

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041200**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.09.26

(51) Int. Cl. **G01V 1/16** (2006.01)
G01V 13/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201990234

(22) Дата подачи заявки
2017.07.06

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ КОРРЕКЦИИ СИГНАЛА СЕЙСМИЧЕСКОГО ДАТЧИКА

(31) **62/361,020**

(56) US-A1-2007179713
US-A1-2006042352
US-A1-2011222371
US-A1-2007297287

(32) **2016.07.12**

(33) **US**

(43) **2019.08.30**

(86) **PCT/EP2017/067022**

(87) **WO 2018/011064 2018.01.18**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БП ЕКСПЛОРЕЙШН ОПЕРЕЙТИНГ
КОМПАНИ ЛИМИТЕД (GB)**

(72) Изобретатель:
**Боуска Джон Джерард (CA), Ураба
Амин, Уай Робин Рой (GB)**

(74) Представитель:
**Веселицкий М.Б., Веселицкая И.А.,
Кузенкова Н.В., Каксис Р.А., Белоусов
Ю.В., Куликов А.В., Кузнецова Е.В.,
Соколов Р.А., Кузнецова Т.В. (RU)**

(57) В патенте описаны система и способ регистрации и обработки сейсмических данных. При осуществлении способа обработки сейсмических данных принимают посредством системы обработки сейсмических данных сигналы, представляющие сейсмические данные, записанные на удаленном пункте; принимают посредством системы обработки сейсмических данных совместно с сигналами идентификационный код сейсмического датчика, посредством которого были получены сигналы; извлекают посредством системы обработки сейсмических данных передаточную функцию датчика, соответствующую этому сейсмическому датчику и соотносящую перемещение сейсмического датчика с сигналами; генерируют посредством системы обработки сейсмических данных на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции обратный фильтр, который при его применении к сигналам изменяет параметры сигналов, приводя их в соответствие с образцовой передаточной функцией; и применяют посредством системы обработки сейсмических данных обратный фильтр к сигналам для приведения параметров сигналов в соответствие с образцовой передаточной функцией.

B1**041200****041200****B1**

Уровень техники

Сейсмическая съемка проводится с целью получения карты подземных объектов. Например, проведение сейсмических съемок позволяет определить координаты нефтяных и газовых залежей. Проводимая с поверхности земли сейсмическая разведка может использовать сотни или тысячи отдельных сейсмических датчиков, размещенных в земле или на ее поверхности в виде сетчатой структуры, занимающей площадь, измеряемую многими квадратными километрами. Заряд взрывчатого вещества, сейсмический вибратор или иной подходящий источник акустической энергии генерирует звуковые волны, распространяющиеся через подземные объекты. Звуковые волны отражаются обратно к поверхности и воспринимаются сейсмическими датчиками сети. Сигналы от датчиков накапливаются и используются для построения карты подземных объектов в зоне сейсмической съемки.

Краткое описание чертежей

В приведенном ниже подробном описании частных вариантов выполнения делаются ссылки на приложенные чертежи, на которых

на фиг. 1 представлена блок-схема способа коррекции сигнала сейсмического датчика в соответствии с раскрытыми в изобретении принципами;

на фиг. 2 представлена блок-схема блока регистрации сейсмических данных, пригодного для использования в коррекции сигнала сейсмического датчика;

на фиг. 3 представлена блок-схема устройства, пригодного для тестирования сейсмического датчика и позволяющего определить передаточную функцию сейсмического датчика;

на фиг. 4 представлена блок-схема системы регистрации сейсмических данных, включающей блоки регистрации сейсмических данных (SDAU - от англ. seismic data acquisition unit), пригодные для использования в коррекции сигнала сейсмического датчика;

на фиг. 5 представлена блок-схема извлечения первичных (необработанных) сейсмических данных и передаточной функции сейсмического датчика от блока регистрации сейсмических данных для использования при коррекции сигнала сейсмического датчика;

на фиг. 6 представлена блок-схема системы обработки для коррекции сигнала сейсмического датчика; и

на фиг. 7А-7В представлен, соответственно, спектральный состав частного примера первичных сейсмических данных, частотная характеристика обратного фильтра, используемого для коррекции сигнала датчика, и спектральный состав отфильтрованных сейсмических данных в соответствии с изложенными в раскрытии принципами.

Примечания по используемой терминологии

В приведенном ниже рассмотрении и формуле использование терминов "включающий" и "содержащий" не предусматривает ограничений, и поэтому должно восприниматься как "включающий, но не сводящийся к ...". Термин "связывать" не должен пониматься как ограничивающий взаимодействие между элементами прямым взаимодействием, и может также включать не прямое взаимодействие между описываемыми элементами. Термин "программное обеспечение" включает любой исполняемый код, который может использоваться процессором, вне зависимости от используемой для хранения этого программного обеспечения среды. При этом код, хранящийся в памяти (например, постоянной памяти) и иногда называемый "встроенной программой", охватывается термином "программное обеспечение". Предполагается, что перечисление "основанный на" подразумевает "основанный по меньшей мере отчасти на". Поэтому, если X основано на Y, то X может быть основано на Y и любом числе дополнительных факторов.

Подробное описание осуществления изобретения

Датчики, применяемые для обнаружения сейсмической энергии (например, сейсмические датчики), могут быть основаны на любой из самых разных сенсорных технологий. Например, в системах регистрации сейсмических данных для обнаружения сейсмической энергии могут быть использованы преобразователи давления, например пьезоэлектрические кристаллы, датчики скорости, например сейсмографы, и датчики ускорения, например акселерометры.

Традиционно, данные наземной сейсмической съемки преимущественно регистрировались посредством сейсмографов. Сейсмограф включает проволочную катушку, расположенную в магнитном поле, которая может быть выполнена либо в виде подвижного магнита, либо в виде подвижной катушки, причем последний вариант более предпочтителен для сейсмических исследований. В сейсмографе с подвижной катушкой, магнит прикрепляется к корпусу, который жестко закреплен на земле так, что корпус и магнит перемещаются вместе со смещением земли. Подвижная электрическая катушка помещена в магнитный зазор магнита и свободно прикреплена к корпусу сейсмографа мягкими пружинами так, что катушка может перемещаться только вдоль одной оси. Когда катушка перемещается вдоль этой оси относительно неподвижно закрепленного магнита, она последовательно пересекает линии магнитного потока и генерирует напряжение и ток на ее электрических клеммах, пропорционально скорости смещения земли. В сейсмографе с подвижной катушкой, катушка образует ускоряемую, или реактивную, массу.

Система катушка-пружина будет иметь резонансную частоту, зависящую от массы катушки и податливости пружин. На частотах много ниже резонансной частоты, катушка и магнит двигаются совме-

стно, в результате чего чувствительность мала, и выходные напряжение или ток невелики. По мере роста частоты вибраций к резонансной частоте сейсмографа и выше, чувствительность и выходной сигнал, соответственно, возрастают, достигают пикового значения и далее зависимость от частоты снижается. Обычно резонансная частота сейсмографов находится в интервале от 10 до 30 Гц, причем предпочтение отдается более низким частотам. Резонанс на низкой частоте требует высокой податливости пружин. Для этого необходимы мягкие пружины, что в свою очередь, предусматривает жесткие требования к конструкции и изготовлению датчика для обеспечения заданной чувствительности, точности, линейности и защищенности от искажений из-за смещения оси, необходимых для регистрации сейсмических сигналов. Проектные компромиссы между напряженностью поля, размером/весом магнита, геометрией катушки и податливостью пружины критичны для конструкции и изготовления сейсмографа с достаточной чувствительностью, выходным напряжением/током, линейностью и точностью при измерении как больших, так и малых вибраций поверхности.

В датчике другого типа, используемом для сейсмической съемки, для генерирования сигнала применяется электрическая емкость. Эти датчики обычно выполняются в виде микроэлектромеханических систем (МЭМС), использующих кремний, подвергнутый микрообработке, где металлическое покрытие нанесено на лицевые компоненты с обеих сторон небольшой ускоряемой массы, имеющей покрытие и подвешенной на пружинах. Преимуществом МЭМС датчиков, по сравнению с сейсмографом с подвижной катушкой, является малый размер и вес. Движение ускоряемой массы МЭМС относительно других неподвижных пластин вызывает изменение емкости, которое может восприниматься как сигнал вибрации, пропорциональный ускорению в результате смещения датчика. Пружины формируются областями тонкослойного кремния, обеспечивая небольшое линейное смещение с резонансными частотами более 1 кГц. Небольшая площадь поверхности, формирующей конденсатор, высокая резонансная частота и ограничение величины линейного смещения означают, что чувствительность будет достаточно низкой по сравнению с чувствительностью подвижной катушки сейсмографа. Для компенсации низкой чувствительности, используется специальная электроника, поддерживающая сейсмоприемник МЭМС в состоянии обратной связи по усилию. Эта дополнительная электронная схема занимает место и потребляет энергию, что отчасти нивелирует преимущества МЭМС в отношении размеров и веса по сравнению с сейсмографом с пассивной подвижной катушкой.

