

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **040530**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2022.06.17**

(51) Int. Cl. **B81B 7/02** (2006.01)  
**G01V 1/16** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**201992064**

(22) Дата подачи заявки  
**2018.03.02**

---

(54) **СИСТЕМА СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ТАКТОВЫМ ГЕНЕРАТОРОМ НА  
ОСНОВЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ (МЭМС)**

---

(31) **62/466,473**

(56) US-A1-20110032798  
US-A1-20110254760  
US-A1-20130321051  
US-A-5565816  
US-B2-9103845

(32) **2017.03.03**

(33) **US**

(43) **2020.02.04**

(86) **PCT/US2018/020582**

(87) **WO 2018/160923 2018.09.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ Б.В.**  
**(NL)**

(72) Изобретатель:  
**Хусом Видар (NO)**

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

---

(57) Варианты реализации, включенные в настоящий документ, направлены на систему для сейсмических наблюдений, которая может использовать генератор на основе МЭМС в качестве эталона времени. Система может включать множество блоков нодальных сейсмических датчиков. Система может также включать множество тактовых генераторов на основе МЭМС, причем каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков, причем множество тактовых генераторов на основе МЭМС выполнены с возможностью ввода временной синхронизации в сейсмическую систему. Каждый тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой.

**B1**

**040530**

**040530**

**B1**

### **Перекрестная ссылка на родственные заявки**

Данная заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке США № 62/466473, поданной 3 марта 2017 г., полное содержание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

### **Область техники**

Настоящее изобретение относится к системам и оборудованию для сейсморазведки, а более конкретно к системам тактовой синхронизации, используемым в них, и системам, использующим генератор на основе МЭМС (микроэлектромеханических систем) в качестве эталона времени.

### **Уровень техники**

В данном разделе представлена основная информация, которая упрощает понимание различных аспектов описания изобретения. Следует понимать, что положения, представленные в данном разделе настоящего документа, следует воспринимать именно в этом свете, а не как признание известного уровня техники. Следующее описание уровня техники должно помочь специалисту в области техники понять заявляемые сочетания признаков, и оно не предназначается для исчерпывающего изложения заявленного предмета и не предназначается для ограничения ненадлежащим образом каких-либо настоящих или будущих пунктов формулы, относящихся к настоящей заявке.

Сейсморазведки используют для определения различных особенностей геологического пласта, таких как наличие или отсутствие в нем различных минералов. Сейсморазведки могут быть использованы для определения, присутствуют ли в геологическом пласте залежи углеводородов. Сейсморазведку могут осуществлять с использованием сейсмического источника для создания импульса, проникающего в геологический пласт, таким образом порождая реверберацию и/или отражаясь от геологического пласта. Затем реверберации и/или отражения обнаруживают и регистрируют посредством сейсмического датчика и системы регистрации. Данные, выводимые из них, могут анализировать и использовать для определения характеристик пласта. Их могут отображать в визуальной форме или хранить в форме цифровых данных.

Один тип сейсморазведки осуществляют на суше и его именуют наземной сейсморазведкой. В разновидностях наземной сейсморазведки импульс внедряют в пласт и располагают сейсмические датчики в контакте с пластом (на пласт и/или в него). Датчики могут являться гидрофонами, геофонами или датчиками других общих типов, выполненными с возможностью обнаружения реверберации и/или отражений импульса. Возможно использовать большую расстановку соединенных друг с другом датчиков, которые, в свою очередь, соединены с регистрирующим устройством(ами). Некоторые из трудностей, возникающих в наземной разведке, представляют собой удары молнии, ущерб, наносимый животными (например, перегрызание кабелей крысами), и другие ухудшения, вызываемые стихиями. Датчики в расстановке могут быть соединены посредством беспроводной связи, кабельной связи или их сочетания. Датчики также могут находиться в так называемой "слепой" конфигурации, в которой датчик или группа датчиков соединены с регистрирующим устройством, которое является независимым от центрального регистрирующего блока и которое снимают в разное время различными способами.

Другой тип разведки представляет собой морскую сейсморазведку и ее подтип - морскую сейсморазведку с буксируемыми косами. В морской сейсморазведке с буксируемыми косами морское судно буксирует несколько сейсмических кос. Сейсмические косы представляют собой кабели, содержащие присоединенные к ним и/или встроенные в них сейсмические датчики. Подобно наземной разведке, морская сейсморазведка внедряет импульс в геологический пласт. Импульс может быть создан пневматическими пушками или морскими вибраторами. Импульс(ы) может(могут) проходить через воду и проникать в пласт, где он(они) создают реверберацию и/или отражаются. Реверберации и/или отражения проходят обратно через воду и считываются сейсмическими датчиками на косах и могут быть зарегистрированы. Данные, выводимые из них, могут анализировать и использовать для определения характеристик пласта. Их могут отображать в визуальной форме или хранить в форме данных. Могут быть использованы сейсмические датчики, расположенные на морском дне.

Сейсмические исследования, общие принципы которых уже давно хорошо известны, подробно не описаны в настоящем документе в целях сосредоточения внимания. Импульс вводят в геологический пласт, и этот импульс отражается, преломляется и подвергается другим влияниям различных элементов в пласте. Затем датчики используют для обнаружения реверберации и отражений этого импульса и выводят данные из них. Данные могут анализировать для последующего выведения информации о подстилающем пласте.

Следовательно, настоящее изобретение относится к разным способам улучшения известных сейсмических систем для обеспечения улучшенных характеристик и эксплуатационных расходов.

### **Раскрытие сущности изобретения**

Следующее краткое раскрытие должно помочь специалисту в области техники понять заявляемые сочетания признаков, и оно не предназначается для исчерпывающего изложения заявленного предмета и не предназначается для ограничения ненадлежащим образом каких-либо настоящих или будущих притязаний, относящихся к настоящей заявке.

В одном варианте реализации обеспечена система для сейсмических наблюдений, которая может использовать генератор на основе МЭМС в качестве эталона времени. Система может включать множе-

ство блоков нодальных сейсмических датчиков. Система может также включать множество тактовых генераторов на основе МЭМС, причем каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков, таким образом обеспечивая введение временной синхронизации в сейсмическую систему и собранные данные. Каждый тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой.

В некоторых вариантах реализации система для сейсмических наблюдений может содержать морскую расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать наземную расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать блоки множества узлов, соединенные с соответствующим генератором на основе МЭМС. Интегральная схема может содержать подпитывающий насос и поддерживающую схему, сообщающиеся с резонатором на основе МЭМС. Интегральная схема может дополнительно содержать цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

В другом варианте реализации обеспечен сейсмический нодальный датчик. Датчик может содержать чувствительный элемент и тактовый генератор на основе МЭМС, сообщающийся с чувствительным элементом. Тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой. Тактовый генератор на основе МЭМС может быть выполнен с возможностью ввода временной синхронизации в сейсмический нодальный датчик.

В некоторых вариантах реализации чувствительный элемент может являться трехосным устройством чувствительного элемента. Сейсмический датчик может быть соединен с одним или более дополнительными сейсмическими датчиками посредством беспроводных сигналов. Сейсмический нодальный датчик может содержать множество датчиков, соединенных кабелем и соотнесенных с тактовым генератором на основе МЭМС. Сейсмический нодальный датчик может являться слепой группой нодальных датчиков. Интегральная схема может содержать запоминающее устройство. Интегральная схема может содержать подпитывающий насос и поддерживающую схему, сообщающиеся с резонатором на основе МЭМС. Интегральная схема может дополнительно содержать цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

В другом варианте реализации обеспечен способ использования генератора на основе МЭМС в качестве эталона времени. Способ может включать обеспечение множества блоков нодальных сейсмических датчиков. Способ может дополнительно включать генерацию эталона времени для каждого из множества блоков нодальных сейсмических датчиков с использованием множества тактовых генераторов на основе МЭМС. Каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС может быть соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков, таким образом обеспечивая введение временной синхронизации в сейсмическую систему. Каждый тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой.

В любом из предшествующих вариантов реализации сейсмический нодальный датчик может содержать первичный тактовый генератор, обеспечивающий синхронизацию сейсмического нодального датчика. Первичный тактовый генератор может иметь более низкую точность, чем тактовый генератор на основе МЭМС. Тактовый генератор на основе МЭМС находится в сообщении с первичным тактовым генератором и может использоваться для периодического обеспечения временной синхронизации сейсмического нодального датчика. Таким образом, первичный тактовый генератор меньшей мощности и меньшей стоимости может быть периодически синхронизирован с использованием тактового генератора на основе МЭМС.

В некоторых вариантах реализации система для сейсмических наблюдений может содержать морскую расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать наземную расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать блоки множества узлов, соединенные с соответствующим генератором на основе МЭМС. Интегральная схема может содержать подпитывающий насос и поддерживающую схему, сообщающиеся с резонатором на основе МЭМС. Интегральная схема может дополнительно содержать цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

В этом описании сущности изобретения приведены понятия, которые дополнительно описаны ниже в подробном описании. Данное краткое описание не предназначено для идентификации ключевых или существенных признаков заявленного объекта изобретения, а также не предназначено для использования с целью ограничения объема заявленного объекта изобретения.

#### **Краткое описание чертежей**

Варианты реализации настоящего изобретения описаны со ссылкой на следующие фигуры. Следующее краткое описание чертежей подробно раскрывает некоторые сочетания реализованных признаков настоящего изобретения и никоим образом не предназначено для ограничения ненадлежащим образом каких-либо настоящих или будущих соответствующих пунктов формулы.

На фиг. 1 показана система для сейсмической съемки;

на фиг. 2 показан общий вид устройства в соответствии с вариантом реализации для использования в сейсморазведке;

на фиг. 3 показан вид в разрезе этого же устройства;  
 на фиг. 4 показан подробный вид одного конца разреза, показанного на фиг. 3;  
 на фиг. 5 показан вид в разрезе другого варианта реализации устройства для использования в сейсморазведке;  
 на фиг. 6 показано устройство по фиг. 5 в трехмерном разобранном виде;  
 на фиг. 7 показано схематическое изображение генератора на основе МЭМС в соответствии с идеями настоящего изобретения; и  
 на фиг. 8 показан способ, соответствующий варианту реализации настоящего изобретения.  
 Одинаковые элементы на различных чертежах могут обозначаться одинаковыми ссылочными символами.

### Осуществление изобретения

Сейсмический датчик.

Сейсморазведку, или сейсморазведку методом отраженных волн, используют для составления карт подпочвы земли. Управляемый сейсмический источник обеспечивает сейсмическую волну низкой частоты, проходящую через подпочву земли. На границах раздела между отличающимися слоями породы сейсмическая волна отражается частично. Отраженные волны возвращаются на поверхность, где их обнаруживают одним или более сейсмическими датчиками. Колебания грунта, обнаруженные на поверхности земли, могут иметь очень широкий динамический диапазон, причем расстояния смещения частиц варьируются от сантиметров до ангстремов. Данные, записанные датчиками, анализируют для обнаружения структуры и состава подпочвы.

