

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202191441** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.09.29

(51) Int. Cl. *E21B 47/107* (2012.01)
E21B 41/00 (2006.01)
E21B 47/135 (2012.01)

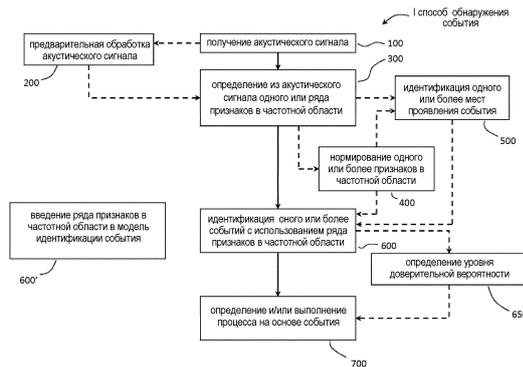
(22) Дата подачи заявки
2019.11.27

(54) ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

(31) РСТ/ЕР2018/082985
(32) 2018.11.29
(33) ЕР
(86) РСТ/ЕР2019/082809
(87) WO 2020/109427 2020.06.04
(88) 2020.07.09
(71) Заявитель:
**БП ЭКСПЛОРЕЙШН ОПЕРЕЙТИНГ
КОМПАНИ ЛИМИТЕД; ЛИТТ
ЛИМИТЕД (GB)**

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

(57) В заявке описан способ идентификации событий, включающий получение акустического сигнала от датчика, определение из акустического сигнала одного или более признаков в частотной области, введение одного или более признаков в частотной области в качестве входных данных во множество моделей обнаружения событий, и определение присутствия одного или более событий, с использованием множества моделей обнаружения событий. Один или более признаков в частотной области получают по частотному диапазону акустического сигнала и по меньшей мере две из множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.



202191441 A1

A1
202191441

ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ НА ОСНОВЕ ПРИЗНАКОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ
АКУСТИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАШИННОГО
5 ОБУЧЕНИЯ

Ссылки на родственные заявки

Не применимо.

Уровень техники

10 Через углеводородную эксплуатационную скважину, ствол которой
проходит в продуктивный пласт, могут добываться различные текучие среды,
например, углеводороды, вода, газ и др. Добыча текучих сред может приводить
к их перемещению в разных подземных областях, включая подземный
продуктивный пласт, из пласта в ствол скважины и в самом стволе скважины.
15 Например, из некоторых подземных пластов может выходить вода, которая
может добываться вместе текучими средами из ствола скважины. Этот приток
воды может создавать ряд проблем, включая эрозию, закупоривание скважин из-
за поступления песка, загрязнение и повреждение наземного оборудования и т.д.
Извлечение значительного количества воды может приводить к необходимости
20 снижения добычи из скважины для снижения выноса воды до приемлемого
уровня. Это может привести к снижению нефтедобычи и, потенциально, к
отсрочке добычи значительного объема продукции из скважины.

Предпринимались попытки обнаружить перемещение внутри ствола
скважины различных текучих сред, включая жидкие углеводороды, воду и газ.
25 Например, для определения структуры потока в скважинах может быть
использована система каротажа в эксплуатационных и нагнетательных
скважинах (геофизические исследования скважин - ГИС). Система ГИС может
быть использована для оценки того, какие текучие среды (нефть/вода/газ)
находятся в скважине на данной глубине, где происходит приток и какая текучая
30 среда поступает. Посредством ГИС также можно получать данные по расходу
потока поступающей текучей среды и режиму потока (например, "снарядный"
режим течения, пузырьковый поток и т.д.).

В обычной системе ГИС используются емкостные и резистивные датчики
для получения данных о содержании в поступающей текучей среде нефти, воды

или газа, и радиально направленные вертушечные расходомеры для измерения расхода притока. Датчики могут быть распределены по окружности системы ГИС так, чтобы обеспечивалась круговая оценка структуры потока и расхода поступления текучей среды. Таким образом, посредством системы ГИС может
5 быть получена информация, касающаяся структуры фонового потока, структуры притока, фонового расхода и расхода притока, а также режима потока.

При использовании системы ГИС, результаты измерений фиксируются для глубины в передней части прибора эксплуатационного каротажа. Поскольку прибор эксплуатационного каротажа может быть от десяти до двадцати метров
10 длины, датчики распределены по его длине, и датчики, расположенные не в передней части прибора эксплуатационного каротажа, фактически выполняют измерения не на той глубине, для которой результаты этих измерений регистрируются. В результате эти данные иногда могут быть искажены изменчивостью режима потока, вызванной интрузивным характером измерений.
15 Кроме того, поток может быть изменен присутствием прибора эксплуатационного каротажа, из-за чего результаты измерений на выходном конце инструмента могут не соответствовать структуре потока или режиму потока до того, как прибор исказил поток. Далее, прибор эксплуатационного каротажа обычно продвигается через скважину однократно или несколько раз
20 (вниз, после чего вверх, однократно или несколько раз, после чего извлекается из скважины), поэтому датчики системы ГИС подвергаются воздействию условий на данной глубине в течение короткого промежутка времени. Диаграмма каротажа основана на этом коротком "окне" в потоке данных, для некоторого момента в жизни скважины, однако может быть использована в
25 течение многих (например, пяти или десяти) лет, вследствие высокой стоимости введения прибора эксплуатационного каротажа в скважину. Характеристики текучей среды внутри скважины могут существенно меняться по мере старения скважины, и/или текучая среда может поступать в скважину прерывисто (прекращаясь и начинаясь снова). Например, эксплуатационный каротаж может
30 обнаруживать присутствие газа, когда имеется приток газа на определенной глубине, но этот приток газа может происходить с сильными изменениями, иногда даже в течение нескольких часов. Несмотря на это в дальнейшем решения об использовании скважины могут основываться на предположении,

что количество газа всегда было одним и тем же. Таким образом, эксплуатационный каротаж страдает от ряда ограничений.

Попытки обнаружения событий другого типа предпринимались также и в других отраслях. Например, в системах безопасности используются датчики присутствия и/или инфракрасные датчики для обнаружения открывания дверей и возможного движения в заданных зонах. Этим системам свойственны ограничения по дальности действия и типам обнаружения, характерные для задач обеспечения безопасности. Аналогичные проблемы существуют также и в других отраслях. Соответственно, существует потребность в системах и способах определения наличия или отсутствия событий и/или мест проявления события. Желательно, чтобы такие системы и способы также обеспечивали определение информации, ассоциированной с обнаруженными событиями.

Сущность изобретения

В варианте осуществления предлагается способ идентификации событий, включающий получение акустического сигнала от датчика, определение одного или более признаков (характеристик) в частотной области из акустического сигнала, введение одного или более признаков в частотной области в виде входных данных во множество (несколько) моделей обнаружения событий, и определение присутствия одного или более событий с использованием нескольких моделей обнаружения событий. Один или более признаков в частотной области получены по частотному диапазону акустического сигнала, и по меньшей мере две из множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.

В варианте осуществления система включает процессор и запоминающее устройство, сохраняющее программу анализа. Процессор сконфигурирован для исполнения программы анализа для: приема акустического сигнала от датчика, определения одного или более признаков акустического сигнала в частотной области, введения одного или более признаков в частотной области в виде входных данных во множество моделей обнаружения событий, и определения присутствия одного или более событий с использованием множества моделей обнаружения событий. Один или более признаков в частотной области получены по нескольким из интервалов вдоль датчика, и по меньшей мере две из множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.

В варианте осуществления также предлагается способ определения выходного сигнала с использованием акустического сигнала, включающий определение одного или более признаков в частотной области из акустического сигнала, введение одного или более признаков в частотной области в качестве входных данных во множество моделей обнаружения событий, определение показателя присутствия одного или более событий с использованием множества моделей обнаружения событий, выдачу показателя присутствия одного или более событий в управляющее приложение, и определение, с использованием показателя присутствия одного или более событий в качестве входных данных в управляющее приложение, выходного сигнала для процесса или системы. Один или более признаков в частотной области получены по нескольким из отрезков вдоль линии прохождения датчика.

В некоторых вариантах осуществления, способ разработки модели идентификации события для ствола скважины включает выполнение ряда испытаний события, получение акустического сигнала от датчика во время каждого испытания события из ряда испытаний события, определение одного или более признаков в частотной области из акустического сигнала для каждого из ряда испытаний события, и обучение множества моделей обнаружения событий с использованием одного или более признаков в частотной области для ряда испытаний. Ряд испытаний события выполняются с использованием испытательного оборудования для воссоздания одного или более событий. Акустический сигнал содержит акустические выборки, ассоциированные с событием, использующим испытательное оборудование, и первая модель потока текучей среды из множества моделей потока текучей среды отличается от второй модели потока текучей среды из множества моделей потока текучей среды.

Эти и другие признаки будут яснее понятны при ознакомлении с приведенным ниже подробным описанием вместе с приложенными чертежами и формулой изобретения.

Описанные здесь варианты осуществления содержат комбинации признаков и преимущества, предназначенные для устранения различных недостатков, связанных с определенными известными устройствами, системами и способами. Выше в целом были рассмотрены особенности и технические преимущества изобретения для лучшего понимания приведенного далее подробного описания изобретения. Описанные выше различные характеристики, а также другие

особенности, будут более понятны специалистам при ознакомлении с приведенным далее подробным описанием, и ссылками на приложенные чертежи. Специалистам следует иметь в виду, что раскрытые замысел и конкретные варианты осуществления могут быть легко реализованы в качестве основы для модификации или разработки других конструкций, предназначенных для тех же целей, что и изобретение. Специалисты также должны иметь в виду, что такие эквивалентные конструкции не выходят за пределы существа и области притязаний настоящего изобретения, определяемых приложенной формулой.

10 Краткое описание чертежей

Для подробного описания предпочтительных вариантов выполнения изобретения далее приводятся ссылки на приложенные чертежи, на которых:

на фиг. 1 представлена блок-схема способа идентификации одного или более событий, в соответствии с вариантами осуществления настоящего раскрытия;

на фиг. 2 представлен схематично вид поперечного сечения окружающей производственной среды подземной скважины;

на фиг. 3А и 3Б представлены схематичные виды сечения вариантов выполнения скважины с трубчатым элементом скважины, имеющим связанное с ним оптическое волокно;

на фиг. 4 схематично показан вид варианта выполнения трубчатого элемента ствола скважины с притоком текучей среды;

на фиг. 5 представлен типичный график временной зависимости интенсивности отфильтрованного по частоте акустического сигнала в пяти частотных диапазонах;

на фиг. 6 представлен вариант выполнения блок-схемы обработки акустического сигнала;

на фиг. 7 представлена блок-схема способа разработки модели обнаружения событий;

на фиг. 8А схематично представлен гидравлический испытательный стенд замкнутого типа, используемый для обучения модели обнаружения событий;

на фиг. 8Б схематично изображены глубины в стволе скважины, соответствующие точкам ввода, показанным на фиг. 8А;

на фиг. 9 обобщенно представлены возможные добываемые текучие среды;

на фиг. 10 представлена блок-схема способа определения выходного сигнала; и

на фиг. 11 схематично представлен компьютер, который может быть использован для выполнения различных шагов, в соответствии с вариантом выполнения.

Подробное описание осуществления изобретения

При отсутствии специальных указаний, любое использование любой формы терминов "соединять", "вводить в зацепление", "связывать", "прикреплять" или любого другого термина, описывающего взаимодействие между элементами, не означает ограничения взаимодействия прямым взаимодействием между элементами, и может также включать косвенное взаимодействие между описанными элементами. В приведенном далее рассмотрении и в формуле изобретения, термины "включающий" и "содержащий" используются в неограничивающей форме и, поэтому, должны пониматься как обозначающие "включающий, но не сводящийся к...". Ссылка на верх или низ будет использоваться для целей описания терминами "верх", "верхний", "вверх", "вверх по потоку" или "наверху", означающих направление к поверхности ствола скважины, и терминами "низ", "нижний", "вниз", "вниз по потоку" или "внизу", означающих направление к концу скважины, вне зависимости от ее ориентации. Ссылка на внутренний или внешний, использующая для целей описания термины "в", "внутренний" или "внутри", означает направление к центральной продольной оси ствола скважины и/или его трубчатого элемента, а "снаружи", "внешний" или "наружный", означает направление к стенке ствола скважины. В настоящем описании, термины "продольный" и "продольно" относятся к оси, фактически совпадающей с центральной осью трубчатого элемента ствола скважины, а "радиальный" и "радиально" относятся к направлению, перпендикулярному к продольной оси. Различные характеристики, упомянутые выше, а также другие признаки и характеристики, более подробно описанные ниже, будут хорошо понятны специалистам из настоящего раскрытия, при чтении приведенного далее подробного описания вариантов выполнения со ссылками на приложенные чертежи.

В настоящем описании, сочетание "событие притока текучей среды" включает приток текучей среды (например, приток любой текучей среды, независимо от ее состава), приток газовой фазы, приток водной фазы и/или

приток углеводородной фазы. Текучая среда может содержать и другие компоненты, например, в некоторых вариантах осуществления, твердые частицы, что будет более подробно рассмотрено ниже.

В настоящем описании раскрывается новая архитектура обработки сигнала, обеспечивающая идентификацию различных событий. В некоторых вариантах осуществления, внутри ствола скважины могут происходить события, например, событие притока текучей среды (например, включающее места притока текучей среды, дифференциация притока текучей среды и т.д.), обнаружение истечения текучей среды, фазовое разделение текучей среды, дифференциация потока текучей среды внутри трубы, мониторинг целостности скважины, обнаружение внутрискважинной утечки (например, обнаружение утечки в скважине и разгерметизации НКТ, идентификации фазы подтекающей текучей среды, и т.д.), диагностика потока текучей среды в кольцевом пространстве, мониторинг перекрывающих пород, обнаружение потока текучей среды за обсадной колонной, обнаружение индуцируемого текучей средой гидравлического разрыва в перекрывающих породах (например, микросейсмические события и др.), обнаружение песка (например, пескопроявление, приток песка и т.д.), и др., все это в реальном времени или, в некоторых вариантах осуществления, в масштабе времени, близком к реальному. Также могут обнаруживаться и другие события, например, связанные с транспортированием, безопасностью, мониторингом деятельности предприятия, мониторингом трубопровода и т.д. В данном описании выражение "дифференциация потока текучей среды" означает идентификацию и/или классификацию обнаруженного потока текучей среды (например, однофазного потока, потока смешанных фаз, периодически перемежающийся поток, потоки меняющихся текучих сред, и т.д.) приток газа, приток жидких углеводородов (например "нефти") и/или приток водной фазы (например воды), включая любые комбинированные или многофазные потоки или притоки. Способы в соответствии с настоящим раскрытием могут быть, таким образом, использованы для получения информации по различным событиям, например, точке поступления текучей среды, а также режимам протекания в трубе, а не просто по месту нахождения газа, воды или жидких углеводородов в трубе ствола скважины (например, присутствия в текучей среде), которые могут произойти в любой точке над местом поступления, когда текучая среда протекает к поверхности ствола скважины. В некоторых вариантах

осуществления, система обеспечивает количественные измерения различных потоков текучей среды, например, относительной концентрации внутрискважинных жидких углеводородов, воды и газа.

5 В некоторых случаях, данные системы и способы могут предоставлять информацию в реальном времени ли в масштабе времени, близком к реальному. В данном описании, термин "в реальном времени" относится к времени, учитывающему различные задержки связи и ожидания внутри системы, и могут включать действия, занимающие примерно десять секунд, примерно тридцать секунд, в пределах примерно минуты, в пределах примерно пяти минут или в 10 пределах примерно десяти минут от происшедшего события. Для получения акустической выборки в различных точках вдоль ствола скважины могут быть использованы различные датчики (например, распределенные оптоволоконные акустические датчики и т.д.). Акустическая выборка затем может быть подвергнута обработке, использующей структуру обработки сигнала, 15 включающую различные методы выделения характерных признаков (например, методы выделения характерных спектральных признаков) для получения количественной оценки одного или более признаков в частотной области, позволяющих избирательно отделять нужные акустические сигналы от фонового шума и, в результате, способствовать точности идентификации перемещения 20 текучих сред (например, места притока газа, места притока воды, места притока жидких углеводородов и др.) в реальном времени. Хотя в некоторых случаях рассматривается анализ данных в реальном времени, данные могут также подвергаться анализу позже в том же месте или в удаленном месте.

В настоящем раскрытии, различные признаки в частотной области могут 25 быть получены из акустического сигнала, и в некоторых обстоятельствах признаки в частотной области также могут называться спектральными признаками или спектральными дескрипторами. В некоторых вариантах осуществления, спектральные признаки могут содержать другие признаки, включая и признаки во временной области, различные преобразования 30 (например, вейвлеты, преобразования Фурье и др.) и/или признаки, полученные из частей акустического сигнала или входных сигналов от других датчиков. Такие другие признаки могут быть использованы сами по себе или в комбинации с одним или более признаками в частотной области, включая разработку преобразований признаков, как это более подробно описано далее. Описанные

здесь методы обработки сигнала также могут помочь решению проблемы неопределенно-структурированных данных большого объема посредством интеллектуального выделения данных (вместо метода простого прореживания), для существенного сокращения объема данных реального времени на месте отбора проб и обработки данных (например, сокращение в некоторых вариантах осуществления более 100 раз, более 500 раз, или более 1000 раз, или более 10000 раз).

В некоторых вариантах осуществления, акустический сигнал(-ы) может быть получен способом, обеспечивающим получение сигнала вдоль всего ствола скважины или интересующей его части. Как отмечалось выше, системы эксплуатационного каротажа используют систему эксплуатационного каротажа (ГИС) для определения структуры потока в скважинах. Однако из-за того, что ГИС может иметь длину 10-20 метров, и датчики распределяются вдоль всей этой длины, датчики, которые не находятся в передней части ГИС, фактически не проводят измерения на глубине, для которой регистрируются результаты измерений, и поэтому данные могут быть неправильными или неполными во времени. Кроме того, поток может быть изменен за счет самого присутствия ГИС внутри скважины, поэтому то, что измеряется на выходном конце ГИС, не точно отражает структуру/режим потока до того, как поток был искажен инструментом. Помимо этого, поскольку прибор эксплуатационного каротажа обычно продвигается через скважину однократно или несколько раз (вниз, после чего вверх, однократно или несколько раз, после чего извлекается из скважины), датчики подвергаются воздействию условий в скважине на данной глубине в течение очень короткого промежутка времени (например, 4-5 секунд).

Соответственно, хотя ГИС может выработать показатель того, что может происходить некоторое событие, например, поступление воды в скважину, она не обеспечивает непрерывных измерений в течение продолжительных промежутков времени, которые могли бы быть необходимыми для изучения динамической изменчивости эксплуатационных характеристик во времени.

Оптоволоконные распределенные акустические датчики (DAS - от англ. distributed acoustic sensor) улавливают акустические сигналы, возникающие от событий в забое, например, скважинных событий (например, приток/поток газа, приток/поток жидких углеводородов, приток/поток воды, смешанный поток, утечки, смещение перекрывающих пород и др.), события, вызванные

транспортировкой, связанные с безопасностью, мониторингом работы предприятия, событиями, связанными с мониторингом трубопровода, а также и другие фоновые акустические сигналы. DAS также могут быть использованы для улавливания акустических сигналов, образующихся в результате таких событий, как например, события, вызванные транспортировкой, обеспечением безопасности, мониторингом работы предприятия, событиями, связанными с мониторингом трубопровода и др. Это вызывает потребность в процедурах обработки сигнала, которые отличают события и сигналы потока от других источников шума, для надежной идентификации события каждого типа. Для этого, в свою очередь, требуется более ясное понимание акустического "портрета" внутрискважинного события, представляющего интерес (например, притока текучей среды, притока воды, притока газа, притока жидких углеводородов, потока текучей среды вдоль трубчатых элементов, и др.) с тем, чтобы иметь возможность отделения и идентификации шума, возникающего от соответствующего события, от других фоновых шумов окружающей среды. В настоящем описании, полученный акустический портрет конкретного события может также называться спектральной сигнатурой (комплексом спектральных признаков события), более подробно описанной в настоящем раскрытии. В некоторых вариантах осуществления, признаки в частотной области могут быть использованы с моделью для обеспечения идентификации и определения различных событий. Для определения возникновения определенных событий внутри ствола скважины может быть разработан и использован ряд различных моделей.

Далее, сокращение задержек, возникающих от одного или более событий, например, поступления воды, и обеспечение эффективного устранения последствий, зависит от информирования оператора о событиях для обеспечения принятия решений практически в реальном времени. В настоящее время отсутствуют методы/обработка сигнала для DAS, которые позволяют успешно различать и выделять места проявления событий, тем более в почти реальном времени.

Способность идентификации различных событий в скважине может обеспечить возможность выполнения различных действий или процессов в ответ на эти события. Например, может быть остановлена скважина, добыча может быть увеличена или уменьшена, и/или в стволе скважины могут быть проведены

восстановительные процедуры, в соответствии с идентифицированным событием(-ями). На эффективность ответа, при его необходимости, повлияет не просто информация о наличии или отсутствии событий в скважине, но и данные об относительном количестве текучих сред (например, объеме притока газа, 5 объеме притока жидких углеводородов, объеме притока воды и т.д.) из каждой из идентифицированных зон с событием, с тем, чтобы необходимые меры могли быть приняты сначала в зонах с максимальными объемами текучей среды, для оптимизации добычи. Описанные в настоящем раскрытии системы и способы могут быть использованы для идентификации источника события или проблемы, 10 а также для получения дополнительной информации о событии, например, о направлении и объеме потока, и/или идентификации характера возникшей проблемы. Например, когда обнаружено место притока воды, по относительному расходу жидких углеводородов в месте притока воды можно определить необходимость восстановительных процедур, характер или способ проведения 15 процедур, выбор момента времени для восстановления, и/или принять решение об изменении (например, снижении) производительности добычи из скважины. Например, могут быть изолированы продуктивные интервалы в скважине, технологические узлы могут быть открыты, закрыты или заглушены на разных уровнях, могут быть пробурены или изолированы боковые скважины и т.д. Такое 20 решение может быть использовано для улучшения ситуации с понижением уровня нефти в скважине, с одновременным снижением эксплуатационных затрат, связанных с различными факторами, например, добываемой пластовой (подтоварной) водой.

Описываемая здесь обработка сигнала также может быть использована для 25 идентификации различных событий в разных отраслях промышленности. Системы могут иметь аналогичную архитектуру обработки сигнала в реальном времени, позволяющую идентифицировать события с использованием различных сигнатур или моделей. В этих системах могут быть использованы различные датчики (например, распределенные оптоволоконные акустические датчики, 30 точечные акустические датчики и т.д.) для получения акустической выборки в различных точках по линии их прохождения. Акустическая выборка затем может быть подвергнута обработке с использованием архитектуры обработки сигнала, содержащей методы выделения спектральных признаков для получения

признаков в частотной области, обеспечивающих выборочное выделение нужных акустических сигналов из фонового шума.

После получения, признаки в частотной области могут быть использованы в различных моделях для обеспечения возможности отделения шума, возникающего от целевого события, от других акустических шумов фона окружающей среды. Для каждого события могут быть разработаны специальные модели, учитывающие один или более признаков в частотной области для известных событий. На основе этих известных событий могут быть сформулированы признаки в частотной области, специфичные для каждого события, и установлены сигнатуры (например, имеющие интервалы или пороги) и/или модели, для определения наличия каждого события. С учетом особенностей каждых признаков в частотной области, полученные сигнатуры или модели могут быть использованы для достаточного надежного различения между событиями для обеспечения относительно быстрой идентификации таких событий. Полученные сигнатуры или модели далее могут быть использованы вместе с обработанным акустическим сигналом для определения того, происходит ли событие в целевой точке, находящейся на линии прохождения акустического датчика. Любой из способов обработки, раскрытых в настоящем описании, может быть использован для первоначального определения спектральной сигнатуры или модели(-ей), с последующей обработкой и сравнения признаков в частотной области в выборке акустического сигнала с полученными спектральными сигнатурами или моделью(-ями).

Таким образом, использование раскрытых здесь систем может быть полезным для обработки акустических сигналов в разных отраслях, например, на транспорте (например, железные дороги, трафик, аэропорты и др.), в службе безопасности (например, охрана периметра, мониторинг трубопроводов и др.) и мониторинге работы предприятий (например, мониторинг оборудования, например электрических погружных насосов, ветровых установок, компрессоров и др.). Например, мониторинг рельсовой линии может позволять обнаруживать акустические сигналы по длине рельсов с использованием, например, оптоволоконна, прикрепленного к рельсу, вместе с узлом распределенного акустического датчика (DAS). Отрезок оптоволоконна вдоль рельса может считаться линией прохождения оптоволоконна от приемника/генератора (например, узла DAS) вдоль рельса. По акустическим сигналам, возникающим

вдоль отрезка рельса и/или волокна, могут быть обнаружены различные акустические сигнатуры, например, смещения рельса, движения транспортного средства технического обслуживания, транспортного потока, потока пешеходов и др. Эти сигналы могут быть подвергнуты обработке для извлечения одного или более признаков в частотной области, и для таких событий могут быть определены или разработаны спектральные сигнатуры и/или модель(-и). После их получения, спектральные сигнатуры и/или модель(-и) могут быть использованы для обработки акустических сигналов на различных отрезках вдоль линии прохождения оптоволокна, и определения наличия различных событий посредством использования признаков в частотной области и спектральных сигнатур и/или модели(-ей).

Аналогично, в системах безопасности могут быть использованы распределенные акустические датчики (например, оптоволокно, отдельные акустические датчики и т.д.) для обнаружения акустических сигналов вдоль линии прохождения или по площади. Использование акустических сигналов позволит обнаруживать различные события, относящиеся к безопасности, например, шаги, разбитое стекло, движение транспортных средств и т.д. Сигналы могут быть подвергнуты обработке для извлечения признаков в частотной области и сравнения этих спектральных признаков с сигнатурами и/или моделью(-ями) для различных событий, связанных с безопасностью.

