

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **202192444** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2022.02.24

(51) Int. Cl. **E21B 47/10** (2012.01)
E21B 47/12 (2012.01)
E21B 41/00 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2019.03.14

(54) ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ В ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

(86) **PCT/EP2019/056425**

(74) Представитель:

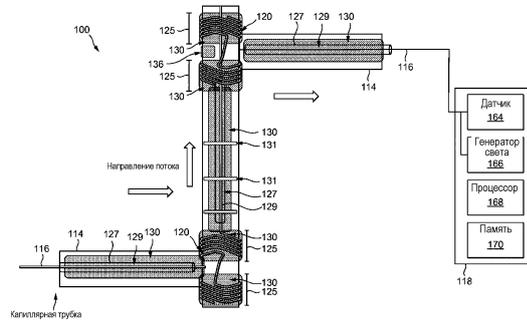
(87) **WO 2020/182312 2020.09.17**

**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)**

(71) Заявитель:
**БП ЭКСПЛОРЕЙШН ОПЕРЕЙТИНГ
КОМПАНИ ЛИМИТЕД (GB)**

(72) Изобретатель:
Тхирувенкатанатхан Прадьюмна (GB)

(57) В заявке описана система мониторинга, включающая поточную линию, имеющую по меньшей мере один изгиб, оптоволокну, соединенное с внешней стороной поточной линии и обмотанное вокруг по меньшей мере части поточной линии, и приемник, присоединенный к концу оптоволокну и приспособленный к приему по меньшей мере одного акустического сигнала от оптоволокну.



202192444

A1

A1

202192444

ОБНАРУЖЕНИЕ СОБЫТИЙ В ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКУСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

5

Ссылки на родственные заявки

Не применимо

Уровень техники

5 10 15 20 25 30

Через углеводородную эксплуатационную скважину, ствол которой проходит в пласт месторождения, могут добываться различные текучие среды, например, углеводороды, вода, газ и др. Из ствола скважины текучие среды транспортируются по нескольким поточным линиям (промышленным трубопроводам) и пунктам первичной обработки к центральному газоперерабатывающему предприятию. Добыча текучих сред может приводить к их перемещению в разных подземных областях. Например, из некоторых подземных пластов могут освобождаться твердые частицы, обобщенно называемые "песком" или "частицами", которые могут добываться вместе с потоком текучих сред через ствол скважины и поточные линии технологической продуктовой линии. Эти твердые частицы могут создавать ряд проблем, включая эрозию (также называемую здесь истиранием или абразивным износом) поточных линий, закупоривание скважин, загрязнение и повреждение наземного оборудования и т.д.

Тенденция к образованию твердых частиц появляется, когда продуктивные пласты образованы из слабо цементированных песчаников с низкой прочностью при одноосном сжатии. В таких пластах неспособность улавливать частицы может приводить к извлечению большого количества частиц, в результате чего может потребоваться снижать производительность скважины для снижения извлечения частиц до приемлемого уровня. Это может приводить к сокращению добычи нефти и потенциально к существенному замедлению добычи углеводородов.

Предпринимались попытки обнаружения различных текучих сред, включая текучие среды внутри поточных линий с находящимися в них частицами. Например, делались попытки обнаружения твердых частиц с использованием акустических датчиков, помещенных на поверхности поточных линий. Частицы,

проходящие через поточную линию вместе с добываемыми текучими средами (например, нефтью, газом или водой) соприкасаются со стенками поточной линии, особенно на изгибах и коленах поточной линии. Эти касания порождают волны напряжений, которые перехватываются в форме звуковых сигналов акустическими датчиками, установленными на стенках поточной линии. Таким способом, однако, можно только обнаружить наличие частиц в месте установки акустических датчиков или вблизи него, и дать в лучшем случае качественную оценку (например, свидетельствовать о наличии частиц).

Сущность изобретения

10 В изобретении предлагается система мониторинга, включающая поточную линию, имеющую по меньшей мере один изгиб; оптоволокну, связанное с внешней стороной поточной линии и обмотанное вокруг по меньшей мере части поточной линии; и приемник, соединенный с концом оптоволокну и выполненный с возможностью обнаружения/детектирования по меньшей мере
15 одного акустического сигнала от оптоволокну.

Также предложен способ обнаружения твердых частиц в поточной линии, при осуществлении которого пропускают внутри поточной линии поток текучей среды, содержащей твердые частицы; генерируют акустический сигнал на изгибе поточной линии, причем генерирование сигнала обусловлено ударами частиц по
20 внутренней поверхности поточной линии на изгибе поточной линии, вокруг которого обмотано оптоволокну, улавливающее акустический сигнал, присутствующий на изгибе поточной линии; и обнаруживают акустический сигнал, используя оптоволокну, связанное с поточной линией; и определяют присутствие твердых частиц в текучей среде, используя акустический сигнал.

25 В варианте осуществления предложен способ обнаружения твердых частиц в поточной линии, при осуществлении которого: получают совокупность данных выборки, содержащую акустический сигнал, генерированный из оптоволокну, обмотанного вокруг по меньшей мере части поточной линии с текучей средой, и представляющую акустический сигнал по спектру частот; определяют
30 множество (группу) признаков в частотной области совокупности данных выборки; сравнивают множество признаков в частотной области с сигнатурой (комплексом признаков) события, содержащей множество порогов, интервалов или то и другое, соответствующее множеству признаков в частотной области; определяют соответствие множества признаков в частотной области порогам,

интервалам или тому и другому в сигнатуре события; и определяют присутствие твердых частиц внутри текучей среды, на основе определения того, что множество признаков в частотной области соответствует порогам, интервалам или тому и другому сигнатуры события.

5 В варианте осуществления предложен способ разработки модели для идентификации состояния для поточной линии, при осуществлении которого: получают множество совокупностей опорных данных для поточной линии, содержащих акустические данные, полученные по спектру частот от одного или более датчиков, присоединенных к по меньшей мере части поточной линии, 10 причем указанное множество совокупностей опорных данных содержит по меньшей мере одну совокупность опорных данных, полученных при возникновении (определенного) состояния, и по меньшей мере одну совокупность опорных данных, полученных в отсутствие этого состояния; определяют один или более признаков в частотной области из совокупностей 15 опорных данных; и обучают модель, используя один или более признаков в частотной области из по меньшей мере части совокупностей опорных данных.

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

20 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 25 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 30 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 изобретения.

Краткое описание чертежей

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

5 на фиг. 1 схематически изображено поперечное сечение системы мониторинга, включающей поточную линию с прикрепленным оптоволоконном, в соответствии с изобретением;

на фиг. 2 схематически изображено поперечное сечение поточной линии с деформируемым слоем, расположенным между поточной линией и оптоволоконном;

10 на фиг. 3 схематически изображено поперечное сечение варианта выполнения поточной линии с частицами, проходящими через изгиб поточной линии;

на фиг. 4 показана схема маршрута обработки акустического сигнала;

на фиг. 5 представлена типовая каротажная диаграмма пескопроявления;

15 на фиг. 6 представлена функциональная схема способа обнаружения частиц, проходящих через поточную линию;

на фиг. 7 представлена функциональная схема компьютера, который может быть использован для выполнения различных шагов в соответствии с изобретением.

20 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
25 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 внутренний или внешний,
30 использующая для целей описания термины "в", "внутренний" или "внутри", означает направление к центральной продольной оси поточной линии, а "снаружи", "внешний" или "наружный", означает направление к стенке поточной линии. В настоящем описании, термины "продольный" и "продольно" относятся к оси, фактически совпадающей с центральной осью поточной линии, 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
5 далее подробного описания вариантов выполнения со ссылками на приложенные чертежи.

В настоящем описании раскрывается новая архитектура обработки сигнала, обеспечивающая идентификацию различных событий, происходящих в поточной линии, например, прохождение твердых частиц через изгиб поточной линии, в
10 некоторых вариантах осуществления в реальном времени или в масштабе времени, близком к реальному. В некоторых вариантах осуществления, система обеспечивает количественное измерение различных потоков текучей среды, например, относительной концентрации частиц, проходящих через изгиб поточной линии. В настоящем описании, термин "в реальном времени" означает
15 временной промежуток, учитывающий различные задержки сигнала в линиях связи и скрытые задержки внутри системы, и может охватывать действия, происходящие в пределах примерно десяти секунд, примерно тридцати секунд, примерно минуты, примерно пяти минут, или примерно десяти минут от происходящего события. Для получения акустической выборки в разных точках
20 вдоль поточной линии могут быть использованы различные датчики (например, распределенные оптоволоконные акустические датчики и др.). Далее акустическая выборка может быть подвергнута обработке с использованием архитектуры обработки сигнала, использующей различные методы извлечения признаков (например, методов извлечения спектральных признаков) для
25 получения меры одного или более признаков в частотной области, обеспечивающей селективное извлечение требуемых акустических сигналов из фонового шума и дальнейшее содействие в улучшении точности идентификации движения текучих сред и/или твердых частиц (например, частиц, проходящих через изгиб поточной линии и др.) в реальном времени. В данном описании
30 различные признаки в частотной области могут быть получены из акустического сигнала, и в некоторых обстоятельствах признаки в частотной области могут быть также названы спектральными признаками или спектральными дескрипторами.

Акустический сигнал может быть получен способом, обеспечивающим получение сигнала вдоль одного или более изгибов поточной линии или значимой части поточной линии. В то время как наружные накладные акустические детекторы на поточных линиях могут быть использованы для обнаружения (детектирования) акустических сигналов, они не дают информации о месте в поточной линии, где проходят частицы, или месте поточной линии, где может возникать эрозия. Кроме того, принятая методика обработки данных накладных детекторов для отделения событий от другого акустического "фонового" шума позволяет получить только качественные и часто противоречивые результаты. Ряд других технических ограничений в настоящее время сдерживают непосредственное использование этой методики для акустического обнаружения в поточной линии в реальном масштабе времени. Оптоволоконные распределенные акустические датчики (DAS – от англ. distributed acoustic sensor) улавливают акустические сигналы, образующиеся в результате прохождения твердых частиц по частям поточной линии, а также другие фоновые акустические сигналы. Это вызывает потребность в надежной процедуре обработки сигнала, которая отличает акустические сигналы, создаваемые прохождением твердых частиц по поточной линии, от других источников шума, исключая ложные распознавания сигнала в полученных результатах. Для этого, в свою очередь, требуется более ясное понимание акустического "портрета" значимых событий в поточной линии, (например, прохождения частиц по поточной линии) с тем, чтобы иметь возможность отделения шума, возникающего от соответствующего события, от других фоновых шумов окружающей среды. В настоящем описании, полученный акустический портрет конкретного события может также называться сигнатурой спектра или комплексом спектральных признаков, более подробно описанным в настоящем раскрытии.

В традиционных системах используется неинструментальный осмотр мест, подверженных воздействию текучих сред, содержащих твердые частицы, часто требующий остановку работы системы на время инспекции. Такие осмотры могут приводить к значительным задержкам производства на время простоев. Сокращение продолжительности подобных задержек, обусловленных одним или более событиями, и обеспечение проведения эффективных восстановительных мероприятий зависит от средств содействия принятию решений в масштабе

времени, близком к реальному, для информирования оператора о событиях. В настоящее время отсутствуют подобные технологии/обработка сигналов для DAS, которые успешно обнаруживали бы и выделяли места проявления событий, тем более в масштабе времени, близком к реальному.

5 С точки зрения обработки данных и их объема, DAS блок сбора данных производит огромные объемы данных (обычно около 1 ТБ/ч) в зависимости от длины используемого волокна и частоты выборки, что создает трудности в работе с этими данными, их передаче, обработке и хранении. В настоящее время не существует метода интеллектуального выделения полезной информации для
10 сокращения объемов данных в реальном времени для обеспечения немедленного принятия решения. Это порождает трудности для передачи данных в реальном времени на берег и интеграции этих данных в существующие информационные платформы из-за ограничений по полосе частот, и данные приходится хранить на жестких дисках, которые отправляются на берег для интерпретации и
15 анализа. Кроме того, этим увеличивается время цикла интерпретации (обычно от нескольких недель до месяцев), перед тем как будут предприняты какие-либо корректирующие меры, что ведет к задержке добычи.

Способность идентификации различных событий в поточной линии может обеспечить выполнение различных действий в виде реакции на событие.
20 Например, скважина может быть остановлена, добыча может быть увеличена или уменьшена и/или могут быть предприняты соответствующие корректирующие меры в поточной линии или стволе скважины, в зависимости от идентифицированного события(-ий). Эффективная ответная мера, при необходимости ее принятия, использует не просто бинарный сигнал "да/нет"
25 идентификации событий в поточной линии, но также и относительное количество текучих сред и/или твердых частиц (например, твердых частиц и т.д.) в каждой из идентифицированных частей поточной линии, благодаря чему в частях, где количество текучей среды и/или твердых частиц максимально, меры могут быть приняты в первую очередь. Например, при обнаружении эрозии в
30 изгибе поточной линии, объем транспортировки по линии и/или обводной линии может быть скорректирован для предотвращения дальнейшей эрозии, возникающей в изгибе поточной линии.