Некоторые сейсмические датчики (также известные как сейсмометры или геофоны) обычно содержат электрическую проволочную обмотку, помещенную в сильное магнитное поле. Эти электромагнитные датчики могут быть основаны на движущемся магните либо на движущейся катушке, при этом датчики второго из этих типов обладают исключительными свойствами для применения в сейсмической разведке. В варианте с движущейся катушкой магнит крепится к корпусу, прочно вставляемому в почву, так что корпус и магнит движутся синхронно со смещениями грунта. Движущаяся электрическая катушка помещается в зазоре магнитного поля непостоянного магнита, и катушка свободно соединена с корпусом геофона посредством гибких пружин таким образом, что перемещение катушки возможно только вдоль одной оси. Во время движения катушки вдоль этой оси относительно неподвижного магнита она будет последовательно пересекать линии магнитного поля и генерировать напряжение и ток на электрических выводах катушки, пропорциональные скорости смещения грунта. В типе с движущейся катушкой катушка образует ускоряемую или реактивную массу.

Конструкция катушки и пружины имеет резонансную частоту, зависящую от массы катушки и податливости пружин. При частотах значительно ниже резонансной частоты катушка и магнит движутся синхронно, что обуславливает низкую чувствительность и слабое выходное напряжение или ток. При увеличении частоты колебаний до и за пределы резонансной частоты геофона чувствительность и выходной сигнал увеличиваются, достигают пикового значения и выходят на плоский участок соответственно. Как правило, резонансная частота геофонов находится в диапазоне от 10 до 30 Гц, предпочтительно в нижнем конце этого диапазона. Низкочастотный резонанс требует высокой податливости пружин. Следовательно, для этого нужны мягкие пружины, что, в свою очередь, обуславливает необходимость в проектировании и конструировании датчика для достижения требуемых при проведении сейсмической съемки чувствительности, прочности, линейности и устойчивости к внеосевым помехам. Выбор оптимального соотношения между напряженностью поля, размером/весом магнита, геометрией катушки и податливостью пружин имеет решающее значение для проектирования и конструирования геофона, который имеет чувствительность, выходное напряжение и ток, линейность и прочность, достаточные для одновременного измерения как больших, так и малых поверхностных колебаний, описанных выше.

В сейсмических датчиках еще одного типа, применяемого для сейсмической разведки, генерация электрического сигнала осуществляется посредством электрической емкости. Их обычно конструируют в форме микроэлектромеханических систем (МЭМС), в которых используется кремний, подвергнутый микромеханической обработке и содержащий металлическое покрытие, наносимое на обращенные друг к другу компоненты на каждой стороне небольшой, содержащей покрытие и подпружиненной ускоряемой массы. Такие датчики на основе МЭМС могут иметь преимущество небольшого размера и веса по сравнению с геофоном с движущейся катушкой. Движение ускоряемой массы МЭМС относительно наружных неподвижных пластин создает переменную емкость, которая может быть зарегистрирована в виде вибрационного сигнала, пропорционального ускорению смещения датчика. Пружины формируют из областей из тонкослойного кремния, что обеспечивает возможность малого линейного смещения и резонансных частот выше 1 кГц. Малая площадь поверхности емкостного элемента, высокая резонансная частота и ограниченный предел линейного перемещения подразумевают довольно низкую чувствительность по сравнению с геофоном с движущейся катушкой. С целью устранения этого недостатка для удержания МЭМС геофона в состоянии силовой обратной связи используют специальную электронику. Это требует дополнительных электронных схем, пространства и электропитания, что частично сводит на нет преимущества МЭМС в размерах и весе сравнительно с геофоном с пассивной движущейся катушкой.

Термин "ускоряемая масса" может быть также известен как реактивная масса или сейсмическая масса, и в данной области им обычно именуют массу в сейсмическом датчике, которая перемещается в результате движения грунта во время проведения сейсмической разведывательной съемки.

В одном варианте реализации устройство сейсмического датчика содержит корпус;  
 ускоряемую массу;  
 по меньшей один датчик, выполненный с возможностью обнаружения движения ускоряемой массы относительно корпуса;  
 электронную схему, соединенную с указанным по меньшей одним датчиком,  
 причем электронная схема выполнена с возможностью приема и обработки выходного сигнала датчика; и  
 источник электропитания, выполненный с возможностью подачи электрической энергии в электронную схему, причем источник электропитания представляет собой составную часть ускоряемой массы.

Известные устройства, используемые для сейсмической разведки, обычно являются большими, дорогостоящими и имеют сравнительно большой вес. Поскольку эти устройства требуют доставки к месту, подлежащему разведке, их размер и вес увеличивают продолжительность и объем работ, требуемых для выполнения разведки. Геофон или датчик на основе МЭМС в таких устройствах позволяет преобразовывать смещение частиц грунта, вызванное распространением сейсмических волн, в пропорциональный сигнал напряжения и последовательно регистрировать его как функцию времени. Смещение частиц грунта вызывает синхронное движение закрепленного в грунте корпуса геофона или датчика на основе МЭМС с амплитудой сейсмической волны, распространяющейся в данной точке пространства. Из-за своей инерции катушка геофона или кремниевая ускоряемая масса МЭМС остается в относительно статичном состоянии, вследствие чего корпус движется относительно катушки или ускоряемой массы. Это относительное движение корпуса и катушки или ускоряемой массы преобразуется в пропорциональную форму сигнала напряжения, что обеспечивает возможность регистрации сейсмической волны. Чтобы обеспечить эффективную работу такого устройства, чувствительность должна быть такой, чтобы позволять ему воспринимать самые незначительные движения грунта с низким искажением. Это обуславливает необходимость в сильном, тяжелом магните и катушке с дорогостоящей обмоткой в случае датчиков геофона или в альтернативном варианте в дорогостоящих компонентах, подвергнутых высокоточной микромеханической обработке, и энергоемких электронных схемах в случае датчиков на основе МЭМС.

Путем создания устройства для использования в сейсморазведке, в котором ускоряемая масса содержит источник питания, выполненный с возможностью обеспечения максимальной чувствительности, линейности и прочности, устройство может характеризоваться меньшими размером и весом по сравнению с известными устройствами, в которых датчик и источник питания являются отдельными элементами. Это, в свою очередь, обеспечивает более эффективное проведение сейсмической разведки.

Источник питания может содержать батарею. Датчик может содержать один или более пьезоэлектрических элементов, выполненных с возможностью обнаружения перемещения ускоряемой массы.

Другой тип сейсмического датчика может включать пьезоэлектрический датчик. Таким образом, сейсмический датчик настоящего изобретения может содержать по меньшей один пьезоэлектрический датчик. При необходимости датчик может содержать реактивную массу, содержащую источник питания, такой как батарея. Один пример такого сейсмического датчика описан ниже.

В варианте реализации обеспечен сейсмический датчик, содержащий корпус;  
 ускоряемую массу, подвижно расположенную в полости корпуса; и  
 два датчика, каждый из которых содержит плоский пьезоэлектрический элемент,  
 при этом пьезоэлектрические элементы расположены на противоположных сторонах ускоряемой массы для обнаружения движения ускоряемой массы относительно корпуса,  
 при этом корпус расположен для ограничения указанного движения ускоряемой массы возвратно-поступательным движением в первом направлении между пьезоэлектрическими элементами.

В этом аспекте устройство может также содержать электронную схему, соединенную с датчиками,  
 причем электронная схема выполнена с возможностью приема и обработки выходного сигнала датчиков; и  
 источник электропитания, выполненный с возможностью подачи электрической энергии в электронную схему,  
 причем источник электропитания представляет собой составную часть ускоряемой массы. Источник питания может содержать батарею.

В известных устройствах, применяемых при проведении сейсмической разведки, обычно используются сложные датчики, такие как движущаяся катушка в магнитном поле. Варианты реализации, включенные в настоящий документ, свидетельствуют о том, что использование пьезоэлектрических элементов может обеспечивать возможность конструирования более легкого и более экономичного устрой-

ства. Хотя пьезоэлектрические преобразователи давления широко используются при проведении морских разведок, применение пьезоэлектрических элементов в датчиках, используемых на суше, не рассматривается специалистами в данной области техники как целесообразное, поскольку считается, что пьезоэлектрические элементы не обладают достаточной точностью. Однако благоприятные результаты в отношении затрат, размера и веса ускоряемой массы, содержащей источник питания, позволяют развернуть большее число таких устройств. Большее количество устройств по сравнению с используемым в более ранние периоды и в настоящее время позволяет сохранить и повысить точность системы в целом несмотря на любое снижение точности отдельно взятого устройства.

Ниже будут описаны различные конструктивные элементы, которые могут быть использованы в сочетании с любым из описанных выше аспектов.

Указанный один или более пьезоэлектрических элементов могут содержать жесткую керамику. Жесткая керамика может содержать цирконат-титанат свинца (ЦТС). Датчик может содержать подложку, на которую опирается пьезоэлектрический элемент. Подложка может содержать бериллиево-медный сплав. Указанный один или более пьезоэлектрических элементов могут находиться в состоянии предварительного напряжения. Другими словами, пьезоэлектрический элемент может быть расположен в устройстве таким образом, что пьезоэлектрический элемент имеет вогнутую форму даже при отсутствии движения ускоряемой массы. Электронная схема может быть выполнена, по меньшей мере, с возможностью усиления и/или представления в цифровой форме выходного сигнала датчика, т.е. обработки выходного сигнала датчика.

Ускоряемая масса может быть соединена с корпусом с возможностью перемещения, а устройство может быть выполнено с возможностью ограничения перемещения ускоряемой массы относительно корпуса возвратно-поступательным движением в первом направлении. Указанный по меньшей мере один датчик может быть выполнен с возможностью обнаружения указанного возвратно-поступательного движения ускоряемой массы в первом направлении, т.е. обнаружения перемещения ускоряемой массы относительно корпуса.

Это ограничение перемещения ускоряемой массы может представлять собой ограничение движения по направлению к пьезоэлектрическим элементам и от них. Соответственно возвратно-поступательное движение ускоряемой массы между пьезоэлектрическими элементами может в основном происходить перпендикулярно плоскости пьезоэлектрических элементов.

Пьезоэлектрические элементы могут быть расположены таким образом, что их плоскости являются в целом параллельными.

Благодаря ограничению перемещения ускоряемой массы относительно корпуса возвратно-поступательным движением в первом направлении устройство обладает возможностью избирательного обнаружения направления компонентов смещения частиц. Например, три таких пьезоэлектрических датчика могут быть расположены с осями чувствительности во взаимно ортогональных направлениях, совпадающих с осями X, Y и Z прямоугольной системы координат. В этой конфигурации каждый отдельный датчик является нечувствительным, или слепым, к движению, направление которого не совпадает с его собственной осью чувствительности. Такая конструкция позволяет использовать три датчика для охвата полной составляющей пространственного вектора, содержащей поле распространения упругих волн.

Ускоряемая масса может быть размещена в полости корпуса с возможностью перемещения. Ускоряемая масса может содержать продолговатый элемент, имеющий продольную ось, и корпус может содержать продолговатый стакан, имеющий продольную ось, а продольная ось продолговатого элемента может быть расположена соосно с продольной осью продолговатого стакана.

Первое направление может совпадать с соосными продольными осями продолговатого элемента и продолговатого стакана. По меньшей мере часть поперечного сечения продолговатого стакана, перпендикулярного его продольной оси, может соответствовать по меньшей мере части поперечного сечения продолговатого элемента, перпендикулярного его продольной оси, вследствие чего обеспечивается ограничение перемещения ускоряемой массы относительно корпуса возвратно-поступательным движением в первом направлении.

