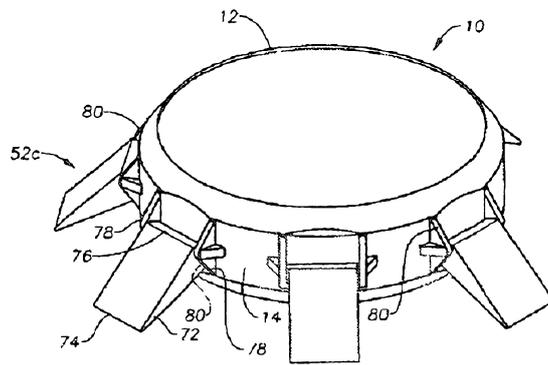
Фиг. 5



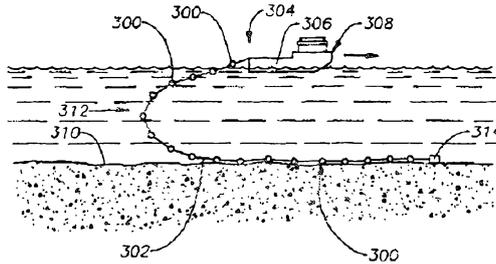
Фиг. 6



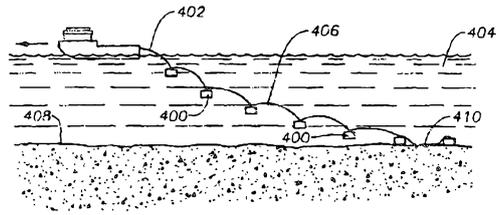
Фиг. 7



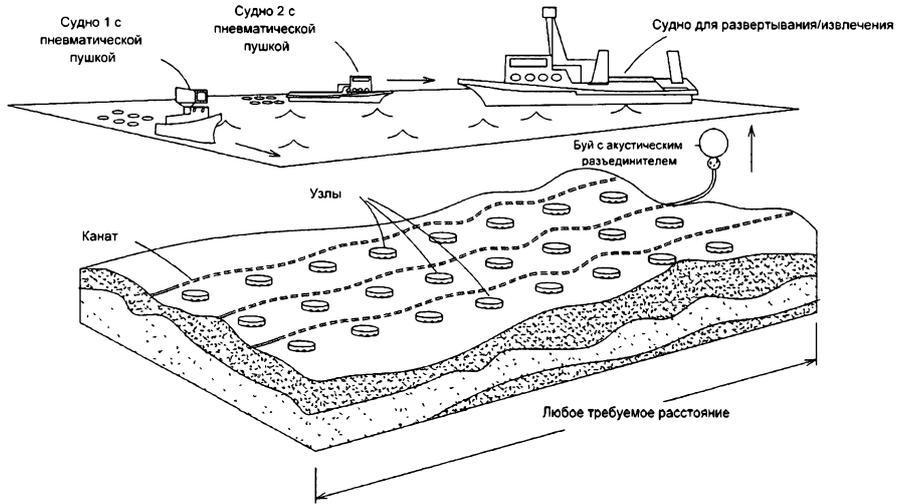
Фиг. 8



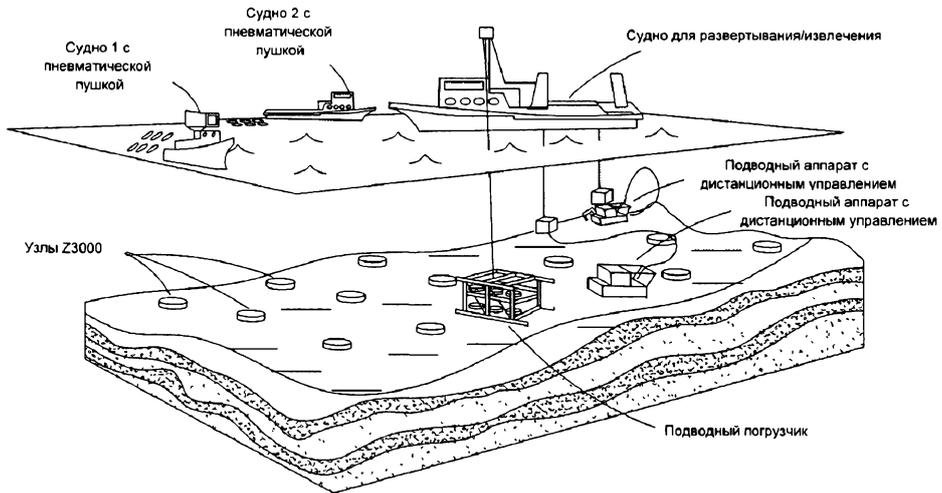
Фиг. 9



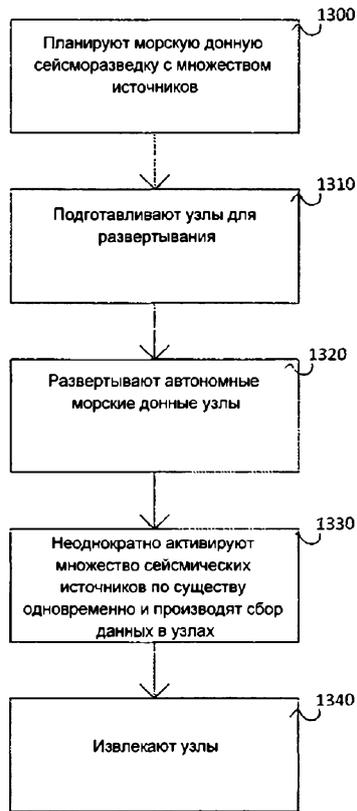
Фиг. 10



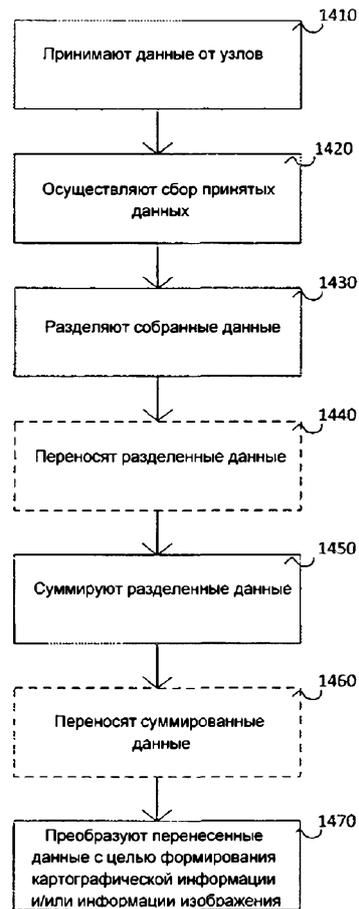
Фиг. 11



Фиг. 12