Как показано в настоящем раскрытии, спектральные дескрипторы могут быть использованы с обработкой в реальном времени акустических данных DAS,

для создания различных прикладных методов исследований поточных линий. В частности, методы обработки данных могут быть использованы для различных исследований характеристик текучей среды в поточных линиях, таких как обнаружения потока текучей среды, фазового расслоения текучей среды, наличия частиц и т.д. Использование методов обработки сигналов от распределенных акустических датчиков (DAS) для исследований в поточной линии обеспечивает ряд возможностей, включая увеличение срока службы поточной линии и улучшение нефтеотдачи пласта путем мониторинга прохождения частиц по изгибам поточной линии и возникающей в изгибах поточной линии эрозии, обеспечение целенаправленных корректирующих мероприятий для эффективного контроля за частицами в поточной линии, снижение операционных рисков через четкую идентификацию эрозии и/или повреждений в поточной линии и т.д.

В некоторых вариантах выполнения, использование описанных здесь систем и способов может дать информацию о частях текучей среды, вносящих вклад в эрозию или абразивный износ поточной линии, и их относительных концентраций, тем самым потенциально способствуя повышению эффективности корректирующих действий, основанных на результатах обработки. Раскрытые здесь способы и системы также могут дать информацию об изменчивости количества частиц в добытой текучей среде(-ах) в функции разных дебитов скважины, разных дросселей эксплуатационных скважин и условий скважинного давления, обеспечивая, тем самым, управление эрозией для сдерживания эрозии и износа поточной линии. Раскрытые варианты выполнения систем и способов также обеспечивают вычисление относительных концентраций частиц в текучей среде(-ах), проходящей по изгибу поточной линии, тем самым предоставляя возможность для более целенаправленных и эффективных корректирующих мер. Например, может быть обнаружен и зарегистрирован фоновый сигнал с использованием DAS датчика и/или одного или более дополнительных датчиков в системе. Далее измеряемый сигнал может сопоставляться с фоновым сигналом для качественного определения, насколько прибавилось или убавилось количество частиц в текучей среде и/или ударений о внутреннюю поверхность поточной линии, что может способствовать определению потенциального воздействия эрозии.

Как показано в настоящем раскрытии, в вариантах осуществления способов обработки данных используется последовательность шагов цифровой обработки сигнала в реальном времени для выделения и извлечения акустического сигнала, возникающего от твердых частиц и/или текучих сред в поточной линии, из фоновых шумов, и обеспечения обнаружения в реальном времени частиц и/или текучих сред, проходящих по поточной линии, используя данные распределенного оптоволоконного акустического датчика в качестве источника входных данных.

На фиг. 1 приведен пример системы 100 мониторинга в соответствии с некоторыми вариантами осуществления. Система 100 мониторинга включает поточную линию 114, оптоволоконно 116 и устройство 118 обнаружения. Как будет более подробно описано ниже, варианты выполнения узлов мониторинга, содержащих систему распределенного акустического датчика (DAS) в соответствии с описанными принципами, могут быть помещены в систему 100 мониторинга.

Вообще, поточной линией 114 может быть труба или шланг, переносящий текучую среду между разными точками продуктовой линии на промысле. Поточная линия 114 может быть выполнена из металла, или, в некоторых вариантах осуществления, пластика или полимеров, при этом поточная линия 114 может быть рассчитана на работу с текучими средами и давлениями, ожидаемыми на промышленном объекте. В некоторых вариантах осуществления, поточной линией 114 может быть трубопровод, по которому передается текучая среда (например, нефть, газ, попутная вода) между различными производственными объектами на продуктовой линии. Например, поточная линия 114 может соединять устьевое оборудование скважины с первым объектом производственного оборудования на продуктовой линии. В продуктовой линии может быть несколько других поточных линий 114 для соединения между собой различных объектов производственного оборудования для обеспечения передачи текучей среды между этими объектами. Поточная линия 114 может находиться в наземной или морской группе скважин и может быть закопанной или располагаться на поверхности земли или морского дна. Поточная линия 114 может иметь небольшую длину, либо может простираться на несколько километров в наземных применениях. В то время как поточная линия 114 была описана в контексте применений на нефте- и газопромысле,

следует иметь в виду, что поточная линия 114 может применяться в области, где используются трубы для передачи текучих сред, такие как поточная линия 114.

Как показано на фиг. 1, поточная линия 114 включает один или более изгибов 120, расположенных так, что когда текучая среда протекает через
5 поточную линию 114, она в основном меняет направление течения в соответствии с изгибом 120. Изгибы 120 на фиг. 1 представлены в виде Т-образных изгибов с углом изгиба примерно 90 градусов (°). Однако изгибы 120 могут иметь другую форму, например, криволинейного или скругленного изгиба, позволяющего изменить направление потока текучей среды. В то время
10 как на фиг. 1 на поточной линии 114 показано только два изгиба 120, поточная линия 114 может иметь любое число изгибов 120, включая один изгиб или три изгиба или большее число изгибов.

Текучая среда, втекающая в поточную линию 114, может содержать более одного компонента текучей среды. Типичные компоненты включают природный
15 газ, углеводородные жидкости (например, нефть и др.), воду, водяной пар и/или диоксид углерода. Относительные пропорции этих компонентов могут меняться со временем, в зависимости от условий внутри пробуриваемой подповерхностной породы и стволе буровой скважины. Аналогично, состав текучей среды, протекающей в секциях поточной линии 114 по всей длине эксплуатационной колонны, может претерпевать значительные изменения от
20 секции к секции в любой данный момент времени.

По мере протекания текучей среды в поточную линию 114, различные твердые частицы, имеющиеся в подповерхностной породе, могут попасть в
25 поточную линию 114 вместе с текучей средой (например, нефтью, водой, природным газом и т.д.). Эти твердые частицы, называемые здесь "частицами", могут включать любые твердые материалы, образующиеся внутри подповерхностной породы и/или выпадающие в осадок из добываемых текучих сред в процессе добычи, независимо от размера и состава. Например, твердые частицы могут включать любые твердые материалы, например, песок, горные
30 породы, кристаллы и др.

Как будет показано далее со ссылкой на фиг. 3, твердые частицы, проходящие через изгибы 120 поточной линии 114, могут вызвать существенное повреждение поточной линии 114. Когда находящиеся в текучей среде твердые частицы достигают изгиба 120, текучая среда может изменить направление

потока, в то время как твердые частицы могут быть увлечены моментом движения в противоположную стенку поточной линии так, что ударяются во внутреннюю поверхность поточной линии 114 на изгибе 120 перед тем, как изменить направление движения вдоль изгиба 120. При ударе во внутреннюю поверхность поточной линии 114 в изгибе 120, твердые частицы могут создавать звуки, которые могут обнаруживаться акустическим датчиком, например, системой DAS. Аналогично, поток различных текучих сред внутри поточной линии 114, может вызывать звуковые колебания, которые могут быть обнаружены акустическим датчиком, например системой DAS. Для события каждого типа, например, потоков различных текучих сред и мест нахождения потока текучей среды, может возникать акустическая сигнатура (комплекс акустических признаков) с уникальными признаками в частотной области.

Как показано на фиг. 1, поточная линия 114 может быть связана с оптоволоконном 116, которое принимает возникающий акустический сигнал от текучей среды, протекающей по поточной линии 114. Оптоволоконно 116 может служить оптическим трактом или каналом передачи вдоль поточной линии 114, обеспечивающим обнаружение акустических сигналов вдоль поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконно 116 может быть присоединено и расположено вдоль внешней поверхности поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконно 116 может быть обмотано вокруг по меньшей мере части 125 поточной линии 114. Как показано на фиг. 1, оптоволоконно 116 может быть обмотано вокруг поточной линии 114 много раз на частях 125, находящихся на Т-образных изгибах 120. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконно 116 может быть соединено в продольном направлении вдоль прямых секций поточной линии 114.

В некоторых вариантах осуществления, длина оптоволоконна 116, использованного для обматывания вокруг частей 125 поточной линии 114, может быть выбрана, исходя из пространственного разрешения и диаметра поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, отношение длины оптоволоконна 116, обмотанного вокруг части поточной линии 114, к длине поточной линии 114 вдоль оси, может составлять по меньшей мере 1,5:1, по меньшей мере 2:1, по меньшей мере 3:1, по меньшей мере 4:1, по меньшей мере 5:1, или по меньшей мере 10:1. Например, для 6-дюймовых поточных линий с внешним диаметром 168,3 миллиметров (мм) и внутренним диаметром 116,1 мм,

длина оптоволоконна 116, обмотанного вокруг частей 125 поточной линии 114, может составлять примерно от 5 метров (м) до 10 м.

Количество оптоволоконна, находящегося на изгибах 120, может зависеть от пространственного разрешения сигнала, создаваемого оптоволоконном 116, проходящим вдоль части поточной линии 114, и способности системы DAS определять положение сигнала вдоль поточной линии 114. В некоторых описанных здесь вариантах осуществления, оптоволоконно 116 обматывается вокруг изгибов 120 поточной линии 114 на определенной длине, необходимой для обнаружения акустических сигналов с разрешением достаточным для определения местоположения соответствующего изгиба 120 поточной линии 114, в котором могут находиться твердые частицы, и определения акустического сигнала твердых частиц, переносимых по поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, обматывание отрезка оптоволоконна 116 заданной длины вокруг частей 125 поточной линии 114 может обеспечить разрешение акустических сигналов, которое может быть использовано для идентификации частиц внутри поточной линии 114 и определения степени износа или эрозии, возникающей в определенных местах вблизи изгибов 120 поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконно 116 может быть туго обмотано вокруг поточной линии 114 так, что каждый виток обмотанного оптоволоконна 116 плотно упирается в соседние витки.

Оптоволоконно 116 может быть присоединено снаружи к поточной линии 114 различными способами. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконно 116 может быть непосредственно присоединено к внешней поверхности поточной линии 114. Например, оптоволоконно 116 может быть прикреплено липкой лентой прямо к поточной линии 114. Однако такое прямое прикрепление оптоволоконна 116 к поточной линии 114 может способствовать генерированию акустических сигналов, подверженных воздействию внешних источников шума.

В некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере часть оптоволоконна 116 может быть расположена внутри защитной трубки 127, прикрепленной к внешней поверхности поточной линии 114. Защитная трубка 127 может окружать и защищать оптоволоконно 116. Защитной трубкой 127 может быть, например, металлическая (например, стальная или медная) трубка, а оптоволоконно 116 может помещаться внутри защитной трубки 127. В некоторых

вариантах осуществления, диаметр защитной трубки 127 может быть достаточно малым для того, чтобы фиксировать оптоволокно 116 вдоль поточной линии 114.

В некоторых вариантах осуществления, защитная трубка 127 может быть
5 заполнена текучей средой, песком или тем и другим, которые будут выполнять функцию контактного материала, предназначенного для передачи акустического сигнала от защитной трубки в волокно, например, акустического контактного геля 129. В некоторых вариантах осуществления, акустическим контактным
10 материалом 129 может быть водородный очищающий гель или ультразвуковой гель любого другого типа, используемый для обеспечения акустической проводимости между оптоволокном и поточной линией 114. Акустический
15 контактный материал 129, например гель, может вводиться в защитную трубку 127 в виде текучей среды, но со временем он сгущается в желеобразный материал, который фиксирует оптоволокно 116 внутри защитной трубки 127 и обеспечивает проводимость для обнаруженных акустических сигналов. В
20 некоторых вариантах осуществления, оптоволокно 116 может удерживаться внутри защитной трубки 127 текучей средой, твердым материалом или тем и другим, играя роль акустического контактного геля 129.

В варианте осуществления, защитная трубка 127 может не использоваться для защиты оптоволокна 116 в местах, где оптоволокно обматывается или
20 наматывается вокруг поточной линии 114. В этом случае, оптоволокно 116 может быть намотано вокруг поточной линии 114 на изгибах 120 без защиты посредством трубки 127. Как показано на фиг. 1, защитная трубка 127 может быть использована для ограждения и защиты оптоволокна 116 на в основном
25 прямолинейных участках поточной линии 114. В этом случае, защитная трубка 127 может проходить вдоль в основном прямолинейных частей поточной линии 114 вместе с удерживаемым внутри защитной трубки оптоволокном 116. Когда оптоволокно 116 достигает изгиба 120, оптоволокно 116 может выходить из защитной трубки 127 и наматываться вокруг поточной линии 114 на изгибах 120,
30 после чего входить обратно в защитную трубку 127 для прикрепления вдоль следующей в основном прямолинейной части поточной линии 114.