Сейсмограф и МЭМС акселерометр преобразуют колебательное смещение земли, вызванное распространением сейсмических волн, в пропорциональное напряжение сигнала, который может быть зарегистрировано в функции времени. Колебательное смещение земли вызывает движение корпуса сейсмографа или МЭМС, который прикреплен к земле, синхронно с амплитудой распространяющейся сейсмической волны в данной точке пространства. Благодаря своей инерционности, ускоряемая масса катушки сейсмографа или кремниевой микроэлектромеханической системы остается относительно неподвижной, в результате чего корпус смещается относительно катушки, или ускоряемой массы. Это относительное перемещение корпуса и катушки, или ускоряемой массы, преобразуется в пропорциональное колебание напряжения, позволяя зарегистрировать сейсмическую волну. Для обеспечения эффективной работы устройства, его чувствительность должна быть достаточной для получения неискаженного отклика на мельчайшие смещения земли. Для этого требуется сильный, тяжелый магнит и дорогая навитая катушка в случае датчиков сейсмографа, или дорогие прецизионные компоненты, подвергнутые микромашиной обработке, и потребляющая энергию электроника в случае МЭМС акселерометров. Дорогие чувствительные элементы обеспечивают высокое качество получаемых данных, но, к сожалению, увеличивают общую стоимость получения сейсмических данных.

Для снижения стоимости и веса оборудования для получения сейсмических данных были предложены сейсмические датчики, использующие пьезоэлектрические элементы. В то время как пьезоэлектрические преобразователи давления широко использовались в разведке морского шельфа, датчики, основанные на пьезоэлектрических элементах, обычно считались неподходящими для наземной разведки, поскольку их точность предполагалась недостаточной.

Варианты осуществления раскрытых здесь систем и способов снижают общую стоимость получения сейсмических данных за счет снижения стоимости соответствующего оборудования. Как отмечалось выше, разработка и испытание обычных сейсмических датчиков обеспечивают поддержание высокой точности и стабильной работы, и, в результате, требуют относительно дорогих компонентов, значительно увеличивающих общие затраты на получение сейсмических данных. Варианты выполнения настоящего изобретения позволяют применить для получения сейсмических данных менее дорогие компоненты, что снижает общую стоимость. Рабочие характеристики сейсмических датчиков, применяемых в системах и способах, описанных в настоящем раскрытии, могут быть менее точными и/или стабильными, чем характеристики обычных сейсмических датчиков. Соответственно, сейсмические датчики, используемые в раскрытых здесь системах и способах, могут быть менее дорогими, чем обычные сейсмические датчики, поскольку параметры конструкции и/или их испытания могут быть менее жесткими. В вариантах осуществления выполняется компенсация использования менее точных/стабильных сейсмических датчиков путем индивидуальной коррекции сейсмических данных, получаемых каждым датчиком, посредством обратного фильтра, специфичного для датчика, чем компенсируются отличия в рабочих характе-

ристиках по многим сейсмическим датчикам, применяемым в сейсмической съемке.

На фиг. 1 представлена блок-схема осуществления способа 100 коррекции чувствительности сейсмического датчика, в соответствии с изложенными в настоящем раскрытии принципами. Приведенная последовательность шагов выбрана для удобства и по меньшей мере некоторые из показанных действий могут быть выполнены в другом порядке или выполнены параллельно. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления могут выполняться только некоторые из показанных действий. В некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере некоторые из операций способа 100, а также другие описанные здесь операции, могут быть выполнены в виде команд, хранящихся в машиночитаемой памяти и исполняемых одним или более процессорами.

На шаге, обозначенном элементом 102 блок-схемы, выполняется изготовление сейсмического датчика. Сейсмическим датчиком может быть сейсмограф, МЭМС акселерометр, пьезоэлектрический датчик или датчик любого другого типа, пригодный для использования для получения сейсмических данных. Требования к эксплуатационным характеристикам сейсмического датчика могут быть относительно нестрогими по сравнению с обычными сейсмическими датчиками. Например, единообразие частотной, амплитудной и/или фазовой характеристик между датчиками может быть не столь высоким, как у обычных датчиков. В некоторых вариантах осуществления, сейсмический датчик может быть встроен в блок регистрации сейсмических данных, включающий сейсмический датчик и электронную схему для обработки и/или хранения сейсмических сигналов, обнаруженных сейсмическим датчиком. В других вариантах осуществления, сейсмический датчик может не входить в состав блока регистрации сейсмических данных, а может иметь возможность подсоединения к отдельному блоку регистрации сейсмических данных.

На шаге 104 выполняется тестирование сейсмического датчика, и по результатам тестирования определяется его передаточная функция. Например, сейсмический датчик может быть закреплен на генераторе вибраций или ударов, например, вибростенде, который обеспечивает перемещение сейсмического датчика в соответствии с заданным законом колебания. Выбор формы колебания может обеспечивать перемещение сейсмического датчика так, чтобы генерируемые сейсмическим датчиком сигналы в ответ на это перемещение могли быть использованы для определения чувствительности сейсмического датчика по диапазону частот. Соответственно, колебание может иметь изменение частоты в заданном частотном диапазоне (например, 10-200 Гц), линейную частотную модуляцию в заданном интервале частот, импульс или колебание любой другой формы, позволяющее определить чувствительность сейсмического датчика в интервале частот по отклику датчиков на перемещение, соответствующее форме колебания. Чувствительность (например, амплитудная и/или фазовая чувствительность) сейсмического датчика в зависимости от частоты в данном описании называют "передаточной функцией" сейсмического датчика. Другими словами, передаточная функция сейсмического датчика устанавливает соотношение между перемещением сейсмического датчика и генерируемым этим датчиком сигналом в ответ на это перемещение. Сигналы, генерируемые сейсмическим датчиком в ответ на перемещение генератора вибраций, являются сигналами во временной области, а получение передаточной функции сейсмического датчика может включать преобразование сигналов временной области в сигналы частотной области, которые определяют амплитуду и/или фазу сигналов, генерируемых сейсмическими датчиками на каждой частоте в заданном частотном интервале.

В некоторых вариантах осуществления тестирование сейсмического датчика может также включать определение перемещения устройства формирования ударов или импульсов посредством эталонного датчика, прикрепленного к этому устройству. Эталонный датчик может обладать известной точностью, и можно считать, что выходной сигнал эталонного датчика точно представляет перемещение сейсмического датчика в ходе тестирования и образует базисное значение для сравнения с сигналами, генерируемыми сейсмическим датчиком.

На шаге 106 сохраняется передаточная функция сейсмического датчика для доступа к ней и использования при коррекции сейсмических данных, полученных датчиком. Передаточная функция может храниться в ПЗУ, включенном в блок регистрации сейсмических данных, в состав которого входит сейсмический датчик. Передаточная функция может также храниться в базе данных или вторичном запоминающем устройстве, доступном для системы обработки сейсмических данных, которая после использования сейсмического датчика в сейсмической разведке, будет обрабатывать сигналы сейсмических данных, генерируемых сейсмическим датчиком в ходе съемки.

На шаге 108, после того как сейсмический датчик был протестирован и его передаточная функция записана, сейсмический датчик перевозят в район проведения съемки для использования в сейсмической разведке.

На шаге 110 сейсмический датчик находится в районе проведения исследований и готов для использования в получении сейсмических данных. Сейсмический датчик может быть подвергнут повторному тестированию при полевых испытаниях (на месте установки) для подтверждения того, что передаточная функция датчика не изменилась после производственных испытаний. Соответственно, сервисная площадка, где осуществляется подготовка и обслуживание сейсмических датчиков (например, ремонт, тестирование и др.) при их использовании в сейсмической съемке, может включать генератор вибраций и

ударов, подходящий для тестирования сейсмического датчика, как это в общем было описано в отношении шага 104. Например, рама или крепежное приспособление, в котором размещается или закрепляется несколько блоков регистрации сейсмических данных (каждый из которых имеет сейсмический датчик) может включать генератор вибраций или ударов, пригодный для тестирования сейсмического датчика. В некоторых вариантах осуществления, каждый блок регистрации сейсмических данных может включать электронные схемы, позволяющие испытывать сейсмический датчик посредством придания ему перемещения от внешнего источника. Например, схемы тестирования в блоке регистрации сейсмических данных могут генерировать электрический сигнал (например, линейно изменяющийся, импульсный, ступенчатую функцию и т.п.), который воздействует на сейсмический датчик (например, катушку сейсмографа), и выполняется регистрация перемещения датчика в ответ на этот сигнал и обработка для определения передаточной функции сейсмического датчика.

На шаге 112 передаточная функция, определенная в месте проведения исследования, может быть сохранена как контрольная информация для последующих проверок. Например, передаточная функция может храниться в ПЗУ, имеющемся в блоке регистрации сейсмических данных, включающем сейсмический датчик, в дополнение или вместо передаточной функции сейсмического датчика, полученной при производственных испытаниях.