Аналогично, способы акустического мониторинга могут быть использованы совместно с одним или более точечными источниками, которые могут использоваться отдельно или быть расположенными вдоль линии. Например, мониторинг предприятия, имеющего промышленное оборудование, может осуществляться с использованием описанных здесь способов акустического мониторинга. Например, предприятие, использующее насосы, турбины, компрессоры, или другое оборудование, может иметь акустический датчик, осуществляющий мониторинг единицы оборудования. Для оборудования каждого типа могут определены спектральные сигнатуры и/или модель(-и) различных событий, и использованы для мониторинга и определения состояния оборудования. Например, может быть подвергнут мониторингу насос для определения его рабочего или нерабочего состояния, протекания через него текучей среды, неудовлетворительного состояния подшипника, и др., с использованием акустической выборки и спектральных характеристик и/или

модели(-ей), определяющих наличие события, в соответствии с приведенным описанием. Когда имеется несколько единиц оборудования, единый акустический датчик, например оптоволоконно, может быть подключен к каждой единице оборудования. В такой схеме один опрашивающий узел может
5 выполнять мониторинг большого числа единиц оборудования, используя спектральный анализ, за счет разрешения по длине вдоль оптоволоконно для каждой единицы оборудования. Таким образом, для системы распределенного акустического мониторинга нет необходимости в нескольких процессорах, связанных с каждой единицей оборудования.

10 Аналогично, мониторинг трубопроводов может проводиться способом, аналогичным мониторингу стволов скважин, описанным в настоящем раскрытии. В этом варианте осуществления, оптоволоконно может обнаруживать разные события, например, утечки, переливание через закупорку или коррозию и др. Тем самым может осуществляться мониторинг по длине трубопровода.

15 Использование акустических датчиков для получения акустической выборки, которая может быть подвергнута анализу и сопоставлена с событиями с использованием выделения спектральных признаков, также может быть полезно для промышленных объектов других типов. Мониторинг с применением описанных здесь систем может использоваться в любой отрасли, где возникают
20 события, сопровождающиеся акустическими сигналами. Кроме того, когда сигналы распределены в пространстве, с приемным блоком может быть использован один акустический датчик, например, оптоволоконно, для обнаружения акустических сигналов по длине или линии прохождения чувствительного элемента, благодаря чему один элемент в состоянии
25 обнаруживать акустические сигналы по большой площади или линии прохождения. В этих вариантах осуществления, сигнал может быть получен и не из скважины. Например, акустический сигнал может быть получен от источника, не расположенного в скважине, или от источника, расположенного за пределами подземных пород. Таким образом, описанные здесь системы и способы
30 обработки могут быть использованы для идентификации событий с использованием спектральных признаков, полученных от акустических сигналов в разных отраслях и местах.

В настоящем раскрытии описаны способы и системы для идентификации событий (например, скважинных событий, транспортных событий, событий

мониторинга предприятий, событий мониторинга трубопроводов и др.). В некоторых вариантах осуществления, скважинные события могут содержать места притока текучей среды и/или режимы потока внутри трубы в скважине. В некоторых вариантах осуществления, могут быть обнаружены другие

5 скважинные события, например, обнаружено истечение текучей среды, сегрегация фаз текучей среды, дифференциация потока текучей среды внутри трубы, мониторинг целостности скважины, внутрискважинная утечка, диагностика режима потока в кольцевом пространстве, мониторинг

10 перекрывающих пород, обнаружение потока текучей среды за обсадной трубой, обнаружение гидроразрыва под действием текучей среды в перекрывающих породах (например, микросейсмические события), обнаружение песка (например, пескопроявление, приток песка и др.) и т.п. В некоторых вариантах осуществления, могут быть обнаружены, например, транспортные события, события в области безопасности, события, связанные с мониторингом

15 предприятия, события мониторинга трубопроводов и т.п. Как описано в настоящем раскрытии, для обеспечения обнаружения события с обработкой акустических данных DAS могут быть использованы спектральные дескрипторы или признаки в частотной области. Например, признаки в частотной области могут быть использованы при обнаружении скважинного события (например,

20 определение характеристик текучей среды, обнаружение места притока текучей среды, разделение фаз текучей среды, например, определение того, что текучая среда в одном или более местах, например, месте обнаруженного притока текучей среды, содержит приток газа, приток жидких углеводородов, приток водной фазы, комбинированный поток текучей среды, и/или изменяющийся во

25 времени поток текучей среды, например, "снарядный" режим однофазного или многофазного потока, и т.п.). В некоторых вариантах осуществления, модель обнаружения события может быть использована для идентификации события. Модель обнаружения события может включать одну или более отдельных моделей, которые могут совпадать или могут отличаться, как это более подробно

30 описано здесь. В некоторых вариантах осуществления, модель обнаружения событий может включать ряд подмоделей, например, модель потока текучей среды, используемую для различения фазы притока текучей среды, которая может обеспечить определение по меньшей мере одного из событий из притока газовой фазы, притока водной фазы, притока фазы жидкого углеводорода, и

различных комбинированных режимов потока в стволе скважины. В некоторых вариантах осуществления, одна и та же или разные модели обнаружения события могут быть использованы для идентификации других событий, например, различение фазы потока текучей среды для определения состава текучей среды, протекающей в трубе. Способ разработки описанной здесь 5 подходящей модели(-ей) для любого события также описывается в настоящем раскрытии.

10 Применение способов обработки сигналов и одной или более моделей обнаружения событий с DAS для скважинных событий, например, технического надзора скважин, может обеспечить ряд преимуществ, включая повышение отдачи пласта мониторингом отбора залежей посредством наблюдения за скважинной текучей средой (например, мониторингом извлекаемого потока), совершенствования области рабочих режимов за счет определения динамических 15 уровней (например, газа, воды и т.д.), обеспечение планируемого устранения неисправностей для эффективной эксплуатации скважины и целостности скважины, снижение операционных рисков за счет точного определения аномалий и/неисправностей в защитных элементах скважины. Аналогичные преимущества также возможны и в случае событий, не связанных со скважинами.

20 В некоторых вариантах осуществления, использование описанных здесь систем и способов может дать информацию о событиях и местах, где происходят разные события, потенциально обеспечивая большую эффективность действий (например, действий по ликвидации неисправностей в случае скважинных событий, действий по обеспечению безопасности в случае событий в этой 25 области, и т.д.) на основе результатов обработки. Описанные способы и системы также могут предоставлять информацию о событиях. Например, в случае скважинного события, может быть определена информация об изменениях объема притока текучей среды, происходящего в различных зонах притока текучей среды в функции различных текущих объемов добычи, различных 30 дросселей эксплуатационной скважины, и условий скважинного давления, тем самым обеспечивая управление притоком текучей среды. Для событий притока текучей среды раскрытые здесь варианты осуществления систем и способов также обеспечивают вычисление относительных концентраций в притоке текучей среды (например, относительных количеств газа, жидкого углеводорода,

и воды в притоке текучей среды) в ствол скважины, тем обеспечивая более адресные и эффективные восстановительные процедуры.

5 Описанные в настоящем раскрытии варианты осуществления способов обработки данных могут использовать шаги цифровой обработки сигналов в реальном времени в разной последовательности, для выделения акустического сигнала, полученного от различных источников, из фонового шума, и обеспечения обнаружения событий и мест их проявления в реальном времени, с использованием данных распределенного оптоволоконного акустического датчика в качестве входных данных.

10 Как показано в настоящем описании, могут быть разработаны одна или более моделей с использованием данных испытаний, для получения набора маркированных данных, используемых в качестве входных данных модели обнаружения события. Полученные обученные модели могут быть далее использованы для идентификации одной или более сигнатур, на основе признаков данных испытаний и одного или более методов машинного обучения, для разработки корреляций для наличия различных событий. В разработке модели обнаружения событий, конкретные события могут быть воссозданы в испытательном стенде, и для разработки данных испытаний могут быть получены и записаны акустические сигналы. Данные испытаний могут быть использованы для обучения одной или более моделей, определяющих различные события. Затем полученная модель может быть использована для определения одного или более событий. В некоторых вариантах осуществления, могут быть использованы данные натуральных наблюдений, корреляция которых с фактическими событиями устанавливается по входным сигналам с других датчиков. Эти данные могут быть промаркированы для создания набора обучающих данных, основанного на реальных ситуациях эксплуатации. Эти данные затем могут быть использованы одни или в комбинации с данными испытаний для разработки модели(-ей). Использование моделей описывается вначале, а процесс и системы для разработки моделей, используемых для идентификации событий, более подробно описаны ниже.

30 В настоящем описании, в качестве примера используются скважинные события. Также описываются другие события и модель(-и) обнаружения событий для других событий. Для скважинных событий, на фиг. 1 представлена блок-схема способа I идентификации события внутри ствола скважины в

соответствии с некоторыми вариантами осуществления настоящего раскрытия. Согласно описанию, способы и системы могут быть использованы для идентификации одного или более событий. Использование этого способа могут быть определены различные события, подобные скважинным событиям, включая, среди прочих, обнаружение истечения текучей среды, разделение фаз текучей среды, дифференциация потока текучей среды внутри трубопровода, мониторинг целостности скважины, внутрискважинная утечка, диагностика кольцевого режима потока текучей среды, мониторинг перекрывающих пород, обнаружение потока текучей среды за обсадной трубой, обнаружение гидроразрыва в перекрывающих породах под действием текучей среды, (например, микросейсмические события и т.д.), обнаружение песка (например, пескопроявление, потоки песка и т.д.), транспортные события, события в области безопасности, события мониторинга работы предприятия, события мониторинга трубопровода и т.п. События определенных типов описаны более подробно. Поток текучей среды может быть поток текучей среды вдоль или внутри трубчатого элемента внутри скважины, например, потока текучей среды внутри трубчатого элемента насосно-компрессорной колонны. Поток текучей среды может также быть поток текучей среды из продуктивного пласта или горизонта в трубчатый элемент скважины. Такой поток в скважину и/или трубчатый элемент скважины может называться притоком текучей среды. В то время как приток текучей среды может быть идентифицирован в настоящем раскрытии отдельно, такой приток текучей среды считается частью потока текучей среды внутри скважины.

Способ идентификации события может включать получение акустического сигнала на шаге 100 и определение одного или ряда признаков в частотной области из этого акустического сигнала на шаге 300. Для скважинных событий акустический сигнал может быть получен вдоль скважины, а для нескважинных событий акустический сигнал может быть получен вдоль линии прохождения датчика. В некоторых вариантах осуществления, способ включает идентификацию одного или более событий и/или мест проявления событий на шаге 500. В некоторых вариантах осуществления, способ включает определение информации для события с использованием ряда признаков в частотной области на шаге 600.

Как показано для варианта осуществления, представленного на фиг. 1, способ идентификации события в соответствии с настоящим раскрытием может опционально включать предварительную обработку акустического сигнала на шаге 200, перед определением на шаге 300 одного или ряда признаков в частотной области из акустического сигнала, опционально, с нормализацией одного или ряда из признаков в частотной области на шаге 400, перед идентификацией одного или более событий на шаге 500 и/или идентификации информации о событиях с использованием ряда из признаков в частотной области на шаге 600.

10 Как далее показано для варианта осуществления, представленного на фиг. 1, идентификация одного или более событий в одном или более мест проявления событий с использованием ряда признаков в частотной области на шаге 600 может включать введение ряда признаков в частотной области в модель обнаружения события, как это показано на шаге 600', для которого модель описана более подробно. Способ идентификации события в соответствии с 15 настоящим раскрытием может также включать, на шаге 650, определение уровня доверительной вероятности для идентификации события в одном или более мест проявления события с использованием ряда признаков в частотной области, на шаге 600, перед определением на шаге 800 восстановительных процедур, на основе идентифицированного события. Каждый из упомянутых шагов способа I 20 более подробно будет описан ниже.

Способ идентификации события в соответствии с некоторыми вариантами осуществления включает получение акустического сигнала на шаге 100. Этот акустический сигнал может быть получен любым способом, известным 25 специалистам. Далее, со ссылкой на фиг. 2, представляющего в сечении схематическую иллюстрацию производственной среды 101 ствола скважины, приводится описание частного варианта системы и способа получения акустического сигнала, в соответствии с вариантом осуществления настоящего раскрытия. Как будет более подробно описано ниже, варианты осуществления 30 снарядов для заканчивания нефтяной скважины, содержащие систему распределенных акустических датчиков (DAS) в соответствии с приведенным здесь описанием, могут быть помещены в производственную среду 101.

Как показано на фиг. 2, частный вариант производственной среды 101 включает ствол 114 скважины, пронизывающий подземный продуктивный

горизонт 102, обсадную трубу 112, охватывающую по меньшей мере часть ствола 114 скважины, и трубчатый элемент 120, проходящий через ствол 114 скважины и обсадную трубу 112. Вдоль трубчатого элемента 120 имеется несколько снарядов для заканчивания скважины, например, разнесенных сетчатых фильтров или узлов 118. Кроме того, между трубчатыми элементами 120 и боковой стенкой скважины 114 расположено несколько разнесенных устройств 117 разобщения интервалов и гравийных фильтров 122. В некоторых вариантах осуществления, производственная среда 101 включает ремонтный и/или буровой агрегат, расположенный на поверхности и поднимающийся над скважиной 114. В то время как на фиг. 2 показан частный вариант оборудования для заканчивания скважины, вместо оборудования на фиг. 2 или вместе с ним может использоваться и другое оборудование.

Вообще, ствол 114 скважины может быть пробурен в подземном продуктивном горизонте 102 с использованием любой подходящей технологии бурения. Ствол 114 скважины может проходить в основном вертикально от земной поверхности по вертикальной части ствола скважины, отклоняться от вертикали относительно земной поверхности по наклонной части ствола и/или переходить к горизонтальной части ствола скважины. Вообще, вся скважина или ее части могут быть вертикальными, наклоненными под любым приемлемым углом, горизонтальными и/или криволинейными. Кроме того, ствол 114 скважины может быть стволом новой скважины, существующей скважины, прямой скважины, скважины увеличенной протяженности, скважины с боковым стволом, многозабойной скважиной или скважины другого типа, для бурения и заканчивания одной или более продуктивных зон скважины. Как показано на чертеже, ствол 114 скважины включает в основном вертикальный эксплуатационный участок 150, представляющий собой часть скважины, законченную с необсаженным забоем (т.е., обсадная колонна 112 не проходит через эксплуатационный участок 150). Хотя на фиг. 2 участок 150 показан вертикальным и в виде необсаженной части скважины 114, раскрытые варианты выполнения могут использоваться и на участках скважин любой ориентации, и на участках скважин, имеющих или не имеющих обсадную трубу. Обсадная труба 112 проходит в ствол 114 скважины от поверхности и может быть зацементирована внутри скважины 114 цементом 111.

Трубчатый элемент 120 может быть опущен в ствол 114 скважины для выполнения бурения, заканчивания скважины, работ по предотвращению аварийных ситуаций, ремонта, обработки скважины и/или для использования в процессе добычи. В варианте выполнения, показанном на фиг. 2, трубчатым элементом 120 является колонна (НКТ) для заканчивания скважины, включающая встроенный распределенный акустический датчик (DAS). Однако, в общем, варианты выполнения трубчатого элемента 120 могут функционировать в скважине как другой тип конструкции, включая, без ограничения, такие как буровая колонна, обсадная колонна, защитный изоляционный слой, НКТ и/или гибкая НКТ. Кроме того, трубчатый элемент 120 может использоваться в любой части ствола 114 скважины (например, вертикальной, наклонной, горизонтальной и/или искривленной части скважины 114). В описанных здесь вариантах выполнения системы с DAS могут быть прикреплены снаружи трубчатого элемента 120 или, в некоторых вариантах выполнения, расположены внутри трубчатого элемента 120, как это показано на фиг. 3А и 3Б, соответственно. Когда оптоволокно DAS прикреплено снаружи трубчатого элемента 120, как изображено на фиг. 3Б, оно может быть расположено внутри линии управления, канала управления или углубления в трубчатом элементе 120. В некоторых вариантах выполнения, система может включать внешний защитный кожух, содержащий трубчатый элемент 120 и защищающий систему при установке. Линия или канал управления могут быть сформированы в кожухе, а волокно DAS может быть помещено в линию или канал управления.

Трубчатый элемент 120 может проходить от поверхности к продуктивным зонам скважины и обычно образует трубопровод для текучих сред, для их перемещения от продуктивного пласта 102 на поверхность. Снаряд для заканчивания нефтяной скважины, включающий трубчатый элемент 120, может включать и различное другое оборудование или скважинный инструмент для обеспечения добычи пластовых текучих сред из продуктивных зон. Например, для изоляции различных зон внутри скважины 114 могут использоваться устройства 117 разобщения интервалов. В данном варианте осуществления, каждым устройством 117 разобщения интервалов может быть пакер (например, эксплуатационный пакер колонны, пакер для забойного гравийного фильтра, пакер для гидроразрыва пласта с установкой гравийного фильтра и т.д.). Устройство 117 для разобщения интервалов (зон) скважины может быть

расположено между сетчатыми фильтрами 118, например, для разобщения различных зон гравийной набивки или интервалов вдоль ствола 114 скважины друг от друга. Вообще, расстояние между каждой парой соседних устройств 117 для разобщения смежных зон определяет продуктивный интервал.

5 Узлы 118 сетчатых фильтров определяют возможности защиты от пескопроявления. В частности, сетчатые элементы 118 фильтра защиты от поступления песка, или любые другие фильтрующие среды, связанные с трубчатым элементом 120 ствола скважины, могут быть предназначены для пропускания текучих сред, но ограничения и/или предотвращения прохождения
10 сквозь них частиц достаточного размера. Узлы 118 сетчатых фильтров могут относиться к типу "проволочных фильтров", выполненных из проволоки, плотно намотанной по спирали вокруг трубчатого элемента ствола скважины, в которых расстояние между витками проволоки выбирается так, чтобы обеспечить прохождение текучей среды через фильтрующую среду и задерживать частицы с
15 размером более запрещенного для прохождения между витками проволоки. Вдоль трубчатого элемента 120 может располагаться и другая фильтрующая среда, которая может включать конструкции любого типа, обычно используемые в устройствах заканчивания скважин с гравийным пакером, обеспечивающие протекание текучих сред сквозь фильтр или сетчатый элемент, ограничивая
20 и/или блокируя при этом поток частиц (например, другие имеющиеся на рынке фильтры, трубы или лайнеры со щелями или перфорацией; металлокерамические фильтры; сетчатые фильтры; противопесочные трубные фильтры, фильтры с предварительной набивкой и/или фильтрующие гильзы; или комбинации всех упомянутых устройств). Снаружи вокруг любой такой фильтрующей среды
25 может быть установлен защитный внешний кожух с множеством сквозных отверстий.

Гравийный фильтр 122 сформирован в кольцевом пространстве 119 между сетчатыми фильтрами 118 (или трубчатым элементом 120) и боковой стенкой
30 ствола 114 скважины в скважине с необсаженным забоем. Как правило, гравийный фильтр 122 содержит относительно крупный гранулированный материал, помещенный в затрубное пространство для формирования грубого фильтра, задерживающего поступление песка в ствол скважины и одновременно укрепляющего стенку скважины. Гравийный фильтр 122 является опциональным и может не присутствовать во всех законченных скважинах.

Текучая среда, втекающая в трубчатый элемент 120, может содержать более одного компонента текучей среды. Типичные компоненты включают природный газ, нефть (например, жидкие углеводороды), воду, водяной пар, диоксид углерода и/или различные потоки многофазных смесей. Кроме того, поток текучей среды может изменяться во времени, включая закупоривание, образование пузырьков или изменение во времени расходов различных фаз. Относительные пропорции этих компонентов могут изменяться со временем, в зависимости от условий внутри нефтяного пласта 102 и ствола 114 скважины. Аналогично, состав текучей среды, втекающей в секции трубчатого элемента 120 по длине всей насосно-компрессорной колонны, может существенно меняться от участка к участку в любое время.

Текучие среды могут поступать в скважину 114 и в НКТ заканчивания скважины. Когда текучая среда попадает в скважину 114, она может вызывать акустические колебания, которые могут быть обнаружены посредством акустического датчика, например, системы DAS. Соответственно, поток различных текучих сред в ствол 114 скважины и/или через ствол скважины 114 может создавать вибрации или акустические колебания, которые могут быть обнаружены с использованием датчиков для обнаружения вибраций или акустических колебаний. Например, вибрации могут быть обнаружены системой DAS, хотя могут быть использованы точечные датчики вибраций или акустические датчики других типов по одиночке или в комбинации с системой DAS. Событие каждого типа, например, разные потоки текучих сред и потоки текучих сред в разных местах могут формировать акустическую сигнатуру, обладающую уникальными характеристиками признаков в частотной области.

Показанная на фиг. 2 система DAS содержит акустическую сенсорную систему на основе оптоволоконна 162, в которой используется обратно рассеянный оптический компонент света, введенного в оптоволоконно для обнаружения акустических возмущений (например, динамических напряжений) по длине оптоволоконна 162. Свет может генерироваться источником 166 света, например, лазером, который может генерировать импульсы света. Оптоволоконно 162 выполняет функцию чувствительного элемента, не имеющего дополнительных преобразователей на пути светового луча, и измерения могут выполняться по всей длине оптоволоконна 162. Измеренные значения могут быть определены оптическим приемником, например, датчиком 164, и выборочно подвергнуты

фильтрации для получения измерений от заданной точки или расстояния по глубине, обеспечивая распределенное измерение, предоставляющее выборочные данные для нескольких зон вдоль оптоволокна 162 в любой данный момент времени. Таким образом, оптическое волокно 162 эффективно действует как
5 распределенная решетка микрофонов, обнаруживающих скважинные акустические сигналы и рассредоточенных по всей длине оптоволокна 162, которое обычно перекрывает по меньшей мере продуктивную зону 150 скважины 114.

Свет, отраженный в обратном направлении в оптоволокне 162 в результате
10 оптического обратного рассеяния, может распространяться обратно к источнику, где сигнал может быть принят датчиком 164 и подвергнут обработке (например, процессором 168). В принципе, время, необходимое для возвращения света в точку приема, пропорционально расстоянию, проходимому по оптоволокну 162. Свет, возникший в результате обратного рассеяния по длине оптоволокна 162,
15 может быть использован для получения характеристик среды, окружающей оптоволокно 162. Использование управляемого источника 166 света (например, с управляемой шириной спектра и частотой) может обеспечить прием обратно рассеянного света и проведение анализа любых возмущений по длине оптоволокна 162. Вообще, любые акустические или динамические возмущения
20 напряжений по длине оптоволокна 162 могут приводить к изменению свойств обратно рассеянного света, обеспечивая распределенные измерения как акустической мощности (например, амплитуды), так и частоты, а в некоторых случаях и относительной фазы возмущения.

К одному концу оптоволокна 162 может быть присоединено устройство 160
25 обнаружения. Как показано далее, источник 166 света может генерировать свет (например, один или более световых импульсов), а датчик 164 может принимать и анализировать рассеянный обратно свет, возвращающийся по оптоволокну 162. В некоторых случаях, устройство 160 обнаружения, включающее источник 166 света и датчик 164, далее называется запросчиком. Помимо источника 166
30 света и датчика 164, устройство 160 обнаружения в основном содержит процессор 168, связанный с датчиком 164, предназначенный для выполнения различных шагов по анализу, подробно описанных ниже. Хотя процессор показан в составе устройства 160 обнаружения, он также может располагаться вне устройства 160 обнаружения, включая также и расположение вдали от

устройства 160 обнаружения. Датчик 164 может быть использован для получения данных с различной скоростью, и может принимать данные со скоростью, достаточной для обнаружения нужных акустических сигналов с достаточной полосой. В варианте осуществления, может быть достигнут интервал разрешения по глубине примерно от 1 м до 10 м, или менее, чем или равно примерно 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2 или 1 м. В зависимости от требуемого разрешения, для проведения вычислений могут использоваться бóльшие усредненные значения или интервалы. Когда не требуется высокое разрешение по глубине, в некоторых вариантах осуществления может использоваться система с бóльшим дискретом разрешения (что может быть дешевле).

В то время как описываемая система 101 может быть использована с системой DAS для получения акустического сигнала для определения местонахождения или глубины в скважине 114, для выполнения описанных здесь шагов обработки может быть использована любая подходящая система обнаружения акустических сигналов. Например, для получения акустического сигнала в данном месте могут быть использованы различные микрофоны и иные датчики, использующие описанную здесь обработку сигнала. Преимуществом использования системы DAS является то, что акустический сигнал может быть получен по большому числу мест и/или по непрерывной протяженности скважины 114, вместо дискретных точек.

Конкретные спектральные сигнатуры и/или модели могут быть определены для каждого события путем учета одного или более признаков в частотной области для акустического сигнала, полученного из ствола скважины. Полученные спектральные сигнатуры и/или модели далее могут быть использованы вместе с обработанными данными акустических сигналов для определения наступления события в интересующем интервале глубин. Спектральные сигнатуры и/или модели могут быть определены путем рассмотрения различного типа перемещений и потоков, происходящих внутри скважины и характеризующих признаки в частотной области для каждого типа потоков. В некоторых вариантах осуществления, чтобы характеризовать поток каждого типа, могут быть использованы различные комбинации и/или преобразования признаков в частотной области.

На фиг. 4 схематически представлен вид частного варианта осуществления трубчатого элемента 120 ствола скважины с притоком текущей среды,

включающей газовую фазу (например, как это показано пузырьками 202 газа) с жидкой фазой или без нее, а на фиг. 3А и 3Б текучая среда (например, газ, жидкие углеводороды, вода) показана в поперечном сечении. Показанная газовая фаза 202 может протекать из горизонта 102 в ствол 114 скважины и далее в трубчатый элемент 120. При втекании текучей среды 202 в трубчатый элемент 120 могут формироваться различные акустические сигналы, а при протекании текучей среды внутри трубчатого элемента 120 также могут генерироваться дополнительные акустические сигналы, которые могут такими же, что и сигналы от притока, но могут и отличаться от них. Далее акустические сигналы могут обнаруживаться оптоволоконном DAS и регистрироваться с использованием системы DAS. Если не ограничиваться данным расположением и не обращаться к какой-либо теории, спектральные характеристики звуков, генерируемых потоком текучей среды каждого типа и/или притоком, могут зависеть от эффективной массы и расхода каждой текучей среды. В некоторых вариантах осуществления, акустические сигналы, полученные на шаге 100, могут включать частоты в диапазоне примерно от 5 Гц до 10 кГц, частоты в диапазоне примерно от 5 Гц до 5 кГц или примерно от 50 Гц до 5 кГц, или частоты в диапазоне примерно от 500 Гц до 5 кГц. Могут быть использованы любые частотные диапазоны между нижними значениями частот (например, 5 Гц, 50 Гц, 500 Гц и т.д.) и верхними значениями частот (например, 10 кГц, 7 кГц, 5 кГц и т.д.) для определения частотного диапазона для широкополосного акустического сигнала.