Защитная трубка 127 может быть непосредственно прикреплена к внешней поверхности поточной линии 114, либо между защитной трубкой 127 и соединением в одной или более точках вдоль поточной линии 114 может быть помещен деформируемый (податливый) слой. На фиг. 2 схематически

представлена поточная линия 114 с деформируемым слоем 202, помещенным между оптоволоконном 116 и соединителем, прикрепленным к внешней поверхности 206 поточной линии 114. Соединители могут быть использованы для крепления или фиксации другим путем положения поточной линии в производственном объекте. Например, соединителем может быть хомут для подвешивания, опорная балка или другая конструкция. В некоторых вариантах осуществления, соединитель может использоваться для присоединения оптоволоконна 116 к поточной линии 114, а деформируемый слой может быть помещен между оптоволоконном 116 и соединителем. Через соединители могут распространяться внешние шумы и/или вибрации, в результате чего в принятый акустический сигнал попадает шум, когда волокно имеет контакт с соединителем. Для исключения или ослабления шума, передаваемого в оптоволоконно, деформируемый слой может располагаться между внешней поверхностью 206 поточной линии 114 и защитной трубкой или оптоволоконном в соединителе.

В некотором варианте осуществления, внешний деформируемый слой 130 также может быть использован в качестве акустического экрана, защищающего оптоволоконно 116 от захвата внешнего шума, возникающего снаружи поточной линии 114. Например, экран 130 может содержать виброизолирующую ленту или пену, защищающую оптоволоконно 116 от приема шума, создаваемого в результате внешних факторов, например, шума или вибрации, созданных внешними источниками, например, насосами на линии транспортирования продукции, ветром и/или погодой и т.д. В варианте осуществления, деформируемый слой 202 может иметь низкое акустическое сопротивление. В варианте осуществления, деформируемый слой 202 позволяет погасить вибрации в поточной линии 114 от оптоволоконна 116. Как показано на фиг. 2, деформируемый слой 202 может быть помещен вокруг одного или более, а в некоторых вариантах осуществления, вокруг каждой намотки оптоволоконна 116, навитой вокруг части 125 поточной линии 114.

Как показано на фиг. 2, деформируемый слой 202 может быть помещен непосредственно между оптоволоконном 116 и внешней поверхностью 206 поточной линии 114 на одном или более соединителях 208 или вблизи них. В варианте осуществления, деформируемый слой 202 может быть помещен между защитной трубкой 127, в которой заключено оптоволоконно 116, и внешней

поверхностью 206 поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, деформируемый слой 202 может быть помещен между оптоволоконном 116 и поточной линией 114 в частях 125 поточной линией 114 вокруг которых намотано оптоволоконно 116. В варианте осуществления, один лист деформируемого слоя 202 может быть обернут вокруг частей 125 поточной линии 114, а оптоволоконно 116 может быть намотано вокруг одного листа деформируемого слоя 202, с использованием защитных трубок 127 или без них.

Возвращаемся к фиг. 1, на которой показано, что вокруг оптоволоконна 116 снаружи поточной линии 114 может располагаться экран 130. В некоторых вариантах осуществления, экран 130 может быть расположен поверх защитных трубок 127 вдоль в основном прямолинейных частей поточной линии 114 и/или экран 130 может быть помещен поверх оптоволоконна 116, намотанного вокруг поточной линии 114 на изгибах 120. В некоторых вариантах осуществления, экраном 130 является акустический экран и/или электромагнитный экран, защищающий оптоволоконно 116 от приема внешних сигналов. Например, экран 130 может содержать виброизолирующую ленту или пену, которые могут поглощать внешний шум и защищать оптоволоконно 116 от факторов внешней среды. В некоторых вариантах осуществления, экран 130 может содержать конструктивный слой для защиты оптоволоконна на поточной линии 114.

Оптоволоконно 116 может быть также прикреплено к поточной линии 114 с использованием одного или более механизмов крепления, например фиксаторов 131. В некоторых вариантах осуществления, фиксатором 131 может быть скоба, канат, стяжка или др., приспособленные для закрепления и фиксации оптоволоконна 116 к поточной линии 114, или защитная трубка 127, заключающая оптоволоконно 116. В варианте осуществления, фиксатором 131 может быть сварное соединение между защитной трубкой 127 и поточной линией 114 так, что защитная трубка 127 неподвижно закрепляется и приваривается к поточной линии 114.

В некоторых вариантах осуществления, для удерживания оптоволоконна 116 на поточной линии 114 может быть использован адгезив. Адгезив может использоваться в форме слоя или ленты, помещенной между оптоволоконном 116 и поточной линией 114. Адгезив может способствовать удерживанию оптоволоконна 116 в контакте с поточной линией 114 между механизмами крепления, например

фиксаторами 131, тем самым, обеспечивая акустическую связь между оптоволоконном 116 и поточной линией 114 по всей длине поточной линией 114.

5 Для акустического соединения оптоволоконна 116 с поточной линией 114 в ожидаемых условиях применения могут быть использованы все различные механизмы крепления (например, фиксаторы 131, экран 130, любые адгезивы и т.д.). Например, предельная температура эксплуатации различных механизмов крепления может быть выбрана для работы при повышенных температурах, которые могут встретиться у текучих сред в поточной линии 114.

10 В некоторых вариантах осуществления, в оптоволоконно 116 может быть введена слабина натяжения по длине поточной линии 114. Слабина может способствовать отсутствию чрезмерного натяжения волокна из-за термических циклов (например, теплового расширения и/или сжатия) и/или смещения поточной линии 114 в процессе эксплуатации. Слабина может быть обеспечена за счет дополнительной длины оптоволоконна 116 вдоль поточной линии 114 за
15 счет использования обертки, волнистости или витков оптоволоконна для получения дополнительной длины оптоволоконна для расширения. В некоторых вариантах осуществления, вдоль длины прямолинейных секций между последовательными изгибами трубы может быть добавлено дополнительно 0,1%-20%, или 5%-15%, или 8%-12% длины оптоволоконна. Хотя и указаны
20 определенные величины, слабина может составлять менее 0,1% или более 20%, в зависимости от разных факторов, например, общей длины секции поточной линии, ориентации оптоволоконна 116 относительно поточной линии и/или любой слабины, внесенной в соседние части оптоволоконна (например, на изгибах и др.).

25 В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконном 116 может быть одномодовое оптоволоконно 116, включающее только один оптоволоконный кабель. В некоторых вариантах осуществления, оптоволоконно 116 может включать многомодовое оптоволоконно 11, включающее большое число оптоволоконных кабелей, в которых каждый из оптоволоконных кабелей может быть использован для своих задач. Например, когда используется многомодовое
30 оптоволоконно 116, один или более из оптоволоконных кабелей может быть использован для обнаружения акустических колебаний, и один или более их оптоволоконных кабелей могут быть использованы для передачи данных. В другом частном примере использования многомодового оптоволоконна 116, два или более из оптоволоконных кабелей могут быть использованы для

обнаружения акустических колебаний, а по меньшей мере один из оптоволоконных кабелей используется для обнаружения ошибок.

В некоторых вариантах осуществления, единое непрерывное оптоволокно 116 может быть связано со всеми поточными линиями 114 продуктовой линии для формирования непрерывного оптического тракта. Один конец единого непрерывного оптоволоконка 116 может быть присоединен к устройству 118 обнаружения, а остальное единое непрерывное оптоволокно 116 может быть расположено вдоль всей поточной линией 114, будучи намотанным вокруг подгруппы изгибов 120 или всех изгибов по всей поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, оптоволокно может быть соединено с несколькими поточными линиями. Расстояние, отделяющее разные поточные линии, может быть использовано для пространственного разделения сигналов, принимаемых от разных поточных линий и разных частей (например, изгибов, прямых частей и т.д.) отдельных поточных линий. Длина волокна может достигать до тысяч метров и, в результате, оптоволокно (как единое волокно, так и соединенные волокна) может быть использовано с разными пространственно разделенными поточными линиями).

В некоторых вариантах осуществления, оптоволокно 116 может быть соединено секциями вдоль разных секций поточных линий 114. В этих вариантах осуществления, оптоволокно 116 может включать несколько секций, каждая из которых соответствует разным местам на поточных линиях 114. Каждые из секций оптоволоконка 116 могут быть соединены между собой, образуя единый оптический тракт между соединенными секциями. Для соединения могут использоваться соединители, сращивание волокон, либо любой другой подходящий способ соединения оптоволоконка. Таким способом, секции оптоволоконка 116 могут легко обеспечить определение местоположения частиц, обнаруженных внутри поточной линии 114, до конкретной секции оптоволоконка 116, при этом обеспечивается при необходимости замена отдельных секций.

В дополнение к оптоволокну 116, также могут быть использованы один или более дополнительных или опциональных датчиков 136 вместе с оптоволокну 116, для получения дополнительных данных для обработки. Как показано на фиг. 1, датчик(-и) 136 может быть помещен на изгибе поточной линии 114 или вблизи него. Могут быть использованы один или более датчиков 136, помещаемых на изгибе или вдоль прямолинейных частей поточной линии 114.

Датчик(-и) 136 могут включать любые подходящие датчики для мониторинга поточных линий, включая датчики температуры, датчики вибрации, ультразвуковые датчики толщины стенок, точечные акустические датчики и т.д. Данные от датчиков 136 могут использоваться как дополнительные входные
5 данные в системы обработки данных, подтверждения результатов и/или выдачи данных для разработки акустических сигнатур, как это более подробно описано ниже.

Оптоволокно 116 позволяет воспринимать вибрации вдоль его длины и может быть присоединено к устройству 118 обнаружения, приспособленному
10 для приема и обработки вибраций (например, вибраций, соответствующих акустическим сигналам). Оптоволокно 116 обнаруживает акустические сигналы, используя обратно рассеянный компонент света, введенного в оптоволокно 116, для обнаружения акустических возмущений (например, динамической деформации) по длине оптоволокна 116. Свет может генерироваться
15 генератором света или источником 166, например лазером, который может генерировать световые импульсы. Оптоволокно 116 действует как чувствительный элемент, не использующий дополнительных преобразователей в оптическом тракте, и измерения могут осуществляться вдоль длины всего оптоволокна 116. Данные измерений могут быть затем получены оптическим
20 приемником, например, датчиком 164, и селективно отфильтрованы для получения данных измерений для заданной точки или интервала, обеспечивая, тем самым, распределенные измерения, содержащие выборочные данные для многих интервалов вдоль оптоволокна 116 в любой заданный момент времени. Таким образом, оптоволокно 116 эффективно действует как распределенная
25 матрица микрофонов, рассредоточенных по всей длине оптоволокна 116, которая обычно охватывает по меньшей мере изгибы 120 поточной линии 114, для обнаружения износа на изгибах поточной линии 114.

Свет, отраженный в обратном направлении в оптоволокне 116 в результате обратного рассеяния, может распространяться обратно к источнику 166, где этот
30 сигнал может быть принят датчиком 164 и обработан (например, процессором 168). Вообще, время, которое свету необходимо для возвращения к точке приема, пропорционально расстоянию, пройденному по оптоволокну 116. Возникающий в результате обратного рассеяния свет, образующийся по мере распространения в оптоволокне 116, может быть использован для получения

характеристик среды вокруг оптоволокну 116, или среды, к которой присоединено оптоволокну 116. Использование управляемого источника 166 света (например, имеющего управляемую ширину спектра и частоту) дает возможность принимать рассеянный назад сигнал и анализировать любые возмущения вдоль оптоволокну 116. Вообще любые акустические возмущения или возмущения, обусловленные динамической деформацией, по длине оптоволокну 116 могут приводить к изменению параметров рассеянного обратно света, позволяя выполнить распределенные измерения акустической амплитуды, частоты и, в некоторых случаях относительной фазы возмущения.

10 Устройство 118 обнаружения может быть присоединено к одному концу оптоволокну 116. Как показано в настоящем описании, 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 116. В некоторых случаях, устройство 118
15 обнаружения, включающее источник 166 света и датчик 164 можно называть запросчиком. Помимо источника 166 света и датчика 164, устройство 118 обнаружения в основном содержит процессор 168, обменивающийся сигналами с датчиком 164, предназначенный для выполнения различных шагов по анализу, подробно описанных ниже. Хотя на схеме процессор 168 показан в составе
20 устройства 118 обнаружения, он также может располагаться вне устройства 118 обнаружения, включая также и расположение вдали от устройства 118 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 широкой полосой. В
25 некоторых вариантах осуществления раскрытого здесь изобретения, может быть достигнут интервал разрешения по глубине примерно от 1 м до 10 м, хотя также возможно создание систем с разрешением менее 1 метра.

 В то время как описываемая система 100 может быть использована с DAS системой для получения акустического сигнала для места расположения в
30 поточной линии 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 DAS

системы является то, что акустический сигнал может быть получен по большому числу мест и/или по непрерывной протяженности поточной линии 114, вместо дискретных точек.