Для обеспечения эффективной упаковки ускоряемой массы, с которой источник электропитания выполнен за одно целое, внутри корпуса ускоряемая масса может содержать продолговатый элемент, перемещающийся внутри стакана. Продолговатый элемент может иметь, например, форму цилиндрической батареи, включающей или не включающей концевые детали или защитный корпус. Стакан может быть выполнен таким образом, что его диаметр позволяет разместить батарею и при необходимости любые концевые детали или защитный корпус. Следовательно, путем минимального использования дополнительного материала перемещение ускоряемой массы может быть ограничено (что способствует эффективной работе), одновременно с этим обеспечив наличие источника питания (батареи), выполненного как ее составная часть.

На каждом конце стакана может быть предусмотрена крышка в сборе, выполненная с возможностью удержания продолговатого элемента внутри стакана. По меньшей мере одна из крышек в сборе может содержать указанный по меньшей мере один датчик.

Батарея, терминал, торцевая крышка или распорный элемент могут быть закреплены, приклеены или иным способом механически прикреплены к датчику, например к подложке или керамике датчика, путем приклеивания, сварки, пайки, сквозного отверстия или любого другого подходящего механического крепежного элемента таким образом, чтобы ускоряемая масса имела возможность попеременно напрягать, толкать или тянуть пьезоэлектрический элемент и подложку в прямом и обратном направлениях для генерирования электрических сигналов напряжения или тока как положительной, так и отрицательной полярности.

Крышки в сборе могут содержать вогнутые поверхности, контактирующие с продолговатым элементом. Вогнутые поверхности могут быть выполнены с возможностью совместного приложения прижимного усилия к продолговатому элементу таким образом, чтобы ограничивать перемещение продолговатого элемента относительно корпуса возвратно-поступательным движением в первом направлении. Продолговатый элемент может содержать регулируемые детали, выполненные с возможностью изменения длины продолговатого элемента вдоль продольной оси. Крышки в сборе могут быть установлены, чтобы позволить изменять расстояние между вогнутыми поверхностями крышек в сборе.

Стакан может быть снабжен крышками для удержания продолговатого элемента, образующего ускоряемую массу, внутри стакана. Кроме того, крышки в сборе могут быть выполнены с возможностью прижима продолговатого элемента таким образом, чтобы исключать возможность его перемещения внутри стакана в поперечном направлении (т.е. по направлению к боковым стенкам стакана перпендикулярно продольной оси продолговатого элемента). Это обеспечивает ограничение перемещения продолговатого элемента. Кроме того, продолговатый элемент, стакан и/или крышки в сборе могут быть выполнены с возможностью регулирования с целью обеспечения контакта поверхностей с продолговатым элементом или их механической фиксации к нему.

Каждая крышка в сборе может содержать уплощенный элемент, расположенный таким образом, чтобы контактировать с продолговатым элементом на первой поверхности уплощенного элемента, и удерживающий элемент, расположенный таким образом, чтобы прикладывать прижимное усилие по периметру второй поверхности уплощенного элемента, причем вторая поверхность обращена к первой поверхности. В вариантах реализации удерживающий элемент может быть выполнен как составная часть крышки в сборе.

Вогнутость первой поверхности может быть вызвана изгибанием уплощенного элемента вследствие приложения прижимного усилия и противоположно направленного усилия, обусловленного контактом продолговатого элемента с первой поверхностью.

В вариантах реализации устройство может иметь такую конструкцию, что на уплощенный элемент оказывается воздействие в направлении продолговатого элемента путем приложения прижимного усилия по его периметру. Это может привести к изгибанию уплощенного элемента и приобретению поверхностью уплощенного элемента вогнутой формы. Таким способом обеспечивается эффективное удержание продолговатого элемента на месте и вместе с тем обеспечивается возможность перемещения продолговатого элемента.

По меньшей мере один из уплощенных элементов может содержать указанный по меньшей мере один датчик. По меньшей мере один из уплощенных элементов может содержать по меньшей мере один пьезоэлектрический датчик. Вогнутость уплощенного элемента может обуславливать предварительное напряжение пьезоэлектрического элемента.

Источник питания может обеспечивать по меньшей мере 75% ускоряемой массы по весу и/или объему. Корпус может быть выполнен из материала, выбранного таким образом, чтобы его плотность была сравнима с плотностью грунта, в котором предполагается его использование.

Устройство по любому из предыдущих пунктов, в котором в корпусе предусмотрен выступ для вхождения в зацепление с ускоряемой массой таким образом, чтобы ограничивать перемещение ускоряемой массы. Это предотвращает толкание ускоряемой массой пьезоэлектрического элемента настолько, чтобы приводить к повреждению пьезоэлектрического элемента, например, в случае падения устройства.

В соответствии с другим приведенным в качестве примера вариантом реализации обеспечено устройство для использования в сейсмической разведке, содержащее

- корпус;
- ускоряемую массу;
- по меньшей мере один датчик, выполненный с возможностью обнаружения движения ускоряемой массы относительно корпуса;
- электронную схему, соединенную с указанным по меньшей мере одним датчиком, причем электронная схема выполнена с возможностью приема и обработки выходного сигнала датчика; и
- источник электропитания, выполненный с возможностью подачи электрической энергии в электронную схему, причем источник электропитания представляет собой составную часть ускоряемой массы.

На фиг. 1 показано упрощенное изображение системы 50 для сейсмической разведки, выполняю-

шей разведку подпочвы земли 51. В иллюстративных целях предполагается, что подпочва 51 имеет сравнительно однородную структуру за исключением слоя 52. Этот слой может представлять собой, например, тип породы, отличающийся от остальной подпочвы 51, и, следовательно, отличаться, например, плотностью и/или скоростью распространения упругих волн от остальной подпочвы 51.

Сейсмический источник 54 расположен на земной поверхности 56. Сейсмический источник 54 создает регулируемые сейсмические волны, распространяющиеся сквозь подпочву 51. Известные примеры сейсмических источников без ограничения включают следующие: заряды взрывчатого вещества, автопередвижные вибросейсмические установки и системы гравитационного ускорения падающего груза, также известные как автопередвижные ударные источники сейсмических сигналов. Например, автопередвижной ударный источник сейсмических сигналов может производить удар по земной поверхности 56 посредством груза или "молота", создавая ударную нагрузку, которая распространяется в подпочве 51 в виде сейсмических волн. Эти сейсмические волны показаны стрелками 58, 60 и 62 и распространяются от сейсмического источника 54 вниз сквозь подпочву.

Затем сейсмические волны по меньшей мере частично отражаются от поверхности слоя 52. Это происходит из-за разницы в плотности и/или скорости распространения упругих волн между слоем 52 и остальной подпочвой 51. После этого отраженные сейсмические волны 58', 60' и 62' распространяются вверх от слоя 52 к поверхности 56. На поверхности 56 отраженные сейсмические волны 58', 60' и 62' регистрируются сейсмическими датчиками 64, 66 и 68.

Сейсмический источник 54 может также возбуждать высокоамплитудные поверхностно-границные волны 57, проходящие с малой скоростью вдоль поверхности 56 и регистрируемые одновременно с возвращающимися с большей глубины отраженными волнами 58', 60' и 62', имеющими гораздо более низкую амплитуду вследствие суммарных эффектов потери энергии в процессе распространения, включающих геометрическое расхождение фронта волны, потери при прохождении границы раздела, коэффициент малоамплитудного отражения и поглощение энергии на пути пробега. Суммарный эффект от этих потерь может определять разницу в амплитуде между различными сигналами, регистрируемыми датчиками 64, 66 и 68, составляющую 75 дБ, а в некоторых случаях более 100 дБ.

На основании этого обнаружения волн датчики могут хранить и/или передавать данные, являющиеся характеристическими для обнаруженной сейсмической волны. Затем эти данные могут быть проанализированы с целью определения информации о структуре подпочвы 51, например о расположении слоя 52.

Выше приведено описание известной системы для сейсмической разведки, в котором предоставляется контекст для функций сейсмических датчиков. Следует понимать, что описанное выше представляет собой лишь пример и подпочва может иметь гораздо более сложную структуру (т.е. отличающуюся от единственного слоя 52). Соответственно характер отражения волн может быть значительно более сложным, чем изображено. Например, часть сейсмической волны, распространяющейся вниз, может не отразиться границей раздела и, таким образом, пройти сквозь слой 52. Эта волна может впоследствии отразиться от нижней поверхности слоя 52, что означает возможность поступления к любому заданному сейсмическому датчику нескольких отражений.

Описанный выше принцип не ограничивается сейсмической съемкой на суше и может быть применен к морской сейсмической разведке. В этом случае подпочва 51 покрыта слоем воды. Сейсмические датчики 64, 66 и 68 могут находиться на морском дне или альтернативно на поверхности воды или в воде. Для морской сейморазведки могут быть предоставлены альтернативные сейсмические источники 54, такие как пневматическая пушка и плазменные источники звука.

Устройство 100 для использования в системе 50 для сейсмической съемки (такой как описанная выше) будет описано ниже со ссылкой на фиг. 2-4. На фиг. 2 показана наружная поверхность устройства 100. На фиг. 3 показано это же устройство 100 на виде в разрезе вдоль линии С-С, показанной на фиг. 2. На фиг. 4 показан вид в увеличенном масштабе одного конца разреза устройства 100.

На фиг. 2 показан общий вид устройства 100. Устройство 100 содержит корпус 10, который в этом примере содержит стакан 1, причем на концах стакана 1 расположены торцевые крышки 6 в сборе. Ускоряемая масса и по меньшей мере один датчик, выполненный с возможностью обнаружения перемещения ускоряемой массы относительно корпуса (не показан, описан выше), обеспечены внутри корпуса. Устройство 100 содержит электронную схему 17 (показана в верхней и боковой частях корпуса). Эта электронная схема соединена с датчиком и выполнена с возможностью обработки выходного сигнала указанного по меньшей мере одного датчика, например, путем усиления, представления в цифровой форме, передачи и/или сохранения выходного сигнала датчика. Следует понимать, что электронная схема 17 может альтернативно располагаться внутри корпуса или в блоке, соединенном с корпусом проводами (не показан).

На фиг. 3 показано устройство 100 по фиг. 2 в разрезе вдоль линии С-С. Показан стакан 1 с торцевыми крышками 6 в сборе, расположенными на каждом конце. Также показана электронная схема 17, установленная на корпусе. Ускоряемая масса 14 расположена внутри стакана 1. В этом варианте реализации предполагается, что стакан 1 и ускоряемая масса 14 представляют собой продолговатые цилиндры (причем стакан 1 представляет собой полый цилиндр), а продольная ось продолговатой ускоряемой массы 14 расположена соосно с продольной осью продолговатого стакана 1. Направление этих продольных

осей показано линией 3 и в дальнейшем будет называться первым направлением 3.

В некоторых вариантах реализации, таким образом, ускоряемая масса 14 соединена с корпусом 10 устройства с возможностью перемещения и расположена в нем. Посредством механизмов, более подробно описанных ниже, устройство может ограничивать перемещение ускоряемой массы 14 относительно корпуса 10 возвратно-поступательным движением в первом направлении 3, обозначенным двусторонней стрелкой 19. Т.е. ускоряемая масса 14 может перемещаться, по меньшей мере, в определенных пределах, назад и вперед в первом направлении 3, но ее перемещение может быть ограничено в направлении, перпендикулярном первому направлению 3.