Для газового потока и/или притока в качестве примера, близость оптоволоконна 162 может увеличить вероятность того, что любые генерируемые акустические сигналы будут обнаружены оптоволоконном 162. Поток газа в скважине с высокой вероятностью будет сопровождаться турбулентностью в широком частотном диапазоне. Например, акустические сигналы от поступающего газа могут находиться в диапазоне частот примерно от 0 Гц до 1000 Гц, или, в альтернативном случае, примерно от 0 Гц до 500 Гц. Повышенная интенсивность сигнала может возникать на частотах примерно от 300 Гц до 500 Гц вследствие повышенной турбулентности газового потока. Пример акустического сигнала, возникающего от притока газа в скважину, представлен на фиг. 5, где показаны графики временной зависимости отфильтрованной по частоте интенсивности акустического сигнала для меняющейся глубины, для пяти частотных интервалов разрешения.

Представлены пять частотных интервалов разрешения 5 Гц – 50 Гц, 50 Гц – 100 Гц, 100 Гц – 500 Гц, 500 Гц – 2000 Гц и 2000 Гц – 5000 Гц. Интенсивность акустического сигнала заметна на первых трех интервалах разрешения в частотных диапазонах до 500 Гц, а на частотах более 500 Гц акустическая интенсивность практически незаметна. Этим демонстрируется, что по меньшей мере часть признаков в частотной области может отсутствовать на частоте более 500 Гц, что может способствовать определению сигнатуры притока газа.

Частотная характеристика такого типа показывает, что для каждого события можно ожидать, что его акустическая характеристика потенциально имеет уникальный набор признаков, которые могут способствовать определению сигнатуры для этого события. Хотя здесь приведено рассмотрение в категориях частотных диапазонов или интервалов разрешения, могут быть использованы и другие признаки и преобразования этих признаков для определения сигнатур газового потока и/или притока, которые могут быть использованы с многопараметрической моделью для определения возможного присутствия газового потока и/или притока.

Аналогичные частотные признаки можно ожидать и для событий другого типа. Полученные акустические сигналы могут быть подвергнуты обработке для определения ряда признаков в частотной области. Затем на основе ряда признаков в частотной области могут быть разработаны сигнатуры для потока текучей среды каждого типа. Это может включать преобразование одного или более из признаков в частотной области для выполнения функции элемента сигнатуры конкретного потока текучей среды, как это более подробно описано в настоящем раскрытии.

В варианте осуществления, событие, включающее утечку газа из продуктивного пласта в ствол скважины, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в нижнем частотном диапазоне (например, в диапазоне примерно от 0 Гц до 500 Гц) с относительно высоким нормированным значением центроида спектра. Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку ожидаемый сигнал может и не быть широкополосным сигналом.

Помимо этого, можно говорить о среднеквадратическом значении (СКЗ) энергии в полосе в интервалах разрешения, представляющих частоты вплоть до примерно 500 Гц, при том, что в интервалах разрешения, представляющих

частоты выше примерно 500 Гц, СКЗ энергия в полосе (или соотношение энергий в поддиапазонах) будет отсутствовать или будут существенно снижена, по сравнению с частотными интервалами разрешения, представляющими частоты от 0 Гц до примерно 500 Гц. Кроме того, СКЗ энергия в полосе, представляющая частотный диапазон примерно от 300 Гц до 500 Гц, может демонстрировать наибольшее значение СКЗ энергии в полосе (или соотношение энергий в поддиапазонах), по сравнению с частотными интервалами разрешения, представляющими другие частотные диапазоны. Также могут быть определены дополнительные признаки в частотной области для события утечки газа, и могут быть использованы как часть сигнатуры утечки газа.

Событие, содержащее приток газа из продуктивного пласта в ствол скважины, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в пределах нижнего частотного диапазона (например, в диапазоне примерно от 0 Гц до 500 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку полоса ожидаемого сигнала может быть неширокой. Кроме того, можно ожидать наличие СКЗ энергии в полосе в интервалах разрешения, представляющих частоты более примерно 500 Гц, в то время как в интервалах разрешения, представляющих частоты выше примерно 500 Гц, СКЗ энергия в полосе будет отсутствовать или будет существенно снижена, по сравнению с частотными интервалами разрешения, представляющими частоты от 0 Гц до примерно 500 Гц. Кроме того, СКЗ энергия в полосе, представляющая частотный диапазон примерно от 0 Гц до 50 Гц, может демонстрировать наибольшее значение СКЗ энергии в полосе, по сравнению с частотными интервалами разрешения, представляющими другие частотные диапазоны. Также могут быть определены дополнительные признаки в частотной области для события притока газа, и могут быть использованы как часть сигнатуры притока газа.

Событие, содержащее пескопроявление, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра на частотах выше примерно 500 Гц. Разброс спектральных значений может быть относительно большим, поскольку ожидается широкополосный сигнал. Кроме того, можно ожидать, что СКЗ энергия в полосе в интервалах разрешения, представляющих частоты более 500 Гц, будет иметь значения выше нуля, указывая тем самым на присутствие широкополосного сигнала. Также могут быть определены

дополнительные признаки в частотной области для события пескопроявления, и могут быть использованы как часть сигнатуры пескопроявления.

Событие, содержащее высокий расход потока текучей среды из продуктивного пласта в ствол скважины и/или внутрь снаряда для заканчивания скважины, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в нижнем частотном диапазоне (например, в пределах диапазона от 0 Гц до примерно 50 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку ожидаемый сигнал может не быть широкополосным сигналом. Кроме того, можно предполагать, что СКЗ энергия в полосе будет присутствовать в интервалах разрешения, представляющих частоты более примерно 50 Гц, в то время как в интервалах разрешения, представляющих частоты выше примерно 50 Гц, СКЗ энергия в полосе будет отсутствовать или будет существенно снижена, по сравнению с частотными интервалами разрешения, представляющими частоты от 0 Гц до примерно 50 Гц. Также могут быть определены дополнительные признаки в частотной области для события высокого расхода потока текучей среды, и могут быть использованы как часть сигнатуры высокого расхода потока текучей среды.

Событие, содержащее внутрискваженный перенос песка и/или движение песчаной пробки, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в пределах диапазона нижних частот (например, в диапазоне от 0 Гц до примерно 20 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку ожидаемый сигнал может быть не широкополосным сигналом. Кроме этого, можно ожидать наличие СКЗ энергии в полосе в интервалах разрешения, представляющих частоты до примерно 20 Гц, в то время как в интервалах разрешения, представляющих частоты выше примерно 20 Гц, СКЗ энергия в полосе будет отсутствовать или будет существенно снижена, по сравнению с частотными интервалами разрешения, представляющими частоты от 0 Гц до примерно 20 Гц. Кроме того, СКЗ энергия в полосе, представляющая частотный диапазон примерно от 0 Гц до 20 Гц, будет иметь повышенную энергию или уровень мощности, по сравнению с мощностью или энергией шума потока текучей среды. На частоте более примерно 50 Гц может иметь место спад спектральной характеристики. Также могут быть определены дополнительные признаки в частотной области для события

внутрискваженного переноса песка, и могут быть использованы как часть сигнатуры внутрискваженного переноса песка.

Событие, содержащее поток текучей среды мимо сужения, содержащего песчаную пробку или песчаную дюну в трубчатом элементе скважины или НКТ, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в низкочастотном диапазоне (например, в диапазоне от 0 Гц до, примерно, 50 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку ожидается, что сигнал не должен быть широкополосным. Кроме того, ожидается, что СКЗ энергия в полосе будет находиться в частотных интервалах разрешения, представляющих частоты примерно до 50 Гц, в то время как частотные интервалы разрешения на частотах выше примерно 50 Гц не будут содержать СКЗ энергии в полосе, либо эта энергия будет существенно снижена, по сравнению с СКЗ энергией в частотных интервалах разрешения на частотах от 0 Гц до примерно 50 Гц. Для события протекания потока текучей среды мимо сужения могут также быть определены дополнительные признаки в частотной области и использованы как часть сигнатуры протекания потока текучей среды мимо сужения.

Событие, содержащее поток текучей среды снаружи обсадной трубы (например, между обсадной трубой и продуктивным пластом), может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в низкочастотном диапазоне (например, в диапазоне примерно от 0 Гц до 300 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку ожидается, что сигнал не должен быть широкополосным. Кроме того, ожидается, что СКЗ энергия в полосе будет находиться в частотных интервалах разрешения, представляющих частоты до, примерно, 300 Гц, в то время как частотные интервалы разрешения на частотах выше примерно 300 Гц, не будут содержать СКЗ энергии в полосе, либо эта энергия будет существенно снижена, по сравнению с СКЗ энергией в частотных интервалах разрешения на частотах от 0 Гц до, примерно, 300 Гц. Помимо этого, СКЗ энергия в интервалах разрешения, представляющих частоты между 0 Гц и, примерно, 70 Гц, будут содержать повышенный уровень энергии или мощности, по сравнению с СКЗ энергией в остальных частотных интервалах разрешения. Для события протекания потока текучей среды за пределами обсадной трубы могут также быть определены дополнительные признаки в частотной области и использованы

как часть сигнатуры протекания потока текучей среды за пределами обсадной трубы.

Событие, содержащее самоиндуцированный гидравлический разрыв, который может быть вызван движением текучей среды в окрестностях скважины, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей 5 центроид спектра в диапазоне средних частот (например, в диапазоне примерно от 0 Гц до 1000 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно большим, поскольку ожидается, что сигнал может иметь полосу частот, простирающуюся до, примерно, 5000 Гц. Кроме того, ожидается, что СКЗ 10 энергия в полосе будет находиться в частотных интервалах разрешения, представляющих частоты вплоть до, примерно, 1000 Гц. Помимо этого, индикатором события с гидроразрывом может служить скорость изменения спектра мощности. Можно ожидать быстрого изменения спектра мощности в начале гидроразрыва, из-за практически мгновенного роста спектральной 15 мощности при возникновении гидравлического разрыва. Скорость изменения спектра мощности могла бы также указывать и на завершение события, если событие занимает более одного фрейма в процессе акустического мониторинга. Для события самоиндуцированного гидравлического разрыва могут также быть определены дополнительные признаки в частотной области и использованы как 20 часть сигнатуры самоиндуцированного гидравлического разрыва.

Событие, содержащее просачивание текучей среды в сужение в скважине или пробку, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в диапазоне низких частот (например, в диапазоне от 0 Гц до, 25 примерно, 500 Гц). Разброс спектральных значений может быть относительно небольшим, поскольку ожидается, что сигнал не должен быть широкополосным. Кроме того, ожидается, что СКЗ энергия в полосе будет находиться в частотных интервалах разрешения, представляющих частоты примерно до 500 Гц. Для события просачивания текучей среды в сужении могут также быть определены 30 дополнительные признаки в частотной области и использованы как часть сигнатуры просачивания текучей среды в сужении.

Событие, содержащее распространение трещин породы, может характеризоваться акустической сигнатурой, включающей центроид спектра в диапазоне высоких частот (например, в диапазоне от 1000 Гц до, примерно, 5000 Гц). Кроме того, ожидается, что СКЗ энергия в полосе будет находиться в

частотных интервалах разрешения, представляющих частоты примерно от 1000 Гц до 5000 Гц. Помимо этого, индикатором события с образованием трещин может служить скорость изменения спектра мощности. Можно ожидать быстрое изменение спектра мощности в начале распространения трещины, из-за
5 практически мгновенного роста спектральной мощности при возникновении трещины. Скорость изменения спектра мощности могла бы также указывать и на завершение события, если событие занимает более одного фрейма в процессе акустического мониторинга. Для события распространения трещин породы могут также быть определены дополнительные признаки в частотной области и
10 использованы как часть сигнатуры образования трещин породы.

Хотя выше были приведены численные интервалы процессов, реальные численные данные могут варьироваться в зависимости от системы сбора данных и/или эти величины могут быть нормированы или обработаны иным путем с получением иных показателей. В результате, сигнатуры для каждого события
15 могут иметь разные пороговые значения или интервалы величин для каждого из ряда признаков в частотной области. Кроме того, раскрытое здесь использование моделей обнаружения событий может содержать разные признаки в частотной области, включая больше или меньше из признаков в частотной области, для определения наличия одного или более из событий внутри ствола скважины.

20 Другие события, например, транспортные события, события в области безопасности, события, связанные с мониторингом работы предприятий, события, связанные с мониторингом трубопроводов, также, как ожидается, создают акустические сигналы, для которых могут быть определены признаки в частотной области. Выбор одного или более признаков в частотной области (или
25 их комбинаций, функций или преобразований) может быть основан на измерении акустических сигналов, связанных с такими событиями, в условиях, когда источник таких акустических сигналов известен. Это может позволить идентифицировать и отобрать признаки в частотной области, возникающие в результате таких событий, для обнаружения наличия таких событий в
30 акустическом сигнале.

Возвращаясь к изображению на фиг. 2, отметим, что процессор 168 в устройстве 160 обнаружения может быть сконфигурирован для выполнения обработки различных данных для определения наличия события в стволе 114 скважины. Устройство 160 обнаружения может включать запоминающее

устройство 170, сконфигурированное для хранения приложения или программы для выполнения анализа данных. Хотя запоминающее устройство 170 показано в составе устройства 160 обнаружения, оно может включать одно или более запоминающих устройств, любое из которых может и не входить в состав устройства 160 обнаружения. В варианте осуществления, процессор 168 может исполнять программу, которая может конфигурировать процессор 168 для пространственной фильтрации набора акустических данных, определения одного или более признаков акустического сигнала в частотной области, и определения на основе описанного ниже анализа, проявляется или нет событие в выбранном месте. Анализ может быть повторен по различным местам вдоль длины ствола 114 скважины, для определения мест проявления одного или более событий.

Когда акустический датчик содержит систему DAS, по оптоволокну 162 первичные оптические данные в реальном времени или близком к реальному могут прийти к устройству 160 обнаружения. В вариантах осуществления, первичные данные могут быть сохранены в запоминающем устройстве 170 для различных последующих применений. Датчик 164 может быть выполнен с возможностью преобразования первичных оптических данных в набор акустических данных.

Как схематично показано на фиг. 6, вариант осуществления системы 401 для обнаружения события может содержать узел 402 извлечения данных, узел 404 обработки и/или выходное или отображающее устройство 406. Узел 402 извлечения данных может получать оптические данные и выполнять шаги начальной предварительной обработки для получения первичной акустической информации от сигнала, пришедшего из скважины. Может быть проведен различный анализ, включая выделение частотного диапазона, частотный анализ и/или преобразование, вычисление интенсивности или энергии, и/или определение одного или более свойств акустических данных. После узла 402 извлечения данных, полученные сигналы могут быть направлены в узел 404 обработки. В узле обработки, акустические данные могут быть подвергнуты анализу, например, вычислением одного или более признаков в частотной области и использованием модели или моделей, полученных методами машинного обучения (например, контролируемым обучением и т.д.) на одном или более признаками в частотной области, как это описано далее, для

определения присутствия одного или более событий и, в случае присутствия, определения информации для события(-ий).

Одна или более моделей обнаружения событий также может быть использована для определения наличия различных событий, например, в случае скважинных событий, различных событий внутри ствола скважины. В некоторых вариантах осуществления, метод машинного обучения включает регрессионную логистическую модель. В некоторых таких вариантах осуществления, могут быть использованы один или более признаков в частотной области (например, неравномерность спектральной характеристики, значения СКЗ в интервале разрешения ит.д.) для определения того, присутствует ли событие в каждом искомом месте. В некоторых вариантах осуществления, метод контролируемого обучения может быть использован для определения модели различных событий, например, первой полиномиальной модели, имеющей в качестве входных данных ряд признаков в частотной области, для определения того, когда присутствует событие первого типа, второй полиномиальной модели, имеющей в качестве входных данных ряд признаков в частотной области, для определения того, когда присутствует событие второго типа, и одного или более дополнительных полиномиальных уравнений, имеющих в качестве входных данных ряд признаков в частотной области, для определения, когда присутствуют дополнительные события. Когда узел 404 обработки использует модель, полученную методом машинного обучения, для определения наличия одного или более событий или их отсутствия, полученная в результате анализа информация далее может быть направлена из узла 404 обработки в выходное или отображающее устройство 406, где различная информация, например, информация для отображения мест проявления событий и/или информация о событии(-ях) может быть отображена различными и способами. Например, скважинные события могут быть отображены на схеме скважины, на временной диаграмме каротажа, или любым иным способом отображения для содействия пониманию того, где наступает событие(-я), и, в некоторых вариантах осуществления, для отображения относительных количеств или показателей для различных событий, например, компонентов притока текучей среды, наступившего в одном или более местах по длине скважины. Другие события, например, связанные с обеспечением безопасности, события в трубопроводах, транспортные события, события, связанные с мониторингом оборудования, и

др., могут быть отображены на карте или технологической схеме процесса. Хотя на фиг. 6 узлы изображены по отдельности, любые два или более из узлов, показанных на фиг. 6, могут быть объединены в единый узел. Например, на буровой площадке может находиться единый узел для обеспечения анализа, выдачи данных, и, опционально, отображения полученной информации.

Как было отмечено выше, способ идентификации одного или более событий в соответствии с настоящим раскрытием, может, в частности, включать предварительную обработку акустического сигнала. Акустический сигнал может возникать внутри ствола скважины, как это было описано. В зависимости от типа используемой системы распределенного акустического датчика (DAS), оптические данные могут обладать, а могут и не обладать фазовой когерентностью, и могут быть предварительно обработаны для улучшения качества сигнала (например, очисткой от шумов для нормирования оптоэлектронного шума/исключение тренда в подавлении шумов от точечного отражения путем использования метода медианной фильтрации или даже использования вычисления пространственного движущегося среднего с окном усреднения, согласованного с пространственным разрешением блока сбора данных и т.д.). Первичные оптические данные из акустического датчика могут быть приняты и генерированы датчиком для вырабатывания акустического сигнала. Темп выдачи данных, вырабатываемых различными акустическими датчиками, например системой DAS, может быть высоким. Например, система DAS может вырабатывать данные со скоростью порядка от 0,5 до 2 терабайт в час. Эти первичные данные могут, опционально, сохраняться в запоминающем устройстве.

Первичные данные могут, в частности, подвергаться предварительной обработке на шаге 200. Для определения наличия одного или более событий может быть выполнен ряд конкретных шагов обработки. В варианте осуществления, данные "акустической переменной" с исключенным трендом подавления шума могут быть подвергнуты опциональной пространственной фильтрации после других шагов предварительной обработки, при их наличии. Может быть использована точечная фильтрация пространственной выборки, в которой используется фильтр для получения части акустического сигнала, соответствующей заданной глубине в стволе скважины, или длины, или места расположения вдоль линии прохождения оптоволокна. Поскольку время, за

которое импульс света, направленный в оптоволокно, возвращается в виде
рассеянного обратно света, может соответствовать пройденному расстоянию, а
значит и положению вдоль оптоволокна (например, глубине в стволе скважины,
физическому месту расположения вдоль волокна и т.д.), акустические данные
5 могут быть подвергнуты обработке для получения выборки, показывающей
нужную глубину, интервал глубин, и/или месторасположение. Это позволяет
изолировать конкретное место для дальнейшего анализа. Шаг предварительной
обработки может также включать удаление шумов паразитного обратного
10 рассеяния на некоторых глубинах, с использованием пространственной
медианной фильтрации или пространственного усреднения. Это является
опциональным шагом и помогает сосредоточиться преимущественно на целевом
интервале вдоль волокна (например, интервале внутри ствола скважины).
Например, шаг пространственной фильтрации может быть использован для того,
чтобы сосредоточиться на продуктивном интервале, где существует
15 максимальная вероятность наступления события. Полученный набор данных,
выработанный посредством преобразования первичных оптических данных,
можно называть данными акустической выборки.

Фильтрация может обеспечить ряд преимуществ. Когда набор акустических
данных подвергается пространственной фильтрации, полученные данные,
20 например, данные акустической выборки, использованные для следующего шага
анализа, могут служить показателем акустической выборки по определенной
глубине, (например, полной длине оптоволокна, некоторой его части, или
точечного источника в стволе 114 скважины). В некоторых вариантах
осуществления, набор акустических данных может содержать ряд акустических
25 выборок, полученных пространственным фильтром, для формирования данных
по ряду интервалов по глубине. В некоторых вариантах осуществления,
акустическая выборка может содержать акустические данные по интервалу
глубины, достаточному для охвата нескольких точек, представляющих интерес.
В некоторых вариантах осуществления, данные акустической выборки содержат
30 информацию по всему частотному диапазону для глубины, представленной
выборкой. Другими словами, различные шаги фильтрации, включая
пространственную фильтрацию, не удаляют частотную информацию из данных
акустической выборки.

Процессор 168 может быть также сконфигурирован для преобразования
фильтрованных данных из временной области в частотную область с
использованием преобразования. Например, может быть выполнено дискретное
преобразование Фурье (ДПФ) или оконное преобразование Фурье (ОПФ)
5 переменных акустических данных во временной области, измеренных в каждом
участке по глубине вдоль волокна, или его секции, для получения данных, из
которых могут быть определены ряд признаков в частотной области. Извлечение
спектральных признаков по времени и пространству может быть использовано
для определения спектрального соответствия и определения того, присутствует
10 ли акустическая сигнатура (например, сигнатура события и т.д.) в акустической
выборке. При выполнении этого анализа для данных акустической выборки
могут быть вычислены различные признаки в частотной области.

Предварительная обработка на шаге 200 может, опционально, включать
процедуру нормализации шума для улучшения качества сигнала, этот шаг может
15 меняться в зависимости от типа используемого устройства обнаружения, а также
от конструкции источника света, датчика, и других процедур обработки.
Порядок упомянутых выше шагов обработки может меняться, и может
использоваться другая последовательность шагов.

Предварительная обработка на шаге 200 может также содержать
20 калибрование акустического сигнала. Калибрование акустического сигнала
может включать удаление из акустического сигнала фонового сигнала и/или
коррекцию акустического сигнала на изменения сигнала в измеренных данных.
В некоторых вариантах осуществления, калибрование акустического сигнала
включает идентификацию одной или более аномалий в акустическом сигнале, и
25 удаление одной или более частей акустического сигнала за пределами одной или
более аномалий.

Как отмечалось выше, способ в соответствии с настоящим раскрытием
содержит определение одного или более признаков в частотной области, или
спектральных признаков, на шаге 300. Использование признаков в частотной
30 области для идентификации событий может дать ряд преимуществ. Во-первых,
использование признаков в частотной области приводит к значительному
сокращению объема данных по сравнению с потоком первичных данных
распределенных акустических датчиков (DAS). При этом могут быть вычислены
ряд (группа) признаков в частотной области, обеспечивающих идентификацию

события, в то время как остальные данные могут быть отброшены или, в другом варианте, сохранены, а остальной анализ может быть выполнен с использованием признаков в частотной области. Даже если первичные данные DAS сохранять, то требуемые вычислительные возможности существенно снижаются благодаря использованию признаков в частотной области вместо 5 самих первичных акустических данных. Кроме того, использование признаков в частотной области может, при соответствующем выборе одного или более из признаков в частотной области, дать сжатую количественную оценку спектрального характера, или акустическая сигнатура специфических звуков, 10 относящихся к мониторингу скважинных событий и другим применениям.

В то время как для данных акустической выборки может быть определен ряд признаков в частотной области, не каждый признак в частотной области может быть использован для идентификации характеристик события или местонахождения событий. Признаки в частотной области представляют 15 конкретные свойства или характеристики акустических сигналов. Имеется ряд факторов, которые могут повлиять на выбор признаков в частотной области для каждого события. Например, выбранный дескриптор должен остаться относительно неизменным под влиянием помеховых воздействий от окружающей среды, например, помехового шума от электроники/оптики, 20 одновременно действующих акустических сигналов, искажений в канале передачи и т.п. Вообще, шум от электронных устройств/оборудования присутствует в акустических сигналах, принятых DAS или любым другим электронным датчиком, и обычно является нежелательным компонентом, создающим помехи сигналу. Тепловой шум вводится в процессе приема и 25 обработки сигналов аналоговыми устройствами, образующими часть аппаратуры (например, электронными усилителями и другими аналоговыми схемами). Это преимущественно обусловлено тепловым движением носителей заряда. В цифровых системах дополнительный шум может быть внесен посредством выборки и квантования. Признаки в частотной области должны иметь значения, 30 уровень которых достаточно велик с учетом наличия шума.

Другой вопрос касается выбора признака (-ов) в частотной области для события, при этом размерность признака в частотной области должна быть невелика. Компактное представление предпочтительно для снижения вычислительной сложности дальнейших расчетов. Признак в частотной области

также должен обладать различной мощностью. Например, для звуковых сигналов различного типа, выбранный набор дескрипторов должен обеспечивать вполне различимые величины. Мерой различной мощности признака является изменение векторов результирующего признака для набора соответствующих входных сигналов. При наличии различных классов аналогичных сигналов, распознающий дескриптор должен иметь небольшое изменение внутри каждого класса и большое изменение между различными классами. Признак в частотной области также должен быть в состоянии полностью перекрыть область значений свойства, которое он описывает.