Передаточная функция может также храниться в базе данных или вторичном запоминающем устройстве, доступном для системы обработки сейсмических данных, которая, после использования сейсмического датчика в сейсмической съемке, выполняет обработку сигналов сейсмических данных, генерируемых сейсмическим датчиком в ходе съемки.

В некоторых вариантах осуществления передаточная функция, полученная в условиях проведения съемочных работ, может быть сопоставлена с передаточной функцией, полученной при производственных испытаниях. Если сравнение показывает, что передаточная функция изменилась больше допустимого, сейсмический датчик может быть отмечен для последующего тестирования или ремонта.

На шаге 114 сейсмический датчик монтируется для получения сейсмических данных. Сейсмический датчик воспринимает движение поверхности земли и генерирует сигналы, характеризующие обнаруженное перемещение поверхности земли, (т.е., генерирует сейсмические данные/сейсмические сигналы). Блок регистрации сейсмических данных, связанный с сейсмическим датчиком, выполняет предварительную обработку и сохранение сейсмических данных (т.е., первичных сейсмических данных). В некоторых вариантах осуществления блок регистрации сейсмических данных может передавать сейсмические данные в другой компонент системы регистрации данных для дальнейшей обработки и/или хранения. В некоторых вариантах осуществления блок регистрации сейсмических данных сохраняет сейсмические данные во внутренней памяти для их извлечения в дальнейшем (например, после выведения из эксплуатации блока регистрации сейсмических данных).

На шаге 116 сейсмические данные, полученные на шаге 114 и хранящиеся в блоке регистрации сейсмических данных, извлекаются, считываются или принимаются из этого блока. Извлечение может осуществляться через проводную или беспроводную линию связи с блоком регистрации сейсмических данных после того, как этот блок был перемещен из места проведения съемки на сервисную площадку, либо когда блок регистрации сейсмических данных находится на месте проведения съемок.

На шаге 118 в случае, если передаточная функция сейсмического датчика хранится в блоке регистрации сейсмических данных, передаточная функция извлекается, считывается или принимается из этого блока. Передаточная функция может включать передаточную функцию, сохраненную в блоке регистрации сейсмических данных при производственных испытаниях, и/или передаточную функцию, сохраненную в блоке регистрации сейсмических данных при тестировании на месте проведения съемок.

В некоторых вариантах осуществления на шаге 118 из блока регистрации сейсмических данных могут извлекаться, считываться или приниматься дополнительные данные. Например, в некоторых вариантах осуществления, на шаге 118 из блока регистрации сейсмических данных может быть извлечена хранящаяся там образцовая передаточная функция. Образцовая передаточная функция может представлять собой передаточную функцию идеального сейсмического датчика, передаточную функцию типичного сейсмического датчика, либо другую передаточную функцию к которой сейсмические данные, извлеченные из блока регистрации сейсмических данных, должны быть приведены в соответствие в процессе обработки.

На шаге 120 первичные сейсмические данные и опционально передаточная функция(-и), считанные из блока регистрации сейсмических данных, форматируются для перенесения или передачи в центр обработки сейсмических данных. Например, идентификационный код сейсмического датчика, которым были получены первичные сейсмические данные, и передаточная функция этого сейсмического датчика могут быть записаны в качестве данных заголовка, связанных с первичными сейсмическими данными. Идентификационный код сейсмического датчика может включать заводской номер, номер модели, идентификационный код изготовителя и/или другую информацию, однозначно идентифицирующую сейсмический датчик.

На шаге 122 отформатированные первичные сейсмические данные передаются в центр обработки сейсмических данных с использованием алгоритмов обработки сейсмических данных. Первичные дан-

ные могут быть записаны на магнитной ленте, оптических средах регистрации или другой среде, предназначенной для физического переноса данных в центр обработки. В альтернативном варианте первичные сейсмические данные могут быть переданы в центр обработки сейсмических данных путем передачи по общественной и/или частной проводной и/или беспроводной сети. Центр обработки сейсмических данных может быть расположен не там, где проводится сейсмическая съемка, а в другом месте. Например, центр обработки сейсмических данных может располагаться на расстоянии многих километров от места проведения сейсмической съемки и оборудования регистрации сейсмических данных. При этом центр обработки сейсмических данных и система обработки сейсмических данных центра обработки сейсмических данных, отделенного и удаленного от системы регистрации сейсмических данных и удаленного от места проведения сейсмической съемки, могут быть названы "удаленным центром обработки сейсмических данных" и "удаленной системой обработки сейсмических данных".

На шаге 124 осуществляется доступ к первичным сейсмическим данным, генерируемым сейсмическим датчиком в процессе сейсмической съемки, и преобразование их (манипулирование) системой обработки сейсмических данных. Для каждой сейсмограммы первичных сейсмических данных система обработки сейсмических данных идентифицирует сейсмический датчик, который генерировал эту сейсмограмму. В некоторых вариантах осуществления система обработки сейсмических данных может выполнять интерпретацию заголовка, ассоциированного с сейсмограммой первичных сейсмических данных, для извлечения идентификационного кода датчика. В альтернативном случае информация, соотносящая первичные сейсмические данные с сейсмическим датчиком, генерировавшим эти данные, может быть предоставлена в центр обработки в другой форме, например в виде таблицы, содержащей информацию, привязывающую идентификацию датчика к идентификации сейсмограммы.

На шаге 126 система обработки сейсмических данных, идентифицировав конкретный сейсмический датчик, который генерировал сейсмограмму первичных данных, находящихся в обработке, извлекает передаточную функцию этого сейсмического датчика. Система обработки сейсмических данных может обратиться в базу данных или другую вторичную систему хранения, содержащую передаточные функции любого числа различных сейсмических данных, классифицированных для доступа на основании идентификационной информации сейсмических датчиков. В некоторых вариантах осуществления система обработки сейсмических данных может извлечь передаточную функцию из заголовка, ассоциированного с сейсмограммой первичных данных, либо с другой структурой данных, включающей первичные сейсмические данные, ассоциированные с передаточной функцией и сейсмическим датчиком.

В некоторых случаях может быть несколько передаточных функций для сейсмического датчика. Например, это может быть передаточная функция, созданная при производственном тестировании, и передаточная функция, созданная в процессе испытаний на месте установки для проведения съемки. Система обработки сейсмических данных может выбрать одну или более передаточных функций для использования при обработке первичных сейсмических данных. Например, система обработки сейсмических данных может выбрать самую последнюю из полученных передаточных функций, либо может выбрать любую из передаточных функций, считающуюся наиболее точной.

На шаге 128 система обработки сейсмических данных генерирует образцовую передаточную функцию для сейсмического датчика. Образцовой передаточной функцией может быть эталонная передаточная функция сейсмического датчика, предоставляемая изготовителем сейсмического датчика. Например, эталонная передаточная функция может быть получена по перемещению генератора вибраций или удара, используемого для тестирования сейсмического датчика, измеренного преобразователем перемещения известной точности, в процессе тестирования сейсмического датчика. В некоторых вариантах осуществления образцовая передаточная функция может быть вычислена как усредненная передаточная функция некоторого числа сейсмических датчиков. Например, производитель сейсмического датчика может генерировать образцовую передаточную функцию как среднее передаточных функций множества датчиков (например, всех датчиков, изготовленных за определенный интервал времени), изготовленных производителем.

В некоторых вариантах осуществления система обработки сейсмических данных может вырабатывать образцовую передаточную функцию на основе передаточных функций сейсмических датчиков, использованных при сейсмической съемке, в которой были генерированы первичные сейсмограммы. Например, образцовая передаточная функция может быть сгенерирована как среднее передаточных функций сейсмических датчиков, использованных в сейсмической съемке в пределах заранее заданной географической близости к сейсмическому датчику, выдавшему первичную сейсмограмму. В альтернативном варианте система обработки сейсмических данных может генерировать образцовую передаточную функцию, основанную на другом выбранном комплекте сейсмических датчиков. Например, система обработки сейсмических данных может генерировать образцовую передаточную функцию как среднее передаточных функций всех сейсмических датчиков, использованных в сейсмической съемке, при которой была получена первичная сейсмограмма.

На шаге 130 система обработки сейсмических данных генерирует обратный фильтр, предназначенный для применения к первичной сейсмограмме. Обратный фильтр основан на передаточной функции сейсмического датчика, получившего первичную сейсмограмму, и образцовой передаточной функции.

Обратный фильтр позволяет согласовать передаточную функцию сейсмического датчика с образцовой передаточной функцией. При его приложении к первичной сейсмограмме, обратный фильтр корректирует спектральные параметры первичной спектрограммы так, что спектральные параметры сейсмограммы после фильтрации обратным фильтром в основном соответствуют образцовой передаточной функции.