В некоторых вариантах реализации ускоряемая масса 14 содержит источник питания, например одну или более батарей 2, обеспечивающих подачу электрической энергии к устройству и, в частности, к электронной схеме 17 через провода 13. Кроме того, в одном варианте реализации ускоряемая масса 14 содержит регулируемые элементы 4 и 9, представленные концевыми деталями 4 ускоряемой массы и регулировочными винтами 9. Регулируемые элементы 4 и 9 обеспечивают возможность изменения длины ускоряемой массы 14 вдоль ее продольной оси. Общая длина ускоряемой массы представлена стрелкой 16. Таким образом, регулируемые элементы 4 и 9 могут быть использованы для компенсации любых различий или отступлений от стандарта между разными батареями 2.

Будет показано, что батарея 2 составляет большую часть ускоряемой массы 14. Другими словами, батарея 2 представляет собой неотъемлемую часть ускоряемой массы 14. Это означает, что батарея обеспечивает значительную часть массы, объема и/или структуры ускоряемой массы 14. Например, батарея 2 может обеспечивать по меньшей мере 75% ускоряемой массы по весу и/или объему.

В некоторых вариантах реализации торцевые крышки 6 в сборе могут быть расположены на каждом конце стакана 1 и закрывать стакан для удержания ускоряемой массы 14 внутри корпуса устройства 100. Торцевые крышки 6 в сборе также содержат по меньшей мере один датчик, выполненный с возможностью обнаружения перемещения ускоряемой массы относительно стакана 1 в первом направлении 3. Эти торцевые крышки 6 в сборе более подробно описаны на фиг. 4; тем не менее на фиг. 3 показаны корпус 18 торцевой крышки в сборе, прикрепленный к стакану посредством одного или более винтов 11, и удерживающий элемент 5, удерживающий уплощенный элемент 12.

На фиг. 4 более подробно показана торцевая крышка 6 в сборе. Следует понимать, что, по меньшей мере, в настоящих вариантах реализации две торцевые крышки в сборе являются подобными и, следовательно, описание одной крышки применимо к обеим.

Как указано выше, торцевая крышка 6 в сборе закрывает конец стакана 1 для удержания ускоряемой массы 14 внутри корпуса устройства. Ускоряемая масса 14 содержит батарею 2 и регулируемые элементы 4 и 9. Торцевая крышка 6 в сборе содержит корпус 18 торцевой крышки, удерживающий элемент 5 и уплощенный элемент 12.

Корпус 18 торцевой крышки может быть прикреплен к торцу стакана 1. Это может быть осуществлено с помощью фиксирующих винтов 11, как показано. Альтернативно корпус 18 торцевой крышки может быть, например, прикреплен к стакану посредством приклеивания, термической сварки, ультразвуковой сварки, пластического формования, плотной посадки или защелкивания или на нем может быть выполнена резьба для ввинчивания в стакан.

В некоторых вариантах реализации к корпусу 18 торцевой крышки может примыкать удерживающий элемент 5 внутри стакана. Удерживающий элемент может представлять собой отдельную деталь, как показано. Однако в других вариантах реализации корпус 18 торцевой крышки и удерживающий элемент 5 могут быть выполнены как одна деталь. В этом варианте реализации стакан 1 имеет цилиндрическую форму и, таким образом, удерживающий элемент 5 может иметь форму кольца, прилегающего к внутренней поверхности цилиндрического стакана 1. Удерживающий элемент 5 прикладывает удерживающее усилие, показанное стрелками 20, по периметру верхней поверхности 22 уплощенного элемента 12. В этом варианте реализации следует понимать, что уплощенный элемент 12 представляет собой диск.

В некоторых вариантах реализации с нижней поверхностью 23 уплощенного элемента 12 контактирует ускоряемая масса 14. В этом варианте реализации с поверхностью 23 контактирует один из регулируемых элементов, а именно регулировочный винт 9. Таким образом, уплощенный элемент 12 прикладывает к ускоряемой массе 14 прижимное усилие 21, равное удерживающему усилию 20. Ускоряемая масса 14 может контактировать с поверхностью 23 уплощенного элемента в центре или вблизи центра уплощенного элемента 12 - другими словами, точка контакта находится ближе к центру уплощенного элемента 12, чем к его периметру.

В некоторых вариантах реализации уплощенный элемент 12 может быть гибким в первом направлении 3 благодаря тому, что он имеет сравнительно небольшую толщину в первом направлении по сравнению с направлениями, перпендикулярными первому направлению 3. Поэтому ускоряемая масса 14 имеет возможность совершать возвратно-поступательное движение в первом направлении 3, будучи прижатой уплощенным элементом 12.

В некоторых вариантах реализации уплощенный элемент 12 может содержать один или более датчиков, измеряющих отклонение уплощенного элемента 12. Например, уплощенный элемент может содержать один или более пьезоэлектрических элементов, обнаруживающих перемещение ускоряемой

массы 14 относительно стакана 1. Как известно из уровня техники, при изгибании пьезоэлектрический элемент генерирует выходной потенциал или заряд, пропорциональный отклонению или механической деформации. Этот выходной потенциал или заряд может быть обнаружен, например, электронной схемой 17, генерирующей сигнал, характеристический для перемещения ускоряемой массы 14.

В некоторых вариантах реализации указанный один или более пьезоэлектрических элементов могут содержать жесткую керамику, такую как цирконат-титанат свинца (ЦТС). Указанный один или более пьезоэлектрических элементов могут быть объединены (например, соединены или уложены слоями) с опорным материалом или подложкой, что обеспечивает упругую податливость и прочность уплощенного элемента 12, достаточные для прижима ускоряемой массы 14 без разрушения, а также жесткость на изгиб, более высокую, чем у жесткого керамического пьезоэлектрического элемента. Опорный материал может быть электропроводящим. Следовательно, уплощенный элемент 12 может содержать пьезоэлектрический датчик в форме диска.

На фиг. 4 показана поверхность 23 уплощенного элемента 12, которая контактирует с ускоряемой массой 14 и имеет вогнутость в направлении ускоряемой массы. Это может быть запланированной конструктивной особенностью (т.е. исполнение уплощенного элемента 12 в требуемой форме), но может быть также обусловлено силами, действующими на уплощенный элемент 12. Другими словами, вогнутость поверхности 23 может быть обусловлена изгибанием уплощенного элемента 12 под воздействием прижимного усилия 20 и противодействующего усилия, обусловленного контактом ускоряемой массы 14 с поверхностью уплощенного элемента 12 (который, как указано выше, обеспечен по существу в центре уплощенного элемента 12). Для реализации этой нагрузки предварительного напряжения устройство может быть выполнено таким образом, что удерживающие элементы 5 торцевых крышек 6 в сборе воздействуют на соответствующие уплощенные элементы 12 по направлению внутрь в достаточной степени для того, чтобы неизбежно обеспечивать их кривизну (вследствие несжимаемости ускоряемой массы 14). Соответствующая нагрузка предварительного напряжения и, следовательно, кривизна могут быть обеспечены путем изменения длины ускоряемой массы 14 в первом направлении 3 с помощью регулировочного винта 9.

Это обеспечивает получение определенных результатов. Во-первых, может быть обеспечено предварительное напряжение любых элементов пьезоэлектрических датчиков. Это обеспечивает более предсказуемую реакцию пьезоэлектрического элемента на любое изгибание уплощенного элемента 12 и, следовательно, повышает точность восприятия. Дополнительно вогнутая поверхность может обеспечить направленное внутрь радиальное усилие на ускоряемую массу 14. Это может способствовать центрированию ускоряемой массы внутри стакана 1, что обеспечивает минимальный контакт (и, следовательно, трение) между ускоряемой массой 14 и стаканом 1. Кроме того, при предварительном напряжении пьезоэлектрического элемента движение ускоряемой массы от пьезоэлектрического элемента воспринимается как движение элемента по направлению к положению большего "покоя". При отсутствии предварительного напряжения это движение по направлению от пьезоэлектрического элемента может не быть обнаружено.

Следовательно, торцевая крышка 6 в сборе посредством уплощенного элемента 12, удерживаемого удерживающим элементом 5 и контактирующего с ускоряемой массой 14, выполняет две функции:

во-первых, прижимает ускоряемую массу 14, соединяя ее с корпусом датчика (стакан 1 и торцевые крышки 6 в сборе) и ограничивая перемещение ускоряемой массы относительно корпуса возвратно-поступательным движением в первом направлении 3;

во-вторых, обнаруживает любое перемещение ускоряемой массы относительно корпуса в этом первом направлении 3.

Было установлено, что соотношение высоты и диаметра ускоряемой массы 14, составляющее от 2:1 до 5:1, является предпочтительным в случае устройств, используемых при проведении сейсморазведки в нефтегазовой отрасли. Если корпус соответствует по форме и размерам ускоряемой массе, то такие пропорции позволяют получить подходящий вес ускоряемой массы и вместе с тем обеспечивают сравнительно легкую установку устройств в грунте.

В процессе эксплуатации несколько устройств 100 размещают на поверхности или внутри земной толщ. Каждое такое устройство может быть, например, прикреплено к штырю, который вдавливают в грунт. Альтернативно устройство может быть целиком размещено в грунте или размещено на глубине в скважине. Каждое устройство 100 может быть размещено таким образом, что первое направление будет вертикальным. Приход продольной сейсмической волны вызывает перемещение корпуса устройств 100 с выраженной вертикальной компонентой. Инерция ускоряемой массы 14 обуславливает ее сопротивление движению вместе со смещением корпуса, и в результате ускоряемая масса 14 будет перемещаться относительно корпуса. Это перемещение приводит к отклонению уплощенных элементов 12. Можно отметить, что перемещение ускоряемой массы относительно корпуса в первом направлении вызывает повышение или понижение степени отклонения уплощенного элемента относительно отклонения уплощенного элемента при его нахождении в "положении покоя", т.е. когда ускоряемая масса не перемещается относительно корпуса. Это отклонение обнаруживается пьезоэлектрическими датчиками внутри уплощенных элементов 12 и может быть получено, передано и/или сохранено электронной схемой 17. Получен-

ные данные могут быть затем проанализированы для определения состава подпочвы 51. Следовательно, описанное выше устройство способно обнаруживать сейсмические волны и при этом имеет компактную конструкцию и легкий корпус.

На фиг. 5 и 6 показан еще один вариант реализации устройства для использования в сейсморазведке. Это устройство имеет много общих элементов с описанным выше устройством, и одинаковые элементы будут обозначены такими же ссылочными позициями. Следует понимать, что отличительные признаки этого дополнительного варианта реализации могут быть комбинированы с отличительными признаками варианта реализации, описанного выше.

Т.е. устройство содержит стакан 1 с торцевыми крышками 6 в сборе на каждом конце. Внутри стакана расположена ускоряемая масса 2, соединенная со стаканом посредством уплощенных элементов 12, удерживаемых корпусами 18 торцевых крышек. Стакан имеет выступ 26 в форме заплечика, который выполнен с возможностью ограничения перемещения ускоряемой массы с целью защиты пьезоэлектрического элемента в случае падения устройства.