10 В некоторых вариантах осуществления, могут быть использованы комбинации признаков в частотной области. Это может включать сигнатуру, имеющую много признаков в частотной области в качестве индикаторов. В некоторых вариантах осуществления, ряд признаков в частотной области могут быть преобразованы для получения значений, которые могут быть использованы для определения сигнатур различных событий. Эти преобразования могут включать математические преобразования, включающие соотношения, уравнения, скорости изменения, преобразования (например, вейвлеты, преобразования Фурье, другие гармонические преобразования и т.д.), другие признаки, полученные из набора признаков, и/или аналогичные, а также использование различных уравнений, которые могут определять линии, 20 поверхности, объемы, или многопараметрические оболочки. Преобразование может использовать другие измерения и величины помимо признаков в частотной области, как часть преобразования. Например, также могут быть использованы признаки во временной области, другие акустические признаки и неакустические измерения. В анализе этого типа, время также может рассматриваться как фактор, в дополнение к самим признакам в частотной области. В качестве примера, ряд признаков в частотной области может быть использован для определения поверхности (например, плоскости, трехмерной поверхности и т.д.) в многопараметрическом пространстве, и измеренные 30 признаки в частотной области затем могут быть использованы для определения того, находятся ли отдельные отсчеты из акустической выборки выше или ниже этой поверхности. Расположение отсчетов относительно поверхности затем может быть использовано для определения того, происходит ли событие или нет в том месте, где обнаружена акустическая выборка.

В качестве примера, выбранный набор признаков в частотной области должен быть в состоянии однозначно идентифицировать с достаточным уровнем доверительной вероятности сигнатуры каждого из акустических сигналов, относящихся к выбранному прикладному методу скважинных исследований или события, описываемому в настоящем раскрытии. Такие признаки в частотной области могут включать, среди прочих, центроид спектра, разброс спектральных значений, спад спектральной характеристики, асимметрию спектральной характеристики, среднеквадратичное значение (СКЗ) энергии в полосе (или нормированные энергии поддиапазонов/соотношение энергий в полосе), громкость или полное СКЗ энергии, неравномерность спектральной характеристики, наклон спектральной характеристики, эксцесс спектра, скорость изменения спектра мощности и автокорреляционную функцию спектра, или их нормированные версии.

Центроид спектра определяет "яркость" звука, принятого оптоволоконном 162, и показывает центр тяжести частотного спектра в акустической выборке. Центроид спектра может быть вычислен, как средневзвешенное частот, имеющих в сигнале, где абсолютные значения имеющих частот могут быть использованы как их веса в некоторых вариантах осуществления. Значение центроида спектра C_i в i^{th} фрейме акустического сигнала, принятого в пространственной точке волокна, может быть определено как:

$$C_i = \frac{\sum_{k=1}^N f(k)X_i(k)}{\sum_{k=1}^N X_i(k)} \quad (\text{Eq. 1})$$

где $X_i(k)$ представляет собой абсолютное значение оконного преобразования Фурье i^{th} фрейма, где " k " обозначает коэффициент или индекс элемента разрешения по частоте, N обозначает полное число разрешаемых элементов и $f(k)$ обозначает центральную частоту для некоторого элемента разрешения. Вычисленный центроид спектра может быть нормирован в интервале от 0 до 1. Более высокие значения центроида спектра обычно указывают на присутствие акустических колебаний с более высокими частотами и способствуют получению мгновенного показания присутствия высокочастотного шума.

Для акустической выборки также может быть определен разброс спектральных значений. Разброс спектральных значений является мерой формы спектра и помогает оценить, как спектр распределен вокруг центроида спектра.

Для расчета разброса S_i спектральных значений, необходимо взять отклонение спектра от вычисленного центроида в соответствии со следующим уравнением (все обозначения были определены выше):

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (f(k) - C_i)^2 X_i(k)}{\sum_{k=1}^N X_i(k)}} \quad (\text{Eq. 2})$$

5 Меньшие величины разброса спектральных значений соответствуют сигналам, спектр которых плотно сконцентрирован вокруг центроида спектра. Более высокие значения представляют более широкий разброс спектральных значений и показывают наличие широкополосного спектрального отклика.

Спад спектральной характеристики является мерой полосы аудио-сигнала.

10 Спад спектральной характеристики i^{th} фрейма определяется как элемент "у" разрешения по частоте, ниже которой накопленные значения оконного преобразования Фурье достигают определенного процентного значения (обычно от 85% до 95%) общей суммы значений спектра:

$$\sum_{k=1}^y |X_i(k)| = \frac{c}{100} \sum_{k=1}^N |X_i(k)| \dots \dots \dots (\text{Eq. 3})$$

15 где $c = 85$ или 95 . Результатом вычисления спада спектральной характеристики является индекс элемента разрешения по частоте и возможность различения акустических событий на основе преобладающих частотных распределений в частотной области (например, между притоком газа и потоком жидкости и т.д.).

20 Асимметрия спектральной характеристики является мерой симметричности распределения спектральных величин вокруг их арифметического среднего.

25 СКЗ энергии в полосе является мерой энергии сигнала в пределах заданных частотных элементов разрешения, которые далее могут быть использованы для формирования амплитуды сигнала. Выбор ширины полос может быть основан на характеристиках принятого акустического сигнала. В некоторых вариантах
30 выполнения, соотношение энергии поддиапазонов, представляющих отношение верхней частоты в выбранном диапазоне к нижней частоте в выбранном диапазоне, может находиться в пределах примерно от 1,5:1 до 3:1. В некоторых вариантах выполнения, соотношение энергии в поддиапазонах может варьироваться примерно от 2,5:1 до 1,8:1, или в других случаях, примерно 2:1. В некоторых вариантах выполнения, выбранные диапазоны частот для сигнала с охватываемой шириной полосы частот 5000 Гц по Найквисту могут включать:

первый элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 0 Гц до 20 Гц, второй элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 20 Гц до 40 Гц, третий элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 40 Гц до 80 Гц, четвертый элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 80 Гц до 160 Гц, пятый элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 160 Гц до 320 Гц, шестой элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 320 Гц до 640 Гц, седьмой элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 640 Гц до 1280 Гц, восьмой элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 1280 Гц до 2500 Гц и девятый элемент разрешения по частоте с частотным интервалом от 2500 Гц до 5000 Гц. В некоторых вариантах осуществления, может быть использован низкочастотный порог для снижения уровня шума в сигнале. Например, может быть использован порог на более низкой частоте от 0 до 5 Гц, от 0 до 10 Гц, или от 0 до 15 Гц, в результате чего первый элемент разрешения по частоте будет включать частотный интервал от 5 Гц до 20 Гц, от 10 Гц до 20 Гц, или от 15 Гц до 20 Гц, в зависимости от используемой нижней пороговой частоты. В некоторых вариантах осуществления, девятый элемент разрешения по частоте может быть определен так, чтобы перекрывать весь частотный диапазон, занятый другими элементами разрешения по частоте. Например, девятый элемент разрешения по частоте может иметь частотный интервал от 0 Гц до 5000 Гц (или от 5 Гц до 5000 Гц, от 10 Гц до 5000 Гц, от 15 Гц до 5000 Гц, в зависимости от того, используется нижний порог или нет, и от выбора этого порога). Элемент разрешения, перекрывающий весь частотный диапазон, может быть использован, в некоторых вариантах осуществления, для нормирования результатов измерений в каждом отдельном элементе разрешения. В то время как здесь перечислены конкретные частотные интервалы для каждого элемента разрешения, они указаны лишь в качестве примера, и также могут быть использованы другие величины с тем же или другим числом элементов разрешения по частоте. В некоторых вариантах выполнения, СКЗ энергии в полосе также могут быть выражены отношениями путем вычисления отношения СКЗ энергии сигнала в пределах определенных элементов разрешения по частоте к полному СКЗ энергии по всей полосе захвата (по Найквисту). Это может способствовать снижению или устранению зависимости от шума и мгновенных вариаций широкополосного звука.

Полное СКЗ энергии акустических колебаний, вычисленное во временной области, может свидетельствовать о громкости акустического сигнала. В некоторых вариантах выполнения, полное СКЗ энергии может также быть получено из временной области после очистки сигнала от шума.

5 Неравномерность спектральной характеристики является мерой зашумленности/тональности акустического спектра. Она может быть вычислена как отношение среднего геометрического к среднему арифметическому величины энергетического спектра и может быть использована в качестве альтернативного подхода к обнаружению широкополосных сигналов. Для 10 тональных сигналов, показатель равномерности может быть близок к 0, а для сигналов с более широкой полосой он может быть ближе к 1.

Спад спектральной характеристики обеспечивает простейшую аппроксимацию формы спектра прямой усредняющей линией. Спад 15 спектральной характеристики представляет собой снижение спектральных амплитуд при переходе от низких частот к высоким (например, наклон спектра). В качестве признаков могут быть использованы спад, развилка, и максимальная и средняя ошибка регрессии.

Экссесс спектра является мерой плоскостности распределения в окрестности средней величины.

20 Скорость изменения спектра мощности является мерой мгновенных изменений интенсивности спектра. Этот параметр позволяет измерить квадратичную межкадровую разность вектора спектральной интенсивности, просуммированную по всем частотам или выбранной части спектра. Сигналы с 25 медленно меняющимися (или почти постоянными) спектральными свойствами (например, шум) имеют низкую скорость изменения спектра интенсивности, в то время как сигналы с резкими спектральными изменениями имеют высокую скорость изменения спектра мощности. Скорость изменения спектра мощности может служить прямой мерой локальной скорости изменения спектра и, следовательно, служит средством обнаружения события, которое может быть 30 использовано для обнаружения возникновения акустических событий, которые затем могут быть подвергнуты дальнейшему анализу с использованием описанного выше признака для идентификации и однозначной классификации акустического сигнала.

Функция автокорреляции спектра представляет метод, при осуществлении которого выполняется сдвиг сигнала, и для каждого сдвига (запаздывания) сигнала вычисляется корреляция или сходство сдвинутого сигнала с исходным сигналом. Это обеспечивает расчет основного периода путем выбора запаздывания, при котором имеет место наилучшее сходство сигнала с самим собой, например, при максимуме автокорреляции. Это может быть полезным при проведении разведочного анализа сигнатур/даже для обнаружения аномалий для мониторинга целостности скважины вдоль заданных глубин, где установлены защитные элементы скважины, требующие мониторинга.

Любой из этих признаков в частотной области, или любая комбинация этих признаков в частотной области (включая преобразования любых из признаков в частотной области и их комбинаций), могут быть использованы для идентификации одного или более событий и мест проявления события, как это будет описано далее. В некоторых вариантах осуществления, выбранная совокупность характеристик может быть использована для получения идентификации наличия или отсутствия каждого события, и/или все из признаков в частотной области, которые были вычислены, могут быть использованы как группа в определении наличия или отсутствия события. Конкретные вычисленные значения признаков в частотной области могут меняться в зависимости от конкретных атрибутов системы обнаружения акустического сигнала так, что абсолютное значение каждого признака в частотной области может меняться от системы к системе. В некоторых вариантах выполнения, признаки в частотной области могут быть вычислены для каждого события с учетом системы, используемой для получения акустического сигнала, и/или должны приниматься во внимание различия между системами при определении значений признака в частотной области для каждого события притока текучей среды, между системами или среди систем, используемых для определения значений, и системами, используемыми для приема акустического сигнала, подвергаемого оценке.

Один или ряд признаков в частотной области могут быть использованы для характеристики события каждого типа. В некоторых вариантах осуществления, один, по меньшей мере, два, в другом случае, по меньшей мере, три, в другом случае, по меньшей мере четыре, в другом случае, по меньшей мере пять, в другом случае, по меньшей мере шесть, в другом случае, по меньшей мере семь,

или в другом случае, по меньшей мере восемь, разных признаков в частотной области могут быть использованы для того чтобы охарактеризовать событие каждого типа. Признаки в частотной области могут быть скомбинированы или преобразованы с тем, чтобы определить сигнатуры для одного или более 5 событий. В то время как здесь приведены для примера частные числовые интервалы, реальные числовые данные могут изменяться в зависимости от системы сбора данных, и/или значения могут быть нормированы или обработаны иным путем для получения отличающихся результатов.

Как отмечалось выше, для того, чтобы получить признаки в частотной 10 области, данные акустической выборки должны быть преобразованы в частотную область на шаге предварительной обработки 200. В варианте осуществления, первичные оптические данные могут содержать или представлять акустические данные во временной области. При этом в некоторых вариантах осуществления, предварительная обработка на шаге 200 содержит 15 получение представления данных в частотной области посредством преобразования Фурье. Могут быть использованы различные алгоритмы, известные в уровне техники. В некоторых вариантах осуществления может быть использовано оконное преобразование Фурье или дискретное преобразование Фурье. Полученные данные выборки могут быть представлены интервалом 20 частот, соотносимых с их уровнями мощности, и на которых эта выборка получена. Первичные оптические данные могут быть преобразованы в частотную область перед пространственной фильтрацией или после нее. В целом, акустическая выборка переносится в частотную область для определения признака(-ов) в частотной области. В некоторых вариантах осуществления, процессор 168 может быть сконфигурирован для выполнения преобразования 25 первичных акустических данных и/или данных акустической выборки из временной области в частотную область. В процессе преобразования сигнала во временную область, может быть проведен анализ мощности по всем частотам в акустической выборке. Использование процессора 168 для выполнения 30 преобразования можно получить данные в частотной области в реальном времени, или почти в реальном времени.

Далее процессор 168 может быть использован для анализа данных акустической выборки в частотной области для получения одного или более признаков в частотной области и выдачи полученных признаков в частотной

области для дальнейшей обработки. В некоторых вариантах осуществления, выдаваемые признаки в частотной области могут включать признаки, которые не используются для определения наличия одного или более событий.

5 Далее выходные данные процессора с признаками в частотной области для данных акустической выборки могут быть использованы для определения присутствия одного или более событий в одном или более местах вдоль волокна (например, в одном или более местах в стволе скважины или вдоль линии прохождения оптоволокну), соответствующих интервалам, по которым собираются или фильтруются акустические данные.

10 Способ идентификации одного или более событий может, опционально, содержать нормирование одного или ряда признаков в частотной области на шаге 400, перед идентификацией одного или более мест проявления события на шаге 500 и/или перед идентификацией одного или более событий на шаге 600.

15 Способ идентификации одного или более событий, в соответствии с настоящим раскрытием, может содержать идентификацию одного или более мест проявления событий на шаге 500. Такие места проявления событий могут быть определены, как это известно специалистам в данной области, для скважинных событий путем использования данных эксплуатационного каротажа (системы ГИС). В некоторых вариантах осуществления, одно или более мест проявления события определяется, как это описано ниже. В таких вариантах осуществления, идентификация одного или более мест проявления события может содержать идентификацию одного или более мест с использованием одного или более признаков в частотной области для идентификации акустических сигналов, соответствующих событию(-ям), и установление
20 соответствия глубин или местоположений вдоль линии прохождения оптоволокну для этих сигналов с местами вдоль оптоволокну (например, с местами внутри ствола скважины, например, продуктивных интервалов, геологических слоев и т.д.). Один или более признаков в частотной области может содержать по меньшей мере два разных признака в частотной области. В
25 некоторых вариантах осуществления, один или более признаков в частотной области, используемый для определения одного или более мест проявления событий, включает по меньшей мере один из группы, состоящей из центроида спектра, разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики, СКЗ энергии в полосе, полного СКЗ

энергии, неравномерности спектральной характеристики, наклона спектральной характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, функции автокорреляции спектра, их комбинаций и/или преобразований, и/или их нормированный вариант. В некоторых вариантах осуществления, один или более признаков в частотной области, используемый для определения одного или более мест проявления события, может включать неравномерность спектральной характеристики, СКЗ энергию в полосе, полную СКЗ энергию, или нормированный вариант одного или более из неравномерности спектральной характеристики, СКЗ энергии в полосе, полного СКЗ энергии, или их комбинации.

В некоторых вариантах осуществления, идентификация одного или более мест проявления события включает: идентификацию акустических сигнатур фона с использованием акустического сигнала; и удаление акустических сигнатур фона из акустического сигнала перед идентификацией одного или более мест проявления события. В некоторых вариантах осуществления, идентификация одного или более мест проявления событий включает идентификацию одной или более аномалий в акустическом сигнале с использованием одного или более признаков в частотной области из ряда признаков в частотной области; и выбор интервалов по глубине одной или более аномалий в качестве одного или более мест проявления события.

Когда часть сигнала удалена (например, сигнатура фонового потока текучей среды и др.), удаленная часть может быть также использована как часть анализа события. В некоторых вариантах осуществления, идентификация одного или более мест проявления события включает: идентификацию сигнатуры фонового потока текучей среды с использованием акустического сигнала; и использование сигнатуры фонового потока текучей среды из акустического сигнала для идентификации события, например, одного или более событий потока текучей среды.

В некоторых вариантах осуществления, способ идентификации одного или более событий, в соответствии с настоящим раскрытием, включает идентификацию по меньшей мере одного события в идентифицированном одном или более мест проявления события на шаге 600. В некоторых вариантах осуществления, ряд признаков в частотной области, использованных для идентификации по меньшей мере одного события, содержит по меньшей мере

два признака из: центроида спектра, разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики, СКЗ энергии в полосе, полного СКЗ энергии, неравномерности спектральной характеристики, наклона спектральной характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, функции автокорреляции спектра, или их нормированный вариант.

В некоторых вариантах осуществления, идентификация по меньшей мере одного или более событий с использованием нескольких признаков в частотной области на шаге 600 включает: идентификацию по меньшей мере одного события с использованием значения, представляющего преобразование по меньшей мере одного из ряда признаков в частотной области. В некоторых вариантах осуществления, идентификация по меньшей мере одного события с использованием ряда признаков в частотной области на шаге 600 включает: идентификацию по меньшей мере одного события с использованием многопараметрической модели (например, одного или более полиномиальных уравнений, математических формул, и т.д.), определяющих соотношение между двумя из ряда признаков в частотной области, включающих, в некоторых вариантах осуществления, преобразования признаков в частотной области. В некоторых вариантах осуществления, идентификация по меньшей мере одного события, использующая ряд признаков в частотной области на шаге 600 включает: идентификацию присутствия или отсутствия первого события с использованием первой многопараметрической модели, имеющей первые по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области в качестве входных данных, для определения, когда присутствует первое событие, идентификацию присутствия или отсутствия второго события с использованием второй многопараметрической модели, имеющей вторые по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области в качестве входных данных, для определения, когда присутствует второе событие, и идентификацию присутствия или отсутствия третьего события с использованием третьего полиномиального (уравнения), имеющего третьи по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области в качестве входных данных, для определения, когда присутствует третье событие. Первые по меньшей мере два, вторые по меньшей мере два и третьи по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области могут быть одними и теми же, или разными. В некоторых вариантах

осуществления, идентификация по меньшей мере одного события, использующая ряд признаков в частотной области, на шаге 600 включает: идентификацию по меньшей мере одного события, использующую соотношение между по меньшей мере двумя из ряда признаков в частотной области.

5 В некоторых вариантах осуществления, идентификация одного или более событий включает введение ряда признаков в частотной области в модель обнаружения события на шаге 600' для события каждого типа; и определения, что присутствует по меньшей мере одно событие, основанное на модели обнаружения события. В некоторых вариантах осуществления, модель обнаружения события может быть разработана с использованием и/или
10 включением машинного обучения, например, нейронной сети, Байесовской сети, дерева принятия решения, регрессионной логистической модели или нормированной логистической регрессии, или других моделей контролируемого обучения.

15 В некоторых вариантах осуществления, модель обнаружения события может использовать первую многопараметрическую модель, имеющую по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области в качестве входных данных для определения того, когда присутствует первое событие. Регрессионная логистическая модель может использовать вторую
20 многопараметрическую модель, имеющую вторые по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области в качестве входных данных для определения того, когда присутствует второе событие, и регрессионная логистическая модель может использовать третью многопараметрическую модель, имеющую третьи по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области в качестве входных
25 данных для определения, когда присутствует третье событие. Дополнительные регрессионные логистические модели могут быть использованы для дополнительных событий, причем каждая дополнительная модель может использовать по меньшей мере два из ряда признаков в частотной области. Первые по меньшей мере два, вторые по меньшей мере два и третьи по меньшей
30 мере два из ряда признаков в частотной области могут быть одними и теми же, или разными.

Использование различных моделей для событий одного или более типов может способствовать более точному определению каждого события. Отличия моделей могут иметь различный характер. Например, модели могут иметь

разные параметры, разные математические определения, представлять модели разных типов, и/или использовать различные признаки в частотной области. В некоторых вариантах осуществления, несколько моделей могут быть использованы для различных событий, и по меньшей мере одна из моделей может иметь отличающиеся параметры. Вообще, параметры относятся к константам или значениям, используемым внутри моделей для определения выходных данных модели. В многопараметрических моделях, в частности, параметрами могут быть коэффициенты одного или более членов уравнений в моделях. В моделях на основе нейронных сетей, в частности, параметрами могут быть весовые коэффициенты, применяемые к одному или более узлам. Другие константы, смещения, и коэффициенты в моделях различных типов могут также представлять параметры. Использование различных параметров может обеспечивать получение различных выходных результатов среди моделей, когда модели используют для идентификации событий разного типа.

Модели могут также отличаться по своим математическим определениям. В многопараметрических моделях, они могут содержать один или более членов, которые могут представлять линейные, нелинейные, энергетические или иные функции входных переменных (например, один или более признаков в частотной области и т.д.). Функции могут переходить от одной модели к другой. В другом примере, нейронная сеть может иметь различное число слоев и узлов, тем самым создавая различные сети, используемые с входными переменными. Таким образом, даже если в двух или более моделях используются одни и те же признаки в частотной области, выходные данные могут отличаться с учетом различных функций и/или структур моделей.

Модели также могут различаться с учетом их принадлежности к различным типам моделей. Например, множество моделей может использовать регрессионные модели для идентификации одного или более событий, и нейронные сети для отличающихся от них событий. Также возможны и модели других типов, которые могут быть использованы для идентификации событий других типов. Аналогично, модели могут отличаться благодаря использованию различных входных переменных. Использование отличающихся переменных может приводить к выдаче других выходных данных в разных моделях. Использование разных моделей может дать возможность при использовании одинаковых или различных обучающих данных получить более точные

результаты для событий отличающихся типов. Любая из описанных здесь моделей может опираться на использование разных моделей для событий разных типов, как это более подробно описано ниже.

5 В некоторых вариантах осуществления, идентификация по меньшей мере одного события включает использование модели обнаружения события и использование ряда признаков в частотной области на идентифицированном одном или более мест проявления события в первой многопараметрической модели; использование ряда признаков в частотной области на идентифицированном одном или более мест проявления события во второй 10 многопараметрической модели; использование ряда признаков в частотной области на идентифицированном одном или более мест проявления события в третьей многопараметрической модели; сравнение ряда признаков в частотной области с выходными данными первой многопараметрической модели, выходными данными второй многопараметрической модели, и выходными 15 данными третьей многопараметрической модели; и идентификацию по меньшей мере одного события на основе сравнения ряда признаков в частотной области с выходными данными первой многопараметрической модели, выходными данными второй многопараметрической модели, и выходными данными третьей многопараметрической модели.

20 В некоторых вариантах осуществления, ряд признаков в частотной области, использованных для идентификации события(-ий), может включать нормированный вариант разброса спектральных значений и/или нормированный вариант центроида спектра, а модель обнаружения события может определять соотношение между присутствием или отсутствием события(-ий) в месте 25 проявления акустического сигнала.

В дополнение к использованию многопараметрической модели(-ей) для определения присутствия и идентификации одного или более событий, может быть разработана многопараметрическая модель для идентификации одного или более событий на основе построения набора прогнозируемых данных для 30 событий, использующий данные, полученные из испытательного оборудования. В этой многопараметрической модели, присутствие события и/или информации для события может быть определено с использованием данных, полученных от датчиков в стволе скважины. Многопараметрическая модель этого типа может быть разработана с использованием регуляризированной многопараметрической

линейной регрессии. Прогнозная информация для событий (например, объемный расход в событии с притоком текучей среды) далее может быть сопоставлен с данными добычи, для дальнейшего уточнения и/или разработки многопараметрической модели на основе сравнения с реальными данными датчика из ствола скважины.

С использованием описанных здесь процессов могут быть разработаны и другие многопараметрические модели. В некоторых вариантах осуществления, могут генерироваться данные испытаний для ожидаемых скважинных событий в стволе скважины с использованием гидравлического испытательного стенда замкнутого типа или прибора для испытания производительности скважины, как это описано в настоящем раскрытии. Может быть создано ожидаемое событие или поток, и получены акустические данные испытаний. Полученные наборы маркированных данных могут быть использованы для обучения одной или более моделей обнаружения события, для обнаружения присутствия события с использованием одного или более признаков в частотной области.

В качестве примера дополнительной модели обнаружения события может быть рассмотрено моделирование поступления песка и/или поток в фазе текучей среды внутри трубы. Поток песка может быть промоделирован в различных фазах текучей среды, с различным количеством песка, с различной ориентацией потока, через различные технологические узлы, трубы, межтрубные пространства и т.д. Получающиеся при этом акустические данные могут быть использованы в описанном здесь процессе разработки модели для определения одной или более многопараметрических моделей, свидетельствующих о наличии песка во втекающей текучей среде в одной или более фазах текучей среды. Такие многопараметрические модели затем могут быть использованы с полученными акустическими данными для определения наличия песка в различных текучих средах, одновременно позволяя различить приток песка и/или поток песка вдоль ствола скважины.

В некоторых вариантах осуществления, на шаге 600' может быть разработана модель с использованием машинного обучения. Для разработки и подтверждения эффективности модели, данные, содержащие известные события и акустические сигналы, могут быть использованы в качестве основы для обучения и/или разработки параметров модели. Этот набор данных можно обозначить как набор маркированных данных (например, набор данных, для

которого тип события, режим потока, и/или точка притока уже известны), который может быть использован для обучения моделей обнаружения событий в некоторых случаях. В некоторых вариантах осуществления, известными данными могут быть данные из ствола скважины, поток в котором измерен различными средствами для событий в стволе скважины. В некоторых вариантах осуществления, данные могут быть получены с использованием комплекта испытательного оборудования, в котором известные количества различных текучих сред (например, газа, жидких углеводородов, водных жидкостей и т.д.) могли быть введены в контрольных точках для выработки регулируемого потока и/или притоков текучей среды. По меньшей мере часть данных может быть использована для разработки модели обнаружения события и, опционально, часть данных может быть использована для испытания модели обнаружения событий, когда она будет разработана.