На шаге 132 система обработки сейсмических данных применяет обратный фильтр к первичной сейсмограмме для приведения спектральных параметров первичной сейсмограммы к образцовой передаточной функции. Применение обратного фильтра может включать операцию свертки первичной сейсмограммы и обратного фильтра. Система обработки сейсмических данных может выполнять обработку каждой первичной сейсмограммы, как это описано выше на шагах 124-132, для получения сейсмограмм данных, согласованных с требуемой передаточной функцией сейсмического датчика, в то время как фактические передаточные функции сейсмических датчиков могут сильно отличаться. После того, как первичные сейсмограммы были откорректированы внесением изменений чувствительности датчика, система обработки сейсмических данных может применить дополнительную обработку к сейсмограммам для получения изображения геологической среды, соответствующей сейсмической съемке. Например, для преобразования сейсмических данных, подвергнутых обратной фильтрации, в изображение геологической среды могут быть применены автоматическое управление усилением, шумоподавление, фильтрация, кинематическая поправка, скоростной анализ, миграция и другие операции обработки.

На фиг. 2 представлена блок-схема блока 200 блока регистрации сейсмических данных, предназначенного для использования в коррекции чувствительности сейсмического датчика, в соответствии с раскрытым здесь изобретением. Блок 200 регистрации сейсмических данных включает сейсмический датчик 202, схему 204 формирования сигнала, схему 206 синхронизации и управления, схему 208 запоминания сигнала, схему 210 запоминания передаточной функции и интерфейс 212 связи. Для ясности изложения, блок 200 регистрации сейсмических данных может включать дополнительные компоненты, которые были опущены на фиг. 2. Например, блок 200 регистрации сейсмических данных может включать батареи, схемы питания и др.

Сейсмическим датчиком 202 может быть сейсмограф, акселерометр, пьезоэлектрический датчик или другой датчик, пригодный для использования в регистрации сейсмических данных (например, любой датчик, который может обнаруживать смещение земли). В некоторых вариантах осуществления блока 200 регистрации сейсмических данных, сейсмический датчик 202 может размещаться внутри того же корпуса, что и схема 204 формирования сигнала, схема 206 синхронизации и управления, схема 208 запоминания сигнала и другие компоненты блока 200 регистрации сейсмических данных. В альтернативном варианте, сейсмический датчик 202 может размещаться снаружи блока 200 регистрации сейсмических данных и соединяться с блоком 200 регистрации сейсмических данных через интерфейс связи (например, электрическое или иное соединение, осуществляемое посредством соединителя или порта блока 200 регистрации сейсмических данных).

Схема 204 формирования сигнала может включать усилитель, фильтр, аналогово-цифровой преобразователь или иные схемы, формирующие выходной сигнал сейсмического датчика 202. В некоторых вариантах осуществления схема 204 формирования сигнала может включать схему тестирования для подачи тестового воздействия/сигнала на сейсмический датчик 202. Такая схема тестирования может включать импульсный генератор, генератор колебаний, генератор меняющейся частоты и др. для создания сигналов, используемых для возбуждения сейсмического датчика 202 с целью проверки передаточной функции сейсмического датчика.

Схема 206 синхронизации и управления включает схему синхронизации, управляющую синхронизацией работы блока 200 регистрации сейсмических данных. Например, схема 206 синхронизации и управления может включать схему, управляющую синхронизацией выборки и оцифровки выходных сигналов сейсмического датчика 202. Функции управления могут осуществляться специальной схемой управления, например машиной состояний, либо микроконтроллером или иным программируемым управляющим элементом, выполняющим команды. Функции управления могут включать задание параметров схемы 204 формирования сигнала, управление доступом к устройствам памяти 208, 219 и управление связью с внешними устройствами через интерфейс 212 связи.

Устройство 208 запоминания сигнала может включать энергозависимые и/или энергонезависимые запоминающие устройства, в которых хранятся сейсмические данные, поступающие с выхода сейсмического датчика 202. Например, полученные сейсмические данные могут храниться в флеш-памяти или другой энергонезависимой памяти (ПЗУ) до извлечения сейсмических данных, например, после того, как блок 200 регистрации сейсмических данных был выведен из эксплуатации и перенесен на сервисную площадку для зарядки и/или другого обслуживания.

Устройство 210 хранения передаточной функции может включать ПЗУ, хранящее одну или более передаточную функцию сейсмического датчика 202. Например, флеш-память или ПЗУ другого типа может хранить передаточные функции сейсмического датчика 202, генерированные при изготовлении датчика или при испытаниях на месте установки. Передаточная функция может считываться из устройства хранения передаточной функции параллельно с извлечением сейсмических данных из устройства 208 запоминания сигнала. Устройство 208 запоминания сигнала и устройство 210 хранения передаточной

функции могут находиться в одном ЗУ или разных ЗУ. Например, в некоторых вариантах осуществления, первая часть данного ЗУ может быть выделена для использования в качестве устройства 208 запоминания сигнала, а вторая часть данного ЗУ может быть выделена для использования в качестве устройства 210 хранения передаточной функции.

Интерфейс 212 связи обеспечивает связь блока 200 регистрации сейсмических данных с другими устройствами посредством проводных или беспроводных средств. Например, интерфейс связи может включать электрический соединитель для связного соединения блока 200 регистрации сейсмических данных с проводной сетью связи или другим устройством, либо может включать антенну или устройство оптической связи для связного соединения блока 200 регистрации сейсмических данных с беспроводной сетью связи. Интерфейс 212 связи также может включать приемопередатчик для обеспечения передачи и приема в линии связи, модулятор, демодулятор, кодирующее и декодирующее устройства и другие схемы, обеспечивающие связь между блоком 200 регистрации сейсмических данных и другими устройствами. Через интерфейс 212 связи блок 200 регистрации сейсмических данных может выполнять загрузку сейсмических данных, хранящихся в устройстве 208 запоминания сигнала, загрузку передаточной функции, хранящейся в устройстве 210 хранения передаточной функции, загрузку передаточной функции, которая должна сохраняться в устройстве 210 хранения передаточной функции, загрузку команд и параметров, используемых для управления и конфигурирования блока 200 регистрации сейсмических данных, и/или загрузку информации состояния, генерируемой блоком 200 регистрации сейсмических данных.

На фиг. 3 представлена блок-схема устройства 300, предназначенного для тестирования сейсмического датчика 202 для определения передаточной функции сейсмического датчика 202, в соответствии с раскрытыми принципами изобретения. Устройство 300 может быть использовано для тестирования датчика 202 и получения передаточной функции сейсмического датчика 202 согласно шагу 104 блок-схемы на фиг. 1. Устройство 300 включает генератор 302 вибраций, схему 304 измерения вибраций и управления, логическое устройство 306 определения передаточной функции датчика и базу 308 данных передаточных функций датчика. Генератор 302 вибраций может представлять собой вибростенд или другое устройство, создающее управляемое перемещение. Сейсмический датчик 202 может быть прикреплен к вибростенду 302. На фиг. 3 сейсмический датчик 202 находится внутри блока 200 регистрации сейсмических данных. Соответственно, блок 200 регистрации сейсмических данных прикрепляется к вибростенду 302. В таких условиях тестирования, полученная в результате передаточная функция может быть подвержена влиянию параметров или особенностей схем блока 200 регистрации сейсмических данных (например, механического демпфирования, влияния схем 204 формирования сигнала и др.).

Схема 304 измерения вибраций и управления включает схемы, управляющие перемещением генератора 302 вибраций в соответствии с заданной формой колебания (например, импульс или перестройка частоты), воздействующим на сейсмический датчик 202. Схема 304 измерения вибраций и управления также может включать схемы, измеряющие и регистрирующие перемещение генератора вибраций с заданной точностью. Например, схема 304 измерения вибраций и управления может включать акселерометр, обладающий известной точностью, установленный на генераторе 302 вибраций, и схемы для обработки и хранения выходного сигнала акселерометра.

Логическое устройство 306 определения передаточной функции датчика принимает сигналы, определяющие перемещение генератора вибраций, вырабатываемые сейсмическим датчиком 202, и обрабатывают эти сигналы для определения передаточной функции сейсмического датчика 202. Логическое устройство 306 определения передаточной функции датчика может передавать передаточную функцию в блок 200 регистрации сейсмических данных для хранения в устройстве 210 хранения передаточной функции, и может передавать передаточную функцию в базу 308 данных передаточных функций датчика для сохранения.

База 308 данных передаточных функций датчика принимает передаточную функцию и идентификационный код сейсмического датчика 202 и/или блока 200 регистрации сейсмических данных из логического устройства 306 определения передаточной функции датчика и сохраняет передаточную функцию для ее извлечения на основании идентификации сейсмического датчика 202 и/или блока 200 регистрации сейсмических данных. База 308 данных передаточных функций датчика может включать реляционную базу данных, объектно-ориентированную базу данных или иное устройство хранения данных, обеспечивающее доступ к данным и их извлечение. Доступом в базу 308 данных передаточных функций датчика может обладать система обработки сейсмических данных для извлечения передаточной функции сейсмического датчика 202.