Каждая торцевая крышка содержит полость 24, в которую может быть смещен уплощенный элемент 12. Каждая полость дополнительно содержит ограничитель 25 смещения. Назначение этого ограничителя 25 смещения состоит в ограничении степени деформации уплощенного элемента в результате ограничения смещения ускоряемой массы 2 внутри устройства. Это может предотвратить повреждение уплощенного элемента 12. В ходе обычной работы устройства, т.е. регистрации сейсмических сигналов, смещения ускоряемой массы 2 будет недостаточно для того, чтобы уплощенный элемент 12 вошел в контакт с ограничителем 25 смещения, и поэтому ограничитель 25 смещения не оказывает отрицательного воздействия на работу устройства. Однако в случае падения устройства или воздействия на него большого ускорения иным образом уплощенный элемент 12 может быть деформирован смещением ускоряемой массы 2 на величину, достаточную для вхождения уплощенного элемента в контакт с ограничителем 25 смещения. Ограничитель 25 смещения предохраняет от дальнейшего смещения или уменьшает его, тем самым предотвращая повреждение уплощенного элемента 12 вследствие избыточной деформации. По существу ограничитель 25 смещения может быть расположен таким образом, чтобы ограничивать деформацию уплощенного элемента 12 заранее заданной величиной на основании, например, конструкции уплощенного элемента 12.

В некоторых вариантах реализации ограничитель 25 смещения может являться жестким или может быть гибким элементом, способным поглощать ограниченную ударную нагрузку и, следовательно, снижать вероятность повреждения уплощенного элемента 12.

Как было описано выше, прижимное усилие, прикладываемое уплощенными элементами 12 к ускоряемой массе 14, ограничивает перемещение ускоряемой массы 14 относительно корпуса возвратно-поступательным движением в первом направлении 3. В качестве альтернативы или дополнительно по меньшей мере часть поперечного сечения стакана 1, перпендикулярного его продольной оси, может соответствовать по меньшей мере части поперечного сечения ускоряемой массы 14, перпендикулярного ее продольной оси. Следствием этого является ограничение перемещения ускоряемой массы возвратно-поступательным движением относительно корпуса в первом направлении. Например, концевые детали 4 ускоряемой массы могут иметь наружный диаметр, почти равный внутреннему диаметру стакана 1. Следовательно, обеспечивается возможность небольшого перемещения ускоряемой массы 14 в направлении, перпендикулярном первому направлению 3. Соответствие стакана 1 и ускоряемой массы 14 находится в пределах достаточно жесткого допуска с целью предотвращения раскачивания или вращательного движения вокруг центра тяжести ускоряемой массы 14 в сборе. Прилегающие поверхности ускоряемой массы 14 и/или стакана 1 могут быть покрыты материалом с низким коэффициентом трения с целью обеспечения перемещения ускоряемой массы 14 относительно стакана.

В некоторых вариантах реализации ускоряемая масса 14 и стакан 1 могут иметь не цилиндрическую форму, как описано выше, а любую форму. Это может частично зависеть от размера и формы батареи 2. Например, может быть использована кубическая батарея со стаканом 1 соответствующей формы.

Как было описано выше, ускоряемая масса 14 была снабжена регулируемыми элементами 4 и 9 для обеспечения возможности изменения длины ускоряемой массы 14. Это может потребоваться, так как длина, например, батареи 2 может быть не достаточно стандартизирована. В других вариантах реализации такая регулировка длины может быть обеспечена с использованием распорных компонентов промышленного производства соответствующих размеров, имеющих концевые детали 4 разного размера, компоненты, изготовленные методом литья под давлением, или распорные компоненты припуска по длине, в процессе производства подвергаемые механической обработке или фрезеровке до правильных размеров. В других вариантах реализации торцевые крышки 6 в сборе могут содержать подходящие регулируемые элементы, позволяющие изменять расстояние между обращенными друг к другу вогнутыми поверхностями 23 уплощенных элементов 12 (на каждом конце). Это может быть реализовано путем обеспечения регулировочных элементов в крышке, например путем расположения винтов 11, позволяющих регулировать зазор между стаканом и крышкой. Длину удерживающего элемента 5 в первом направлении могут регулировать аналогичным образом путем использования одного из множества удерживающих элементов 5 разной длины или путем механической обработки удерживающего элемента 5 до

получения требуемой длины в процессе производства. В целом подходящие элементы регулировки длины могут представлять собой компоненты ускоряемой массы и/или пьезоэлектрической подложки или быть прикреплены к ним.

В других вариантах реализации регулировка может быть обеспечена путем изменения длины стакана во время процесса производства или посредством наличия стаканов разной длины, из которых можно выбрать требуемую длину. Аналогичным образом можно изготовить выводы батареи, форма и длина которых подходят для обеспечения предварительного напряжения уплощенного элемента 12.

В некоторых вариантах реализации для решения проблемы использования недостаточно стандартизированных батарей в нескольких устройствах и относительно малая часть общего веса ускоряемой массы может быть обеспечена балластным грузом.

Регулировочный винт 9 ускоряемой массы 14 обеспечивает контакт уплощенного элемента 12 и ускоряемой массы на небольшой площади. В некоторых вариантах реализации этот винт может отсутствовать, а в тех же целях может быть предусмотрен подходящий выступ, т.е. в целях контакта с уплощенным элементом на площади, малой по сравнению с общей площадью поверхности 23 уплощенного элемента 12.

В некоторых вариантах реализации для обнаружения перемещения ускоряемой массы 14 может использоваться не пьезоэлектрический датчик, а система магнитного преобразователя, или система емкостного преобразователя, или система электростатического преобразователя, или система фотооптического преобразователя, или иная.

Хотя описанное выше относится к продолговатому цилиндру, предусмотрены и другие конфигурации, в которых батарея 2 является составной частью ускоряемой массы 14. Например, одна или более батарей могут быть удержаны таким образом, что их продольные оси будут параллельны плоскости датчика, как в случае продолговатой рифленой пьезоэлектрической пластины.

Альтернативно уплощенный элемент 12 может быть удержан между двумя батареями реактивной массы, один из которых находится над, а другой - под пьезоэлектрическим датчиком. В этом случае тоже обеспечивается снижение веса, описанное выше.

В некоторых вариантах реализации преобразователь содержит четное число уплощенных элементов 12, равномерно расположенных на противоположных концах ускоряемой массы 14. Каждый уплощенный элемент 12 может также поддерживать один или более пьезоэлектрических элементов, соединенных с поверхностью или поверхностями уплощенного элемента 12 для образования пьезоэлектрических датчиков. Датчики могут быть расположены и соединены таким образом, что относительное перемещение стакана 1 и реактивной массы 14 будет обеспечивать изгибание спаренных уплощенных элементов 12 в противоположных направлениях. В этой конфигурации относительное перемещение ускоряемой массы 14 приведет к тому, что один уплощенный элемент 12 станет более выпуклым, тогда как противоположный уплощенный элемент станет менее выпуклым. В одном варианте реализации, в котором пьезоэлектрический элемент соединен с наружной поверхностью 22 каждого уплощенного элемента 12, однократное перемещение ускоряемой массы 14 обеспечит положительное напряжение или тока в одном датчике и отрицательное выходное напряжение в другом датчике и наоборот в случае перемещения ускоряемой массы 14 в противоположном направлении. При последовательном соединении пар датчиков с соблюдением полярности электрического сигнала на выходе амплитуда напряжения будет в два раза превышать соответствующую амплитуду единственного датчика, т.е. выходной сигнал пьезоэлектрических датчиков способствует усилению сигнала. Аналогичным образом, токовый выходной сигнал будет в два раза больше при правильном параллельном соединении пар. Это позволяет производить преобразователь с более высокой чувствительностью при почти таких же стоимости и размерах.

Эта конфигурация, которую можно рассматривать как дифференциальную двухтактную конфигурацию, также обеспечивает более низкий уровень шумов, величина снижения которых приблизительно определяется как квадратный корень из числа дифференциальных пьезоэлектрических элементов. Этот благоприятный эффект возникает благодаря сложению электрических сигналов от датчиков и частично подавлению любых шумов, например независимых случайных термоионных собственных шумов, генерируемых каждым отдельным преобразователем. Эта конфигурация вместе с дифференциальным входом аналоговой электроники также обеспечивает дополнительное ослабление синфазных шумов от внешних источников, таких как индуктивная наводка от линий электропередачи или интерференционные помехи от радиоволн.

Кроме того, эта конфигурация также обеспечивает снижение гармонических искажений, вызываемых в противном случае каждым отдельным датчиком, демонстрирующим некоторую степень нелинейности характеристики преобразования. Например, поскольку уплощенный элемент 12 может иметь подалитивность пружины, не вполне следующую закону Гука, реакция уплощенного элемента 12 на перемещение ускоряемой массы может быть нелинейной. В случае единственного датчика это проявляется в форме компонент гармонических искажений четного порядка в выходном сигнале датчика, различающихся в зависимости от того, в каком направлении изгибается уплощенный элемент 12. Когда выходной сигнал одного датчика совмещается со вторым датчиком пары, расположенным на противоположном конце ускоряемой массы 14 и изгибающимся в противоположном направлении относительно ориентации

пьезоэлектрического материала, компоненты искажений также будут иметь противоположную полярность, вследствие чего гармоники четного порядка подавляются при суммировании выходного сигнала дифференциальным входом электроники.

Несмотря на то что ускоряемая масса 14 и корпус были описаны как соединенные друг с другом, следует понимать, что это может означать как физическое соединение, например путем приложения прижимного усилия посредством уплощенного элемента 12, так и магнитное или электрическое соединение. Другими словами, в вариантах реализации ускоряемая масса 14 может быть подвешена внутри корпуса устройства с помощью магнитного или электрического поля без физического контакта с какой-либо частью корпуса.

Как описано выше, генераторы на основе микроэлектромеханической системы (МЭМС) представляют собой синхронизирующие устройства, генерирующие высокостабильные эталонные частоты, которые могут измерять время. Эти эталонные частоты могут быть использованы для задания последовательности электронным системам, управления передачей данных, определения радиочастот и измерения прошедшего времени. Тактовые генераторы на основе МЭМС являются синхронизирующими устройствами на основе МЭМС с множеством выходных сигналов для систем, требующих более одной эталонной частоты.

Обычно термин "генератор" обозначает интегральные схемы (ИС), подающие частоты одного выходного сигнала. Генераторы на основе МЭМС включают резонаторы на основе МЭМС, поддерживающие усилители и дополнительные электронные устройства для настройки или регулирования частот их выходных сигналов. Эти схемы обычно содержат цепи фазовой синхронизации ("PLL", phase locked loops), генерирующие выбираемые или программируемые выходные частоты от эталонных частот МЭМС, расположенных ранее по потоку. Генераторы на основе МЭМС обычно доступны как 4-контактные или 6-контактные интегральные схемы, соответствующие площади спайки печатной монтажной платы, ранее стандартизированной для кварцевых генераторов.

В сейсморазведке несколько датчиков могут быть использованы в так называемой сейсмической расстановке. Она может иметь форму наземной разведки датчиков, соединенных друг с другом посредством кабелей. Другая сейсмическая расстановка может представлять собой нодальную расстановку (например, морской, наземной или переходной области), в которой отдельные узлы распределяют по области и каждый узел функционирует как датчик. Еще одна сейсмическая расстановка может представлять собой буксируемую морскую сейсмическую расстановку, в которой несколько сейсмических кос, содержащих множество сейсмических датчиков, буксируют посредством лодки.

В качестве части сейсморазведки, включающей множество датчиков, в особенности в полных нодальных расстановках или частичных нодальных расстановках, важно, чтобы каждый отдельный узел датчиков (или группа датчиков) имел соотношенный надежный тактовый генератор/временной режим, привязанный к нему. Это может быть обеспечено множеством способов, но наличие локальных тактовых генераторов является одним из них. Эти тактовые генераторы могут быть синхронизированы множеством способов, например, посредством сигнала глобальной спутниковой навигационной системы (GPS) или другого беспроводного сигнала или посредством кабельного соединения с главным тактовым генератором.