На фиг. 7 представлена блок-схема способа II разработки модели обнаружения события, в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. На шаге 900 способ может включать получение акустических данных или сигналов от ряда испытаний события, в которых могут быть воссозданы одно или более событий. Например, одна или более текучих сред из ряда текучих сред могут быть введены в трубу в заранее установленных местах, перекрывающих длину трубы, где акустический сигнал содержит акустические выборки вдоль части трубы. В текучую среду могут быть введены одна или более текучих сред из ряда текучих сред, для определения сигнатуры притока текучей среды(-ед), входящей в поток текучих сред. В некоторых вариантах осуществления, одна или более текучих сред может быть введена в относительно неподвижную текучую среду. Это может дать возможность моделирования нижнего или самого нижнего эксплуатационного участка скважины, где нет проходящего через скважину сплошного потока текучей среды в точке, где текучая среда входит в скважину. В данном случае могут быть проведены испытания для получения сигнатуры притока текучей среды в неподвижную текучую среду внутри скважины. Другие события, например, утечки, потоки через обсадную колонну и др., также могут быть воссозданы в испытательном оборудовании для определения соответствующих акустических сигналов. Акустические сигналы могут быть получены любыми средствами, известными специалистам. В некоторых вариантах осуществления, акустические данные могут быть взяты из

промысловых данных, которые подтверждены другими испытательными инструментами. В некоторых вариантах осуществления, акустический сигнал получается от датчика, находящегося внутри трубы для каждого испытания события из ряда испытаний событий, или связанного с этой трубой. Датчик может быть расположен по длине трубы, а получаемый акустический сигнал может характеризовать акустический источник вдоль длины трубы. Датчик может содержать оптоволоконный кабель, расположенный внутри трубы или, в некоторых вариантах осуществления, связанный с трубой (например, на внешней поверхности трубы). Трубой может быть однородный отрезок трубопровода и, в некоторых вариантах осуществления, может образовывать петлю. При использовании в виде петли в некоторых случаях, единая секция трубы или трубчатого элемента также может быть использована с дополнительными трубопроводами для возвращения части текучей среды на вход трубы.

Устройство и состав трубчатого испытательного оборудования может быть выбрано с учетом ожидаемых рабочих процедур и схемы использования. Типичный испытательный комплект может содержать один трубчатый элемент, имеющий одну или более точек ввода. Акустический датчик может быть расположен внутри трубчатого элемента или может быть прикреплен к его поверхности. В некоторых вариантах осуществления, могут быть использованы конструкции "труба в трубе", имитирующие участок насосно-компрессорной трубы, которые могут быть использованы для испытаний потоков. Датчик может быть расположен внутри внутренней трубы, в кольцевом пространстве между внутренней трубой и внешней трубой, или может быть прикреплен к наружной поверхности внешней трубы. Расположение датчика и способ, каким он присоединен к испытательному оборудованию, может быть идентичен или аналогичен тому, что ожидается при размещении внутри ствола скважины. Может быть использовано любое число испытательных комплектов оборудования и вариантов размещения датчиков, что обеспечит соответствие данных испытаний ожидаемой конфигурации законченной скважины. Со временем, библиотека вариантов испытательных схем и полученных данных испытаний станет настолько полной, что обеспечит разработку дальнейших моделей на известных маркированных данных, использованных для обучения

моделей различных типов, например, многопараметрических моделей, нейронных сетей и др.

В некоторых вариантах осуществления, труба представляет собой гидравлический испытательный стенд замкнутого типа, позволяющий воссоздать события различного типа в присутствии или отсутствии текучей среды, протекающей внутри петли, хотя в ходе испытаний некоторых событий текучая среда может находиться в трубе без протекания. В качестве примера, текучей средой может быть водная текучая среда, углеводородная текучая среда, газ или их комбинация. Текучая среда может содержать жидкую фазу, многофазную смесь жидкости, или газожидкостную фазовую смесь. В некоторых вариантах осуществления, режим течения текучей среды внутри трубы может включать, среди прочего, ламинарный поток, поток с закупориванием, "снарядный" режим потока, кольцевой режим потока, турбулентный поток, эмульсионный режим потока, пузырьковый поток, или любая их комбинация. При этих режимах протекания, поток и/или поступление текучей среды могут быть функцией времени. Например, поступление текучей среды может быть ламинарным в течение первого интервала времени, за которым следует "снарядный" режим протекания в течение второго интервала времени, за которым следует опять ламинарный или турбулентный поток в течение третьего интервала времени. Таким образом, определенные режимы потока могут быть взаимосвязанными и могут иметь периодические или непериодические изменения режимов течения во времени. События, включающие протекание текучей среды и события притока текучей среды, могут осуществляться в присутствии текучей среды, и другие события также могут осуществляться в присутствии текучей среды.

На фиг. 8А представлен узел 1 для выполнения испытаний по притоку текучей среды. Узел 1 содержит трубу 5, в которой или на которой расположен датчик 2 (например, оптоволоконный кабель). В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконный кабель 2 может быть расположен внутри трубы 5. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконный кабель 2 может быть расположен снаружи вдоль трубы 5, например, присоединен к внешней поверхности трубы. Оптоволоконный кабель может быть расположен по длине L трубы 5. В некоторых вариантах, могут быть использованы датчики других типов, например, акустические или вибрационные датчики с точечным источником. Линия 40 может быть приспособлена для введения фоновой текучей

среды в первый конец 6 трубы 5. По длине L трубы 5 может быть расположено несколько точек 10 ввода. Узел для проведения приточных испытаний может содержать любое число точек ввода. Например, узел для проведения приточных испытаний, в соответствии с настоящим раскрытием, может иметь 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 или более точек 10 ввода. Например, в варианте осуществления, показанном на фиг. 8А, четыре точки 10А, 10В, 10С и 10D располагаются по длине L трубы 5. В частности, длина L трубы 5 может составлять примерно от 10 до 100 метров, примерно от 20 до 80 метров или примерно от 30 до 70 метров, например, 30, 40, 45, 55, 60, 65 или 70 метров.

10 Точки ввода могут быть расположены с интервалами между ними и/или от первого конца 6 и второго конца 7 трубы 5. Величина интервалов может быть выбрана с учетом пространственного разрешения системы датчиков так, чтобы точки ввода были различимы между собой в полученных данных испытаний. Когда используются датчики с точечным источником, тип датчиков может быть
15 учтен при выборе величины интервалов. Величина интервалов может также выбираться, по меньшей мере, отчасти, так, чтобы обеспечивалось развитие требуемого режима потока между точками ввода. В некоторых вариантах осуществления, первая точка 10А ввода может быть расположена с интервалом S1 от первого конца 6 трубы 5 и со вторым интервалом S2 от второй точки 10В
20 ввода. Вторая точка 10В ввода может быть расположена с интервалом S3 от третьей точки 10С ввода. Третья точка 10С ввода может быть расположена с интервалом S4 от четвертой точки 10D ввода. Четвертая точка 10D ввода может быть расположена с интервалом S5 от прозрачной секции 20 трубы 5. Прозрачная секция 20 может быть использована для визуального подтверждения
25 режима потока внутри трубы 5. Данные визуального восприятия могут быть записаны как часть набора данных испытаний. В пределах интервала S6 от второго конца 7 трубы 5 может быть расположена система эксплуатационного каротажа (ГИС), используемая для сравнения данных, полученных от датчика или оптоволоконного кабеля 2. В некоторых вариантах осуществления, в
30 частности, величины интервалов между точками ввода (например, интервалы S2, S3 и S4) составляют в диапазоне примерно от 2 до 20 м, примерно от 2 до 15 м или примерно от 10 до 15 м. В некоторых вариантах осуществления, первая и последняя точки ввода находятся на расстоянии по меньшей мере 5, 6, 7, 8, 9 или 10 м от ближайшего конца (например, от первого конца 6 или второго конца 7)

трубы 5. Например, величины S1 и S5 интервалов могут составлять по меньшей мере 5, 6, 7, 8, 9 или 10 м в разных вариантах осуществления.

5 Труба 5 может быть расположена под любым углом, включая любой угол между горизонтальным и вертикальным положениями включительно. Угол
расположения трубы, вместе с составом текучей среды и расходом потока,
может влиять на режимы потока внутри трубы. Например, газовая фаза может
собираться вдоль верхней части горизонтально расположенной трубы 5, в
10 отличие от пузырькового или "снарядного" потока в вертикальной трубе. При
этом режим потока может изменяться в зависимости от ориентации трубы даже
и при одинаковых расходах и составах текучей среды. Угол может быть выбран
так, чтобы воспроизвести условия, заложенные в модели и соответствующие
условиям в скважине, и угол положения трубы может стать частью данных,
полученных от комплекта испытательного оборудования.

15 Фоновая текучая среда может вводиться по линии 40 в любом режиме
потока, упомянутом выше, например, ламинарным потоком, потоком с
закупориванием, потоком в "снарядном" режиме, потоком в кольцевом режиме,
турбулентным потоком, потоком в эмульсионном режиме и/или пузырьковым
потоком, что может быть подтверждено визуальным наблюдением через
прозрачную секцию 20 узла 1. Фоновая текучая среда может содержать жидкую
20 фазу, многофазную смешанную жидкость и/или смешанную фазу жидкость/газ.
Испытания на приток текучей среды могут включать различные комбинации
введенных текучих сред и фоновой текучей среды. Например, одна фаза
(например, вода, газ или жидкие углеводороды) может вводиться в фоновую
текучую среду, содержащую одну или несколько фаз (например, воду, газ и/или
25 жидкие углеводороды), протекающую в определенном режиме потока.
Испытания на приток текучей среды также могут выполняться на введение
многофазных текучих сред (например, жидкие углеводороды и газ, жидкие
углеводороды и вода, жидкие углеводороды, вода и газ) в фоновую текучую
среду, содержащую одну или несколько фаз (например, воду, газ и/или жидкие
30 углеводороды), протекающую в определенном режиме потока.

Для определения возможностей изменения измеряемого сигнала для целей
испытаний, может быть выполнено увеличение потока каждого типа во времени.
Например, поток и/или расход введения может ступенчато изменяться с
некоторым интервалом времени. Каждый расход потока или нагнетания может

поддерживаться постоянным в течение некоторого промежутка времени, достаточного для получения пригодного для использования набора данных. Промежуток времени должен быть достаточным для определения изменений в сигнале при фиксированном расходе. Например, данные могут приниматься в течение примерно от 1 минуты до 30 минут при каждом фиксированном значении расхода, после чего расход потока ступенчато изменяется на другое значение расхода или притока.

Как показано на фиг. 8Б, где на схеме 3 изображены места по глубине скважины, соответствующие точкам ввода в соответствии с изображением на фиг. 8А, испытания на приток текучей среды могут быть откалиброваны к определенной глубине продуктивного пласта, например, регулированием сигнала оптоволоконного кабеля для испытательной глубины. Например, точки 10А, 10В, 10С и 10D могут соответствовать глубинам D1, D2, D3 и D4, соответственно. В качестве примера, длина используемого оптоволоконного кабеля может соответствовать типичным глубинам ствола скважины (например, от 3000 м до 10000 м и т.д.). Полученные акустические сигналы могут в этом случае представлять или быть аппроксимациями акустических сигналов, принятых в условиях скважины. В ходе испытаний потока, акустические данные могут быть получены при известных параметрах потока. Полученные акустические данные могут быть затем использованы как учебные и/или испытательные данные для решения задачи подготовки модели потока текучей среды. Например, первая часть данных может быть использована в процессе машинного обучения для обучения модели потока текучей среды, а вторая часть данных может быть использована для верификации (подтверждения) результатов модели потока текучей среды после разработки модели.

С использованием гидравлического испытательного стенда замкнутого типа можно воспроизвести другие события, например, утечку отдушины межтрубного пространства, поток в межтрубном пространстве, и различные события с потоками другого типа. Для этих событий, могут быть сконструированы модели скважинных конфигураций, например, "труба-в-трубе", и воспроизведены поток в межтрубном пространстве, утечки и пр. Акустические датчики могут быть далее использованы для приема акустических сигналов для подобных событий на основе испытательных реконструкций. Возможность использования испытательного оборудования для воспроизведения таких событий может

обеспечить получение изменяемых и управляемых расходов утечки и расходов потока текучей среды с приемом соответствующих акустических сигналов.

Другие данные испытаний для других событий, например, транспортных событий, событий в области безопасности, событий, связанных с мониторингом работы предприятий, событий на трубопроводах, также могут быть получены с использованием испытательного оборудования. Например, испытание событий в области безопасности может быть проведено с расположением оптоволоконного имитирующего его расположение при мониторинге безопасности. Могут быть воспроизведены управляемые события, например, ходьба человека, движение транспортных средств, и т.д., для получения акустических сигналов, имеющих известные источники. Для событий мониторинга работы предприятий может использоваться испытательный комплект, включающий оборудование одного или более типа с известными эксплуатационными отклонениями (например, насос с изношенным подшипником, разбалансированный компрессор и т.д.).

Мониторинг трубопроводов может быть испытан на стенде испытаний трубопроводов, аналогичных гидравлическому испытательному стенду замкнутого типа. Полученные данные могут быть использованы для формирования набора маркированных данных, который может быть использован для обучения одной или более модели обнаружения события. Используя данные испытаний, полученные при испытании на гидравлическом испытательном стенде, при разработке модели обнаружения событий, можно определить один или более признаков в частотной области из акустического сигнала для по меньшей мере части данных из ряда испытаний событий. Один или более признаков в частотной области может быть получен для части трубы, включающей заданные точки на шаге 910, а при обучении модели обнаружения событий может использоваться один или более признаков в частотной области для ряда испытаний и заданных мест на шаге 920. Обучение модели обнаружения событий может использовать машинное обучение, включая любую контролируемую или неконтролируемую методику обучения. Например, модель обнаружения события может быть нейронная сеть, Байесовская сеть, дерево принятия решения, регрессионная логистическая модель или нормированная логистическая регрессия, кластеризация методом k-средних или другие модели.

В некоторых вариантах осуществления, модель обнаружения событий может быть разработана и обучена с использованием регрессионной логистической модели. В качестве примера обучения модели, используемой для определения присутствия или отсутствия первого события, обучение модели обнаружения события на шаге 920 может начинаться с введения одного или более признаков в частотной области в регрессионную логистическую модель, соответствующую одному или более испытаниям на приток, где имеет место первое событие. Один или более признаков в частотной области может быть введен в регрессионную логистическую модель, соответствующую одному или более испытаниям на приток, где первое событие отсутствует. Может быть определена первая многопараметрическая модель с использованием одного или более признаков в частотной области в качестве входных данных. Первая многопараметрическая модель может определить соотношение между присутствием и отсутствием первого события.

Аналогично, модель обнаружения события может включать регрессионную логистическую модель для второго события, и модель обнаружения события может быть обучена на шаге 920 подачей одного или более признаков в частотной области в регрессионную логистическую модель, соответствующую одному или более испытаниям события, где присутствует второе событие. Один или более признаков в частотной области также может быть введен в регрессионную логистическую модель, соответствующую одному или более испытаниям события, где второе событие не присутствует. Далее может быть определена вторая многопараметрическая модель с использованием одного или более признаков в частотной области в качестве входных данных, где вторая многопараметрическая модель определяет соотношение между присутствием и отсутствием второго события.

Модель обнаружения события также может включать регрессионную логистическую модель для одного или более дополнительных событий. Обучение модели обнаружения событий на шаге 920 может включать введение одного или более признаков в частотной области в регрессионную логистическую модель, соответствующую одному или более испытаниям события из ряда испытаний события, где присутствует одно или более дополнительных событий. Один или более признаков в частотной области также может быть введен в регрессионную логистическую модель, соответствующую

одному или более испытаниям события, в которых отсутствуют одно или более дополнительных событий. Затем могут быть определены дополнительные многопараметрические модели, соответствующие каждому из одного или более событий, с использованием одного или более признаков в частотной области в качестве входных данных, причем эти модели определяют соотношение между присутствием и отсутствием одного или более дополнительных событий.

Один или более признаков в частотной области могут содержать любые признаки в частотной области, упомянутых выше, а также их комбинации и преобразования. Например, в некоторых вариантах осуществления, один или более признаков в частотной области включает центроид спектра, разброс спектральных значений, спад спектральной характеристики, асимметрию спектральной характеристики, СКЗ энергии в полос, полное СКЗ энергии, неравномерность спектральной характеристики, наклон спектральной характеристики, эксцесс спектра, скорость изменения спектра мощности, функция автокорреляции спектра, их комбинации и/или преобразования, или их любые нормированные варианты. В некоторых вариантах осуществления, один или более признаков в частотной области содержит нормированный вариант разброса спектральных значений (НВРСЗ) и/или нормированный вариант центроида спектра (НВЦС).

В модели обнаружения события, уравнения многопараметрической модели могут использовать признаки в частотной области или их комбинации и преобразования для определения состояния, когда присутствует событие. Многопараметрическая модель может определить порог, точку принятия решения и/или границу решения, имеющую форму любого типа, например, точку, линию, поверхность или огибающая оболочка, разделяющие области присутствия и отсутствия события. В некоторых вариантах осуществления, многопараметрическая модель может иметь полиномиальную форму, хотя также возможны и другие представления. Когда используются такие модели как нейронные сети, пороги могут быть основаны на взвешенных узлах или порогах внутри модели. Как отмечалось, многопараметрическая модель не ограничена двумя измерениями (например, двумя признаками в частотной области или двумя переменными, представляющими преобразованные величины из двух или более признаков в частотной области), и, скорее, может иметь любое число переменных или измерений в определении порога между наличием или

отсутствием события. В процессе использования, найденные величины могут быть использованы в многопараметрической модели, и вычисленная величина может быть сопоставлена с величинами из модели. Признаком наличия события может быть расположение вычисленной величины с одной стороны порога, а на
5 отсутствие события может указывать расположение вычисленной величины по другую сторону порога. Таким образом, каждая многопараметрическая модель может, в некоторых вариантах осуществления, выдавать обоснованное решение по наличию или отсутствию события. Различные многопараметрические модели, а значит, и пороги, могут быть использованы для события каждого типа. И
10 каждая многопараметрическая модель может опираться на различные признаки в частотной области, или комбинации, или преобразования признаков в частотной области. Поскольку многопараметрические модели устанавливают пороги для определения и/или идентификации конкретных событий, многопараметрические модели и модели обнаружения событий, использующие такие
15 многопараметрические модели, могут считаться сигнатурами события для потока и/или притока текучей среды каждого типа (включая режимы потоков и т.д.).

Когда модель обучена или разработана, модель обнаружения события может быть верифицирована или утверждена (легализована). В некоторых
20 вариантах осуществления, ряд испытаний, используемых для обучения моделей обнаружения событий, может представлять собой подгруппу из ряда испытаний потока, а испытания, используемые для утверждения моделей, могут представлять собой другую подгруппу из ряда испытаний потока. Способ разработки модели обнаружения события, в соответствии с настоящим
25 раскрытием может также включать, на шаге 930, утверждение обученной модели обнаружения событий с использованием акустических сигналов от одного или более испытаний и заданных мест проведения одного или более испытаний.

Процесс утверждения может включать введение акустических сигналов из одного или более из ряда испытаний событий и заданных мест одного или более
30 из ряда испытаний событий в каждую из первой многопараметрической модели, второй многопараметрической модели и одной или более дополнительных многопараметрических моделей. Присутствие или отсутствие по меньшей мере одного из первого события, второго события или одного или более дополнительных событий далее может быть обнаружено на основе выходных

данных каждой из первой многопараметрической модели, второй многопараметрической модели, и одной или более дополнительных многопараметрических моделей. Модель обнаружения событий может быть утверждена на шаге 930 путем сравнения прогнозируемого присутствия или отсутствия первого события, второго события или одного или более дополнительных событий с фактическим присутствием, известным из данных испытаний. При достаточной точности модели обнаружения события (например, соответствия порогу доверительной вероятности), модель обнаружения события может быть использована для обнаружения и/или идентификации событий внутри ствола скважины. Если точность недостаточна, могут быть использованы дополнительные данные и обучение или разработка, либо для нахождения новых соотношений признаков в частотной области для определения многопараметрических моделей, либо усовершенствования выведенных многопараметрических моделей для более точного прогнозирования присутствия и идентификации событий. Разработка, утверждение и проверка точности могут выполняться в ходе итерационного процесса, пока не будет создана подходящая модель обнаружения событий. Используя процесс утверждения, уровень доверительной вероятности может быть определен на основе утверждения на шаге 940. В некоторых вариантах осуществления, на шаге 950 могут быть проведены опциональные восстановительные процедуры на основании уровня доверительной вероятности. Опциональные восстановительные процедуры могут позволить исправить идентифицированную проблему в скважине с использованием обнаружения события. Например, утечка может быть устранена, если событие включает утечку в стволе скважины, межтрубном пространстве, или вокруг устройства разобщении интервалов.

Согласно блок-схеме на фиг. 1, способ идентификации события в соответствии с настоящим раскрытием может также содержать получение информации о событии(-ях) на шаге 700. Например, для событий притока текучей среды это относительные количества втекающей газовой фазы, втекающей водной фазы, и втекающей фазы жидких углеводородов. В качестве части модели обнаружения события может быть определена другая информация, например расходы утечки, расходы вытекающей текучей среды, относительные количества вытекающих фаз текучей среды, расходы и фазы потоков в межтрубном пространстве, расположение и направление микросейсмических

процессов и процессов в перекрывающихся породах, распространение гидроразрыва, скорость, движение и объемы запесчанивания, и т.п., как часть модели обнаружения события.

5 В качестве примера дополнительной информации, получаемой о событии, определение относительных количеств притока газовой фазы, притока водной фазы и притока фазы жидких углеводородов может содержать определение амплитуды каждого из определенных по меньшей мере одного из притока газовой фазы, притока водной фазы или притока фазы жидких углеводородов за некоторый период времени в идентифицированных одном или более мест
10 притока текучей среды; и определение относительной доли каждого притока из притока газовой фазы, притока водной фазы или притока фазы жидких углеводородов на основе амплитуды каждого из идентифицированных по меньшей мере одного из притока газовой фазы, притока водной фазы или притока фазы жидких углеводородов за определенный период времени. В
15 некоторых вариантах осуществления, амплитуда и/или спектральная мощность каждой части акустического сигнала может быть сопоставлена с извлеченными объемами каждой текучей среды. Может быть проведено сравнение относительной мощности, возникающей в различных местах притока, и определены пропорции всей извлеченной текучей среды на основе признаков в
20 частотной области, например, амплитуды или спектральной мощности. Объемы каждой текучей среды, протекающей в трубах ствола скважины, могут быть подтверждены с использованием модели обнаружения события, и относительные количества, определенные в местах притока текучей среды, могут быть использованы для определения количеств, находящихся в потоке текучей среды
25 в трубах ствола скважины в точках ниже по потоку от мест притока. Это может позволить оценить объем каждой текучей среды, находящейся в различных точках скважины, подлежащий определению.

Способ идентификации одного или более событий в соответствии с настоящим раскрытием может, опционально, далее содержать принятие решения
30 и/или осуществление процесса, например, восстановительной процедуры на шаге 800. Принятие решения и/или осуществление восстановительной процедуры может быть основано на идентификации события или событий, и/или информации, полученной для идентифицированного события(-ий).

Комбинация рассмотренных здесь шагов может быть использована в способе идентификации одного или более событий, в соответствии с настоящим раскрытием. Например, способ определения события может содержать получение акустического сигнала на шаге 100, определение из акустического сигнала одного или ряда признаков в частотной области на шаге 300, и идентификацию одного или более мест проявления событий из одного или ряда признаков в частотной области на шаге 500. В альтернативном варианте, способ определения одного или более событий может содержать получение акустического сигнала на шаге 100, определение из акустического сигнала ряда признаков в частотной области на шаге 300, идентификацию одного или более мест проявления события из одного или ряда признаков в частотной области на шаге 500, и идентификацию, на шаге 600, по меньшей мере одного события в одном или более идентифицированных мест проявления события, с использованием по меньшей мере двух из ряда признаков в частотной области. Способ идентификации может использовать любую из моделей обнаружения события, описанных ниже. В альтернативном варианте, способ определения наличия одного или более событий может содержать получение акустического сигнала на шаге 100, определение из акустического сигнала ряда признаков в частотной области на шаге 300, идентификацию, на шаге 500, одного или более мест проявления событий (через один или более из одного или ряда признаков в частотной области или иным способом), и идентификацию, на шаге 600, по меньшей мере одного события в идентифицированном одном или более местах притока текучей среды с использованием по меньшей мере двух из ряда признаков в частотной области. В этом способе идентификации могут использоваться любые из описанных здесь моделей обнаружения событий.

В процессе на фиг. 6, где события были идентифицированы как происходящие в процессе измерения данных выборки, в реальном или почти реальном времени, на шаге 406 могли вырабатываться различные выходные данные для отображения или индикации присутствия одного или более событий притока текучей среды, идентифицированных на шаге 500 и/или 600.

В дополнение к обнаружению одного или более событий на глубине или месте в стволе 114 скважины, программа анализа, исполняемая процессором 168, может быть использована для отображения мест проявления событий или информации о идентифицированном событии(-ях) через компьютерную сеть для

отображения на удаленном терминале. Например, как показано на фиг. 9, выходные данные для события притока могут содержать одно или более из диаграммы притока газовой фазы в функции глубины в скважине и времени (секция А), диаграммы притока фазы жидких углеводородов в функции глубины в скважине и времени (секция В), диаграммы притока водной фазы в функции в функции глубины в скважине и времени (секция С). Диаграммы могут быть наложены с образованием единой диаграммы, показывающей приток газовой фазы, приток водной фазы и приток фазы жидких углеводородов в функции глубины и времени (секция D) на фиг. 9. В альтернативном случае или дополнительно, данные могут быть объединены для получения обобщенного представления количеств притока газовой фазы, притока водной фазы и притока фазы жидких углеводородов в функции глубины в скважине и времени, как это показано в секции E фиг. 9.