Логическое устройство 306 определения передаточной функции датчика и база 308 данных передаточных функций датчика могут быть реализованы в компьютере, выполняющем команды для получения передаточной функции из данных, принимаемых из блока 200 регистрации сейсмических данных, и для хранения и обеспечения доступа к передаточной функции на основе идентификации сейсмического датчика 202 и/или блока 200 регистрации сейсмических данных.

На фиг. 4 представлена блок-схема системы 400 регистрации сейсмических данных, включающей блоки 200 регистрации сейсмических данных (SDAU), пригодные для использования для коррекции чув-

ствительности сейсмического датчика, в соответствии с изложенным здесь изобретением. Для ясности изложения, на фиг. 4 показана только одна граница 406 раздела геологической среды. В реальности, в геологической среде может существовать множество границ раздела, вызванных изменениями акустической жесткости материала. Изменения акустической жесткости могут быть вызваны изменениями типа скальной породы, вызывающими изменения ее акустической жесткости.

Источник 402 сейсмических сигналов расположен на поверхности 404 земли. Источник 402 сейсмических сигналов создает управляемые сейсмические волны для распространения через геологическую среду. Примером источников сейсмических сигналов могут служить взрывы, автопередвижные вибро-сейсмические установки и системы с падающим грузом, также известные как автопередвижные ударно-сейсмические установки. Например, ударно-сейсмическая установка может ударять поверхность 404 земли грузом или "молотом", создавая ударное воздействие, распространяющееся через геологическую среду в виде сейсмических волн 410. Сейсмические волны распространяются вниз через геологическую среду от источника 402 сейсмических сигналов. Затем сейсмические волны отражаются, по меньшей мере частично, от границы 406 раздела. Отражение вызывается перепадом плотности и/или скорости упругой волны между материалами выше и ниже границы 406 раздела. Далее отраженные сейсмические волны 412 распространяются вверх от границы 406 раздела к поверхности 404. На поверхности 404 отраженные сейсмические волны 412 воспринимаются сейсмическими датчиками 202, связанными с блоками 200 регистрации сейсмических данных. Блоки 200 регистрации сейсмических данных сохраняют в устройстве 208 запоминания сигнала и/или передают в отдельное запоминающее устройство данные, характеризующие принятую сейсмическую волну. Эти данные затем могут быть скорректированы с использованием передаточной функции сейсмического датчика 202 для определения состава и структуры геологической среды.

Следует понимать, что выше приведен только частный пример, и геологическая среда может иметь более сложную структуру или состав. В результате картина отражения волн может быть значительно более сложной, чем показано на схеме. Например, часть распространяющейся вниз сейсмической волны 410 может не отразиться от границы 406 раздела и продолжать движение через эту границу. Эта волна может впоследствии отразиться от лежащей ниже границы раздела, в результате чего любым данным сейсмическим датчиком может быть принято много отражений. Описанный выше принцип не ограничен только приемом сейсмических сигналов на поверхности и может быть применен для морской сейсмической разведки. В этом случае граница 406 раздела закрыта слоем воды. Блок 200 регистрации сейсмических данных может располагаться на морском дне или, в альтернативном случае, в воде или на ее поверхности. Для морской сейсмической съемки могут использоваться другие источники 402 сейсмических сигналов, например, воздушные пушки или источники для плазменного зондирования.

На фиг. 5 представлена блок-схема извлечения первичных сейсмических данных и передаточной функции датчика из блока 200 регистрации сейсмических данных для использования при коррекции чувствительности сейсмического датчика, в соответствии с раскрытыми в настоящем изобретении принципами. На фиг. 5, с блоком 200 регистрации сейсмических данных соединен средствами связи (например, посредством интерфейса 212 связи) узел 502 извлечения. Узел 502 извлечения может располагаться на сервисной площадке вблизи района проведения сейсмической съемки с применением блока 200 регистрации сейсмических данных. После регистрации сейсмических данных с использованием блока 200 регистрации сейсмических данных, как это описано со ссылкой на фиг. 4, блок 200 регистрации сейсмических данных может быть перенесен на сервисную площадку и соединен с узлом 502 извлечения средствами связи. Узел 502 извлечения извлекает первичные сейсмические данные и передаточную функцию датчика из блока 200 регистрации сейсмических данных с использованием проводной и/или беспроводной линии связи. Узел 502 извлечения может выполнить форматирование первичных сейсмических данных для использования системой регистрации сейсмических данных. Например, узел 502 извлечения может прикрепить заголовок к каждой сейсмограмме первичных сейсмических данных. Заголовок может включать, например, географическое положение датчика 202 и источника 402 в процессе регистрации сейсмограммы, идентификационный код датчика 202 и/или блока 200 регистрации сейсмических данных, передаточную функцию датчика 202 и другую информацию, необходимую для обработки сейсмограммы первичных сейсмических данных.

Узел 502 извлечения может быть реализован в компьютере, который исполняет команды на извлечение первичных сейсмических данных и передаточной функции датчика из блока 200 регистрации сейсмических данных и на форматирование первичных сейсмических данных и передаточной функции датчика для использования в системе обработки сейсмических данных.

На фиг. 6 представлена блок-схема системы 600 обработки сейсмических данных, обеспечивающая коррекцию чувствительности сейсмического датчика, в соответствии с раскрытым здесь изобретением. Система 600 обработки включает процессор 602, запоминающее устройство 604 и базу 308 данных передаточных функций датчика. Конфигурация процессора 602 обеспечивает исполнение команд, извлеченных из ЗУ 604. Процессор 602 может включать любое число ядер или подпроцессоров. Пригодные для использования процессоры включают, например, процессоры общего назначения, цифровые сигнальные процессоры и микроконтроллеры. Архитектура процессора обычно включает функциональные модули

(например, с фиксированной запятой, плавающей запятой, целочисленной переменной и т.д.), запоминающее устройство (например, регистры, память и т.д.), декодирование команд, периферийные модули (например, контроллеры прерываний, таймеры, контроллеры прямого доступа к памяти и т.д.), системы ввода/вывода (например, последовательные порты, параллельные порты и т.д.) и другие различные компоненты и подсистемы.

Разработанное программное обеспечение, включающее команды, исполняемые процессором 602, хранятся в запоминающем устройстве 604. ЗУ 604 является энергонезависимый машиночитаемый носитель. Машиночитаемый запоминающий носитель может включать энергозависимое ЗУ, например, память с произвольным доступом (ОЗУ), энергонезависимое ЗУ (например, постоянная память (ROM), программируемая постоянная память (PROM), накопитель на жестком диске, оптические ЗУ (например, CD или DVD), флеш-память) или их комбинации.

ЗУ 604 содержит команды 606 определения передаточной функции датчика, команды 608 определения образцовой передаточной функции, команды 610 извлечения обратного фильтра, и команды 612 обратной фильтрации. ЗУ 604 также может содержать сейсмограммы 614 первичных сейсмических данных, и сейсмограммы 616 сейсмических данных после обратной фильтрации, и дополнительные команды преобразования сейсмограмм 616 сейсмических данных после обратной фильтрации в изображение геологической среды. Команды 606 определения передаточной функции датчика исполняются процессором 602 для извлечения переходной функции сейсмического датчика 202, который генерирует первичную сейсмограмму, подлежащую обработке. Для извлечения передаточной функции, процессор 602 идентифицирует сейсмический датчик, генерировавший первичную сейсмограмму. В некоторых вариантах осуществления, для извлечения идентификации датчика процессор 602 может проанализировать заголовок, ассоциированный с первичной сейсмограммой. В альтернативном варианте, процессор 602 может обратиться к информации, связывающей первичные сейсмические данные с сейсмическим датчиком, генерировавшим данные, направленные в процессор 602 в иной форме, например, в виде таблицы, содержащей информацию, привязывающую идентификацию датчика к идентификации сейсмограммы.

После того, как был идентифицирован некоторый сейсмический датчик, который генерировал сейсмограмму первичных сейсмических данных, находящихся в обработке, процессор 602 извлекает передаточную функцию сейсмического датчика. Процессор 602 может обратиться к базе 308 данных передаточных функций датчика или другой вторичной системе памяти, содержащей переходные функции любого числа разных сейсмических датчиков 202, классифицированных для доступа к ним на основе идентификационной информации сейсмических датчиков. В некоторых вариантах осуществления, процессор 602 может извлекать передаточную функцию из заголовка, ассоциированного с первичной сейсмограммой, или иной структуры, содержащей первичные сейсмические данные, ассоциированные с переходной функцией и сейсмическим датчиком 202.

Если имеется несколько передаточных функций для сейсмического датчика 202, процессор 602 может выбрать одну из передаточных функций для использования в обработке первичных сейсмических данных. Например, процессор 602 может выбрать последнюю из генерированных передаточных функций, или одну из передаточных функций, считающихся наиболее точными.