Синхронизация тактовых генераторов является более легкой задачей с наземными системами с кабельным соединением или морскими кабельными расстановками. Однако надежность и стоимость синхронизации тактовых генераторов в частичных или полных нодальных узлах вызывают осложнения.

Один аспект осуществимости систем сейсморазведки связан с качеством и эксплуатационными расходами. Система, обеспечивающая надлежащую синхронизацию при экономически нецелесообразных расходах, является неудачной. Следовательно, достаточные и хорошие рабочие характеристики при разумных эксплуатационных расходах являются важными. Очень желательно усовершенствование технологии в сочетании с уменьшенными расходами.

Варианты реализации настоящего изобретения направлены на генератор на основе МЭМС, функционирующий как синхронизирующее устройство в сейсмическом датчике.

Дополнительно и/или альтернативно варианты реализации включают устройство и способ сейсмической расстановки, использующий систему генератора на основе МЭМС для обеспечения улучшенной синхронизации при сниженных эксплуатационных расходах и расходах на производство.

Существующие технологии генераторов могут быть соотношены с чрезмерными расходами на атомные тактовые генераторы размером с кристалл ("CSAC", Chip Scale Atomic Clock) (обычно приблизительно 1000 долларов США) и энергопотребление для термокомпенсированных кварцевых генераторов ("ОСХО", Oven Compensated Crystal Oscillator) (обычно приблизительно 1 Вт). Обе технологии также являются достаточно чувствительными к механическим ударам.

В определенных условиях эталон времени, основанный на GPS, не будет работать или будет слишком дорогостоящим или ненадежным. Например, во время сильного ливня, или когда датчики покрыты большими количествами мокрого снега, или когда область их размещения затоплена. Узлы могут также разворачивать в неглубоких водах.

Варианты реализации, включенные в настоящий документ, могут использовать генераторы на ос-

нове МЭМС для синхронизации, и, таким образом, эти генераторы на основе МЭМС могут существенно уменьшать энергопотребление в сейсмических узлах. Энергопотребление будет определять требуемую емкость батареи, а также размер узла. Размер узла, в частности, для глубоководного морского дна будет очень важным фактором для определения стоимости узла. Также в контексте инфраструктуры для зарядки и выгрузки данных размер узла имеет большое влияние на стоимость. С точки зрения положительного экономического эффекта генератора на основе МЭМС он может быть приблизительно в 2-100 раз дешевле и меньше по размерам по сравнению с предыдущими решениями.

Со ссылкой на фиг. 7 показан вариант реализации, изображающий приведенный в качестве примера генератор 700 на основе МЭМС в соответствии с настоящим изобретением. Генератор 700 на основе МЭМС может содержать резонатор 702 на основе МЭМС, который может быть выполнен с возможностью вибрации на высокой частоте, и интегральную схему 704. Интегральная схема 704 может быть выполнена с возможностью синтеза высокостабильной и точной выходной частоты на основании резонатора 702 на основе МЭМС в качестве эталона в сочетании со считыванием температуры и поправочными данными, обычно получаемыми во время калибровки. Интегральная схема 704 может включать различные типы схем, некоторые из которых могут без ограничения включать подпитывающий насос 706, поддерживающую схему 708, цепь фазовой синхронизации 710 низкой мощности, запоминающее устройство 712, делители/задающие устройства 714 и схему 716 ввода-вывода.

В некоторых вариантах реализации подпитывающий насос 706 может функционировать как цепь возбуждения, т.е. он может обеспечивать вибрацию резонатора 702 на основе МЭМС. В ответ поддерживающая схема 708 может быть выполнена с возможностью поддержания этого колебания таким образом, чтобы резонатор 702 на основе МЭМС поддерживал свой режим колебаний.

Генераторы на основе МЭМС коммерчески доступны от компании SiTime™. Следует отметить, что генератор 700 может быть использован в сочетании с любым из вариантов реализации, включенных в настоящий документ, таких как показанные на фиг. 1-6.

Соответственно путем использования такого генератора в сейсмическом узле вместо атомного тактового генератора размером с кристалл и термокомпенсированного кварцевого генератора (или даже сверхпроизводительного термокомпенсированного кварцевого генератора) энергопотребление может быть значительно снижено. Вследствие снижения энергопотребления генератора количество батарей и общий размер узла могут быть уменьшены в разы. Это обеспечивает намного более низкую стоимость узла. При сравнении с атомным тактовым генератором размером с кристалл стоимость самого генератора будет наиболее значительным фактором уменьшенной стоимости узла. Таким образом, генератор на основе МЭМС будет по меньшей мере на два порядка дешевле атомного тактового генератора размером с кристалл.

Малый размер генератора на основе МЭМС также является большим преимуществом при попытке изготовления небольшого и недорогого узла. Для генератора на основе МЭМС обычно используют очень малую упаковку, подобную тем, которые используют для мельчайших электронных компонентов, в то время как размер наиболее распространенного атомного тактового генератора размером с кристалл составляет 40×35×12 мм.

Первые введенные в обращение генераторы на основе МЭМС не имели существенных преимуществ над генераторами, основанными на кристаллах, с точки зрения энергопотребления и стоимости. Это изменилось, и генераторы с потреблением тока, составляющим всего несколько микроампер, сейчас доступны в частотах ниже 1 МГц, а сверхвысокостабильные генераторы на основе МЭМС средней мощности сейчас доступны для более высоких частот. Другое преимущество использования генераторов на основе МЭМС заключается в намного большей надежности.

Высокостабильные генераторы на основе МЭМС средней мощности характеризуются энергопотреблением, которое считается немного высоким для узла малой мощности (подобно GPS приемнику при использовании в качестве эталона времени в наземном узле). В некоторых вариантах реализации для уменьшения общего энергопотребления генератор на основе МЭМС может быть совмещен с генератором малой мощности более низкого качества, в котором частоту могут контролировать путем подачи напряжения на контрольный контакт (кварцевый генератор, управляемый напряжением) или путем использования цифрового интерфейса. Путем пробуждения генератора средней мощности на несколько секунд и путем подсчета количества тактовых импульсов для двух генераторов генератор малой мощности может быть обучен при помощи генератора более высокой мощности и точности в качестве эталона. Использование термокомпенсированного кварцевого генератора таким же образом невозможно, так как он требует десятков минут для достижения заявленной стабильности, а генератор на основе МЭМС достигнет заявленной стабильности в течение 100 мс.

В большинстве современных сейсмических узлов используют линейную коррекцию времени семплирования. Время может быть внедрено в узел (или зарегистрировано из вне) при запуске внутреннего тактового генератора, время при выборке сохраняют (или регистрируют из вне) и могут применять интерполяцию к сейсмическим данным для коррекции отклонения времени, которое считается линейным. Нодальный генератор могут обучить с использованием внешнего высокоточного эталона перед развер-

тиванием для ограничения линейного отклонения. В системе с более чем одним генератором в предложенной концепции наиболее точный генератор может быть обучен перед развертыванием, а потом во время приема этот генератор может быть использован для обучения генератора, используемого в качестве непосредственного эталона времени для оцифровки сейсмических сигналов.

Для тактовых характеристик сейсмического узла первостепенное значение имеет не общая точность, а нелинейное отклонение, так как линейное отклонение может быть легко компенсировано. Для достижения наилучших характеристик для сейсмического узла, калибровка генератора может быть направлена на диапазон температур, в котором будет работать узел. Узел для глубоководного морского дна обычно не будет сталкиваться с температурами выше 30°C (при нахождении на лодке), а затем его помещают на морское дно, где температура приблизительно составляет 4°. Для узла меньшей мощности, теплопередача от электронных компонентов не будет влиять на температуру. Если в генераторе использован многочлен высокого порядка для коррекции температуры, все усилия могут затем быть использованы для обеспечения максимально возможной стабильности генератора в пределах 0-30°, причем характеристики вне этого температурного интервала не будут значимы. Таким образом, характеристики могут быть еще больше улучшены. Т.е. генераторы могут быть оптимизированы для разных рабочих сред, таких как морское дно, переходная область, Арктика, пустыня или земля общего назначения.

Для наземного узла генератор на основе МЭМС может являться запасным решением, используемым при блокировании приема GPS. В такой конфигурации также будет возможно использовать GPS для обучения генератора на основе МЭМС при работающем приеме GPS для повышения точности генератора на основе МЭМС.

В одном варианте реализации обеспечена система для сейсмических наблюдений, которая может использовать генератор на основе МЭМС в качестве эталона времени. Генератор на основе МЭМС может иметь любую подходящую конструкцию, без ограничения включая изображенную на фиг. 7. Система может включать множество блоков нодальных сейсмических датчиков. Система может также включать множество тактовых генераторов на основе МЭМС, причем каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков. Устройства могут быть выполнены с возможностью ввода временной синхронизации в сейсмическую систему. Каждый тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой.

В некоторых вариантах реализации система для сейсмических наблюдений может содержать морскую расстановку узлов и/или наземную расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать блоки множества узлов, соединенные с соответствующим генератором на основе МЭМС. Интегральная схема может содержать подпитывающий насос и поддерживающую схему, сообщающиеся с резонатором на основе МЭМС. Интегральная схема может дополнительно содержать цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

В другом варианте реализации обеспечен сейсмический нодальный датчик. Датчик может включать геофон и тактовый генератор на основе МЭМС в сообщении с геофоном. Тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой. Тактовый генератор на основе МЭМС может быть выполнен с возможностью ввода временной синхронизации в сейсмический нодальный датчик.

В некоторых вариантах реализации геофон может представлять собой трехосный геофон. Сейсмический датчик может быть соединен с одним или более дополнительными сейсмическими датчиками посредством беспроводных сигналов. Сейсмический нодальный датчик может содержать множество датчиков, соединенных кабелем и соотнесенных с тактовым генератором на основе МЭМС. Сейсмический нодальный датчик может являться слепой группой нодальных датчиков. Интегральная схема может содержать запоминающее устройство. Интегральная схема может содержать подпитывающий насос и поддерживающую схему, сообщающиеся с резонатором на основе МЭМС. Интегральная схема может дополнительно содержать цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

В другом варианте реализации, как показано на фиг. 8, обеспечен способ использования генератора на основе МЭМС в качестве эталона времени. Способ может включать обеспечение 802 множества блоков нодальных сейсмических датчиков. Способ может дополнительно включать генерацию 804 эталона времени для каждого из множества блоков нодальных сейсмических датчиков с использованием множества тактовых генераторов на основе МЭМС. Каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС может быть соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков, таким образом обеспечивая введение временной синхронизации в сейсмическую систему. Каждый тактовый генератор на основе МЭМС может включать резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой.

В некоторых вариантах реализации система для сейсмических наблюдений может содержать морскую расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать наземную расстановку узлов. Система для сейсмических наблюдений может содержать блоки множества узлов, соединенные с соответствующим генератором на основе МЭМС. Интегральная схема может содержать подпитываю-

щий насос и поддерживающую схему, сообщающиеся с резонатором на основе МЭМС. Интегральная схема может дополнительно содержать цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

Используемый в любом варианте реализации, описанном в настоящем документе, термин "схема" может включать, например, отдельно или в любом сочетании жестко смонтированную схему, программируемую схему, схему машины состояний и/или предустановленное программное обеспечение, хранящее команды, выполняемые программируемой схемой. Прежде всего следует понимать, что любая из операций и/или функциональных компонентов, описанных в любом варианте реализации в настоящем документе, может быть реализована в программном обеспечении, предустановленном программном обеспечении, жестко смонтированной схеме и/или в их сочетании.