Вычисление одной или более диаграмм каротажа события для информации, связанной с событием, может выполняться периодически, например, каждую секунду, и позднее интегрироваться/усредняться для дискретных временных промежутков, например, в периоды сильных падений давления в скважине, для отображения диаграммы каротажа прошедших событий на различных стадиях процесса добычи, (например, от фонового замера на закрытой скважине, от вывода скважины на рабочий режим, от установившегося режима добычи, от сильного падения давления/нефтеотдачи и др.). Интервалы времени могут быть достаточно продолжительными для получения подходящих данных, хотя большая продолжительность влечет за собой большие массивы данных. В варианте осуществления, время накопления может составлять более примерно от 0,1 секунды до 10 секунд, или примерно от 0,5 секунды и до примерно нескольких минут или даже часов.

Полученная в результате рассчитанная диаграмма(-ы) каротажа события может быть сохранена в запоминающем устройстве 170 или передана по компьютерной сети, для помещения в базу данных событий. Данные могут быть использованы для генерирования интегрированной диаграммы каротажа события для каждой точки выборки по глубине проявления события вдоль оптического волокна 162, вместе с синхронизированными метками времени, показывающими моменты времени измерений. При создании диаграммы каротажа для отображения, значения для сечений по глубине, в которых отсутствует приток

текучей среды, могут быть установлены равными нулю. Это упрощает идентификацию точек или зон по глубине, в которых имеется приток текучей среды.

5 В частном примере, программа анализа, исполняемая процессором 168, может быть использована для отображения мест притока текучей среды или относительных количеств притока текучей среды, переданных по компьютерной сети для отображения на удаленном терминале. Вычисление "диаграммы каротажа притока текучей среды" может выполняться периодически, например, каждую секунду, и впоследствии интегрироваться/усредняться за дискретные
10 интервалы времени, например, в периоды сильных падений давления в скважине, для отображения диаграммы каротажа происшедших ранее притоков текучей среды на различных стадиях процесса добычи, (например, от фонового замера на закрытой скважине, от вывода скважины на рабочий режим, от установившегося режима добычи, от сильного падения давления/нефтеотдачи и
15 др.). Интервалы времени могут быть достаточно продолжительными для получения подходящих данных, хотя бóльшая продолжительность влечет за собой бóльшие массивы данных. В варианте осуществления, время накопления может составлять более примерно от 0,1 секунды до 10 секунд, или примерно от 0,5 секунды и до примерно нескольких минут или даже часов.

20 Каротажные диаграммы притоков текучей среды, рассчитываемые каждую секунду, могут быть сохранены в запоминающем устройстве 170 или переданы по компьютерной сети, для помещения в базу данных событий. Сохраненные/переданные данные в запоминающее устройство 170 для одной или более глубин, могут сохраняться каждые несколько секунд. Данные могут
25 быть использованы для генерирования интегрированной диаграммы каротажа притока текучей среды для каждой точки выборки по глубине проявления события вдоль оптического волокна 162, вместе с синхронизированными метками времени, показывающими моменты времени измерений.

В процедуре анализа могут быть использованы любые из описанных здесь
30 сигнатур событий. Например, может быть установлено присутствие одного или более событий. В некоторых вариантах осуществления, место проявления событий или различие между ними может быть нечетким. Одна или более характеристик ствола скважины может быть в этом случае изменена, чтобы обеспечить второе измерение акустического сигнала. Например, может быть

изменен темп добычи, могут быть изменены давления, один или более интервалов может быть перекрыт, или проведено любое другое подходящее изменение процесса добычи. Например, темп добычи может быть временно повышен. По данным, полученные во время периода повышенного темпа добычи может быть выполнен анализ полученных данных. Вообще, можно ожидать, что при увеличенном расходе текучей среды в ствол скважины должна увеличиться интенсивность акустического сигнала в определенных местах проявления события, например, местах притока газа, местах притока воды, местах притока жидких углеводородов, или др. Это может дать увеличение отношения сигнал/шум, что позволит более ясно идентифицировать одно событие по сравнению с другим в одном или более местах, например, используя более сильный сигнал для обеспечения сопоставления сигнатур события с полученным акустическим сигналом. На основе выходных данных более сильных сигналов также могут быть более точно рассчитаны энергии событий. Как только идентифицированы требуемые зоны, уровни добычи могут быть отрегулированы на основе данных о местах проявления событий и количественных параметрах. Любые изменения в присутствии событий в течение времени могут отслеживаться с использованием описанных здесь способов, и условия работы могут быть соответственно скорректированы (например, динамической регулировкой, автоматической регулировкой, ручной регулировкой и т.д.). Хотя анализ данных был описан выше применительно к системе 101, способы идентификации событий внутри ствола скважины (например, места притока текучей среды по длине скважины, разграничение фаз (например, газа, воды, жидких углеводородов) в притоке текучей среды, относительные количества компонентов втекающей текучей среды, и т.д.) могут быть осуществлены также с использованием любой подходящей системы. Например, система на фиг. 2 может быть использована для проведения сбора акустических данных, отдельная система в другое время и/или в другом месте может использовать акустические данные для осуществления способа обнаружения события, и/или способ может быть осуществлен с использованием данных, полученных от акустического датчика другого типа, в котором данные получены в электронной форме, подходящей для устройства, пригодного для выполнения способа.

Акустический сигнал может включать данные для всей скважины или только ее части. Набор данных акустической выборки может быть получен от

акустического сигнала. В варианте осуществления, набор данных выборки может представлять часть акустического сигнала для определенного интервала глубин или точки. В некоторых вариантах осуществления, акустический сигнал может быть получен во временной области. Например, акустический сигнал может быть в виде зависимости акустической амплитуды от времени накопления. Набор акустических данных также может быть во временной области и может быть преобразован в частотную область с использованием подходящего преобразования, например, преобразования Фурье. В некоторых вариантах осуществления, набор данных выборки может быть получен в частотной области так, что акустический сигнал может быть преобразован перед получением набора данных выборки. Хотя набор данных выборки может быть получен любым из описанных здесь способов, он также может быть получен от другого устройства. Например, может быть использован отдельный шаг извлечения или обработки для подготовки одного или более наборов данных выборки и передачи их для отдельной обработки любыми способами обработки и системами, описанными в настоящем раскрытии.

Также раскрыт способ использования обнаруженного присутствия одного или более событий или отсутствия одного или более событий в качестве входных данных отдельной модели. Способность обнаруживать одно или более событий в реальном времени или в масштабе времени, близком к реальному, делает возможным работу одного или более применений или программ управления с использованием обнаружения и идентификации событий в качестве входных данных. Например, использование одной или более моделей для скважинных событий может способствовать осуществлению программы управления скважиной, учитывающей идентификацию событий. Идентификация и количественное выражение таких событий, как приток текучей среды, могут быть объединены с обнаружением песка, для управления темпом добычи или снижением давления внутри ствола скважины. Аналогично, обнаружение различных событий в области безопасности может быть использовано в мониторинге для идентификации потенциальных угроз и активизации различных сигнализаций. В примере из области безопасности, любого одного события может оказаться недостаточным для активизации сигнала тревоги, но в определенных комбинациях оно может определить возможные нарушения или угрозы. В целом, комбинация выходных данных описанных здесь моделей

обнаружения событий может далее быть использована в одном или более управляющих приложениях для формирования сигналов управления или выходных данных для событий различных типов.

5 На фиг. 10 представлена блок-схема способа 960 формирования выходных данных или сигнала управления. Способ 960 может начинаться на шаге 962 с получения ряда признаков в частотной области для одного или более акустических сигналов. Акустические сигналы могут быть получены с использованием любого из описанных здесь способов и систем. Например, система на основе распределенных акустических датчиков (DAS) может быть
10 использована для обнаружения акустических сигналов внутри ствола скважины, в пределах зоны мониторинга, вдоль трубопровода, и/или на одном или более объекте оборудования, назначенного для мониторинга. Дополнительно или в качестве альтернативы, один или более точечных датчиков могут быть использованы как акустический датчик в заданном месте.

15 После того, как был получен акустический сигнал, в акустическом сигнале может быть получен один или более признаков в частотной области. Признаки в частотной области могут включать любой из признаков, описанных в настоящем раскрытии, и описанные здесь процессы (например, любые опциональные шаги предварительной обработки и др.) могут быть использованы для получения
20 одного или более признаков в частотной области, их преобразований, их функций, их комбинаций или их модификаций.

Полученные признаки в частотной области могут быть далее использованы на шаге 964 как входные данные в ряде моделей обнаружения событий. Модели обнаружения событий могут содержать любые из описанных здесь моделей, и
25 могут быть разработаны множество моделей обнаружения событий с использованием любых описанных здесь способов и систем. Например, множество моделей могут содержать одну или более моделей, обученных способами машинного обучения. Например, множество моделей может содержать регрессионные модели, многопараметрические модели, нейронные
30 сети и т.д. Множество моделей могут быть идентичными описанным здесь или отличающимися от них.

Модели могут быть использованы для определения присутствия одного или более событий. В некоторых вариантах осуществления, каждая модель может использоваться с каким-либо конкретным событием. Полученные выходные

данные множества моделей могут при этом содержать свидетельства присутствия или отсутствия события в месте, определяемом по акустическому сигналу. Обнаружение присутствия события может быть важным и может информировать о необходимости различных действий, а отсутствие события также может давать информацию для различных управляющих приложений.

Выходные данные множества моделей обнаружения событий могут быть далее переданы в управляющие приложения на шаге 966. К управляющим приложениям могут относиться приложение управления, приложение мониторинга и др. Управляющие приложения могут служить для осуществления идентификации различных событий и/или получения информации, связанной с событиями, и принятия решений по надзору, например, управленческих решений, решения об активизации тревожной сигнализации, решения о передаче сообщений и т.д. В некоторых вариантах осуществления, выходные данные в управляющем приложении могут быть использованы для автоматического управления одной или более системами или объектами оборудования внутри процесса.

Управляющее приложение может содержать модель, аналогичную любой из описанных здесь моделей обнаружения события. В некоторых вариантах осуществления, управляющее приложение может включать одну или более из регрессионных моделей, нейронных сетей, Байесовских сетей и т.д., и управляющие приложения могут быть обучены с использованием данных от известных событий (используя, например, набор маркированных данных). Кроме того, управляющее приложение может использовать в качестве входных данных одно или более выходных данных модели(-ей) обнаружения событий. Выходные данные в управляющем приложении могут включать входные управляющие данные, сигналы тревоги, сообщения или др.

Используя выходные данные множества моделей обнаружения событий в качестве входных данных, управляющие приложения могут определять выходной сигнал на шаге 968. Выходной сигнал может включать сигнал управления, сигнал тревоги, сигналы сообщения или любой другой сигнал, используемый в процессе или в системе для управления одной или более особенностями функционирования этого процесса или системы. Например, управляющее приложение может содержать управляющий сигнал клапана для управления давлением или расходом внутри системы, сигнал управления

насосом для управления расходом на выходе насоса, сигнал управления системе безопасности, указывающий на необходимость активизации сигнала тревоги, сигнал управления для мониторинга трубопровода, для отчета о работе трубопровода. В некоторых вариантах осуществления выходные данные в управляющем приложении могут включать простые реакции "да/нет". Это может служить показателем присутствия или отсутствия состояния управления, сигналом управления для включения или выключения объекта оборудования или др. В некоторых вариантах осуществления, выходные данные управляющего приложения могут содержать сигнал настройки(-ек). Например, выходные данные могут устанавливать устройство управления потоком в состояние между полностью открытым и полностью закрытым для управления расходом в системе. Аналогично, выходные данные могут содержать указание о вероятности наличия нарушения безопасности в системе безопасности, причем выходные данные могут содержать указание на вероятность в процентах происходящего нарушения безопасности конкретного типа.

Выходные данные в управляющем приложении могут, в частности, быть использованы для управления процессом или системой. В некоторых вариантах осуществления, в управляющем приложении могут формироваться выходные данные в приложение управления, и в процессе работы эти выходные данные могут использоваться для управления процессом или системой. В некоторых вариантах осуществления, выходной сигнал может быть использован для автоматического управления процессом или системой без необходимости использования других входных данных. В таком варианте осуществления, управление может останавливать систему при необходимости.

Например, настройки давления могут автоматически устанавливаться управляющим приложением для борьбы с падением давления в скважине. В качестве примера, управляющее приложение может принимать данные о притоках текучей среды, расходах притоков текучей среды, информацию о фазах, информацию об утечках и/или информацию о пескопроявлении. Эта информация может быть использована для автоматического управления падением давления в скважине, для повышения расходов притока текучей среды с одновременным предотвращением или удержанием пескопроявления ниже порогового уровня.

В другом примере, управляющее приложение, являющееся частью системы мониторинга службы безопасности, может принимать различные входные данные, например обнаружения событий – шагов, движения транспортных средств, голосов, земляных работ и др., от множества моделей обнаружения событий в области безопасности. Присутствие любого события, например шагов, может оказаться недостаточным для подачи сигнала тревоги, например, в связи с ожидаемым наличием персонала в зоне охраны. При объединении с индикаторами других событий, таких как большое количество шагов, голоса, земляные работы и/или звуки транспортных средств, управляющее приложение может выработать сигнал тревоги в качестве выходных данных для индикации присутствия непредвиденного вторжения. В данном примере, сигнал тревоги может автоматически включаться без необходимости одобрения оператором или включения сигнала тревоги вручную.

Управляющее приложение может вырабатывать любое число выходных данных. Управляющее приложение со временем при необходимости может быть подвергнуто повторному обучению для дальнейшего улучшения точности моделей, при появлении дополнительных маркированных данных. Этим может быть обеспечен дополнительный уровень моделирования при управлении одной или более системами или процессами, использующими множество моделей обнаружения событий.

Любые из раскрытых в настоящем описании систем и способов могут быть реализованы компьютером или другим устройством, содержащим процессор, например устройством 160 обнаружения на фиг. 2. На фиг. 11 представлена компьютерная система 780, приспособленная для реализации одного или более раскрытых здесь вариантов выполнения, например, устройства обнаружения или любой его части. Компьютерная система 780 включает процессор 782 (который может называться центральным процессором или ЦП), который связан с запоминающими устройствами, включая вторичную память 784, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 786, оперативную память (ОЗУ) 788, устройством ввода/вывода 790 и устройством 792 сетевого подключения. Процессор 782 может быть реализован в виде одной или более интегральных схем ЦП.

Понятно, что посредством программирования и/или загрузки выполняемых команд в компьютерную систему 780, по меньшей мере один из ее узлов – ЦП

782, ОЗУ 788 и ПЗУ 786, подвергается изменению, отчасти трансформируя компьютерную систему 780 в специальную машину или устройство, обладающее новыми функциональными возможностями в соответствии с настоящим раскрытием. Для электронной техники и разработки программ существенным является то, что функции, которые могут быть реализованы загрузкой 5 исполняемых программ в компьютер, могут быть трансформированы в аппаратную реализацию посредством хорошо известных правил проектирования. Выбор между программной или аппаратной реализацией концепции обычно зависит скорее от соображений надежности конструкции и числа узлов, которые 10 должны быть изготовлены, нежели от других вопросов, связанных с переходом из программной области в аппаратную. Как правило, для конструкции, подвергаемой частым изменениям, предпочтительна программная реализация, поскольку переделка аппаратных решений требует больших затрат, чем изменение программ. Обычно неизменная конструкция, которая должна 15 изготавливаться в больших количествах, более предпочтительна для аппаратного исполнения, например, в случае заказных специализированных интегральных микросхем (ASIC - англ. application specific integrated circuit), поскольку для массового производства аппаратные решения могут быть более дешевым, чем программные. Часто конструкция может быть разработана и испытана в 20 программном варианте, а затем трансформирована, с использованием хорошо известных правил, в эквивалентный аппаратный вариант с использованием заказных специализированных ИС, которые обеспечивают формирование программных команд проводными соединениями в микросхеме. Также как и машина, управляемая новой ASIC, является специальной машиной или 25 устройством, компьютер, в который была установлена и/или загружена исполняемая программа, может считаться специальной машиной или устройством.

Далее, после включения или загрузки системы 780, ЦП 782 может выполнить компьютерную программу или приложение. Например, ЦП 782 может 30 выполнить программу или встроенную программу, хранящуюся в ПЗУ 786 или хранящуюся в ОЗУ 788. В некоторых случаях, при загрузке и/или инициировании работы приложения, ЦП 782 может скопировать приложение или части приложения из вторичной памяти 784 в ОЗУ 788, или в пространство памяти внутри самого ЦП 782, после чего ЦП 782 может исполнить команды, из

которых состоит приложение. В некоторых случаях, ЦП 782 может скопировать приложение или части приложения из памяти, доступ к которой обеспечивается через устройства 792 сетевого подключения или через устройства 790 ввода/вывода, в ОЗУ 788 или пространство памяти внутри ЦП 782, после чего ЦП 782 может выполнить программы, из которых состоит приложение. В процессе выполнения, приложение может загрузить команды в ЦП 782, например, загрузить некоторые из команд приложения в кеш ЦП 782. В некоторых случаях, выполняемое приложение может конфигурировать ЦП 782 на выполнение каких-либо действий, например, сконфигурировать ЦП для выполнения функции или функций, задаваемых подчиненным приложением. Когда ЦП 782 сконфигурирован таким способом посредством приложения, ЦП 782 становится специализированным компьютером или специализированной машиной.

Вторичная память 784 обычно состоит из одного или более дискового или ленточного накопителя и используется для постоянного хранения данных или как запоминающее устройство переполняющих данных, если ОЗУ 788 не достаточно велико для удерживания всех рабочих данных. Вторичная память 784 может быть использована для хранения программ, которые загружены в ОЗУ 788, когда такие программы выбираются для исполнения. ПЗУ 786 используется для хранения команд и, возможно, данных, считываемых в ходе выполнения программы. ПЗУ 786 представляет собой постоянное запоминающее устройство, которое обычно имеет память небольшой емкости по сравнению с большим объемом вторичной памяти 784. ОЗУ 788 используется для хранения временно необходимых данных и, возможно, для хранения команд. Скорость доступа как к ПЗУ 786, так и к ОЗУ 788 обычно выше, чем к вторичной памяти 784. Вторичную память 784, ОЗУ 788 и/или ПЗУ 786 в некоторых случаях можно назвать машиночитаемым носителем хранения данных и/или энергонезависимым машиночитаемым носителем.

Устройства 790 ввода/вывода могут включать принтеры, видеомониторы, жидкокристаллические (ЖК) дисплеи, дисплеи с сенсорным экраном, клавиатуры, малые клавишные панели, переключатели, диски набора, мыши, трекболы, распознаватели голоса, кардридеры, устройства считывания с бумажной перфоленты или иные хорошо известные устройства ввода.

Устройства 792 сетевого подключения могут иметь вид модемов, банка модемов, коммуникационных плат Ethernet, интерфейсных карт универсальной последовательной шины (USB), последовательных интерфейсов, карт кольцевой сети с эстафетным доступом, карт интерфейса для доступа к распределенным данным по оптоволокну (FDDI), карт беспроводной локальной сети (WLAN), 5 приемопередающих карт для радиосвязи с использованием протоколов, например, множественного доступа с кодовым разделением каналов (CDMA), глобальной системы мобильной связи (GSM), стандарта "Долгосрочное развитие сетей связи" (LTE), технологии широкополосного доступа в микроволновом 10 диапазоне (WiMAX), коммуникации ближнего поля (NFC), радиочастотной идентификации (RFID) и/или других приемопередающих карт протоколов радиоинтерфейса и иных хорошо известны сетевых устройств. Эти устройства 792 сетевого подключения могут обеспечить связь процессора 782 с интернетом или одной или более внутренней сетью (интранет). При таком сетевом 15 соединении, предполагается, что процессор 782 может принимать информацию от сети, или может выдавать информацию в сеть (например, в базу данных события) по ходу выполнения описанных выше шагов способа. Эта информация, часто представленная в форме последовательности команд на исполнение с использованием процессора 782, может быть принята из сети и выдана в сеть, 20 например, в форме сигнала компьютерных данных, использующего несущую волну.

Такая информация, которая может включать данные или команды для исполнения с использованием, например, процессора 782, может быть принята из сети и выдана в сеть, например в форме модулирующего сигнала 25 компьютерных данных, или сигнала, использующего несущую волну. Модулирующий сигнал или сигнал, использующий несущую волну, или сигналы других типов, используемые в настоящее время или разрабатываемые, могут генерироваться в соответствии с несколькими методами, хорошо известными 30 специалистам. Модулирующий сигнал и/или сигнал, использующий несущую волну, в некоторых контекстах может называться промежуточным сигналом.

Процессор 782 выполняет команды, коды, компьютерные программы, сценарии, которые он получает от жесткого диска, дискетки, оптического диска (все эти системы, основанные на использовании дисков, могут считаться 35 вторичной памятью 784), флеш-накопителя, ПЗУ 786, ОЗУ 788 или устройств

792 сетевого подключения. Хотя на схеме показан только один процессор 782, могут использоваться несколько процессоров. При этом если речь идет о выполнении команд процессором, команды могут выполняться одновременно, последовательно или, иначе, выполняться одним или несколькими процессорами. Инструкции, коды, компьютерные программы, сценарии и/или данные, доступ к которым может осуществляться с вторичной памяти 784, например, твердых дисков, дискеток, оптических дисков и/или другие устройства, ПЗУ 786 и/или ОЗУ 788, в некоторых случаях могут быть упомянуты как энергонезависимые команды и/или энергонезависимая информация.

10 В варианте выполнения, компьютерная система 780 может содержать два или более компьютеров, связанных друг с другом, которые взаимодействуют для решения задачи. Например, помимо прочего, приложение может быть разделено так, чтобы обеспечить одновременную и/или параллельную обработку команд приложения. В альтернативном варианте, данные, обработанные приложением, могут быть разделены так, чтобы дать возможность одновременной и/или параллельной обработки различных частей совокупности данных двумя или более компьютерами. В варианте выполнения, программное обеспечение виртуализации может быть использовано компьютерной системой 780 для обеспечения функционирования нескольких серверов, которые непосредственно не подключены к нескольким из компьютеров в компьютерной системе 780. Например, программное обеспечение виртуализации может создать двадцать виртуальных серверов на четырех физических компьютерах. В варианте выполнения, раскрытые выше функциональные возможности могут быть обеспечены выполнением приложения и/или приложений в облачной вычислительной среде. Облачные вычисления могут включать вычислительные сервисы через сетевое соединение с использованием динамически расширяемых вычислительных ресурсов. Облачные вычисления могут поддерживаться, по меньшей мере отчасти, программным обеспечением виртуализации. Облачная вычислительная среда может обеспечиваться компанией, а также облачными вычислительными ресурсами, привлеченными и/или арендованными у стороннего провайдера.

В варианте выполнения, некоторые или все из раскрытых функциональных возможностей могут быть обеспечены компьютерным программным продуктом. Компьютерный программный продукт может содержать один или более

машиночитаемых носителей для хранения данных, содержащих пригодный для исполнения компьютером программный код, для осуществления функций, описанных выше. Компьютерный программный продукт может содержать структуры данных, исполнимые команды и другой используемый компьютером программный код. Компьютерный программный продукт может быть оформлен в виде съемной компьютерной среды хранения данных и/или несъемной компьютерной среды хранения данных. Съемный машиночитаемый носитель для хранения данных может содержать, среди прочего, бумажную перфоленду, магнитную ленту, магнитный диск, оптический диск, твердотельную ИС памяти, например, аналоговую магнитную ленту, постоянное ЗУ на компакт-диске (CD-ROM), дискеты, флеш-память, цифровые платы, мультимедийные платы и другое. Компьютерный программный продукт может быть пригоден для загрузки компьютерной системой 780 по меньшей мере частей контента компьютерного программного продукта во вторичную память 784, в ПЗУ 786, в ОЗУ 788 и/или другое долговременное ЗУ или энергозависимое ЗУ компьютерной системы 780. Процессор 782 может обрабатывать исполнимые команды и/или структуры данных отчасти посредством прямого доступа к компьютерному программному продукту, например, считыванием CD-ROM диска, вставленного в дисковод, внешний относительно компьютерной системы 780. В альтернативном случае, процессор 782 может обрабатывать исполнимые команды и/или структуры данных, используя удаленный доступ к компьютерному программному продукту, например, загружая исполнимые команды и/или структуры данных из удаленного сервера через устройства 792 сетевого подключения. Компьютерный программный продукт может содержать команды, вызывающие загрузку и/или копирование данных, структур данных, файлов и/или исполнимых команд во вторичную память 784, ПЗ 786, в ОЗУ 788 и/или другое долговременное ЗУ или энергозависимое ЗУ компьютерной системы 780.

В некоторых случаях, вторичная память 784, ПЗ 786, и ОЗУ 788 могут быть названы энергонезависимым машиночитаемым носителем или машиночитаемым носителем хранения данных. Динамический вариант выполнения ОЗУ 788, аналогично, может быть назван энергонезависимым машиночитаемым носителем в том смысле, что динамическое ОЗУ получает электропитание и управляется в соответствии с его конструкцией, например в период, когда компьютерная

система 780 включена и работает, динамическое ОЗУ сохраняет информацию, которая записывается в него. Аналогично, процессор 782 может содержать внутреннее ОЗУ, внутреннее ПЗУ, кеш и/или другие энергонезависимые блоки, разделы или компоненты памяти, которые в некоторых контекстах могут быть
5 названы энергонезависимым машиночитаемым носителем или машиночитаемым носителем хранения данных.

С учетом описанных здесь различных систем и способов, конкретные варианты осуществления могут включать, помимо прочего:

10 В первом варианте осуществления, способ идентификации событий, в котором: получают акустический сигнал от датчика; определяют из акустического сигнала один или более признаков в частотной области, которые получены по частотному диапазону акустического сигнала; вводят один или более признаков в частотной области в качестве входных данных во множество моделей обнаружения событий; и определяют присутствие одного или более
15 событий, используя множество моделей обнаружения событий, в котором по меньшей мере две из множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.

20 Второй вариант осуществления может включать способ в соответствии с первым вариантом осуществления, в котором датчик расположен внутри ствола скважины, причем акустический сигнал содержит акустические выборки по части глубины ствола скважины.

25 Третий вариант осуществления может включать способ в соответствии с первым или вторым вариантом осуществления, в котором дополнительно идентифицируют одно или более мест проявления событий, используя один или более признаков в частотной области.