Команды 608 определения образцовой передаточной функции исполняются процессором 602 для создания передаточной функции, которой будут соответствовать первичные сейсмические данные после обратной фильтрации. Образцовой передаточной функцией может быть эталонная передаточная функция для сейсмического датчика, предоставленная производителем сейсмического датчика 202. Например, эталонная передаточная функция может быть получена из перемещения генератора вибрации 302, использованного для тестирования сейсмического датчика 202, определенного измерительным преобразователем перемещения с известной точностью при проведении тестирования сейсмического датчика 202. Такая образцовая передаточная функция может быть сохранена в базе 308 данных передаточных функций датчика или внутренней памяти блока регистрации сейсмических данных. Соответственно, команды 608 определения образцовой передаточной функции могут извлекать образцовую передаточную функцию из заголовка, ассоциированного с первичной сейсмограммой, либо обратиться в базу 308 передаточных функций датчика для извлечения образцовой передаточной функции.

В некоторых вариантах осуществления образцовая передаточная функция может быть вычислена как средняя передаточная функция некоторого числа сейсмических датчиков 202. Например, изготовитель сейсмического датчика 202 может генерировать образцовую передаточную функцию как среднее передаточных функций множества датчиков (например, всех датчиков 202, изготовленных в течение определенного интервала времени), выпущенных изготовителем. Такие образцовые передаточные функции (например, генерированные изготовителем) могут храниться в базе 308 данных передаточных функций датчика и извлекаться из нее.

В некоторых вариантах осуществления процессор 602 может генерировать образцовую передаточную функцию на основе передаточных функций сейсмических датчиков 202, использованных в сейсмической съемке и получивших первичные сейсмограммы, которые должны быть обработаны. Например, образцовая передаточная функция может быть генерирована как среднее передаточных функций сейсмических датчиков 202, использованных в сейсмической съемке в пределах заданной географической об-

ласти вокруг сейсмического датчика 202, от которого получена первичная сейсмограмма. В альтернативном случае, процессор 602 может создать образцовую передаточную функцию как среднее передаточных функций всех сейсмических датчиков 202, использованных в сейсмической съемке, посредством которых была получена первичная сейсмограмма. Процессор 602 может извлекать передаточные функции датчиков 202 для усреднения из заголовков или из базы данных передаточных функций датчика, как это было описано выше.

Команды 610 извлечения обратного фильтра исполняются процессором 602 для получения обратного фильтра, который должен быть применен к первичной сейсмограмме для согласования сейсмограммы с образцовой передаточной функцией. Обратный фильтр основан на передаточной функции сейсмического датчика 202, которым получена первичная сейсмограмма, и образцовой передаточной функции. Будучи примененным в отношении первичной сейсмограммы, обратный фильтр корректирует спектральные параметры первичной сейсмограммы так, что спектральные параметры первичной сейсмограммы в основном соответствуют образцовой передаточной функции.

Команды 612 обратной фильтрации исполняются процессором 602 для применения обратного фильтра к первичной сейсмограмме для согласования сейсмограммы с образцовой передаточной функцией. На фиг. 7А представлен частотный состав сейсмограммы первичных сейсмических данных, полученной сейсмическим датчиком 202, имеющим соответствующую передаточную функцию. На фиг. 7Б представлена характеристика обратного фильтра, сформированная для обеспечения соответствия сейсмических данных образцовой передаточной функции. На фиг. 7В представлен частотный состав сейсмических данных после применения обратного фильтра к первичным сейсмическим данным.

На чертежах и в описании настоящего раскрытия одинаковые части обычно обозначаются по всему описанию и чертежам одинаковыми ссылочными цифровыми обозначениями. Чертежи не обязательно выполняются в масштабе. Некоторые признаки изобретения могут быть выделены увеличенным масштабом или какими-либо графическими особенностями, а многие детали обычных элементов могут быть не показаны в интересах ясности и краткости представления. Настоящее раскрытие допускает его осуществление в различных формах. Частные варианты выполнения описаны подробно и показаны на чертежах, при этом подразумевается, что настоящее раскрытие следует рассматривать как пример реализации принципов изобретения, и что оно не ограничено только представленным описанием и чертежами. Следует ясно понимать, что различные идеи и компоненты вариантов осуществления, представленные ниже, могут быть использованы по отдельности или в любой подходящей комбинации, для достижения ожидаемого результата. Например, вариант осуществления системы может включать устройство 300, систему 400 регистрации сейсмических данных, узел 502 извлечения и систему 600 обработки сейсмических данных, либо любую их комбинацию.

Приведенное выше рассмотрение предназначено для иллюстрации различных принципов и вариантов осуществления настоящего изобретения. В то время как были показаны и описаны некоторые варианты осуществления, их модификации могут быть проведены любым специалистом в пределах существа и принципов изобретения. Описанные здесь варианты осуществления представлены только в качестве примера и не ограничивают изобретения, Соответственно, область защиты изобретения не ограничивается представленным выше описанием, а определяется только приведенной далее формулой, а также включает все эквиваленты предмета изобретения согласно формуле.

Согласно первой особенности, система регистрации и обработки сейсмических данных включает блок регистрации сейсмических данных, содержащий запоминающее устройство (ЗУ) для хранения данных, выполненное с возможностью хранения передаточной функции сейсмического датчика, соединенного с блоком регистрации сейсмических данных; и второе запоминающее устройство (ЗУ), выполненное с возможностью хранения сигналов, вырабатываемых сейсмическим датчиком; узел извлечения данных, выполненный с возможностью извлечения из блока регистрации сейсмических данных сигналов, хранящихся в ЗУ для хранения данных; и форматирования сигналов для их передачи в систему обработки сейсмических данных; устройство тестирования датчика, выполненное с возможностью: подачи тестового воздействия на сейсмический датчик в процессе испытаний на месте установки; записи отклика сейсмического датчика на тестовое воздействие; обработки отклика для генерирования передаточной функции; и сохранения передаточной функции для использования системой обработки сейсмических данных при генерировании обратного фильтра, который, при его применении к сигналам, изменяет параметры сигналов, приводя их в соответствие с сигналами, вырабатываемыми сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию.

Система обработки сейсмических данных может быть выполнена с возможностью: приема сигналов, форматированных узлом извлечения данных; идентификации сейсмического датчика, соединенного с блоком регистрации сейсмических данных, вырабатывавшего сигналы; извлечения передаточной функции датчика, соответствующей этому сейсмическому датчику; генерирования, на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции, обратного фильтра; и применения обратного фильтра к сигналам.

Система обработки сейсмических данных может также/в качестве альтернативы быть выполнена с возможностью генерирования образцовой передаточной функции, представляющей собой среднее пере-

даточных функций множества сейсмических датчиков.

В любом из приведенных выше вариантов осуществления тестовое воздействие может быть иметь вид импульса или частотной последовательности, приложенных к сейсмическому датчику для его перемещения.

В любом из приведенных выше вариантов осуществления устройство тестирования датчика может быть выполнено с возможностью сравнения передаточной функции датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, с передаточной функцией датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки; генерирования сигнала уведомления на основании различий между передаточной функцией датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, и передаточной функцией датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки, превосходящих заданную величину.

Датчик может включать по меньшей мере пьезоэлектрический кристалл или сейсмограф, или акселерометр.

Блок регистрации сейсмических данных может содержать ЗУ для передаточной функции, выполненное с возможностью хранения передаточной функции датчика, соответствующей сейсмическому датчику.

Узел извлечения данных может быть выполнен с возможностью извлечения передаточной функции из ЗУ для передаточных функций; и форматирования передаточной функции для ее передачи в систему обработки сейсмических данных параллельно (в сочетании) с сигналами.

Согласно первому способу предложен способ обработки сейсмических данных, в котором принимают посредством системы обработки сейсмических данных сигналы, представляющие сейсмические данные, записанные на удаленном пункте;

принимают посредством системы обработки сейсмических данных совместно с сигналами идентификационный код сейсмического датчика, посредством которого были получены сигналы;

извлекают посредством системы обработки сейсмических данных передаточную функцию датчика, соответствующую этому сейсмическому датчику и соотносящую перемещение сейсмического датчика с сигналами;

генерируют посредством системы обработки сейсмических данных на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции обратный фильтр, который при его применении к сигналам изменяет параметры сигналов, приводя их в соответствие с образцовой передаточной функцией;

применяют посредством системы обработки сейсмических данных обратный фильтр к сигналам для приведения параметров сигналов в соответствие с образцовой передаточной функцией.

В способе дополнительно

сохраняют передаточную функцию датчика в ЗУ для хранения данных блока регистрации сейсмических данных, соединенного с сейсмическим датчиком, перед размещением блока регистрации сейсмических данных на месте проведения сейсмической съемки;

после использования блока регистрации сейсмических данных для записи сейсмических данных извлекают сигналы, хранящиеся в ЗУ для хранения данных блока регистрации сейсмических данных; и

форматируют сигналы для их передачи в удаленную систему обработки данных.