Следует понимать, что любой признак, описанный относительно одного варианта реализации, может быть использован отдельно или в сочетании с другими описанными признаками и может также быть использован в сочетании с одним или более признаками любого другого из вариантов реализации или в любом сочетании любого другого из вариантов реализации. Кроме того, эквиваленты и модификации, не описанные выше, могут также быть использованы без отклонения от объема изобретения, который определен в сопроводительной формуле изобретения. Например, устройство может быть разработано одноразовым или может быть пригодным для повторного использования. Описанные устройства подходят для использования в наземных и морских сейсморазведочных работах. Признаки формулы изобретения могут быть совмещены в сочетании, отличающиеся от указанных в формуле изобретения.

Блок-схемы на чертежах иллюстрируют архитектуру, функциональность и работу возможных реализаций систем, способов и компьютерных программных продуктов в соответствии с различными вариантами реализации настоящего изобретения. Т.е. каждый блок в структурной схеме или блок-схемах может представлять модуль, сегмент или участок кода, который содержит одну или более исполнимых команд для реализации указанной логической(их) функции(й). Следует также отметить, что в некоторых альтернативных вариантах реализации функции, указанные в блоке, могут встречаться в ином порядке, чем тот, который указан на чертежах. Например, два блока, показанные в последовательности, в действительности могут быть выполнены по существу одновременно или иногда блоки могут быть выполнены в обратном порядке в зависимости от задействованной функциональности. Также следует отметить, что каждый блок на иллюстративных блок-схемах и/или структурных схемах и комбинации блоков на иллюстративных блок-схемах и/или структурных схемах может быть реализован с помощью специализированных аппаратных систем, которые выполняют заданные функции, или действия, или комбинации специализированного аппаратного обеспечения и компьютерных команд.

Вышеизложенное описывает признаки нескольких вариантов реализации так, чтобы специалистам в данной области было легче понять аспекты данного изобретения. Специалистам в данной области следует понимать, что они могут легко использовать описание как основу для проектирования или модификации других процессов и конструкций для достижения тех же самых целей и/или для получения тех же самых преимуществ, которые обеспечивают описанные в настоящем документе варианты реализации изобретения. Специалистам в данной области также следует понимать, что такие эквивалентные конструкции не выходят за пределы сущности и объема изобретения и что в них могут быть осуществлены различные перемены, замены и изменения без выхода за пределы сущности и объема изобретения. Объем изобретения должен определяться только формулировкой нижеследующей формулы изобретения. Термин "содержащий" в формуле изобретения предназначен для обозначения "включающий по меньшей мере", так что изложенный перечень элементов в формуле изобретения представляет собой открытую группу. Подразумевается, что использование единственного числа включает множественное число, если явно не указано иное.

Терминология, используемая в настоящем документе, предназначена для описания конкретных вариантов реализации и не предназначена для ограничения изобретения. Также следует понимать, что термины "содержит" и/или "содержащий", используемые в данном описании, указывают на наличие определенных признаков, целых чисел, этапов, операций, элементов и/или компонентов, но не исключают наличия или добавления одного или большего количества других признаков, целых чисел, этапов, операций, элементов, компонентов и/или их групп.

Предполагается, что соответствующие конструкции, материалы, действия и эквиваленты средств или элементов этапов вместе с функциями в нижеследующей формуле изобретения включают любую конструкцию, материал или действие для выполнения функции в сочетании с другими заявленными элементами, как указано особо в формуле изобретения. Описание настоящего изобретения предоставлено в иллюстративных и описательных целях, и не претендует на исчерпывающий характер или ограничение изобретения раскрытой формой. Многие модификации и вариации будут очевидны специалистам в данной области техники без отхода от объема и сущности изобретения. Вариант реализации был выбран и описан для наилучшего пояснения принципов изобретения и практического применения и для предоставления возможности специалисту в данной области изучить различные варианты реализации изобретения с различными предусмотренными модификациями, которые подходят для конкретного использования.

Несмотря на то что выше были подробно описаны несколько примерных вариантов реализации, для специалистов в данной области техники будет очевидно, что в примерных вариантах реализации возможны многие модификации без существенного отклонения от морской сейсмической косы, описанной в настоящем документе. Соответственно такие модификации должны быть включены в объем данного изобретения, определенный следующей формулой изобретения. В формуле изобретения пункты "средства плюс функция" предназначены для охвата конструкций, описанных в настоящем документе, как выполняющих указанную функцию, и не только конструктивных эквивалентов, но и также эквивалентных конструкций. Таким образом, хотя гвоздь и шуруп не могут быть структурными эквивалентами в том смысле, что в случае гвоздя используется цилиндрическая поверхность для скрепления деревянных деталей, в то время как в случае шурупа используется спиральная поверхность, в среде крепления деревянных деталей гвоздь и шуруп могут быть эквивалентными структурами. Заявитель не намерен ссылаться на пункт 35, USC, § 112, параграф 6 в отношении каких-либо ограничений любых пунктов формулы изобретения за исключением тех, в которых в пункте формулы явно используются слова "средство для" вместе с соответствующей функцией.

В свете подробно описанного раскрытия настоящей заявки и со ссылкой на его варианты реализации будет очевидно, что модификации и вариации возможны без выхода за пределы объема изобретения, определенного прилагаемой формулой изобретения.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система сейсмических наблюдений, содержащая множество блоков нодальных сейсмических датчиков, предназначенных для сбора сейсмических данных,
  - причем каждый из множества нодальных сейсмических датчиков сконфигурирован с возможностью соединения друг с другом в сейсмической расстановке; и
  - множество тактовых генераторов на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС),
  - причем каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,
  - причем каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС выполнен с возможностью ввода временной синхронизации в соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,
  - причем каждый тактовый генератор на основе МЭМС содержит резонатор на основе МЭМС в общении с интегральной схемой,
  - причем резонатор на основе МЭМС выполнен с возможностью вибрации на первой частоте,
  - при этом интегральная схема выполнена с возможностью формировать сигнал синхронизации, имеющий вторую частоту, основанную на первой частоте, на которой вибрирует резонатор на основе МЭМС,
  - причем вторая частота соответствует диапазону температур, в пределах которого работает соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков; и
  - подавать сигнал синхронизации на соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,
  - причем сигнал синхронизации предназначен для компенсации нелинейного отклонения из-за температуры.
2. Система сейсмических наблюдений по п.1, которая содержит морскую расстановку узлов.
3. Система сейсмических наблюдений по п.1, которая содержит наземную расстановку узлов.
4. Система сейсмических наблюдений по п.1, в которой интегральная схема дополнительно содержит цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.
5. Сейсмический нодальный датчик, содержащий
  - чувствительный элемент, предназначенный для сбора сейсмических данных; и
  - тактовый генератор на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС), сообщающийся с чувствительным элементом,
  - причем тактовый генератор на основе МЭМС содержит резонатор на основе МЭМС, сообщающийся с интегральной схемой,
  - причем тактовый генератор на основе МЭМС выполнен с возможностью ввода временной синхронизации в сейсмический нодальный датчик,
  - причем резонатор на основе МЭМС предназначен для вибрации на первой частоте,
  - при этом интегральная схема выполнена с возможностью формировать сигнал синхронизации, имеющий вторую частоту, основанную на первой частоте, на которой вибрирует резонатор на основе МЭМС,
  - причем вторая частота соответствует диапазону температур, в пределах которого работает соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических дат-

чиков; и

подавать сигнал синхронизации на соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,

причем сигнал синхронизации предназначен для компенсации нелинейного отклонения из-за температуры.

6. Сейсмический нодальный датчик по п.5, в котором чувствительный элемент представляет собой трехосное устройство чувствительного элемента.

7. Сейсмический нодальный датчик по п.5 или 6, в котором сейсмический датчик соединен с множеством сейсмических нодальных датчиков посредством беспроводных сигналов.

8. Сейсмический нодальный датчик по п.5 или 6, в котором сейсмический нодальный датчик содержит множество датчиков, соотнесенных с тактовым генератором на основе МЭМС.

9. Сейсмический нодальный датчик по п.5 или 6, в котором сейсмический нодальный датчик представляет собой слепую группу нодальных датчиков.

10. Сейсмический нодальный датчик по любому из пп.5-9, дополнительно содержащий первичный тактовый генератор, обеспечивающий синхронизацию сейсмического нодального датчика,

причем первичный тактовый генератор имеет меньшую точность, чем тактовый генератор на основе МЭМС,

причем тактовый генератор на основе МЭМС находится в сообщении с первичным тактовым генератором для периодического обеспечения временной синхронизации сейсмического нодального датчика.

11. Сейсмический нодальный датчик по любому из пп.5-10, в котором интегральная схема содержит запоминающее устройство.

12. Сейсмический нодальный датчик по п.11, в котором интегральная схема дополнительно содержит цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

13. Сейсмический нодальный датчик по любому из пп.5-12, в котором чувствительный элемент содержит пьезоэлектрический чувствительный элемент.

14. Сейсмический нодальный датчик по любому из пп.5-13, дополнительно содержащий источник электропитания для подачи электропитания к сейсмическому нодальному датчику, причем источник электропитания составляет по меньшей мере часть реактивной массы, соответствующей чувствительному элементу.

15. Способ использования генератора на основе микроэлектромеханических систем (МЭМС) в качестве эталона времени, включающий

обеспечение множества блоков нодальных сейсмических датчиков, предназначенных для сбора сейсмических данных и соединенных друг с другом в сейсмической расстановке; и

прием эталона времени, связанного со сбором сейсмических данных для каждого из множества блоков нодальных сейсмических датчиков на множестве тактовых генераторов на основе МЭМС,

при этом каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС соотнесен с соответствующим одним из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,

причем каждый из множества тактовых генераторов на основе МЭМС предназначен для ввода временной синхронизации в соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,

причем каждый тактовый генератор на основе МЭМС содержит резонатор на основе МЭМС в сообщении с интегральной схемой,

причем резонатор на основе МЭМС выполнен с возможностью вибрации на первой частоте,

при этом интегральная схема выполнена с возможностью

формировать сигнал синхронизации, имеющий вторую частоту, основанную на первой частоте, на которой вибрирует резонатор на основе МЭМС,

причем вторая частота соответствует диапазону температур, в пределах которого работает соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков; и

подавать сигнал синхронизации на соответствующий блок нодального сейсмического датчика из множества блоков нодальных сейсмических датчиков,

причем сигнал синхронизации предназначен для компенсации нелинейного отклонения из-за температуры.

16. Способ по п.15, в котором множество блоков нодальных сейсмических датчиков составляют морскую расстановку узлов.

17. Способ по п.15, в котором множество блоков нодальных сейсмических датчиков составляют наземную расстановку узлов.

18. Способ по п.15, в котором блоки множества узлов соединены с соответствующим генератором на основе МЭМС.