30 Четвертый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до третьего вариантов осуществления, в котором один или более признаков в частотной области выбирается из центроида спектра, разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики, среднеквадратичного значения (СКЗ) энергии в полосе, полного СКЗ энергии, неравномерности спектральной характеристики, наклона спектральной характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, автокорреляционной функции спектра, или их нормированной версии.

Пятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до четвертого вариантов осуществления, в котором одно или более событий содержат одно или более скважинных событий, включающих одно или более из: притока текучей среды, истечения текучей среды, сегрегации фаз текучей среды, дифференциации потока текучей среды внутри трубы, мониторинга целостности скважины, обнаружения внутрискважинной утечки, кольцевого потока текучей среды, мониторинга перекрывающих пород, обнаружения потока текучей среды за обсадной колонной, обнаружения индуцируемого текучей средой гидроразрыва в перекрывающих породах, пескопроявления или потока песка вдоль ствола скважины.

Шестой вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до пятого вариантов осуществления, в котором одно или более событий содержат одно или более транспортных событий, событий в области безопасности, событий мониторинга производственного оборудования или событий мониторинга трубопроводов.

Седьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до шестого вариантов осуществления, в котором дополнительно: снижают уровень шума акустического сигнала перед определением одного или более признаков в частотной области.

Восьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с седьмым вариантом осуществления, в котором при снижении уровня шума в акустическом сигнале выполняют медианную фильтрацию акустической выборки.

Девятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до восьмого вариантов осуществления, в котором дополнительно калибруют акустический сигнал.

Десятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до девятого вариантов осуществления, в котором дополнительно нормируют один или более признаков в частотной области перед определением присутствия одного или более событий.

Одиннадцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до десятого вариантов осуществления, в котором при идентификации одного или более событий: идентифицируют одну или более аномалии в акустическом сигнале, используя один или более

признаков в частотной области; и выбирают интервалы по глубине одной или более аномалий в качестве места проявления события.

5 Двенадцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до одиннадцатого вариантов осуществления, в котором множество моделей обнаружения событий включает ряд регрессионных логистических моделей, и в котором при определении присутствия одного или более событий, использующем множество моделей обнаружения событий, определяют присутствие одного или более событий на основе ряда регрессионных логистических моделей.

10 Тринадцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от первого до двенадцатого вариантов осуществления, в котором дополнительно определяют восстановительную процедуру на основе присутствия одного или более событий; и выполняют восстановительную процедуру.

15 В четырнадцатом варианте осуществления, система включает: процессор; и запоминающее устройство, хранящее программу анализа, причем процессор сконфигурирован для выполнения программы анализа для: приема акустического сигнала от датчика; определения из акустического сигнала одного или более признаков в частотной области, получаемых по ряду интервалов вдоль датчика; введения одного или более признаков в частотной области качестве входных данных во множество моделей обнаружения событий; и определения присутствия одного или более событий с использованием множества моделей обнаружения событий, причем по меньшей мере две из множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.

20 25 Пятнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с четырнадцатым вариантом осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для идентификации одного или более мест проявления событий с использованием одного или более признаков в частотной области.

30 Шестнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с четырнадцатым или пятнадцатым вариантом осуществления, в которой один или более признаков в частотной области содержат по меньшей мере два признака в частотной области, и по меньшей мере два признака в частотной области выбираются из центроида спектра, разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной

характеристики, среднеквадратичного значения (СКЗ) энергии в полосе, полного СКЗ энергии, неравномерности спектральной характеристики, наклона спектральной характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, автокорреляционной функции спектра, или их нормированной версии.

5 Семнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или шестнадцатого вариантов осуществления, в которой одно или более событий включают одно или более из: притока текучей среды, истечения текучей среды, сегрегации фаз текучей среды, 10 дифференциации потока текучей среды внутри трубы, мониторинга целостности скважины, обнаружения внутрискважинной утечки, кольцевого потока текучей среды, мониторинга перекрывающихся пород, обнаружения потока текучей среды за обсадной колонной, обнаружения индуцируемого текучей средой гидроразрыва в перекрывающихся породах, пескопроявления или потока песка 15 вдоль ствола скважины.

Восемнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или шестнадцатого вариантов осуществления, в которой одно или более событий включают одно или более 20 транспортных событий, событий в области безопасности, событий мониторинга производственного оборудования или событий мониторинга трубопроводов.

Девятнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или восемнадцатого вариантов осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для калибрования акустического сигнала.

25 Двадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или девятнадцатого вариантов осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для нормирования одного или более признаков в частотной области перед определением присутствия одного или более событий.

30 Двадцать первый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или двадцатого вариантов осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для: идентификации сигнатуры фонового события с использованием акустического

сигнала; и удаления сигнатуры фонового события из акустического сигнала перед идентификацией одного или более событий.

5 Двадцать второй вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или двадцать первого вариантов осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для: идентификации одной или более аномалий в акустическом сигнале с использованием одного или более признаков в частотной области; и выбора интервалов по глубине одной или более аномалий в качестве мест проявления события.

10 Двадцать третий вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или двадцать второго вариантов осуществления, в которой множество моделей обнаружения событий включает ряд регрессионных логистических моделей, и в которой процессор далее сконфигурирован для определения присутствия одного или более событий на
15 основе ряда регрессионных логистических моделей.

20 Двадцать четвертый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или двадцать третьего вариантов осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для: определения восстановительной процедуры на основе присутствия одного или более событий; и выполнения восстановительной процедуры.

25 Двадцать пятый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым из четырнадцатого или двадцать четвертого вариантов осуществления, в которой процессор далее сконфигурирован для: определения уровня доверительной вероятности при определении присутствия одного или более событий; и проведения восстановительной процедуры на основе уровня доверительной вероятности.

30 В двадцать шестом варианте осуществления, при осуществлении способа определения выходного сигнала с использованием акустического сигнала: определяют один или более признаков в частотной области из акустического сигнала, причем один или более признаков в частотной области получен по ряду отрезков вдоль линии прохождения датчика; вводят один или более признаков в частотной области в качестве входных данных во множество моделей обнаружения события; определяют показатель присутствия одного или более событий, используя множество моделей обнаружения событий; направляют

показатель присутствия одного или более событий в управляющее приложение; и определяют, используя показатель присутствия одного или более событий в качестве входных данных в управляющем приложении, выходной сигнал для процесса или системы.

5 Двадцать седьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с двадцать шестым вариантом осуществления, в котором дополнительно: идентифицируют одно или более мест проявления события, используя один или более признаков в частотной области; и направляют данные об одном или более местах проявления события в управляющее приложение, в
10 котором определение выходного сигнала включает использование одного или более мест проявления события.

 Двадцать восьмой вариант осуществления может включать способ двадцать
шестого или двадцать седьмого варианта осуществления, в котором один или
более признаков в частотной области выбираются из центра тяжести спектра,
15 разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики, среднеквадратичного значения (СКЗ) энергии в полосе, полного СКЗ энергии, неравномерности спектральной
характеристики, наклона спектральной характеристики, эксцесса спектра,
20 скорости изменения спектра мощности, автокорреляционной функции спектра, или их нормированной версии.

 Двадцать девятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от двадцать шестого до двадцать восьмого вариантов осуществления, в котором одно или более событий содержит одно или более скважинных событий, включающих одно или более из: притока текучей среды, истечения текучей среды, сегрегации фаз текучей среды, дифференциации
25 потока текучей среды внутри трубы, мониторинга целостности скважины, обнаружения внутрискважинной утечки, кольцевого потока текучей среды, мониторинга перекрывающихся пород, обнаружения потока текучей среды за обсадной колонной, обнаружения индуцируемого текучей средой гидроразрыва
30 в перекрывающихся породах, пескопроявления или потока песка вдоль ствола скважины.

 Тридцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым от двадцать шестого до двадцать девятого вариантов осуществления, в котором одно или более событий включают одно или более транспортных

событий, событий в области безопасности, событий мониторинга
производственного оборудования или событий мониторинга трубопроводов.

В тридцать первом варианте осуществления, при осуществлении способа
разработки модели идентификации события для ствола скважины: выполняют
5 ряд испытаний событий с использованием испытательного оборудования для
воспроизведения одного или более событий; в ходе каждого испытания события
из ряда испытаний событий получают от датчика акустический сигнал,
содержащий акустические выборки, связанные с событием, использующим
испытательное оборудование; определяют из акустического сигнала один или
10 более признаков в частотной области для каждого из ряда испытаний события; и
обучают множество моделей обнаружения событий, используя один или более
признаков в частотной области для ряда испытаний, где первая модель потока
текучей среды из множества моделей потока текучей среды отличается от второй
модели потока текучей среды из множества моделей потока текучей среды.

Тридцать второй вариант осуществления может включать способ в
15 соответствии с тридцать первым вариантом осуществления, в котором
дополнительно утверждают множество моделей идентификации события,
используя акустические сигналы из одного или более испытаний из ряда
испытаний.

Тридцать третий вариант осуществления может включать способ в
20 соответствии с тридцать первым или тридцать вторым вариантом
осуществления, в котором испытательное оборудование содержит
гидравлический испытательный стенд замкнутого типа, событие содержит
текучую среду, а текучая среда содержит водную текучую среду,
25 углеводородную текучую среду, газ или их комбинации.

Тридцать четвертый вариант осуществления может включать способ в
соответствии с тридцать третьим вариантом осуществления, в котором текучая
среда содержит жидкую фазу, многофазную смешанную жидкость или
газожидкостную фазовую смесь.

Тридцать пятый вариант осуществления может включать способ в
30 соответствии с тридцать первым или тридцать вторым вариантом
осуществления, в котором испытательное оборудование содержит ряд труб,
причем первая труба расположена внутри второй трубы, для формирования
кольцевого пространства.

Тридцать шестой вариант осуществления может включать способ в соответствии с тридцать первым или тридцать вторым вариантом осуществления, в котором испытательное оборудование содержит испытательный полигон для событий в области безопасности.

5 Тридцать седьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с тридцать первым или тридцать вторым вариантом осуществления, в котором испытательное оборудование содержит одну или более единиц оборудования.

10 Тридцать восьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым способом от тридцать первого до тридцать седьмого вариантов осуществления, в котором рядом испытаний, используемых для обучения множества моделей идентификации события, является подгруппа из испытаний потока.

15 Тридцать девятый вариант осуществления может включать способ по любому от тридцать первого до тридцать восьмого вариантов осуществления, в котором множество моделей идентификации события включает регрессионные логистические модели, и в котором при обучении множества моделей
20 идентификации событий: вводят один или более признаков в частотной области в первую регрессионную логистическую модель из регрессионных логистических моделей, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события в присутствии первого события; вводят один или более признаков в частотной области в эту первую регрессионную логистическую модель, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события в отсутствие первого события; и определяют первую
25 многопараметрическую модель, используя один или более признаков в частотной области в качестве входных данных, причем первая многопараметрическая модель определяет отношение между присутствием и отсутствием первого события.

30 Сороковой вариант осуществления может включать способ в соответствии с тридцать девятым вариантом осуществления, в котором при обучении множества моделей идентификации события: вводят один или более признаков в частотной области во вторую регрессионную логистическую модель из регрессионных логистических моделей, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события в присутствии второго события; вводят один или

более признаков в частотной области в эту вторую регрессионную логистическую модель, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события в отсутствие второго события; и определяют вторую многопараметрическую модель, используя один или более признаков в частотной области в качестве входных данных, причем вторая многопараметрическая модель определяет отношение между присутствием и отсутствием второго события.

Сорок первый вариант осуществления может включать способ в соответствии с сороковым вариантом осуществления, в котором первая многопараметрическая модель отличается от второй многопараметрической модели.

Сорок второй вариант осуществления может включать способ в соответствии с сорок первым вариантом осуществления, в котором дополнительно: вводят акустические сигналы от одного или более из ряда испытаний события в каждую первую и вторую многопараметрические модели; определяют присутствие или отсутствие по меньшей мере одного из первого события или второго события, на основе выходных данных каждой из первой многопараметрической модели и второй многопараметрической модели; и утверждают множество моделей идентификации событий, используя по меньшей мере часть из ряда испытаний событий и присутствие первого события и второго события, установленные посредством первой многопараметрической модели и второй многопараметрической модели.

Сорок третий вариант осуществления может включать способ в соответствии с сорок вторым вариантом осуществления, в котором дополнительно: определяют уровень доверительной вероятности на основе утверждения; и осуществляют процесс на основе уровня доверительной вероятности.

Сорок четвертый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления от тридцать первого до сорок третьего, в котором множество моделей идентификации событий разрабатывается с использованием алгоритма контролируемого обучения.

В то время как выше были представлены и описаны различные варианты осуществления в соответствии с раскрытыми принципами, модификации этого раскрытия могут быть созданы специалистами без отступления от сущности

изобретения и в пределах его объема. Описанные здесь варианты выполнения представлены только в качестве иллюстрации и не должны ограничивать изобретения. В пределах области притязаний раскрытия возможны и находятся многие вариации, комбинации и модификации. Альтернативные варианты осуществления, получающиеся в результате комбинирования, объединения и/или 5 исключения признаков варианта(-ов) осуществления, также находятся в пределах объема изобретения. Соответственно, область патентной защиты не ограничена только приведенным выше описанием, но определена следующей далее формулой, и включает все эквиваленты предмета изобретения формулы.

10 Все без исключения пункты формулы включены в описание как часть раскрытия, а пункты формулы представляют собой вариант(-ы) осуществления настоящего изобретения(-ий). Далее, любые описанные выше преимущества и признаки могут относиться к частным вариантам осуществления, но не должны ограничивать заявку опубликованной формулы процессами и конструкциям, 15 обеспечивающими получение любых или всех из приведенных выше преимуществ или имеющими любые или все из приведенных выше признаков.

Кроме того, использованные здесь названия разделов соответствуют рекомендациям согласно части 37 Свода Федеральных Правил, п. 1.77, или иным 20 образом структурируют текст. Эти заголовки не должны ограничивать или характеризовать изобретение(-я), описанное в любой формуле, которая может вытекать из настоящего раскрытия. В частности, для примера, хотя заголовки могут относиться к "Области", формула не должна быть ограничена языком, выбранным под этим заголовком, для описания так называемой области. Кроме того, описание техники в разделе "Уровень техники" не должно восприниматься 25 как признание того, что какая-либо техника является прототипом какого-либо изобретения(-ий) в настоящем раскрытии. Также и "Сущность изобретения" не должна рассматриваться как ограничительная характеристика изобретения(-ий), изложенного в опубликованной формуле. Кроме того, любая ссылка в настоящем раскрытии на "изобретение" в единственном числе не должна использоваться в 30 качестве аргумента, что в настоящем раскрытии имеется только один новый пункт. Может быть представлено несколько изобретений в соответствии с ограничениями многозвенной формулы, опубликованной на основании настоящего раскрытия, и эта формула, соответственно, определяет изобретение(-я) и их эквиваленты, защищаемые этой формулой. Во всех случаях, область

притязаний формулы должна оцениваться ее существом в виду настоящего раскрытия, и не должна быть ограничена приведенными здесь заголовками.

Использование широкозначных терминов, например, "содержит", "включает" и "имеющий", следует воспринимать также как и использование терминов с более узким значением, например, состоящий из, состоящий в основном из, включающий в себя в основном. Использование терминов "опциональный", "может", "мог бы", "возможно" и подобных им в отношении к любому элементу варианта выполнения означает, что элемент не обязателен, либо, наоборот, элемент обязателен, при этом обе альтернативы находятся в пределах области защиты варианта(-ов) осуществления. Кроме того, ссылки на примеры приводятся только для иллюстрации и не подразумевают исключения.

В раскрытии были показаны и описаны предпочтительные варианты осуществления, однако специалистами могут быть предложены их модификации, не выходящие за пределы существа и объема изобретения. Описанные варианты осуществления носят иллюстративный характер и не ограничивают изобретения. Возможны многие варианты и модификации описанных систем, устройств и процессов, находящиеся в пределах области притязаний раскрытия. Например, могут быть изменены относительные размеры различных частей, материалы, из которых выполнены различные части, и другие параметры. Соответственно, объем защиты не ограничен только описанными здесь вариантами, но определяется только приведенной далее формулой, область защиты которой должна включать все эквиваленты объекта изобретения формулы. Если отсутствуют специальные указания, шаги в пункте формулы на способ могут быть выполнены в любом порядке. Перечисление индексов, например, (a), (b), (c) или (1), (2), (3) перед шагами в способе не предполагает и не определяет конкретный порядок выполнения шагов, а, скорее, используется для упрощения дальнейших ссылок на эти шаги.

Кроме того, оборудование, системы, подсистемы и способы, описанные в различных вариантах осуществления и проиллюстрированные в виде дискретных или отдельных частей, могут быть скомбинированы и объединены с другими системами, модулями, оборудованием или способами, в пределах объема настоящего раскрытия. Другие компоненты, показанные и рассмотренные непосредственно связанными или сообщающимися друг с другом, могут быть связаны и сообщаться друг с другом косвенно, через какие-либо интерфейсы,

устройства или промежуточные компоненты, электрически, механически или иным путем. Другие примеры изменений, замен или модификаций очевидны специалисту и могут быть осуществлены в пределах раскрытых здесь существа и области защиты.

ПЕРВОНАЧАЛЬНАЯ ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ идентификации событий, в котором:

получают акустический сигнал от датчика;

5 определяют из акустического сигнала один или более признаков в частотной области, полученных по частотному диапазону акустического сигнала;

вводят один или более признаков в частотной области в качестве входных данных во множество моделей обнаружения событий; и

10 определяют присутствие одного или более событий, используя множество моделей обнаружения событий, причем по меньшей мере две из множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.

2. Способ по п. 1, в котором датчик расположен внутри ствола скважины, а

15 акустический сигнал содержит акустические выборки по части глубины ствола скважины.

3. Способ по п. 1 или 2, в котором дополнительно идентифицируют одно или более мест проявления событий, используя один или более признаков в частотной области.

20

4. Способ по любому из п.п. 1-3, в котором один или более признаков в частотной области выбирают из центроида спектра, разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики, среднеквадратичного значения (СКЗ) энергии в полосе, полного СКЗ энергии, неравномерности спектральной характеристики, наклона спектральной характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, автокорреляционной функции спектра или их нормированной версии.

25

5. Способ по любому из п.п. 1-4, в котором одно или более событий содержат одно или более скважинных событий, включающих одно или более из: притока текучей среды, истечения текучей среды, сегрегации фаз текучей среды, дифференциации потока текучей среды внутри трубы, мониторинга целостности скважины, обнаружения внутрискважинной утечки, кольцевого потока текучей

30

среды, мониторинга перекрывающих пород, обнаружения потока текучей среды за обсадной колонной, обнаружения индуцируемого текучей средой гидроразрыва в перекрывающих породах, пескопроявления или потока песка вдоль ствола скважины.

5

6. Способ по любому из п.п. 1-5, в котором одно или более событий содержат одно или более транспортных событий, событий в области безопасности, событий мониторинга производственного оборудования или событий мониторинга трубопроводов.

10

7. Способ по любому из п.п. 1-6, в котором дополнительно снижают уровень шума акустического сигнала перед определением одного или более признаков в частотной области.

15

8. Способ по п. 7, в котором при снижении уровня шума в акустическом сигнале выполняют медианную фильтрацию акустических выборок.

9. Способ по любому из п.п. 1-8, в котором дополнительно калибруют акустический сигнал.

20

10. Способ по любому из п.п. 1-9, в котором дополнительно нормируют один или более признаков в частотной области перед определением присутствия одного или более событий.

25

11. Способ по любому из п.п. 1-10, в котором при идентификации одного или более событий:

идентифицируют одну или более аномалии в акустическом сигнале, используя один или более признаков в частотной области; и

выбирают интервалы по глубине одной или более аномалий в качестве места проявления события.

30

12. Способ по любому из п.п. 1-11, в котором множество моделей обнаружения событий включает ряд регрессионных логистических моделей, и в котором при определении присутствия одного или более событий,

использующем множество моделей обнаружения событий, определяют присутствие одного или более событий на основе ряда регрессионных логистических моделей.

5 13. Способ по одному из п.п. 1-12, в котором дополнительно:
 определяют восстановительную процедуру на основе присутствия одного
или более событий; и
 выполняют восстановительную процедуру.

10 14. Система, содержащая:
 процессор; и
 запоминающее устройство, хранящее программу анализа,
 причем процессор сконфигурирован для выполнения программы анализа с
возможностью:

15 приема акустического сигнала от датчика;
 определения из акустического сигнала одного или более признаков в
частотной области, получаемых по ряду интервалов вдоль датчика;
 введения одного или более признаков в частотной области качестве
входных данных во множество моделей обнаружения событий; и

20 определения присутствия одного или более событий с использованием
множества моделей обнаружения событий, причем по меньшей мере две из
множества моделей обнаружения событий отличаются друг от друга.

25 15. Система по п. 14, в которой процессор дополнительно сконфигурирован
для идентификации одного или более мест проявления событий с
использованием одного или более признаков в частотной области.

30 16. Система по п. 14 или 15, в которой один или более признаков в
частотной области включают по меньшей мере два признака в частотной
области, выбранные из центраида спектра, разброса спектральных значений,
спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики,
среднеквадратичного значения (СКЗ) энергии в полосе, полного СКЗ энергии,
неравномерности спектральной характеристики, наклона спектральной

характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, автокорреляционной функции спектра, или их нормированной версии.

5 17. Система по любому из п.п. 14-16, в которой одно или более событий
включают одно или более из: притока текучей среды, истечения текучей среды,
сегрегации фаз текучей среды, дифференциации потока текучей среды внутри
трубы, мониторинга целостности скважины, обнаружения внутрискважинной
утечки, кольцевого потока текучей среды, мониторинга перекрывающих пород,
10 обнаружения потока текучей среды за обсадной колонной, обнаружения
индуцируемого текучей средой гидроразрыва в перекрывающих породах,
пескопроявления или потока песка вдоль ствола скважины.

15 18. Система по любому из п.п. 14-16, в которой одно или более событий
включают одно или более транспортных событий, событий в области
безопасности, событий мониторинга производственного оборудования или
событий мониторинга трубопроводов.

20 19. Система по любому из п.п. 14-18, в которой процессор дополнительно
сконфигурирован для калибрования акустического сигнала.

20. Система по любому из п.п. 14-19, в которой процессор дополнительно
сконфигурирован для нормирования одного или более признаков в частотной
области перед определением присутствия одного или более событий.

25 21. Система по любому из п.п. 14-20, в которой процессор дополнительно
сконфигурирован для:

идентификации сигнатуры фонового события с использованием
акустического сигнала; и

30 удаления сигнатуры фонового события из акустического сигнала перед
идентификацией одного или более событий.

22. Система по любому из п.п. 14-21, в которой процессор дополнительно сконфигурирован для:

идентификации одной или более аномалий в акустическом сигнале с использованием одного или более признаков в частотной области; и

5 выбора интервалов по глубине одной или более аномалий в качестве мест проявления события.

23. Система по любому из п.п. 14-22, в которой множество моделей обнаружения событий включает множество регрессионных логистических моделей, а процессор дополнительно сконфигурирован для определения присутствия одного или более событий на основе множества регрессионных логистических моделей.

10

24. Система по любому из п.п. 14-23, в которой процессор дополнительно сконфигурирован для:

15

определения восстановительной процедуры на основе присутствия одного или более событий; и

выполнения восстановительной процедуры.

20

25. Система по любому из п.п. 14-24, в которой процессор дополнительно сконфигурирован для:

определения уровня доверительной вероятности при определении присутствия одного или более событий; и

25

выполнения восстановительной процедуры на основе уровня доверительной вероятности.

26. Способ определения выходного сигнала с использованием акустического сигнала, при осуществлении которого:

30

определяют из акустического сигнала один или более признаков в частотной области, полученных по ряду отрезков вдоль линии прохождения датчика;

вводят один или более признаков в частотной области в качестве входных данных во множество моделей обнаружения события;

определяют показатель присутствия одного или более событий, используя множество моделей обнаружения событий;

вводят показатель присутствия одного или более событий в управляющее приложение; и

5 определяют, используя показатель присутствия одного или более событий в качестве входных данных в управляющем приложении, выходной сигнал для процесса или системы.

27. Способ по п. 26, в котором дополнительно:

10 идентифицируют одно или более мест проявления события, используя один или более признаков в частотной области; и

 вводят данные об одном или более местах проявления события в управляющее приложение, в котором определение выходного сигнала включает использование одного или более мест проявления события.

15

28. Способ по п. 26 или 27, в котором один или более признаков в частотной области выбирают из центраида спектра, разброса спектральных значений, спада спектральной характеристики, асимметрии спектральной характеристики, среднеквадратичного значения (СКЗ) энергии в полосе, полного СКЗ энергии, неравномерности спектральной характеристики, наклона

20 спектральной характеристики, эксцесса спектра, скорости изменения спектра мощности, автокорреляционной функции спектра или их нормированной версии.

29. Способ по любому из п.п. 26-28, в котором одно или более событий

25 содержит одно или более скважинных событий, включающих одно или более из: притока текучей среды, истечения текучей среды, сегрегации фаз текучей среды, дифференциации потока текучей среды внутри трубы, мониторинга целостности скважины, обнаружения внутрискважинной утечки, кольцевого потока текучей среды, мониторинга перекрывающих пород, обнаружения потока текучей среды

30 за обсадной колонной, обнаружения индуцируемого текучей средой гидроразрыва в перекрывающих породах, пескопроявления или потока песка вдоль ствола скважины.

30. Способ по любому из п.п. 26-29, в котором одно или более событий включают одно или более транспортных событий, событий в области безопасности, событий мониторинга производственного оборудования или событий мониторинга трубопроводов.

5

31. Способ разработки модели идентификации события для ствола скважины, при осуществлении которого:

выполняют ряд испытаний событий с использованием испытательного оборудования, для воспроизведения одного или более событий;

10 получают, в ходе каждого испытания события из ряда испытаний событий, акустический сигнал от датчика, содержащий акустические выборки, связанные с событием, использующим испытательное оборудование;

определяют из акустического сигнала один или более признаков в частотной области для каждого из ряда испытаний события; и

15 обучают множество моделей обнаружения событий, используя один или более признаков в частотной области для ряда испытаний, где первая модель потока текучей среды из множества моделей потока текучей среды отличается от второй модели потока текучей среды из множества моделей потока текучей среды.