В способе могут дополнительно/альтернативно

подвергать тестовому воздействию сейсмический датчик в процессе производственных испытаний или испытаний на месте установки, причем тестовое воздействие включает по меньшей мере импульсное воздействие или воздействие в интервале частот, используемое для перемещения сейсмического датчика;

записывать отклик сейсмического датчика на тестовое воздействие;

обрабатывать отклик для получения передаточной функции; и

сохранять передаточную функцию для использования удаленной системой обработки данных при генерировании обратного фильтра.

Передаточная функция сейсмического датчика, генерируемая в процессе производственных испытаний, может быть сопоставлена с передаточной функцией сейсмического датчика, генерируемой в процессе испытаний на месте установки; и может генерироваться сигнал уведомления на основании различий между передаточной функцией датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, и передаточной функцией датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки, при превышении этими различиями заданного уровня.

Любой из представленных способов может также включать генерирование системой обработки сейсмических данных образцовой передаточной функции, представляющей среднее передаточных функций датчика множества сейсмических датчиков.

В любом из приведенных способов могут дополнительно извлекать передаточную функцию из ЗУ для передаточных функций блока регистрации сейсмических данных; и форматировать передаточную функцию для ее передачи в удаленную систему обработки данных параллельно с сигналами.

Согласно второму способу предложен способ обработки сейсмических данных, в котором

в процессе производственных испытаний датчика, предназначенного для использования для регистрации сейсмических данных, получают передаточную функцию датчика для сейсмического датчика;

сохраняют передаточную функцию датчика для использования системой обработки сейсмических данных при генерировании обратного фильтра;

в процессе регистрации сейсмических данных получают сейсмические данные посредством сейсмического датчика;

извлекают сейсмические данные из блока регистрации сейсмических данных, соединенного с сейсмическим датчиком;

форматируют сейсмические данные для передачи в систему обработки сейсмических данных, расположенную удаленно от блока регистрации сейсмических данных, причем при форматировании предоставляют идентификационный код для передачи его с сейсмическими данными;

в процессе обработки сейсмических данных системой обработки сейсмических данных извлекают передаточную функцию датчика, используя идентификационный код сейсмического датчика;

генерируют на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции обратный фильтр, который при его применении к сейсмическим данным изменяет параметры сейсмических данных так, чтобы они соответствовали сейсмическим данным, вырабатываемым сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию;

применяют посредством системы обработки сейсмических данных обратный фильтр к сейсмическим данным для приведения параметров сейсмических данных в соответствие с сейсмическими данными, вырабатываемыми сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию.

Согласно первому или второму способу при хранении передаточной функции датчика ее могут сохранять в ЗУ для хранения данных блока регистрации сейсмических данных, соединенного с сейсмическим датчиком, либо ее могут сохранять в базе данных, доступной для системы обработки сейсмических данных.

В вариантах выполнения, при получении передаточной функции датчика могут подвергать тестовому воздействию сейсмический датчик, причем тестовое воздействие включает по меньшей мере импульсное воздействие или воздействие в интервале частот для перемещения сейсмического датчика;

записывать отклик сейсмического датчика на тестовое воздействие;

обрабатывать отклик для получения передаточной функции; и

сохранять передаточную функцию для использования системой обработки данных при генерировании обратного фильтра.

В вариантах осуществления первого или второго способов при подаче тестового воздействия могут прикреплять сейсмический датчик к перемещаемой конструкции; и воздействовать на перемещаемую конструкцию импульсным перемещением или перемещением в интервале частот.

Варианты осуществления могут дополнительно включать при регистрации сейсмических данных:

извлечение, из ЗУ для передаточных функций блока регистрации сейсмических данных, передаточной функции; и

форматирование передаточной функции для передачи в систему обработки данных параллельно с сейсмическими данными; или

при регистрации сейсмических данных сравнение передаточной функции датчика, генерируемой в процессе производственных испытаний, с передаточной функцией датчика, генерируемой в процессе испытаний на месте установки;

генерирование сигнала уведомления на основании различий между передаточной функцией датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, и передаточной функцией датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки, при превышении этими различиями заданного уровня.

Варианты осуществления могут также включать в процессе обработки сейсмических данных системой обработки сейсмических данных генерирование образцовой передаточной функции, представляющей собой среднее от передаточных функций датчика по множеству перемещаемых датчиков.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система для регистрации и обработки сейсмических данных, содержащая

а) блок регистрации сейсмических данных, включающий в себя запоминающее устройство для хранения данных и второе запоминающее устройство, выполненное с возможностью хранения сигналов, вырабатываемых сейсмическим датчиком, соединенным с блоком регистрации сейсмических данных;

б) узел извлечения данных, выполненный с возможностью извлечения из блока регистрации сейсмических данных сигналов, хранящихся в запоминающем устройстве для хранения данных, и форматирования сигналов для их передачи в систему обработки сейсмических данных;

в) устройство тестирования датчика, выполненное с возможностью подачи, используя устройство формирования импульсов, тестового воздействия с заданной формой колебания на сейсмический датчик в процессе испытаний на месте установки;

записи отклика сейсмического датчика на тестовое воздействие на основе перемещения сейсмического датчика, откликающегося на тестовое воздействие;

определения передаточной функции датчика для сейсмического датчика, отражающей отклик сейсмического датчика на тестовое воздействие с заданной формой колебания; и

сохранения в запоминающем устройстве блока регистрации сейсмических данных передаточной функции датчика, причем передаточная функция датчика используется для генерирования обратного фильтра, который при его применении к сигналам изменяет параметры сигналов, приводя их в соответствие с сигналами, вырабатываемыми сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию, соотносящуюся с известной точностью,

г) систему обработки сейсмических данных, выполненную с возможностью

приема сигналов, форматированных узлом извлечения данных;

идентификации сейсмического датчика, соединенного с блоком регистрации сейсмических данных, выработавшего сигналы;

извлечения передаточной функции датчика, соответствующей сейсмическому датчику;

генерирования на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции обратного фильтра; и

применения обратного фильтра к сигналам.

2. Система по п.1, в которой система обработки сейсмических данных выполнена с возможностью генерирования образцовой передаточной функции, определяемой как среднее передаточных функций датчика множества сейсмических датчиков.

3. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой тестовое воздействие включает импульсное или многочастотное воздействие для перемещения сейсмического датчика.

4. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой устройство тестирования датчика выполнено с возможностью сравнения передаточной функции датчика для сейсмического датчика, генерируемой в процессе производственных испытаний, с передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерируемой в процессе испытаний на месте установки; и генерирования сигнала уведомления на основании различий между передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, и передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки, при превышении этими различиями заданного уровня.

5. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой датчик содержит, по меньшей мере, пьезоэлектрический кристалл или сейсмограф, или акселерометр.

6. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой узел извлечения данных выполнен с возможностью извлечения передаточной функции датчика из запоминающего устройства для хранения данных; и форматирования передаточной функции датчика для ее передачи в систему обработки сейсмических данных в сочетании с сигналами.

7. Способ обработки сейсмических данных, осуществляемый посредством системы обработки сейсмических данных по п.1, в котором

принимают сигналы, представляющие сейсмические данные, записанные на удаленном пункте;

принимают, совместно с упомянутыми сигналами, идентификационный код сейсмического датчика, посредством которого были получены сигналы;

извлекают передаточную функцию датчика, соответствующую этому сейсмическому датчику и отражающую отклик сейсмического датчика на тестовое воздействие с заданной формой колебания, причем указанный отклик основывается на перемещении сейсмического датчика, откликающегося на тестовое воздействие;

генерируют на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции обратный фильтр, который при его применении к сигналам изменяет параметры сигналов, приводя их в соответствие с сигналами, вырабатываемыми сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию, соотносящуюся с известной точностью; и

применяют обратный фильтр к сигналам для приведения параметров сигналов в соответствие с образцовой передаточной функцией.

8. Способ по п.7, в котором дополнительно

сохраняют передаточную функцию датчика в запоминающее устройство для хранения данных блока регистрации сейсмических данных, соединенного с сейсмическим датчиком, перед размещением блока регистрации сейсмических данных на месте проведения сейсмической съемки;

после использования блока регистрации сейсмических данных для записи сейсмических данных

извлекают сигналы, хранящиеся в запоминающем устройстве для хранения данных блока регистрации сейсмических данных; и

форматируют сигналы для их передачи в удаленную систему обработки данных.

9. Способ по п.7 или 8, в котором дополнительно

подвергают, используя устройство формирования импульсов, тестовому воздействию сейсмический датчик в процессе производственных испытаний или испытаний на месте установки, причем тестовое воздействие включает по меньшей мере импульсное воздействие или воздействие в интервале частот для перемещения сейсмического датчика;

записывают отклик сейсмического датчика на тестовое воздействие; и сохраняют передаточную функцию датчика для использования удаленной системой обработки данных при генерировании обратного фильтра.

10. Способ по п.9, в котором дополнительно

сравнивают передаточную функцию датчика для сейсмического датчика, генерируемую в процессе производственных испытаний, с передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерируемой в процессе испытаний на месте установки; и

генерируют сигнал уведомления на основании различий между передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, и передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки, при превышении этими различиями заданного уровня.