5 После обработки в запросчике, для каждого события могут быть
определены конкретные спектральные сигнатуры путем учета одного или более
признаков в частотной области. Полученные спектральные сигнатуры далее
могут быть использованы вместе с обработанными данными акустических
сигналов для определения наступления события на значимом интервале
10 расстояний вдоль оптоволокну, который может соответствовать конкретному
изгибу или секции поточной линии 114. Спектральные сигнатуры могут быть
определены путем рассмотрения перемещений и потоков различного типа,
происходящих внутри поточной линии и характеризующих признаки в частотной
области для каждого типа перемещений.

15 Сначала могут быть рассмотрены твердые частицы в текучей среде,
проходящие через изгиб 120. Как схематически показано на фиг. 3, частицы 302
внутри текучей среды 306 могут протекать из подповерхностного горизонта в
буровую скважину. На поверхности текучая среда 306, содержащая твердые
частицы 302, может протекать в одну или более поточных линий 114. Когда
20 твердые частицы 302 и текучая среда 306 попадают в поточную линию 114,
текучая среда 306 протекает через изгибы 120 поточной линии 114, как это
показано стрелками на фиг. 3. Однако когда твердые частицы 302 втекают в
поточную линию 114 и достигают изгиба 120, эти частицы могут случайным
образом сталкиваться с внутренней поверхностью 304 поточной линии 114 и с
самим оптоволоком 116 в случаях, когда оптоволокну расположено внутри
25 поточной линии 114. Если не ограничиваться данным описанием и не
обращаться к какой-либо конкретной теории, то интенсивность соударений
зависит от эффективной массы и быстроты изменения скорости ударяющих
твердых частиц 302. Это может зависеть от ряда факторов, включая, среди
прочего, направление движения частиц 302 внутри поточной линии 114.

30 Результирующие случайные ударения могут порождать случайный
широкополосный акустический сигнал, который может восприниматься
оптоволоком 116, соединенным с поточной линией 114 или намотанным вокруг
нее. Отклику на случайное возбуждение соответствует широкополосный
акустический сигнал с частотами возбуждения, простирающимися до

высокочастотных диапазонов, например до примерно 5 кГц и выше, в зависимости от размера твердых частиц. Более крупные частицы 302 обычно могут порождать сигналы более высоких частот. Интенсивность акустического сигнала может быть пропорциональна концентрации частиц 302, создающих возбуждения, поэтому при увеличении концентрации твердых частиц 302 можно ожидать повышение мощности в широкой полосе частот. В некоторых вариантах осуществления, полученные широкополосные акустические сигналы, которые могут быть идентифицированы, могут включать частоты примерно в интервале от 5 Гц до 10 кГц, частоты примерно в интервале от 5 Гц до 5 кГц, или примерно от 50 Гц до 5 кГц, или частоты в интервале примерно от 500 Гц до 5 кГц. Для определения диапазона частот широкополосного акустического сигнала может быть использован любой диапазон частот 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.).

Твердые частицы 302, находящиеся в поточной линии 114, могут переноситься несущей текучей средой 306, а несущая текучая среда 306 также может генерировать фоновый акустический шум высокой интенсивности, когда протекает через поточную линию 114 или проходит изгиб 120 поточной линией 114, за счет турбулентности, связанной с протеканием текучей среды по поточной линии 114. Этот фоновый шум, генерируемый турбулентным потоком текучей среды, обычно считается находящимся преимущественно в низкочастотной области. Например, акустические сигналы, связанные с втекающей текучей средой, могут находиться в частотном диапазоне примерно от 0 Гц до 500 Гц, или, в другом случае, примерно от 0 Гц до 200 Гц. На нижних частотах можно ожидать увеличенной мощности из-за усиления турбулентности в потоке несущей текучей среды. Фоновые шумы могут обнаруживаться в виде аддитивных сигналов, наложенных на широкополосные акустические сигналы, создаваемые твердыми частицами 302, когда частицы 302 входят в поточную линию 114 или проходят изгиб 120 поточной линии 114.

Помимо генерируемых акустических сигналов различных типов, может также рассматриваться и ряд источников, генерирующих эти акустические сигналы. Вообще, можно считать, что номенклатура источников сигнала включает поток текучей среды 306 с твердыми частицами 302 или без частиц внутри поточной линии 114 или протекающий через поточную линию 114, поток

текучей среды 306 с твердыми частицами 302 или без частиц, протекающий через изгиб 120 поточной линии 114, втекание газа/жидкости, акустические шумы механического оборудования и шум возможной точки отражения внутри оптоволоконна 116, вызванный трещинами в используемом оптоволоконне 116.

5 В случае акустических сигналов, создаваемых механическим оборудованием, звуки могут быть обнаружены оптоволоконном 116 в некоторых случаях, в зависимости от расстояния между местом возникновения звука и частью оптоволоконна 162, используемого для обнаружения звуков, и/или вида использования и типа материала для деформируемого слоя, при его наличии.

10 Можно было бы ожидать, что различные механические шумы содержат низкочастотные звуки. Например, различные двигатели могут работать в интервале 50-60 Гц, и предполагается, что энергия спектра полученного в результате акустического сигнала будет находиться в узком диапазоне. В результате, можно ожидать, что звуки от механического оборудования и

15 геофизических источников могут быть отфильтрованы различными способами фильтрации (например, низкочастотным фильтром и т.д.).

Что касается шумов, обусловленными точечными отражениями, то они обычно по своей природе широкополосны, но могут возникать на пространственно ограниченных местах и обычно не перекрывают ожидаемого

20 пространственного разрешения устройства 118 обнаружения. Они могут быть удалены в ходе шагов предварительной обработки, пространственным усреднением или медианной фильтрацией данных.

На основе ожидаемых звуковых характеристик возможных источников акустических сигналов, могут быть определены акустические сигнатуры

25 каждого события в сравнении с вкладами фоновых шумов. Для твердых частиц 302, проходящих через изгиб 120, акустическая сигнатура может быть представлена как наличие четко различимого широкополосного отклика вместе с наличием высокочастотных компонентов в полученном отклике. Уникальность сигнатуры (комплекса признаков) твердых частиц 302 обеспечивает применение

30 приемов избирательного выделения сигналов для получения соответствующей информации, относящейся к акустике, описывающей твердые частицы 302, проходящие через изгиб 120, как это будет описано в дальнейшем рассмотрении. Кроме того, характеристики части акустического сигнала, полученного от твердых частиц 302, проходящих через поточную линию 114, могут обеспечить

определение местонахождения, а также, возможно, природы и количества твердых частиц 302 в текучей среде 306. Могут быть определены также и акустические сигнатуры других событий, и использованы при обработке для идентификации каждого события.

5 Показанный на фиг. 1 процессор 168 в составе устройства 118 обнаружения может быть сконфигурирован для выполнения обработки различных данных для обнаружения наличия одного или более событий по длине поточной линии 114. Устройство 118 обнаружения может содержать память 170,
10 сконфигурированную для хранения приложений или программ для выполнения анализа данных. Показанная в составе устройства 118 обнаружения память 170 может содержать одно или больше запоминающих устройств, любое из которых может располагаться вне устройства 118 обнаружения. В варианте осуществления, процессор 168 может выполнять программу, которая может конфигурировать процессор 168 для пространственной фильтрации массива
15 акустических данных, определения одного или более признаков в частотной области акустического сигнала, сравнения полученных величин признаков в частотной области с акустической сигнатурой, и определения, на основе анализа и сравнения, наступает или нет событие в выбранном месте. Анализ может быть повторен для различных мест по длине поточной линии 114, для определения
20 наступления одного или более событий и/или мест проявления событий по длине 114.

Когда акустический датчик содержит DAS систему, по оптоволокну 116 могут возвращаться в блок 118 обнаружения первичные оптические данные в реальном времени или масштабе времени, близком к реальному. В некоторых
25 вариантах осуществления, первичные данные могут храниться в памяти 170 для различного дальнейшего использования. Датчик 164 может быть выполнен с возможностью преобразования первичных оптических данных в массив акустических данных. В зависимости от типа используемой DAS системы, оптические данные могут обладать или не обладать фазовой когерентностью, и
30 могут быть подвергнуты предварительной обработке для улучшения качества сигнала (например, для нормирования оптоэлектронного шума/исключения тренда в подавлении шума от точечных отражений посредством использования методов медианной фильтрации или даже посредством использования вычисления пространственного скользящего среднего с усредняющими

фреймами, настроенными на пространственное разрешение блока обнаружения, и т.д.).

На блок-схеме на фиг. 4 иллюстрируется вариант осуществления системы 400 для обнаружения твердых частиц 302, протекающих через некоторое место в поточной линии 114. Система 400 может содержать устройство 118 обнаружения, узел 402 извлечения данных, узел 404 обработки и/или выходной узел или узел 406 отображения. Узел 402 извлечения данных может принимать оптические данные и выполнять начальные шаги предварительной обработки для получения первичной акустической информации от сигнала, пришедшего обратно от поточной линии 114. Может быть проведен различный анализ, включая выделение частотного диапазона, частотный анализ и/или преобразование, вычисления 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 404 обработки, акустические данные могут быть подвергнуты анализу, например, путем сравнения с одной или более акустических сигнатур для определения наличия значимого события. В некоторых вариантах выполнения, акустические сигнатуры могут определять пороги или интервалы частот и/или признаки в частотной области. Анализ затем может включать сравнение одного или более порогов или опорных значений, для определения присутствия конкретного сигнала. Когда признаки в частотной области совпадают с акустической сигнатурой соударений твердой частицы с внутренней поверхностью поточной линии 114, узел 404 обработки может определить положение места соударения частиц 302, находящихся внутри текучей среды 306, с внутренней поверхностью 304 поточной линии 114, используя акустический сигнал, принятый из оптоволокну 116. В варианте осуществления, акустический сигнал может быть подвергнут пространственной фильтрации для получения совокупности данных выборки для части оптоволокну, обмотанной вокруг определенного изгиба 120.

Акустические сигнатуры могут быть определены процессом тестирования и калибровки. Для осуществления процесса тестирования может быть использована стандартная поточная линия 114 с одним или более изгибами 120, аналогичная поточной линии, показанной на фиг. 2. К внешней поверхности 206 стандартной поточной линии 114 может быть прикреплено оптоволокну 116,

обмотанное вокруг частей 125 поточной линии 114 на изгибах 120 с использованием той же или аналогичной конструкции, что была использована для измерения акустических сигналов от поточной линии в процессе использования.

5 При проведении тестирования, одна или более текучих сред 306 (например, имеющая различные составы и/или режимы течения), не имеющая твердых частиц 302, может пропускаться через стандартную поточную линию 114 и по меньшей мере по одному изгибу 120 в течение заданного промежутка времени. В процессе протекания текучей среды(-ед) 306 без каких-либо частиц 302 по стандартной поточной линии 114, могут быть получены акустические сигналы от оптоволоконна 116, и проведены вычисления для определения признаков в частотной области, ассоциированных с различными событиями, вызванными протеканием текучей среды 306 без каких-либо частиц 302. Затем через стандартную поточную линию 114 могут быть пропущены одна или более текучих сред 306 с твердыми частицами 302 и по меньшей мере по одному изгибу 120 в течение заданного промежутка времени. В процессе протекания текучей среды(-ед) 306 с частицами 302 по стандартной поточной линии 114, от оптоволоконна 119 могут быть получены акустические сигналы и выполнены вычисления для определения признаков в частотной области, ассоциированные с различными событиями, вызванными протеканием текучих сред 306 с твердыми частицами 302. Анализ различных признаков в частотной области, ассоциированных как с текучей средой 306 без каких-либо частиц 302, так и с текучей средой 306 с частицами 302, может быть использован для определения акустических сигнатур (комплекса акустической признаков), которые используются для определения присутствия конкретного сигнала. Например, пороговые значения или опорные значения, использованные для определения того, присутствует ли определенный сигнал, основаны на сравнении различных акустических сигнатур, ассоциированных с текучей средой 306 без частиц 302, и с текучей средой 306 с частицами 302. Для разработки акустических сигнатур могут быть использованы различные способы, например, различные методы контролируемого обучения.

В некоторых вариантах осуществления, акустические сигнатуры могут быть определены в процессе использования на основе данных от одного или более датчиков (например, датчика(-ов) 136 на фиг. 1). От датчиков могут быть

получены данные о режимах потока, наличия песка в поточной линии 114, бомбардировки песком и т.д. Акустические сигнатуры могут быть определены получением фактических данных и использованием данных от датчика(-ов) для разработки сигнатуры. В варианте осуществления, акустические данные могут
5 быть получены в процессе работы, например, использования волокна, связанного с поточной линией 114.