20

32. Способ по п. 31, в котором дополнительно утверждают множество моделей идентификации события, используя акустические сигналы из одного или более испытаний из ряда испытаний.

25 33. Способ по п. 31 или 32, в котором испытательное оборудование включает гидравлический испытательный стенд замкнутого типа, событие содержит текучую среду, а текучая среда содержит водную текучую среду, углеводородную текучую среду, газ или их комбинацию.

30 34. Способ по п. 33, в котором текучая среда содержит жидкую фазу, многофазную смешанную жидкость или газожидкостную фазовую смесь.

35. Способ по п. 31 или 32, в котором испытательное оборудование содержит ряд труб, причем первая труба расположена внутри второй трубы для формирования кольцевого пространства.

5 36. Способ по п. 31 или 32, в котором испытательное оборудование содержит испытательный полигон для событий в области безопасности.

37. Способ по п. 31 или 32, в котором испытательное оборудование содержит одну или более единиц оборудования.

10

38. Способ по любому из п.п. 31-37, в котором рядом испытаний, используемых для обучения множества моделей идентификации события, является подгруппа из ряда испытаний потока.

15 39. Способ по любому из п.п. 31-38, в котором множество моделей идентификации события включает регрессионные логистические модели, и при обучении множества моделей идентификации событий:

20 вводят один или более признаков в частотной области в первую регрессионную логистическую модель из регрессионных логистических моделей, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события, в присутствии первого события;

25 вводят один или более признаков в частотной области в эту первую регрессионную логистическую модель, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события, в отсутствие этого первого события; и

30 определяют первую многопараметрическую модель, используя один или более признаков в частотной области в качестве входных данных, причем первая многопараметрическая модель определяет отношение между присутствием и отсутствием первого события.

40. Способ по п. 39, в котором при обучении множества моделей идентификации события:

вводят один или более признаков в частотной области во вторую регрессионную логистическую модель из регрессионных логистических

моделей, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события, в присутствии второго события;

5 вводят один или более признаков в частотной области в эту вторую регрессионную логистическую модель, в соответствии с одним или более испытаниями события из ряда испытаний события, в отсутствие второго события; и

10 определяют вторую многопараметрическую модель, используя один или более признаков в частотной области в качестве входных данных, причем вторая многопараметрическая модель определяет отношение между присутствием и отсутствием второго события.

41. Способ по п. 40, в котором первая многопараметрическая модель отличается от второй многопараметрической модели.

15 42. Способ по п. 41, в котором дополнительно:

вводят акустические сигналы от одного или более из ряда испытаний события в каждую первую и вторую многопараметрические модели;

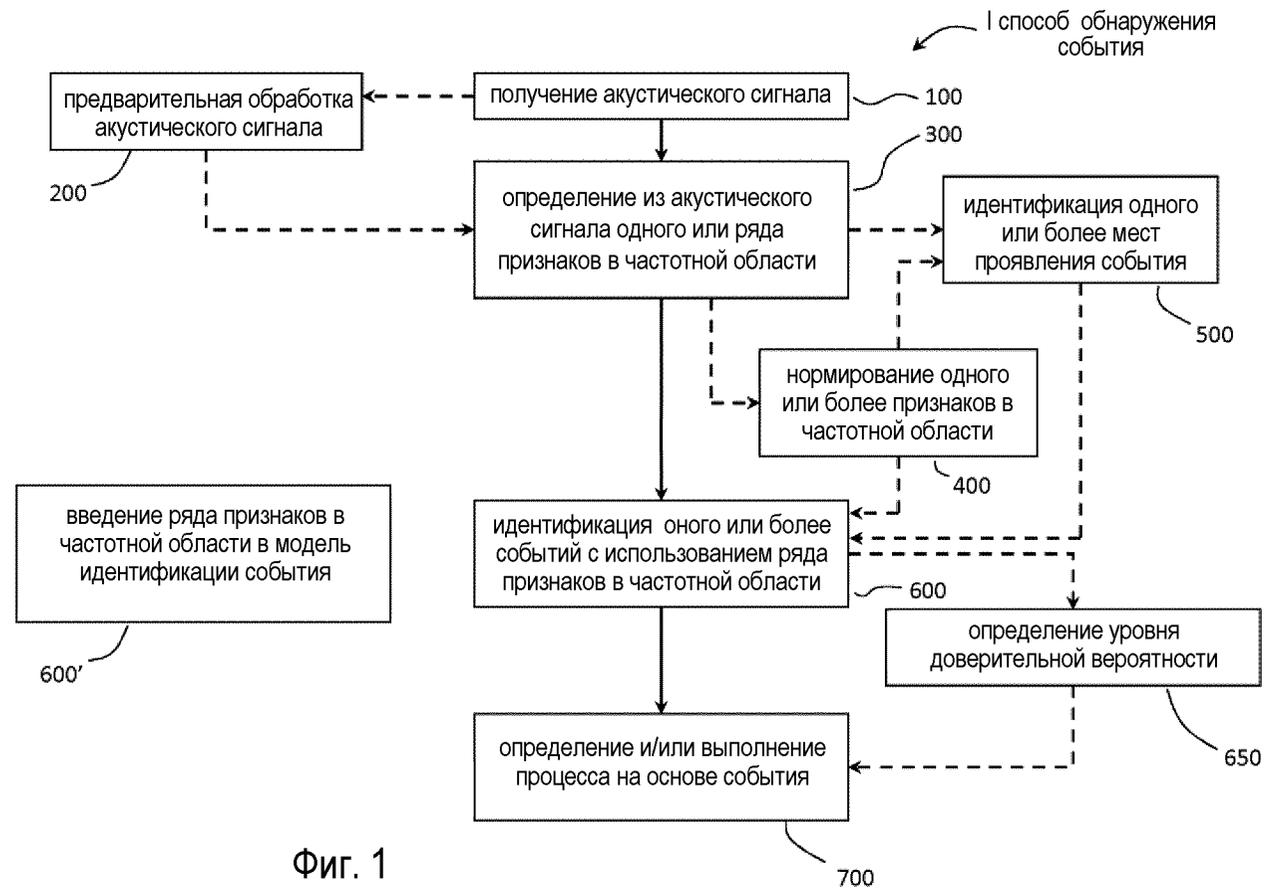
20 определяют присутствие или отсутствие по меньшей мере одного из первого события или второго события на основе выходных данных каждой из первой многопараметрической модели и второй многопараметрической модели; и

25 утверждают множество моделей идентификации событий, используя по меньшей мере часть из ряда испытаний событий и присутствие первого события или второго события, установленное посредством первой многопараметрической модели и второй многопараметрической модели.

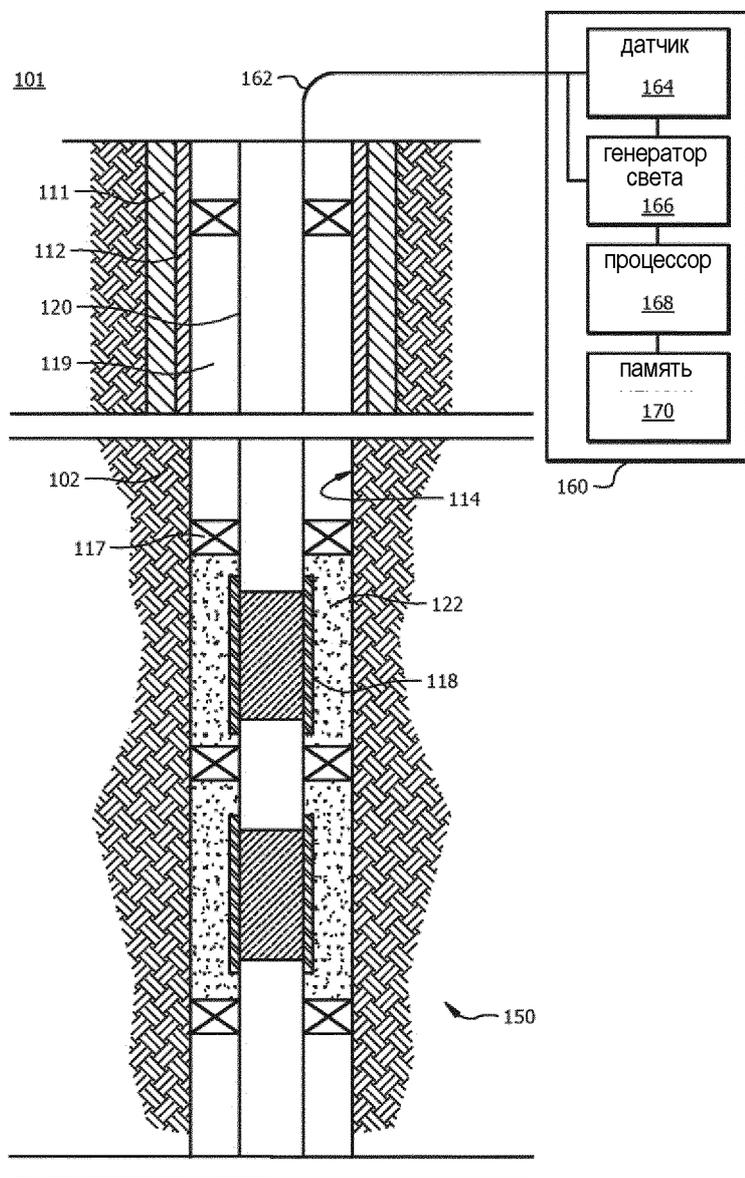
43. Способ по п. 42, в котором дополнительно:

30 определяют уровень доверительной вероятности на основе утверждения; и выполняют процесс на основе уровня доверительной вероятности.

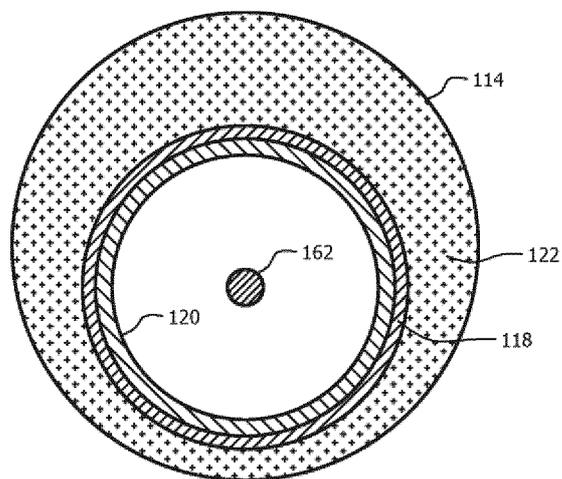
44. Способ по любому из п.п. 31-43, в котором множество моделей идентификации событий разрабатывается с использованием алгоритма контролируемого обучения.



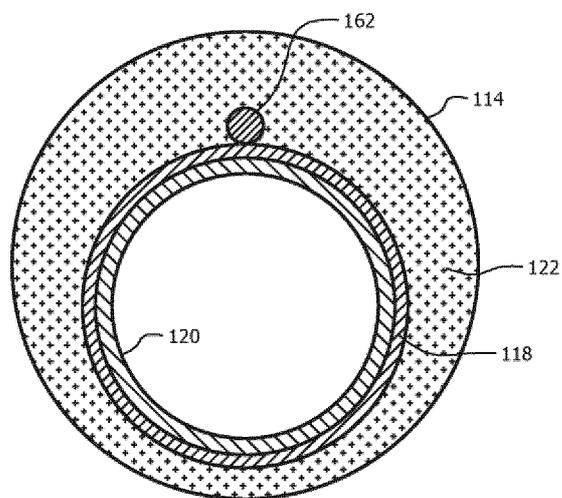
Фиг. 1



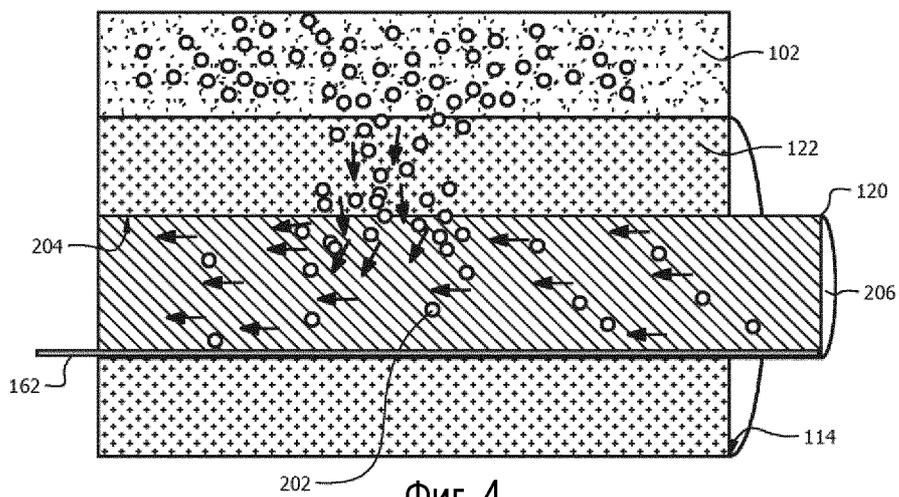
Фиг. 2

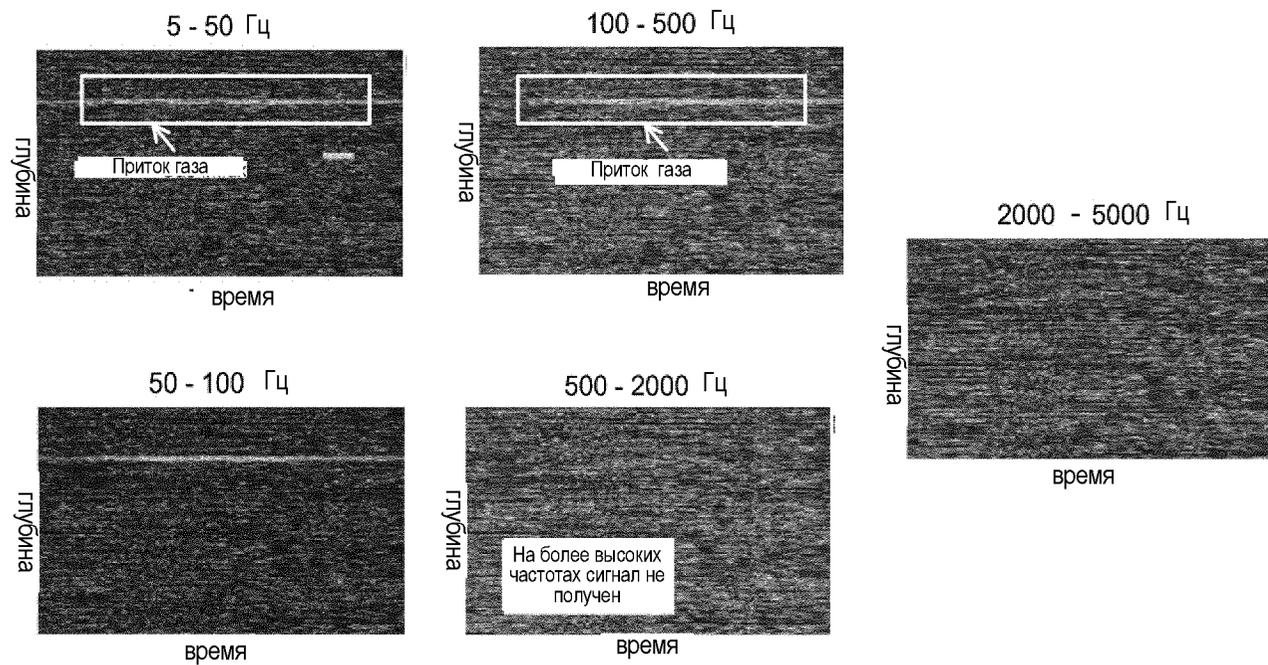


Фиг. 3А



Фиг. 3Б

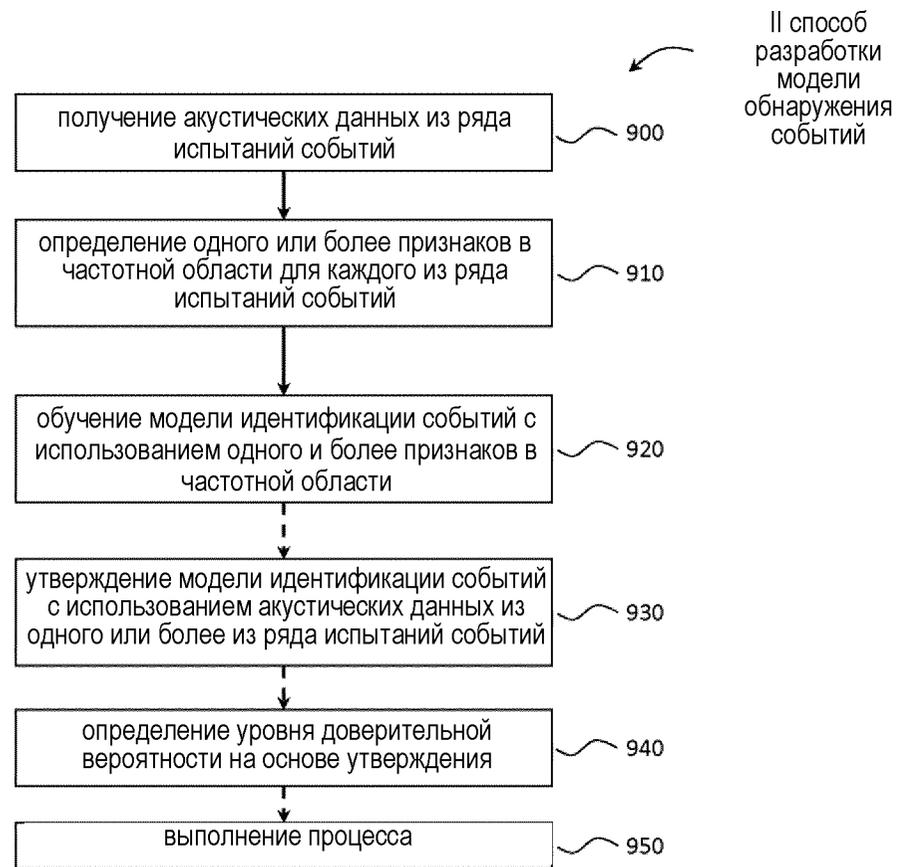




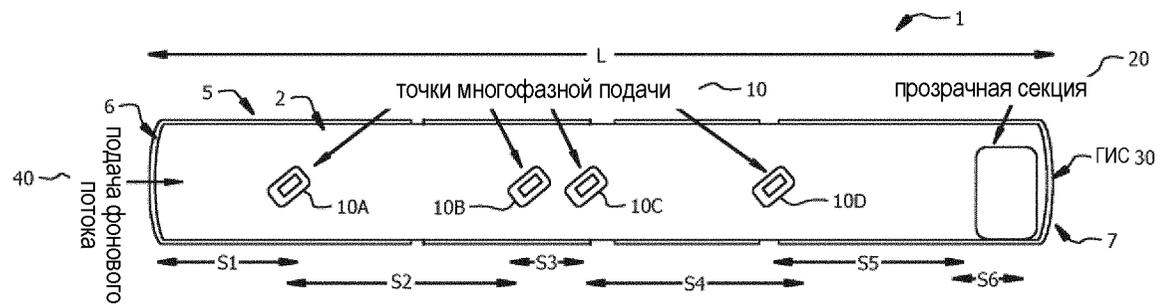
Фиг. 5



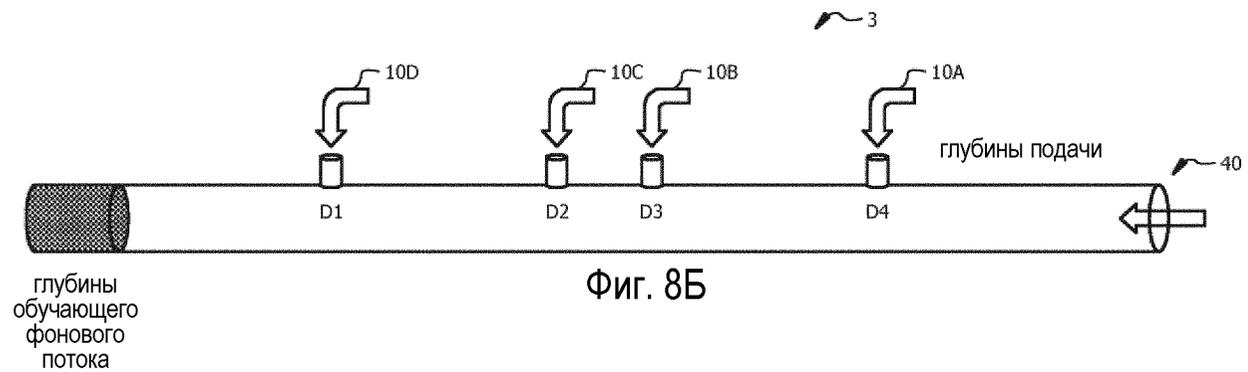
Фиг. 6



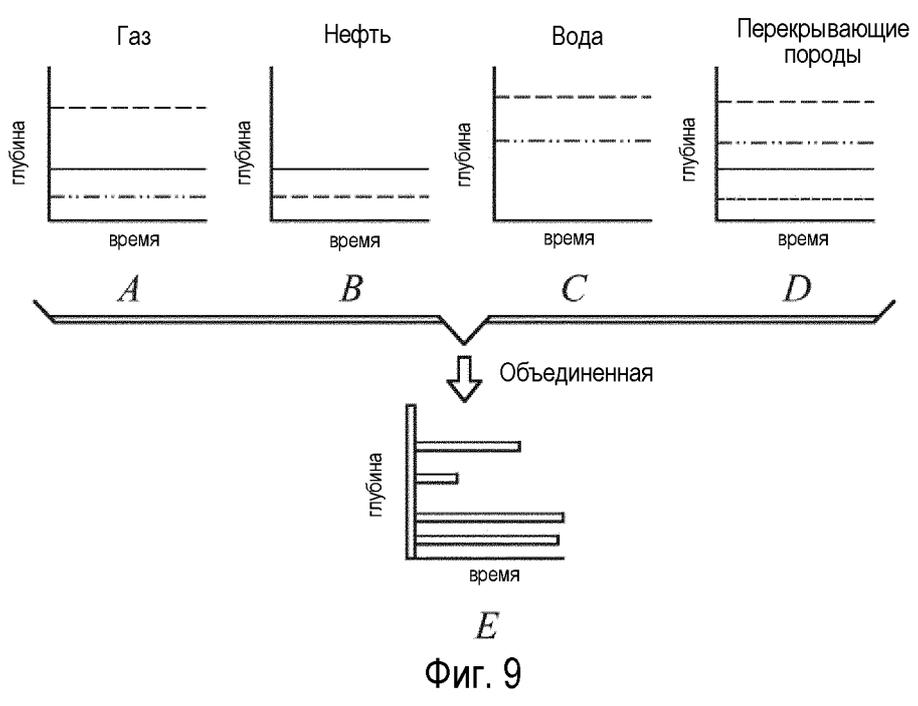
Фиг. 7

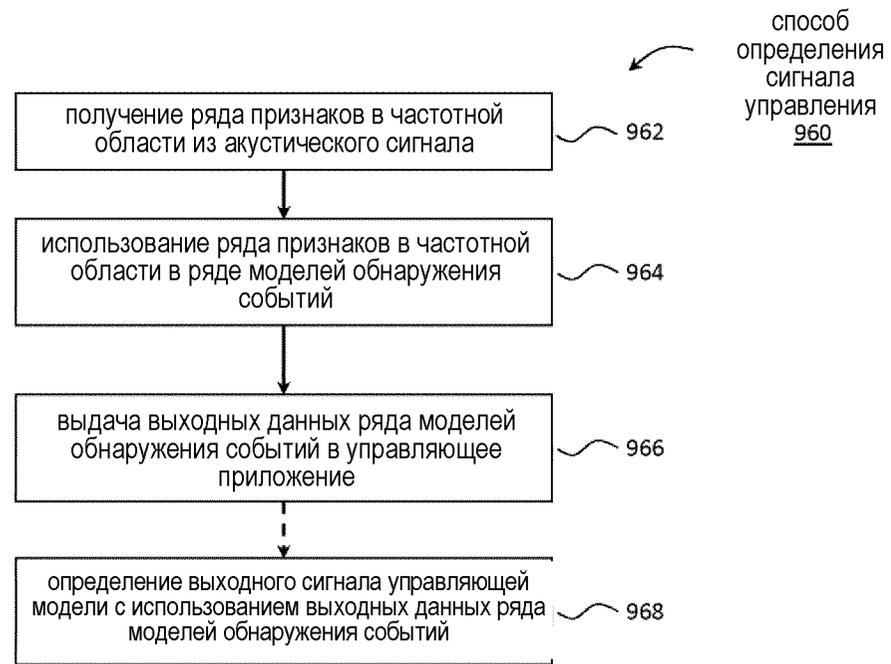


Фиг. 8А

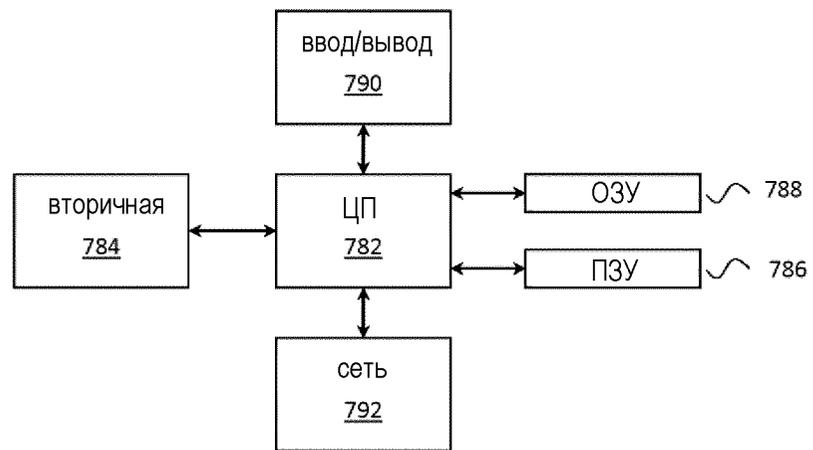


Фиг. 8Б





Фиг. 10



Фиг. 11