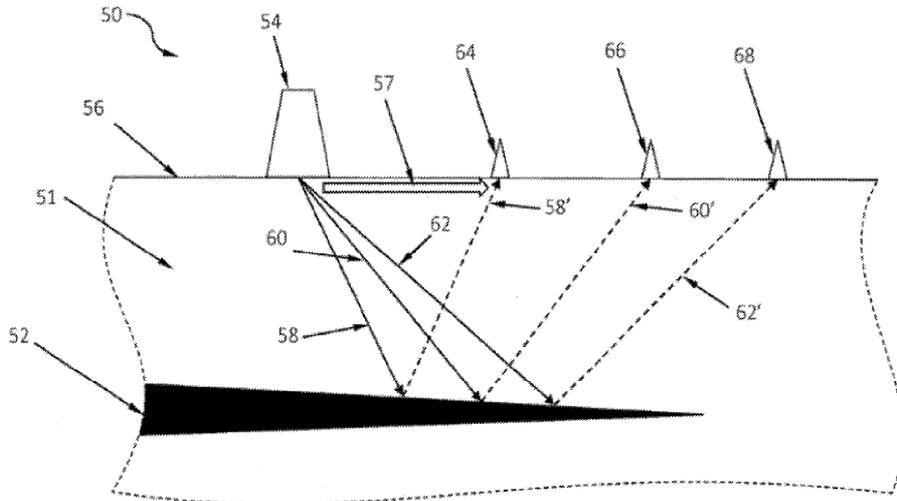
19. Способ по п.15, в котором интегральная схема дополнительно содержит цепь фазовой синхронизации, сообщающуюся с поддерживающей схемой.

20. Способ по п.15, в котором интегральная схема содержит подпитывающий насос и поддержи-

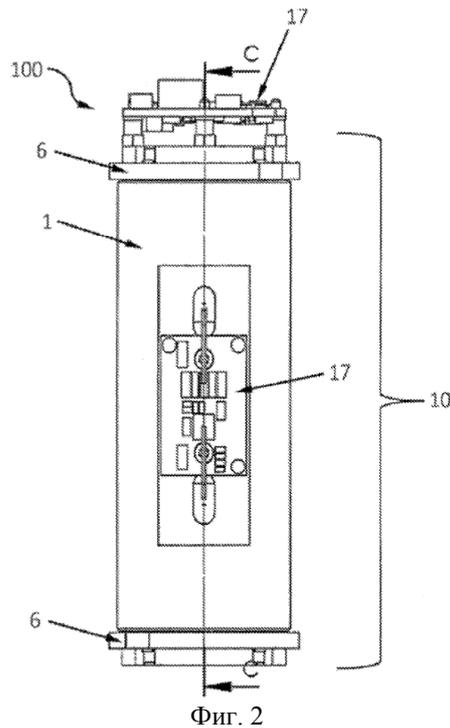
вающую схему, сообщаемую с резонатором на основе МЭМС.

21. Способ по п.20, в котором подпитывающий насос предназначен для функционирования в качестве цепи возбуждения для побуждения вибрации резонатора на основе МЭМС на первой частоте.

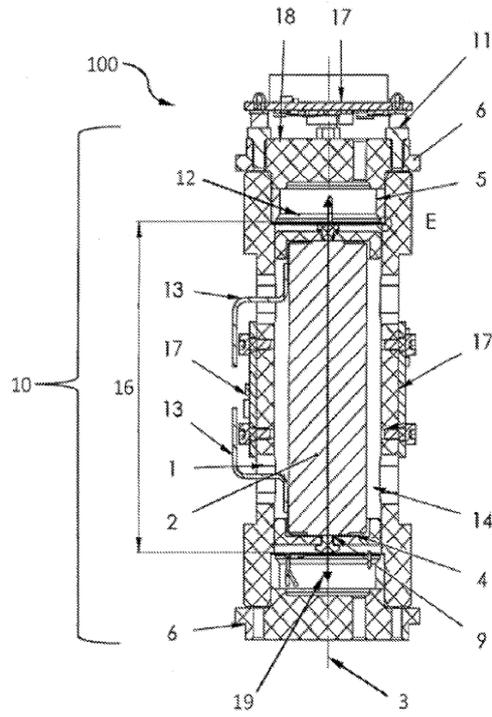
22. Способ по п.21, в котором поддерживающая схема предназначена для поддержания режима колебания, заданного резонатором на основе МЭМС.



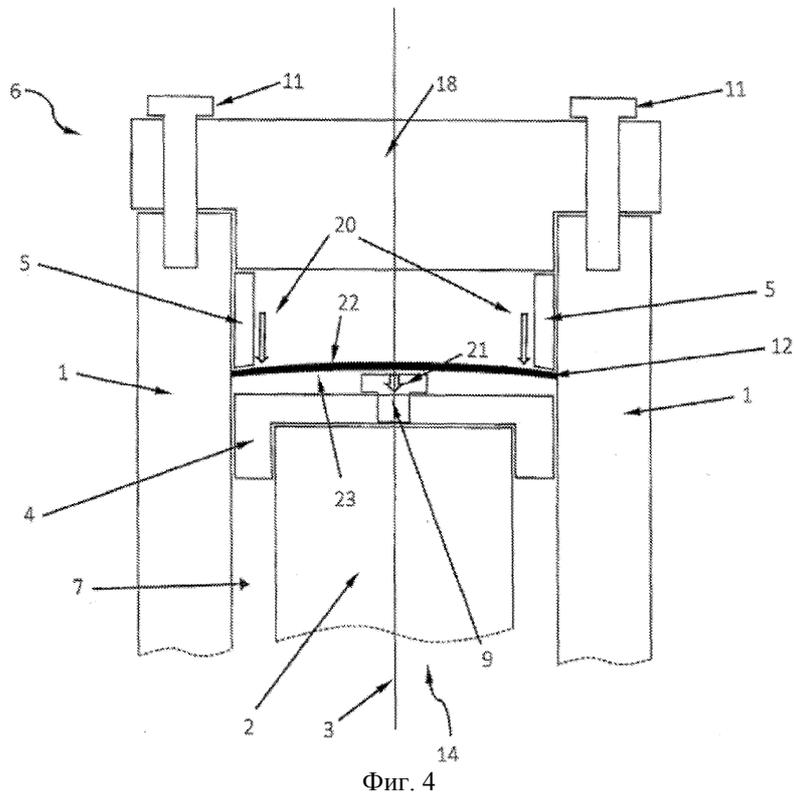
Фиг. 1



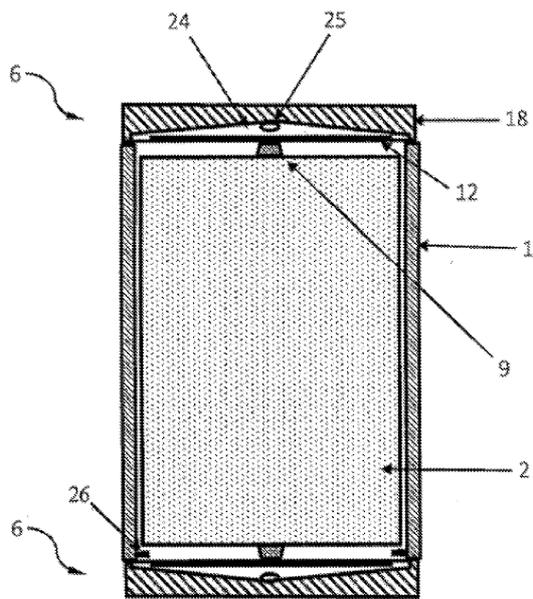
Фиг. 2



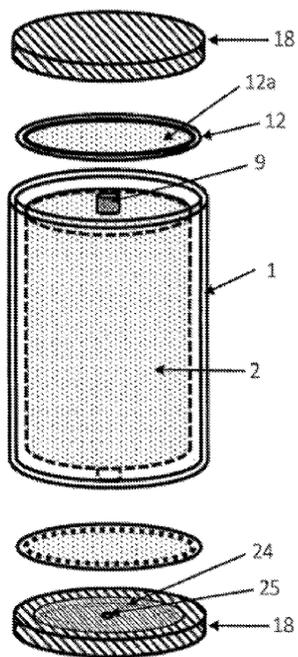
Фиг. 3



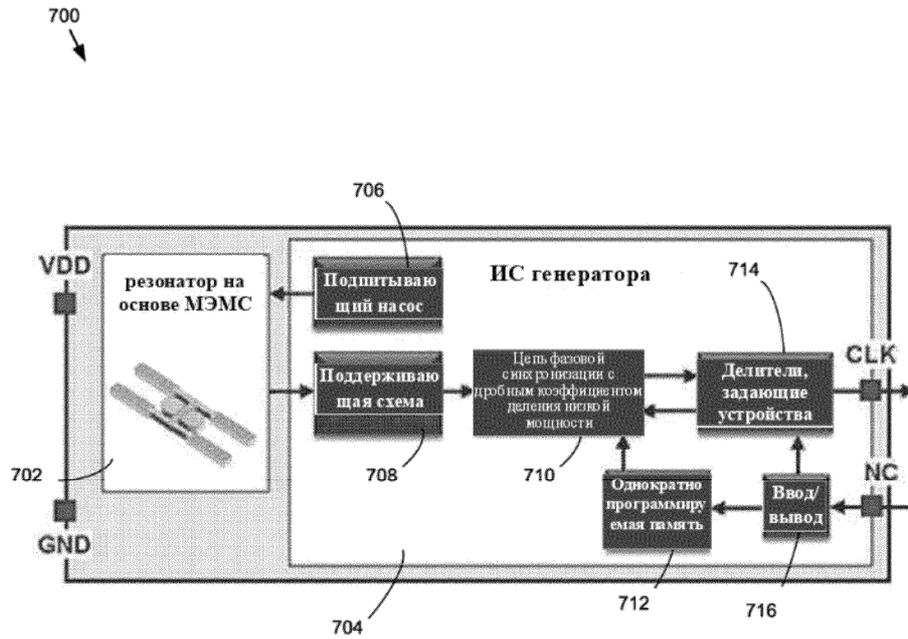
Фиг. 4



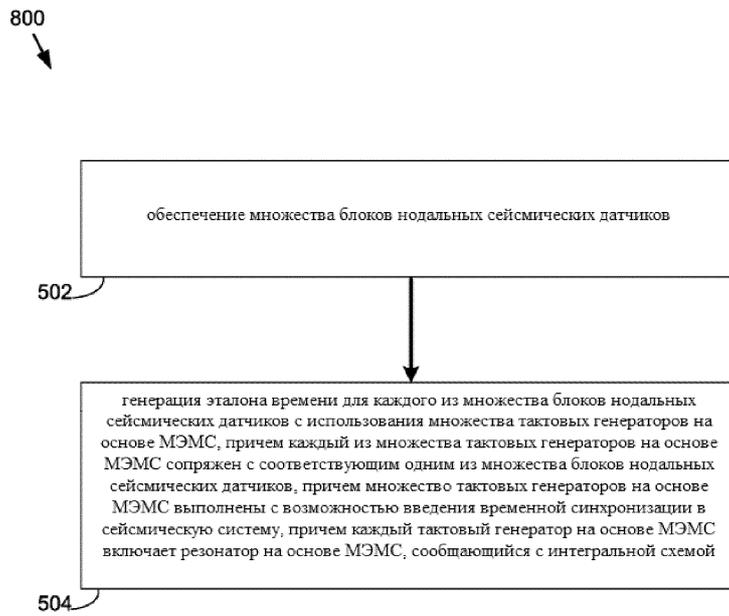
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