В процессе использования, может выполняться мониторинг акустического сигнала, вызванного скважинной продукцией. Датчик(-и) может быть использован для идентификации состава текучей среды и/или режима потока. В
10 долгосрочной перспективе можно ожидать протекание в поточной линии текучей среды с твердыми частицами 302 и без частиц. Посредством идентификации различных составов текучей среды и/или режимов протекания, с использованием дополнительных датчиков, от оптоволокна 116 могут быть получены соответствующие акустические сигналы и выполнены вычисления для
15 определения признаков в частотной области, ассоциированных с различными событиями, вызванными текучей средой 306 с какими-либо частицами 302, или без них. Для определения акустических сигнатур, используемых для определения присутствия конкретного сигнала, может быть проведен анализ различных признаков в частотной области, ассоциированных как с текучей
20 средой 306 без каких-либо частиц 302, так и текучей среды 306 с твердыми частицами 302. Например, пороговые или опорные значения, используемые для определения присутствия конкретного сигнала, основаны на сравнении различных акустических сигнатур, ассоциированных с как с текучей средой 306 без каких-либо частиц 302, так и текучей среды 306 с твердыми частицами 302.
25 Как было отмечено выше, для разработки акустических сигнатур на основе этих данных могут быть использованы различные модели, с использованием одного или более из признаков в частотной области или их комбинации.

Узел 404 обработки может использовать определение одного или более признаков в частотной области из акустического сигнала для определения
30 присутствия одного или более событий (например, твердых частиц 302, переносимых по поточной линии 114, частиц 302, проходящих через изгиб 120 и т.д.) в одном или более мест в поточной линии 114, на основе наличия признаков в частотной области, совпадающих с одной или более акустических сигнатур. В некоторых вариантах осуществления, в узле 404 обработки также может

приниматься решение определения степени износа в изгибе 120 поточной линии 114 на основе наличия акустического сигнала, соответствующего одной или более акустических сигнатур.

В процессе использования, могут, опционально, использоваться
5 дополнительные датчики для проверки и подтверждения результатов обработки акустических сигналов от оптоволоконна 116. При обнаружении наличия ударений частицами песка и/или потока песка, полученные результаты могут быть сопоставлены с данными от других датчиков в системе, для проверки наличия события, например, бомбардирования песком и/или потока в текучей среде в
10 поточной линии 114. Подтвержденные данные могут быть использованы в остальной части процесса.

Вне зависимости от того, используется ли испытательный комплекс или установленные на объекте датчики для получения данных о характеристиках потока, составе и/или ударов частиц в поточной линии (вместе называемые
15 "опорными данными"), может быть разработана одна или более моделей для событий, использующих эти опорные данные. Модель(-и) могут быть разработаны путем определения одного или более признаков в частотной области из акустического сигнала для по меньшей мере части опорных данных. Для обучения модели(-ей) может использоваться машинное обучение, включая
20 любые подходы с управляемым или неуправляемым обучением. Например, одной или более моделью(-ями) может быть нейронная сеть, Байесовская сеть, дерево принятия решений, логистическая регрессионная модель, нормированная логистическая регрессионная модель, кластеризация методом k-средних или др.

В некоторых вариантах осуществления, модель(-и) может быть разработана
25 и обучена с использованием логистической регрессионной модели. В качестве примера обучения модели, используемой для определения наличия или отсутствия твердых частиц в текучей среде в поточной линии 114, обучение модели может начинаться с введения одного или более признаков в частотной области в логистическую регрессионную модель, соответствующую одной или
30 более совокупностей опорных данных, в которых присутствуют твердые частицы. Может также использоваться дополнительная совокупность опорных данных, в которых твердые частицы отсутствуют. Один или более признаков в частотной области может быть введен в логистическую регрессионную модель и может быть определена первая многомерная (многопараметрическая) модель с

использованием одного или более признаков в частотной области в качестве входных данных. Первая многомерная модель может определять соотношение между наличием и отсутствием твердых частиц в одной или более текучих сред.

Один или более признаков в частотной области может содержать любые
5 упомянутые признаки в частотной области, а также их комбинации и преобразования. В частности, в некоторых вариантах осуществления один или более признаков в частотной области включает центроид спектра, разброс спектральных значений, спад спектральной характеристики, асимметрию спектральной характеристики, среднеквадратическое значение (СКЗ) энергии в
10 диапазоне, полное СКЗ энергии, неравномерность спектральной характеристики, наклон спектральной характеристики, эксцесс спектра, скорость изменения спектра мощности, функцию автокорреляции спектра, их комбинации и/или преобразования или любой их нормированный вариант. В некоторых вариантах осуществления, один или более признаков в частотной области содержит
15 нормированную версию разброса спектральных значений (NVSS – от англ. normalized variant of the spectral spread) и/или нормированную версию центроида спектра (NVSC – от англ. normalized variant of the spectral centroid).

В этой модели, в уравнениях многомерной модели могут использоваться признаки в частотной области или их комбинации или преобразования, для
20 определения того, когда присутствуют конкретные условия, например, присутствие твердых частиц, поток текучей среды, конкретные составы текучей среды и т.д. Многомерная модель может определять пороговое значение, точку принятия решения и/или границу принятия решения, имеющую формы любого типа, например, точка, линия, поверхность или оболочка между присутствием
25 или отсутствием конкретного условия. В некоторых вариантах осуществления, многомерной моделью может быть полиномиальная модель, хотя возможны и другие представления. Когда используются такие модели как нейронные сети, пороги могут быть основаны на узловых порогах внутри модели. Как показано в настоящем раскрытии, многомерная модель не ограничена двумя измерениями
30 (например, два признака в частотной области или две переменных, представляющих преобразованные величины от двух или более признаков в частотной области) и, скорее, может иметь любое число переменных или измерений в определении порога между присутствием или отсутствием состояния. На практике, обнаруженные величины могут быть использованы в

многомерной модели, а вычисленная величина может быть сопоставлена с величинами из модели. На присутствие состояния может указывать ситуация, когда вычисленная величина находится с одной стороны порога, а на отсутствие состояния может указывать нахождение вычисленной величины по другую сторону порога. Таким образом, каждая многомерная модель может, в некоторых вариантах осуществления, представлять обоснованный выбор между присутствием или отсутствием соответствующего состояния. Различные многомерные модели, а значит и пороги, могут быть использованы для каждого состояния, и каждая многомерная модель может опираться на разные признаки в частотной области или комбинации, или преобразования признаков в частотной области. Поскольку многомерные модели определяют пороги для определения и/или идентификации определенных состояний, многомерные модели и модели потока текучей среды, использующие такие многомерные модели, могут считаться сигнатурами события для потока текучей среды каждого типа, присутствия твердых частиц каждого типа и т. д.

После того как модель(-и) обучены или разработаны, они могут быть проверены и подтверждены. В некоторых вариантах осуществления, несколькими совокупностями опорных данных, использованными для обучения модели(-ей), могут быть поднаборы из нескольких совокупностей опорных данных, а испытания для подтверждения достоверности (валидация) моделей могут быть другим поднабором из совокупностей опорных данных. Способ разработки модели(-ей) в соответствии с этим раскрытием может также включать подтверждение обученной модели потока текучей среды использованием опорных данных от одного или более испытаний.

Дополнительные данные, полученные от дополнительных данных, могут быть также использованы в процессе работы для продолжения подтверждения этой модели(-ей) по прошествии времени.

Процесс подтверждения может включать предоставление части опорных данных каждой из модели(-ей). Присутствие или отсутствие по меньшей мере одного состояния может быть определено на основе выходных данных каждой из модели(-ей). Если точность модели(-ей) достаточна (например, соответствует порогу достоверности), то модель(-и) могут быть использованы для обнаружения и/или идентификации состояний внутри поточных линий. Если точность недостаточна, то требуются либо дополнительные данные и обучение

или разработка для отыскания новых соотношений признака в частотной области для определения многомерной модели(-ей), либо усовершенствование полученной многомерной модели(-ей) для более точного прогнозирования присутствия и идентификации состояний. Этот процесс разработки, 5 подтверждения и проверки точности может быть итерационным процессом, пока не будет построена подходящая модель или подходящие модели. При использовании процесса подтверждения, уровень достоверности может быть определен на основе подтверждения. В некоторых вариантах осуществления на основе уровня достоверности могут выполняться восстановительные процедуры 10 или реконструкция.

Полученная в результате анализа информация может быть затем направлена из узла 404 обработки в выходной/отображающий узел 406, где может быть разными способами отображена различная информация, например информация о местоположении одного или более событий и/или, количественная 15 информация (например, количество частиц 302, проходящих через изгиб 120, степень износа поточной линии 114 на изгибе 120 и др.). В некоторых вариантах осуществления полученная информация о событии может отображаться на схеме системы поточной линии, маршрутной схеме технологического процесса, временной каротажной диаграмме, или любых других средствах отображения, 20 для обеспечения понимания того, где происходит событие, а в некоторых вариантах осуществления для отображения относительного количества потока текучей среды 306 и/или частиц 302, появляющихся в одном или более местах в поточной линии 114. В то время как на фиг. 4 показаны отдельные узлы, любые два или более из узлов, показанных на фиг. 4, могут быть объединены в единый 25 узел. Например, единый узел может быть использован для анализа, выдачи данных и, опционально, отображения результирующей информации.

Для определения присутствия события, например соударения частиц с внутренней поверхностью поточной линии, может быть выполнен ряд определенных шагов обработки. В некоторых вариантах осуществления, 30 "акустические переменные" данные с исключенным шумовым трендом могут быть подвергнуты в опциональном шаге пространственной фильтрации после шагов предварительной обработки, при ее проведении. Этот шаг является опциональным и позволяет сосредоточиться в первую очередь на области или точке поточной линии 114. Например, шаг пространственной фильтрации может

быть использован, чтобы сосредоточиться на одном или более изгибов 120, где наиболее высока вероятность ударов частиц 302 во внутреннюю поверхность 304 поточной линии 114, если исследуется это событие. В этом варианте осуществления, пространственная фильтрация может сузить область анализа до одной или более частей 125 поточной линии 114, тем самым, упрощая работу по анализу данных. Результирующая совокупность данных, полученная конверсией первичных оптических данных, может называться данными акустической выборки.

Такой тип фильтрации может дать ряд преимуществ. Вне зависимости от того, была или нет выполнена пространственная фильтрация акустических данных, полученные данные, например данные акустической выборки, используемые для следующего шага анализа, могут характеризовать акустическую выборку по заданной глубине (например, полной длине оптоволокну, его части, в конкретной точке вдоль поточной линии 114). В некоторых вариантах осуществления, совокупность акустических данных может содержать ряд акустических выборок, полученных пространственной фильтрацией, для получения данных по некоторому числу различных областей и/или промежутков выборки. В некоторых вариантах осуществления, данные акустической выборки содержат информацию по всему частотному диапазону в области или точке, представленной выборкой. Другими словами, различные шаги фильтрации, включая пространственную фильтрацию, не удаляют частотную информацию из данных акустической выборки.

Процессор 168 может быть также конфигурирован для выполнения дискретного преобразования Фурье (ДПФ) или оконного преобразования Фурье (ОПФ) переменных акустических данных во временной области, измеренных в каждом участке по глубине вдоль оптоволокну 116, или его секции, для проверки спектрального соответствия данных акустической выборки одной или более акустических сигнатур. Проверка спектрального соответствия может быть использована для определения того, присутствует ли ожидаемая сигнатура события в данных акустической выборки. Извлечение спектральных признаков по времени и пространству может быть использовано для определения спектрального соответствия и определения того, присутствует ли акустическая сигнатура (например, частиц 302, проходящих через изгиб 120, и т.д.) в

акустической выборке. В ходе этого процесса для данных акустической выборки могут быть вычислены различные признаки в частотной области.

Использование признаков в частотной области для идентификации одного или более событий имеет 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 множество признаков в частотной области, обеспечивающих идентификацию события, в то время как остальные данные могут быть отброшены или, в другом варианте, сохранены. 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 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 акустическую сигнатуру (комплекс акустических признаков) специфических звуков, относящихся к мониторингу поточной линии 114 и другим применениям, которые могут быть непосредственно использованы для обработки сигналов специализированного применения в реальном времени.

В то время как для данных акустической выборки может быть определен множество признаков в частотной области, не каждый признак в частотной области может быть использован для получения характеристик акустической сигнатуры. Признаки в частотной области представляют 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, 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.

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 различимой мощностью. Например, для звуковых сигналов различного типа, выбранный набор дескрипторов должен обеспечивать вполне различимые величины. Мерой различимой 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. В качестве примера, выбранный набор признаков в частотной области должен быть в состоянии полностью и однозначно идентифицировать сигнатуры каждого из акустических сигналов, относящихся к выбранной поточной линии 114, описываемой 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, скорость изменения спектра мощности и автокорреляционную функцию спектра.