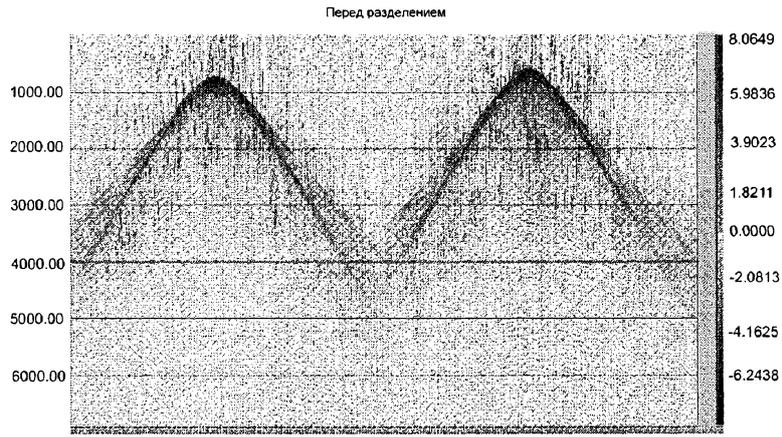


Фиг. 13



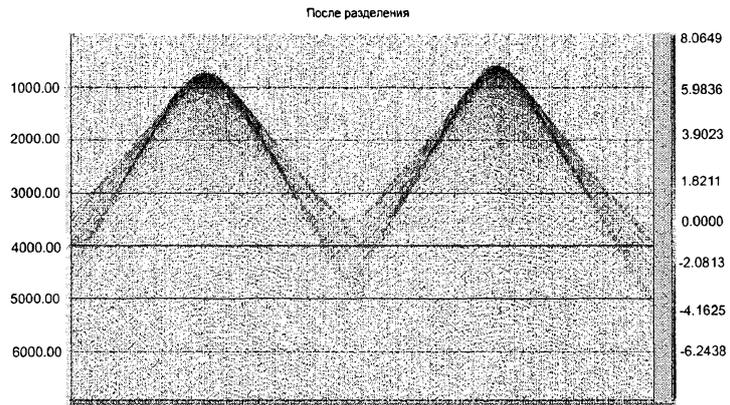
Фиг. 14

Две близко расположенных линии активации  
Одновременная активация с поступлением сигналов в общий приемник

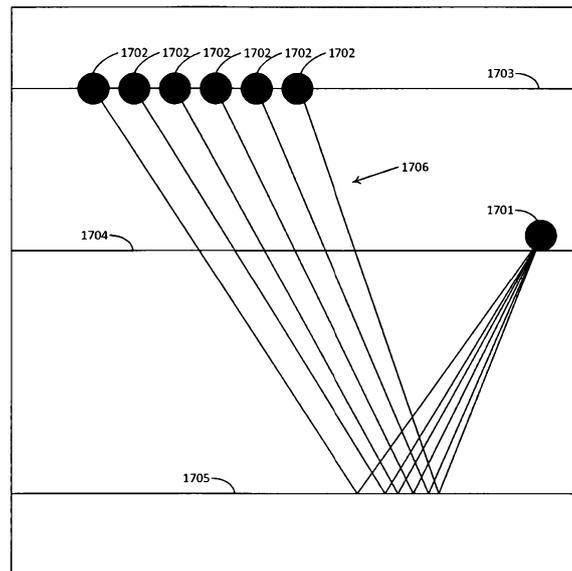


Фиг. 15

Две близко расположенных линии активации  
Одновременная активация с поступлением сигналов в общий приемник



Фиг. 16



Фиг. 17