11. Способ по любому из пп.7-10, в котором дополнительно генерируют образцовую передаточную функцию, определяемую как среднее передаточных функций датчика множества сейсмических датчиков.

12. Способ по п.7, в котором дополнительно

извлекают передаточную функцию датчика из запоминающего устройства для передаточной функции блока регистрации сейсмических данных; и

форматируют передаточную функцию датчика для ее передачи в удаленную систему обработки данных в сочетании с сигналами.

13. Способ обработки сейсмических данных с использованием системы по п.1, в котором

в процессе производственных испытаний сейсмического датчика, предназначенного для использования для регистрации сейсмических данных

подвергают, используя устройство формирования импульсов, тестовому воздействию с заданной формой колебания сейсмический датчик в процессе испытаний на месте установки;

записывают отклик сейсмического датчика на тестовое воздействие на основе перемещения сейсмического датчика, откликающегося на тестовое воздействие;

определяют передаточную функцию датчика для сейсмического датчика, при этом передаточная функция датчика отражает ответ сейсмического датчика на тестовое воздействие с заданной формой колебания;

сохраняют передаточную функцию датчика для использования системой обработки сейсмических данных при генерировании обратного фильтра;

в процессе регистрации сейсмических данных

получают сейсмические данные посредством сейсмического датчика;

извлекают сейсмические данные из блока регистрации сейсмических данных, соединенного с сейсмическим датчиком;

форматируют сейсмические данные для передачи в систему обработки сейсмических данных, расположенную удаленно от блока регистрации сейсмических данных, посредством предоставления идентификационного кода сейсмического датчика для передачи его с сейсмическими данными;

в процессе обработки сейсмических данных системой обработки сейсмических данных

извлекают передаточную функцию датчика, используя идентификационный код сейсмического датчика;

генерируют на основе передаточной функции датчика и образцовой передаточной функции обратный фильтр, который при его применении к сейсмическим данным изменяет параметры сейсмических данных так, чтобы они соответствовали сейсмическим данным, вырабатываемым сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию, соотносящуюся с известной точностью;

применяют обратный фильтр к сейсмическим данным для приведения параметров сейсмических данных в соответствие с сейсмическими данными, вырабатываемыми сейсмическим датчиком, имеющим образцовую передаточную функцию.

14. Способ по п.13, в котором при сохранении передаточной функции датчика ее сохраняют в запоминающем устройстве для хранения данных блока регистрации сейсмических данных, соединенного с сейсмическим датчиком, или ее сохраняют в базе данных, доступной для системы обработки сейсмических данных.

15. Способ по п.13 или 14, в котором при получении передаточной функции датчика сохраняют передаточную функцию датчика для использования системой обработки сейсмических данных при генерировании обратного фильтра.

16. Способ по п.15, в котором при подаче тестового воздействия прикрепляют сейсмический датчик к перемещаемой конструкции; и воздействуют на перемещаемую конструкцию импульсным перемещением или перемещением в интервале частот.

17. Способ по п.13, в котором дополнительно при регистрации сейсмических данных

извлекают, из запоминающего устройства для передаточных функций блока регистрации сейсмических данных, передаточную функцию датчика; и

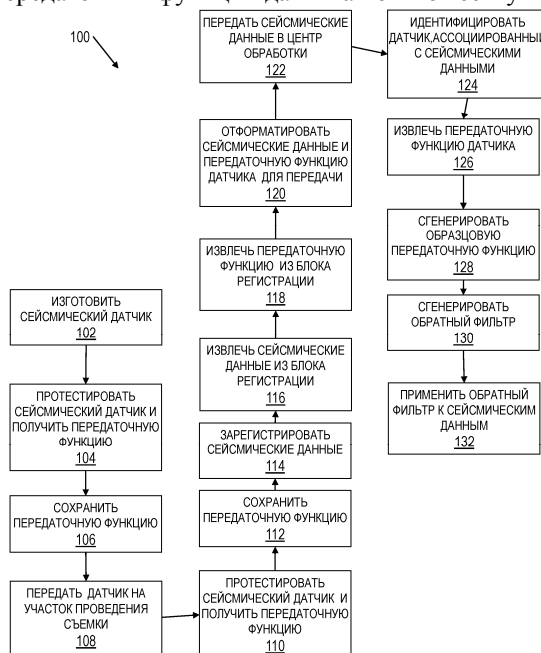
форматируют передаточную функцию датчика для передачи в систему обработки данных в сочетании с сейсмическими данными; или

при регистрации сейсмических данных

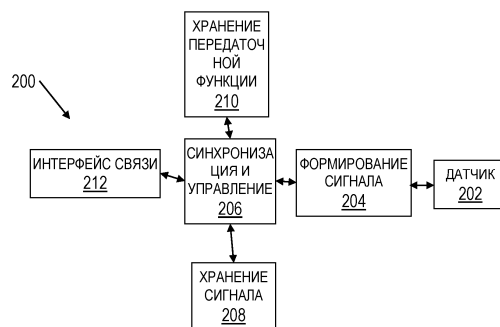
сравнивают передаточную функцию датчика для сейсмического датчика, генерируемую в процессе производственных испытаний, с передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерируемой в процессе испытаний на месте установки;

генерируют сигнал уведомления на основании различий между передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерированной в ходе производственных испытаний, и передаточной функцией датчика для сейсмического датчика, генерированной в ходе испытаний на месте установки, при превышении этими различиями заданного уровня.

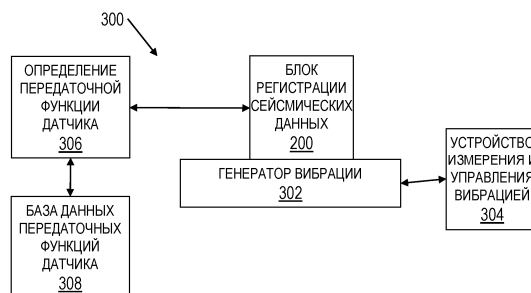
18. Способ по любому из пп.13-17, в котором дополнительно в процессе обработки сейсмических данных системой обработки сейсмических данных генерируют образцовую передаточную функцию, определяемую как среднее от передаточных функций датчика по множеству перемещаемых датчиков.



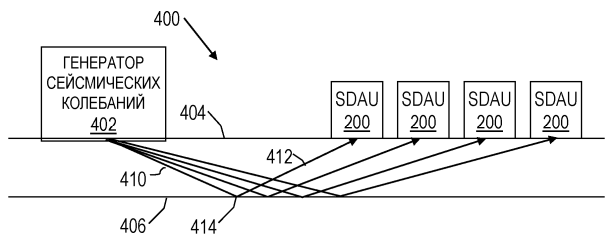
Фиг. 1



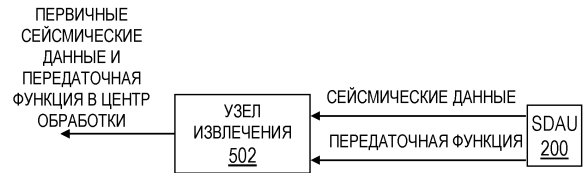
Фиг. 2



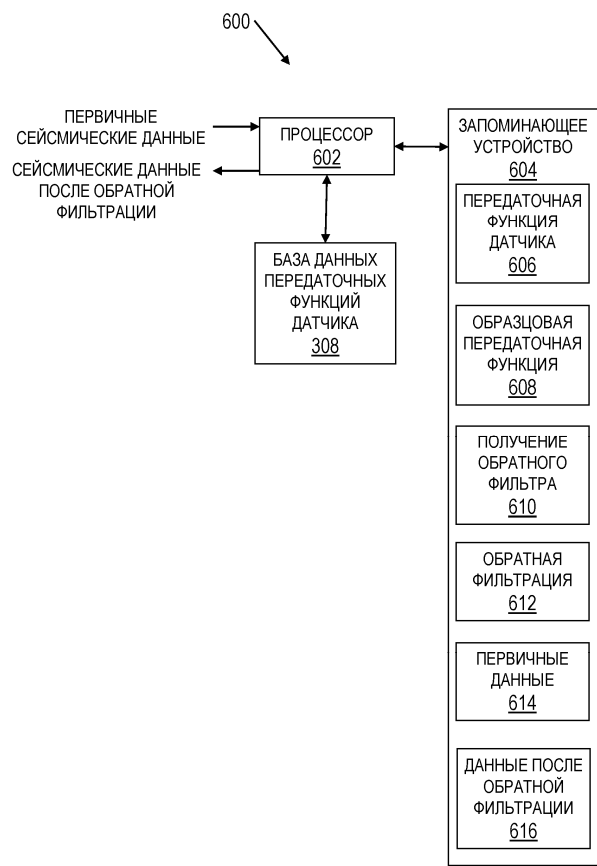
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7А



Фиг. 7Б



Фиг 7В