В частности, центроид спектра определяет "яркость" звука, принятого оптоволоконном 116, 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. 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. Вычисленный центроид спектра может быть

сопоставлен с порогом центроида спектра или интервалом для данного события, и в случае, когда центроид спектра равен или превосходит порог, значимое событие может иметь место.

5 Абсолютные значения вычисленных центроидов спектра могут быть нормированы по величине в интервале между нулем и единицей. Нестационарный шум, создаваемый другими источниками, например потоком текущей среды 306 и притоком, может обычно находиться на более низких частотах (например, менее примерно 100 Гц), и вычисление центроида может приводить к меньшим значениям, например, около 0,1 или менее после
10 ремасштабирования. Введение твердых частиц 302 может расширить диапазон звуковых частот (например, широкополосный отклик), спектральный состав которого может простирается до более высоких частот (например, до 5000 Гц и далее). Это может породить центроиды большей величины (например, примерно от 0,2 до 0,7, или примерно от 0,3 до 0,5.), и величина изменения будет
15 оставаться практически не зависящей от общей концентрации частиц 302, в предположении высокого отношения сигнал/шум в измерениях, выполняющихся при обычном пороговом уровне шума электронных приборов (например, белого шума с наложением фликкер-шума на низких частотах). Эта величина, однако, может зависеть от размера твердых частиц 302, ударяющих в поточную линию
20 114.

Другим примером признака в частной области может служить разброс спектральных значений. Разброс спектральных значений является мерой формы спектра и помогает оценить, как спектр распределен вокруг центроида спектра. Меньшие величины разброса спектральных значений соответствуют сигналам,
25 спектр которых плотно сконцентрирован вокруг центроида спектра. Более высокие значения представляют более широкий разброс спектральных значений и показывают наличие широкополосного спектрального отклика. Вычисленный разброс спектральных значений может быть сопоставлен с пороговым значением или интервалом разброса спектральных значений и в случае, когда разброс
30 спектральных значений равен или превосходит пороговое значение или попадает в интервал, может присутствовать значимое событие. Как и в случае с центроидом спектра, величина разброса спектральных значений может оставаться сравнительно независимой от общей концентрации песка в событии пескопроявления, в предположении измерений с высоким отношением

сигнал/шум. Эта величина, однако, может зависеть от размера и формы твердых частиц 302, ударяющих в трубу.

Спад спектральной характеристики является мерой полосы аудио-сигнала. 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:

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

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

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

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 осуществления, 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 осуществления, 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 осуществления, СКЗ энергии в полосе также могут быть выражены в форме соотношения с вычислением СКЗ энергии сигнала в пределах определенных частотных элементов разрешения в сравнении с полной СКЗ энергии в полосе приема (полосе Найквиста). Этим можно снизить или устранить зависимости от шума и мгновенных изменений широкополосного сигнала.

Полное СКЗ энергии акустических колебаний, вычисленное во временной области, может свидетельствовать о громкости акустического сигнала. В

некоторых вариантах осуществления, полное СКЗ энергии может также быть получено из временной области после очистки сигнала от шума.

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 (например, вызванных пескопроявлением). Для 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 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.

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 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 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 самой 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 могут быть использованы для получения акустической сигнатуры для поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, выбранная совокупность характеристик может быть использована для получения акустической сигнатуры для каждого события, и/или все из признаков в частотной области, которые были вычислены, могут быть использованы как группа в определении характеристик акустической сигнатуры для 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 осуществления, признаки в частотной области могут быть вычислены для каждого события с учетом системы, используемой для получения акустического сигнала, и/или должны приниматься во внимание системные различия при определении значений признака в частотной области для каждой сигнатуры, между системами, используемыми для определения значений, и системами, используемыми для приема акустического сигнала, подвергаемого оценке.

Множество признаков в частотной области может быть использован для получения характеристик событий разного типа в поточной линии 114, например, прохождения твердых частиц 302 через изгиб 120 поточной линии 114, и частиц 302, переносимых внутри поточной линии 114. В некоторых вариантах осуществления, разные события могут служить источником уникальных акустических сигналов, которые могут быть охарактеризованы рядом признаков в частотной области.

В то время как здесь приведены для примера частные числовые интервалы, реальные числовые данные могут изменяться в зависимости от системы

получения данных, и/или значения могут быть нормированы или обработаны иным путем для получения отличающихся результатов. Как следствие, сигнатуры для каждого события могут иметь разные пороги или интервалы значений для каждого из множества признаков в частотной области.

5 Для того чтобы получить признаки в частотной области, данные акустической выборки должны быть преобразованы в частотную область. В варианте осуществления, первичные оптические данные могут содержать или представлять акустические данные во временной области. Представление данных в частотной области может быть выполнено посредством

10 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 частот, соотносимых с их уровнями мощности, на которых эта выборка

15 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 центра спектра и разброса спектральных значений. Процессор 168 может быть конфигурирован для выполнения преобразования первичных акустических

20 данных и/или данных акустической выборки из временной области в частотную область. В процессе преобразования сигнала в частотную область, может быть проведен анализ мощности по всем частотам в акустической выборке. Исполнением процессора 168 для выполнения преобразования можно

25 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,

30 выходные данные признаков в частотной области могут включать признаки, которые не используются для определения наличия одного или более событий.

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

поточной линии 114, вдоль которого собираются или фильтруются акустические данные. В некоторых вариантах осуществления, определение присутствия одного или более событий может включать сравнение признаков в частотной области с порогами или интервалами признаков в частотной области в каждой 5 сигнатуре события. Когда признаки в частотной области в данных акустической выборки совпадают с одной или более сигнатурами события, событие может быть определено, как имевшее место в период измерения данных выборки, что может происходить в реальном времени. Могут генерироваться различные выходные данные для отображения или индикации присутствия одного или 10 более событий.

Сравнение признаков в частотной области с сигнатурами событий может быть осуществлено несколькими способами. В некоторых вариантах осуществления, прямое сравнение признаков в частотной области с порогами или интервалами сигнатуры события может быть проведено по множеству 15 признаков в частотной области. В некоторых вариантах осуществления, могут быть привлечены машинное обучение или даже детерминистские методы для автоматического систематизирования новых сигналов на основе дескрипторов. В качестве примера, могут быть использованы кластеризация методом k-средних и классификация методом k-ближайших соседей для группирования событий и 20 классификации их к ближайшему соседу для предоставления поискового диагностирования/возможностей разведки для разных событий и, в некоторых случаях, для идентификации новых скважинных событий, для которых отсутствуют признанные сигнатуры события. Использование обучающих алгоритмов также может быть полезным, когда большое число событий 25 происходит одновременно так, что акустические сигналы накапливаются, формируя результирующие данные акустической выборки.

В варианте осуществления, признаки в частотной области могут быть использованы для определения присутствия твердых частиц 302, проходящих по 30 поточной линии 114 или ударяющихся в поточную линию на изгибе 120 поточной линии 114. Определение центра спектра и разброса спектральных значений (по одиночке, или в комбинации с другими признаками в частотной области), и сравнение с порогами может дать возможность определения присутствия твердых частиц 302 в текучей среде в заданной точке поточной линии 114. Поскольку высока вероятность присутствия высокочастотных

компонентов в месте, где частицы 302 проходят изгибы 120 поточной линии 114, места, соответствующие критериям разброса спектральных значений и центра спектра, могут указывать на те места, где частицы 302 ударяются во внутреннюю поверхность поточной линии на изгибах 120. Это может
5 предоставить больше информации о местах износа поточной линии 114 на изгибе 120, чем просто место на поточной линии 114, где находятся частицы 302.

Как отмечалось выше, множество признаков в частотной области может быть вычислен в ходе стандартного процесса обработки данных. Сравнение
10 признаков в частотной области с соответствующим порогом может выполняться в любом порядке. В некоторых вариантах осуществления, может быть вычислена одна или более величин и сопоставлена с соответствующими величинами порога или интервалами, для определения того, проходят ли твердые частицы 302 через часть 125 поточной линии 114, представленную данными акустической выборки.
15 В других вариантах осуществления, признаки в частотной области могут вычисляться последовательно. Если величина первого признака в частотной области не превышает соответствующий порог, величина для части 125 поточной линии 114 или значимой точки поточной линии 114, представленная данными акустической выборки, может быть приравнена к нулю, и выполнена
20 обработка другой выборки. Если величина признака в частотной области превышает соответствующий порог, то может быть определен следующий признак в частотной области и сопоставлен с соответствующим порогом. Если в результате второго сравнения порог не превышен, величина для части 125 поточной линии 125 или значимой точки поточной линии 114, представленной
25 данными акустической выборки, может быть приравнена нулю. В результате получается элемент данных, содержащий нулевую величину, и соответствующая каротажная диаграмма может иметь нулевое значение в соответствующей части 125 поточной линии 114 или значимой точке поточной линии 114. Если второе сравнение показывает, что второй признак в частотной области больше
30 соответствующего порога, то может быть подтверждено присутствие события, либо должно быть проведено вычисление следующего признака в частотной области. Этот процесс может повторяться для каждого признака в частотной области, образующего часть акустической сигнатуры. Только когда все соответствующие признаки в частотной области равны соответствующему

порогу(-ам) или превышают его, в каротажные данные для скважины будет вноситься другая величина, например, величина энергии или интенсивности. Вычисленные величины для энергии или интенсивности могут сохраняться в запоминающем устройстве 170 для тех совокупностей данных акустической выборки по времени и месту, которые соответствуют порогам или превосходят их, а нулевые значения могут сохраняться в запоминающем устройстве для тех совокупностей данных акустической выборки, которые не равны одному или более соответствующих порогов или не превосходят их.

В некоторых вариантах осуществления, твердые частицы 302, переносимые в текучей среде в поточной линии 114, могут быть охарактеризованы сигнатурой (комплексом признаков) переноса частиц 302, содержащим множество признаков в частотной области. В некоторых вариантах осуществления, множество признаков в частотной области в сигнатуре переноса частиц может содержать интервал пороговых величин центроида спектра и пороговых величин спада спектральной характеристики, а признаки в частотной области могут включать центроид спектра и спад спектральной характеристики. Сигнатура переноса частиц 302 может служить показателем протекания твердых частиц в составе несущей текучей среды внутри поточной линии 114. Процессор 168, использующий прикладную программу анализа, может быть конфигурирован для сравнения ряда величин спектральных дескрипторов с порогами и/или интервалами, и определения присутствия и переноса твердых частиц 302 внутри поточной линии 114. Определение величин спектральных дескрипторов может быть выполнено в любом порядке, и это определение может делаться последовательно (т.е., проверкой соответствия порогу и/или интервалу первого признака в частотной области, затем второго признака в частотной области и т.д.) или параллельно, с использованием признаков в частотной области в сигнатуре события.

В дополнение к обнаружению присутствия одного или более событий (например, бомбардировки песком, притока песка, потока текучей среды и т.д.) в части 125 поточной линии 114 или в заданной точке поточной линии 114, для отображения места проявления события или передачи вычисленных величин энергии по компьютерной сети для отображения на удаленном пункте, может быть использована программа анализа, выполняемая процессором 168. Для отображения одного или более из событий, может быть определена энергия или

интенсивность акустического сигнала в части 125 поточной линии 114 или в заданной точке поточной линии 114.

5 Далее может быть вычислена интенсивность акустического сигнала в
фильтрованной совокупности данных, представляющая энергию или мощность
акустических данных. Могут быть вычислены ряд величин мощности или
интенсивности. В варианте осуществления, среднеквадратическое значение
(СКЗ) энергии спектра или отношение энергий в поддиапазонах по полосе
10 частот фильтрованной совокупности данных могут быть вычислены для каждого
из идентифицированных мест проявления события (например, части 125
поточной линии 114 или в заданной точке поточной линии 114) за время
накопления совокупности, для вычисления дорожки сейсмограммы акустических
энергий по всей длине оптоволокну 116 или его части, в функции времени. Это
вычисление каротажных данных события может выполняться периодически,
например, каждую секунду, и затем интегрироваться/усредняться за дискретные
15 отрезки времени, например, в периоды сильных понижений уровня в скважине,
для отображения диаграммы каротажа прошедшего события в различных
стадиях процесса добычи (например, от момента остановки, от вывода скважины
на режим, от стабильной добычи, от сильного снижения давления в
пласте/производительности добычи и т.д.). Временные интервалы могут быть
20 достаточно продолжительными для получения подходящих данных, хотя
большой интервал времени позволит получить совокупности данных большего
размера. В варианте осуществления, время накопления может превышать
продолжительность примерно между 0,1 секунды до 10 секунд, или примерно от
0,5 секунд до нескольких минут или даже часов.

25 Результирующий файл каротажа события(-й) может вычисляться каждую
секунду и может сохраняться в запоминающем устройстве 170 или передаваться
по компьютерной сети для внесения в базу данных событий. Данные,
хранящиеся/передаваемые в память 170, могут включать любой из признаков в
частотной области, совокупность фильтрованных данных энергии и/или СКЗ
30 энергии спектра во времени, для одной или более совокупностей данных по
глубине, и может сохраняться на каждом периоде измерений (например, каждую
секунду и т.д.). Эти данные могут быть использованы для генерирования
интегрированного файла каротажа событий для каждой точки выборки события
вдоль оптоволокну 116, вместе с синхронизированной меткой времени,

отмечающей время измерения. При получении каротажа события для отображения, СКЗ энергия спектра для секций, которая не демонстрирует одну или более сигнатур события или не согласуется с ними, может устанавливаться равной нулю. Этим обеспечивается простая идентификация точек или участков
5 вдоль оптоволокну 116, которые демонстрируют одну или более сигнатур события или согласуются с ними.

В качестве примера может быть приведено использование ПО анализа, выполняемого процессором 168 для отображения мест на поточной линии 114, в котором твердые частицы 302 ударяются во внутреннюю поверхность поточной
10 линии. Полученные в результате вычислений величины энергии могут быть переданы или перенесены по компьютерной сети для отображения на удаленном пункте. Для отображения мест на поточной линии 114, в которых происходят удары в поверхность твердых частиц 302, может быть определена энергия или интенсивность акустического сигнала, или по меньшей мере высокочастотная
15 часть акустического сигнала, на значимом интервале (например, части 125 поточной линии 114 или в заданной точке поточной линии 114). ПО анализа, выполняемое процессором 168, также может быть использовано для отображения мест в поточной линии 114, где имеет место износ стенки поточной
20 линии 114, и передачи вычисленных величин энергии по компьютерной сети для отображения на удаленном пункте. Для отображения мест в поточной линии 114, в которых происходит износ стенки поточной линии 114, на значимом интервале (например, части 125 поточной линии 114 или в заданной точке поточной линии 114) может быть определена энергия или интенсивность акустического сигнала, или по меньшей мере (высоко-)частотной части акустического сигнала.

Когда значения спектральных дескрипторов превышают соответствующие пороги в сигнатуре события, данные акустической выборки могут быть
25 подвергнуты фильтрации для получения акустических данных, ассоциированных с твердыми частицами 302, протекающими в поточной линии 114 и/или ударяющимися во внутреннюю поверхность поточной линии. В некоторых
30 вариантах осуществления, дальнейшему анализу могут быть подвергнуты только данные акустической выборки, равные соответствующим порогам или превосходящие их, а остальные данные акустической выборки могут иметь значения, приравненные к нулю. Совокупности данных акустической выборки, равные соответствующим порогам или превосходящие их, могут быть

подвергнуты фильтрации фильтром высоких частот и/или фильтром низких частот. В варианте осуществления, совокупности данных акустической выборки, равные соответствующим порогам или превосходящие их, могут быть подвергнуты фильтрации фильтром высоких частот для удаления колебаний с частотами ниже примерно 0,5 кГц, ниже примерно 1 кГц, ниже примерно 1,5 кГц, или ниже примерно 2 кГц. Диапазон верхних частот может составлять менее примерно 10 кГц, менее примерно 7 кГц, менее примерно 6 кГц, или менее примерно 5 кГц, причем полоса фильтра может быть в диапазоне между любым из нижних значений и любым из верхних значений. В варианте осуществления, акустическая выборка может быть подвергнута фильтрации для получения совокупности отфильтрованных данных, содержащих частоты примерно от 0,5 кГц до 10 кГц, или примерно от 2 кГц до 5 кГц из акустической выборки. Совокупность подвергнутых фильтрации данных позволяет отделить акустическую энергию в широком диапазоне на высоких частотах и, тем самым, позволяет выделить акустические колебания от твердых частиц 302, проходящих по поточной линии 114 и/или ударяющих во внутреннюю стенку поточной линии, на фоне общего низкочастотного шума потока текучей среды, принятого акустическим датчиком, возникающего от потока текучей среды и механических источников акустических сигналов.

Далее может быть вычислена интенсивность акустического сигнала в совокупности отфильтрованных данных, где интенсивность может быть представлена энергией или мощностью в акустических данных. В варианте выполнения, среднеквадратичное значение (СКЗ) спектральной энергии в полосе частот совокупности отфильтрованных данных может быть вычислено для каждой из идентифицированных секций поточной линии 114 или оптоволокну 116 по времени накопления совокупности, для вычисления трассировки накопленных данных энергий прохождения твердых частиц 302 по всей длине или части длины оптоволокну 116, в функции времени. Это вычисление "каротажной диаграммы проявления твердых частиц" может выполняться регулярно, например, каждую секунду, а затем интегрироваться/усредняться по дискретным отрезкам времени, для отображения прошлых периодов каротажной диаграммы проявления твердых частиц. Для получения подходящих данных интервалы времени могут быть достаточно большими, причем для получения больших совокупностей данных может потребоваться более продолжительное

время. В варианте осуществления, время накопления может составлять примерно от 0,1 с до 10 с, или примерно от 0,5 с до нескольких минут или даже часов.

Данные каротажных диаграмм событий проявления твердых частиц могут быть сохранены в памяти 170, или переданы по компьютерной сети для внесения в базу данных событий. Данные, сохраненные/переданные в память 170, могут включать измеренный центроид спектра, измеренный разброс спектральных значений, совокупность фильтрованных данных энергии и/или СКЗ спектральной энергии во времени, для одной или более из глубин из совокупности данных, и могут сохраняться каждую секунду. Эти данные могут быть использованы для генерирования комплексных данных каротажной диаграммы высокочастотной энергии твердых частиц для каждой глубины выборки события по длине оптоволокну 116, вместе с синхронизированной меткой времени, отмечающей время измерения.

При создании визуального отображения данных каротажной диаграммы проявления твердых частиц, СКЗ спектральной энергии по секциям вдоль поточной линии, которое не продемонстрировало совпадение спектров, может быть приравнено нулю. Этим обеспечивается простое наблюдение тех мест поточной линии 114 или зон оптоволокну 116, у которых значения признаков в частотной области превышают пороги. На фиг. 5 представлен пример варианта осуществления каротажной диаграммы проявления твердых частиц, демонстрирующий зависимость СКЗ спектральной энергии по глубине. На графике показаны места, где частицы 302 проходят через изгибы 120 поточной линии 114, отмеченные пиками в общей СКЗ энергии спектра. В некоторых вариантах осуществления, фильтрованные в полосе данные энергии спектра могут быть отображены параллельно или на схеме поточной линии сети, технологической схеме или др. для индикации мест с абразивным износом песком, с периодами накопления, для упрощения идентификации на фоне оборудования и продуктивных зон в поточной линии 114. Данные каротажной диаграммы проявления частиц также могут быть отражены на графике 3D, где по вертикальной оси (ось x) отложена СКЗ энергии спектра, по оси y отложена положение точки выборки, и по оси z отложено время. В этом варианте осуществления создается DAS каротажная диаграмма проявления твердых частиц, которая позволяет отобразить износ в изгибах почти в реальном времени. В некоторых случаях, события проявления частиц 302 могут не быть

непрерывными, и каротажная диаграмма события, синхронизированная по времени, может позволить отображать проявление частиц во времени. Это также дает возможность интегрирования времени износа для получения общего времени износа, для определения необходимости визуального осмотра и/или

5 ремонта поточной линии.

В некоторых вариантах осуществления, для одного или более мест вдоль поточной линии 114 может быть проведено качественное определение скорости соударений и/или скорости износа поточной линии 114. Для качественного

10 определения степени износа, происходящего в точке в поточной линии 114, процессор может быть конфигурирован для определения интегральной (совокупной) величины и индекса качества и/или ширины одного или более пиков данных мощности, представляющих интенсивность или мощность для

15 некоторой точки оптоволокна 116, за дискретный отрезок времени. Индекс качества (добротность), или ширина полосы по уровню половины мощности, характеризует остроту пика. Индекс качества, вместе с величиной пиков в каждой зоне поточной линии 114, представляет качественную индикацию

20 концентрации твердых частиц 302, причем низкие скорости износа дают низкие амплитуды с высокими индексами качества, высокие скорости износа дают большие величины пиков с относительно низким индексом качества, а промежуточные скорости износа могут давать пики большой величины с

относительно высокими индексами качества. Посредством определения индекса качества, ширины пиков и/или относительной величины пиков, может быть

25 определено относительный износ в различных местах (например, в одном или более изгибах) поточной линии 114. Например, количество твердых частиц 302 может быть качественно классифицирован на основе индекса качества и/или

ширины пиков, с использованием терминов "высокий; средний; низкий", "серьезный; умеренный; низкий" или "3; 2; 1" или аналогичных. Эта информация может быть полезна в планировании корректирующих действий по снижению

30 количества твердых частиц 302, входящего в поточная линия 114 и проходящих по нему, и/или в планировании корректирующих действий или ремонта для одной или более частей поточной линии 114.

Выходные данные системы могут, в целом, показывать одно или более мест бомбардировки частицами вдоль поточной линии 114 и, опционально, давать качественную индикацию частиц 302, проходящих в каком либо месте через

поточную линию 114. Если удары твердых частиц 302 обнаружены в текучей среде 306 (определены описанными здесь способами и/или, например, детекторами поверхностного песка, визуальным осмотром и т.д.), могут быть предприняты различные действия для снижения количества частиц в текучей среде. В некоторых вариантах может быть сокращена производительность добычи, чтобы определить, не будет ли снижена концентрация частиц. Могут быть проанализированы данные, получаемые в период сниженной производительности добычи. Описанными здесь способами может проводиться мониторинг любых изменений количества добываемых частиц 302 в течение времени, и могут быть соответственно скорректированы условия работы (например, динамической регулировкой, автоматической регулировкой, ручной регулировкой и др.).

В некоторых вариантах осуществления, изменение производительности добычи может быть использовано для определения корреляции производительности с концентрацией твердых частиц 302 в текучей среде, и влиянием на одно или более мест износа или бомбардировки частицами в одной или более точках вдоль поточной линии 114. Вообще, можно ожидать, что снижение производительности добычи снизит расход прохождения твердых частиц 302 через часть 125 поточной линии 114 (расходы прохождения частиц 302), тем самым, снижая скорость износа в одном или более изгибов. Определяя корреляцию производительности добычи с расходами твердых частиц 302 и/или скоростью износа, производительность добычи из скважины и/или одной или более зон может регулироваться так, чтобы снизить скорость износа в установленных местах. Например, регулируемый рабочий рукав с затвором или дроссельный клапан могут быть перестроены для управления концентрацией частиц 302 в добываемой текучей среде.

Та же процедура анализа может быть использована с любыми другими сигнатурами события, рассмотренными в настоящем описании. Например, может быть определено наличие одного или более событий. В некоторых вариантах осуществления, расположение или различие событий может быть недостаточно ясным. В этом случае, может быть изменена одна или более характеристик поточной линии 114 для обеспечения второго измерения акустического сигнала. Например, может быть изменен расход в поточной линии 114. Например, расход в поточной линии может быть временно увеличен или

уменьшен. Анализ полученных данных может быть выполнен по данным, полученным в период увеличенной или сниженной производительности, соответственно. Вообще, можно ожидать, что увеличение расхода текущей среды в поточной линии 114 приведет к росту интенсивности акустического сигнала в определенных местах проявления событий. Этим можно увеличить отношение сигнал/шум для более ясной идентификации одного события в сравнении с другим, в одном или более местах, например, за счет получения более мощного сигнала, обеспечивающего сравнение сигнатуры события с полученным акустическим сигналом. Может проводиться мониторинг любых временных изменений в событиях с использованием описанных здесь методов, и условия работы могут быть откорректированы соответствующим образом (например, динамической регулировкой, автоматической регулировкой, ручной регулировкой и т.д.). В то время как анализ данных был описан выше применительно к системе 100 и способам идентификации событий внутри поточной линии 114, описанный здесь анализ данных также может выполняться при использовании любых подходящих систем. Например, система на фиг. 1 может быть использована для осуществления способа идентификации, какая-либо отдельная система в другое время и/или другом месте может быть использована с акустическими данными для осуществления способа идентификации события, и/или способ может быть осуществлен с использованием акустических данных, полученных от акустического датчика другого типа, причем данные получают в электронной форме, пригодной для использования с устройством, способным осуществлять настоящий способ.

Для обнаружения событий в поточной линии 114 могут быть использованы дополнительные методы обработки данных. В некоторых вариантах выполнения, процессор 168 может выполнять программу, которая может конфигурировать его для пространственной и спектральной фильтрации акустических данных для получения акустических данных, извлекаемых в частотных диапазонах (ИЧД) по нескольким частотным диапазонам. Это может быть аналогично частотным диапазонам, описанным применительно к СКЗ энергии. Совокупности акустических данных могут быть подвергнуты предварительной обработке и затем частотной фильтрации в нескольких частотных диапазонах в заданных временных интервалах, например с интервалом получения данных каждые несколько секунд. Несколько частотных диапазонов могут включать разные

диапазоны. Например, несколько частотных диапазонов могут включать первый диапазон примерно от 5 Гц до 50 Гц; второй диапазон примерно от 50 Гц до 100 Гц; третий диапазон примерно от 100 Гц до 500 Гц; четвертый диапазон примерно от 500 Гц до 2000 Гц; пятый диапазон примерно от 2000 Гц до 5000 Гц, и так далее, по длине оптоволоконна 116 или заданной его части, хотя могут быть также использованы и другие частотные диапазоны.

Данные, извлекаемые в частотных диапазонах (ИЧД), затем могут быть подвергнуты перекрестному сравнению для идентификации зон поточной линии 114, в которых сигнатура события соответствует данным ИЧД. Например, акустические амплитуды в каждом из нескольких частотных диапазонов могут быть подвергнуты сравнению для определения мест оптоволоконна 116 по отклику относительно фонового акустического сигнала. За фоновый акустический сигнал может быть принят акустический сигнал, измеренный в отсутствие твердых частиц 302 в поточной линии 114. В варианте осуществления, фоновый акустический сигнал может содержать усредненные во времени акустические сигналы по одной или более частям поточной линии 114. Продолжительность интервала усреднения может быть выбрана достаточно большой, чтобы избежать возможности возникновения события, превышающего весь интервал усреднения. Любое сравнение акустического сигнала, содержащего событие, со средним по времени должно в этом случае показывать увеличенный сигнал в по меньшей мере в одном частотном интервале, соответствующем частотным интервалам значимого события.

Пример применения обнаружения твердых частиц 302 в поточной линии показывает, что дополнительные методы обработки данных также могут быть использованы для обнаружения мест расположения частиц 302 в поточной линии 114. Полученные ИЧД данные далее могут быть подвергнуты перекрестному сравнению для идентификации областей поточной линии 114 с сигнатурой твердых частиц 302, проходящих по поточной линии 114 и/или ударяющих по внутренней поверхности поточной линии, для вычисления соответствующей каротажной диаграммы износа. В частности, могут быть сопоставлены акустические амплитуды в каждом из нескольких частотных диапазонов для определения мест в оптоволоконне 116 с широкополосным откликом (например, зон, в которых наблюдается отклик во всех диапазонах) относительно фонового акустического сигнала. Фоновый акустический сигнал может быть получен как

измеренный акустический сигнал в отсутствие прохождения твердых частиц 302 по поточной линии 114. В варианте осуществления, фоновый акустический сигнал может содержать усредненный во времени акустический сигнал по одной или более частям поточной линии 114. Любое сравнение акустического сигнала при прохождении частиц 302 по поточной линии 114 с усредненным по времени должно в этом случае демонстрировать увеличенный сигнал в по меньшей мере одном широкополосном частотном диапазоне (например, в частотном диапазоне с частотами более 0,5 кГц, например, от 0,5 кГц до примерно 5 кГц). При этом могут быть идентифицированы области, дающие широкополосный отклик, и высокие частоты в идентифицированных зонах должны отличаться высоким уровнем СКЗ энергии, также как и интенсивность шума частиц 302 в описанной выше процедуре обработки.

В дополнение к описанным выше системам, также могут использоваться различные способы определения присутствия одного или более событий. Эти способы могут быть осуществлены с использованием любой из описанных выше систем, либо любых других подходящих систем. В варианте осуществления, способ обнаружения события в поточной линии 114 может включать получение совокупности данных выборки. Совокупностью данных выборки может быть выборка акустического сигнала, возникающего внутри поточной линии 114, содержащего текучую среду, представляющая акустический сигнал по спектру частот. Может быть определено множество признаков в частотной области из совокупности данных выборки, и ряд спектральных характеристик может быть сопоставлен с соответствующими порогами и/или интервалами в сигнатуре события. Когда множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события, присутствие события внутри поточной линии 114 может быть определено на основе определения того, что по меньшей мере одна спектральная характеристика совпадает (согласуется) с сигнатурой события. Сигнатура события может включать любой из описанных здесь признаков, например, твердые частицы 302, проходящие через поточную линию 114, или частицы 302 проходящие через изгиб 120 поточной линии 114.

В варианте осуществления, способ может быть использован для определения присутствия частиц 302, переносимых внутри поточной линии 114 и/или ударяющихся во внутреннюю поверхность поточной линии, посредством акустической сигнатуры проявления твердых частиц, содержащей пороги и/или

интервалы для множества признаков в частотной области. Признаки в частотной области могут включать ряд описанных здесь признаков в частотной области (например, разброс спектральных значений, спад спектральной характеристики, асимметрию спектральной характеристики, среднеквадратическое значение (СКЗ) энергии в диапазоне (или нормированные энергии в поддиапазонах/отношения энергий в диапазонах). Акустическую сигнатуру проявления твердых частиц может указывать на частицы 302, переносимые внутри поточной линии 114 и/или ударяющиеся во внутреннюю поверхность поточной линии.

10 В раскрытых здесь вариантах осуществления, описано обнаружение акустических сигналов, свидетельствующих о присутствии твердых частиц в поточной линии 114, бомбардирующих внутреннюю поверхность поточной линии, с дальнейшим вычислением акустических сигналов для определения частотных данных, ассоциированных с частицами и местом в поточной линии 15 114. Следует, однако, иметь в виду, что в раскрытых здесь вариантах осуществления может ставиться задача обнаружения акустических сигналов, относящихся к любым твердым веществам и компонентам, которые могут присутствовать в поточной линии 114. Например, когда поточной линией является трубопровод, внутри поточной линии 114 могут отслеживаться 20 диагностические и очистные устройства, используемые для очистки или проведения каротажа поточной линии 114. В этом случае, когда оптоволокну 116 присоединено к поточной линии 114, оптоволокну 116 может обнаруживать акустические сигналы, сообщающие о наличии диагностического/очистного устройства в определенном месте вдоль поточной линии 114. Аналогично, 25 оптическое волокно 116 может обнаруживать акустические сигналы, сообщающие о присутствии объекта любого размера внутри поточной линии 114, и может быть выполнен спектральный анализ акустических сигналов для определения характеристик объекта, идентифицированного внутри поточной линии 114.

30 В раскрытых здесь вариантах осуществления также описывается использование спектральных данных акустических сигналов для определения степени износа или абразивного износа песком, происходящих на стенках определенных частей 125 поточной линии 114. По аналогии, раскрытые здесь

варианты осуществления также могут быть использованы для определения налета на внутренних стенках поточной линии 114.

Способ в целом и соответствующие шаги схематически иллюстрируются функциональной схемой, показанной на фиг. 6. Как показано на фиг. 6, вариант осуществления способа 600 для обнаружения твердых частиц 302 внутри поточной линии 114 и/или частиц 302, бомбардирующих внутреннюю поверхность поточной линии, может начинаться с акустического датчика, например системы DAS, получающего, обнаруживающего или принимающего акустический сигнал, например, от оптоволокну 116, как это показано на шаге 602. Акустический сигнал может генерироваться внутри поточной линии 114, как это было описано. Первичные оптические данные от акустического датчика могут приниматься и генерироваться датчиком, для выработки акустического сигнала, как это показано на шаге 604. Темп выдачи данных, генерируемых различными акустическими датчиками, например, системой распределенного акустического датчика (DAS), может быть большим. Эти первичные данные могут опционально сохраняться в запоминающем устройстве на шаге 603.

Первичные данные далее могут быть подвергнуты предварительной обработке на шаге 605. Как показано на фиг. 6, предварительная обработка может быть выполнена с использованием ряда опциональных шагов. В частности данные могут быть подвергнуты пространственной фильтрации точки выборки. Для этой фильтрации используется фильтр для получения части акустического сигнала, соответствующей заданному месту поточной линии 114. Поскольку время, за которое импульс света, введенный в оптоволокну, возвращается после обратного рассеяния, соответствует расстоянию распространения, а значит и местоположению в поточной линии 114, при обработке оптических данных может быть получена проба, характеризующая заданное местоположение на поточной линии 114. Этим может быть обеспечено выделение конкретного места на поточной линии 114 для дальнейшего анализа. Шаг предварительной обработки может также включать удаление помехового шума от обратного отражения с некоторых глубин посредством пространственной медианной фильтрации или пространственным усреднением.

Для пространственной фильтрации данных, в некоторых вариантах осуществления может быть проведена первоначальная пространственная

калибровка. В этих вариантах осуществления, может быть создан один или более акустических сигналов и коррелирован с конкретным положением на поточной линии 114. Полученный акустический сигнал далее может быть использован для связывания положения на оптоволокну 116 с физическим положением на поточной линии 114. В частности, точечный источник, например, постукивание по поточной линии 114 и/или по самому оптоволокну 116 (например, "проверка сейсмоприемника постукиванием") может быть инициирован в известной точке на поточной линии. Обработка данных акустического сигнала от оптоволокну может быть использована для идентификации для определения местоположения по длине волокна, и известное положение на поточной линии 114 может быть зарегистрировано. Система может хранить в запоминающем устройстве полученные измерения длины оптоволокну и местоположений в поточной линии для выполнения корреляции (например, справочными таблицами и т.д.) между параметрами акустических сигналов от оптоволокну и местом "постукивания" на поточной линии. Результаты проверки постукиванием далее могут быть использованы в ходе дальнейшего процесса, включая и шаг отображения, а также опциональный шаг 606 пространственной фильтрации.

В некоторых вариантах осуществления, фильтрованные данные могут быть преобразованы из временной области в частотную область с использованием преобразования Фурье (например, оконного преобразования Фурье или дискретного преобразования Фурье) как часть шага 605 предварительной обработки. Благодаря преобразованию данных после пространственной фильтрации может быть значительно сокращен объем данных, подвергаемых обработке.

Для улучшения качества сигнала данные, опционально, на шаге предварительной обработки могут быть подвергнуты процедуре нормирования шума. Этот шаг может выполняться по-разному, в зависимости от типа используемого устройства 118 обнаружения, а также конструкции источника света, датчика, и других особенностей обработки. В то время как приведено описание ряда шагов предварительной обработки, порядок шагов в пределах процедур предварительной обработки может меняться, и может быть использован любой порядок выполнения опциональных шагов.

После предварительной обработки акустического сигнала, совокупность данных выборки может быть использована для обнаружения присутствия одного

или более события внутри скважины. Процесс обнаружения события может включать первое определение по меньшей мере одного признака в частотной области на шаге 612. В процессе или процедуре обнаружения события на шаге 612 могут быть определены все признаки частотной области или часть их. В

5 некоторых вариантах осуществления, признаки в частотной области могут определяться последовательно. Этот процесс может включать определение первого признака в частотной области (например, центра спектра совокупности данных выборки, разброса спектральных значений и т.д.). Первый признак в частотной области затем может быть сопоставлен с порогом первого

10 признака в частотной области в шаге 610 сравнения. Если первый признак в частотной области удовлетворяет порогу первого признака в частотной области, процесс может переходить к следующему сравнению. Затем может быть определен второй признак в частотной области (например, разброс спектральных значений и т.д.) для совокупности данных выборки. Вторым признаком в частотной

15 области далее может быть сопоставлен с порогом второго признака в частотной области в шаге 610 сравнения. Если второй признак в частотной области соответствует или удовлетворяет порогу второго признака в частотной области, процесс может перейти к следующему признаку в частотной области. Этот процесс может быть повторен для каждого признака в частотной области или

20 производной величины (например, комбинации признаков в частотной области), формирующей часть сигнатуры события. Когда совокупность данных выборки имеет соответствующие признаки в частотной области, величина которых превышает соответствующий порог для сигнатуры события бомбардировки песчинками, то определяется, что акустические данные в месте поточной линии

25 114, представленные совокупностью данных выборки, представляют твердые частицы 302, находящиеся в поточной линии 114 и/или ударяющиеся во внутреннюю поверхность поточной линии 114, согласно соответствующим акустическим сигнатурам. Также могут быть определены дополнительные признаки в частотной области и сопоставлены с соответствующими порогами,

30 определяемыми каждой акустической сигнатурой. Сюда может входить присутствие твердых частиц 302 в переносе через поточную линию 114, или присутствие частиц 302, бомбардирующих внутреннюю поверхность изгиба 120 поточной линии 114.

Прежде, чем обратиться к следующему шагу, следует заметить, что если в результате любого из сравнений в шаге 610 между последовательно определенными признаками в частотной области и соответствующими порогами признаков в частотной области оказывается, что любой определенный признак в частотной области находится ниже соответствующего порога, процесс может установить величину (или все величины) для совокупности данных выборки равной нулю для этого места, перед переводом процесса в шаг 628 интегрирования и сохранения данных. Проверка соответствия спектра может происходить в любом порядке, и при последовательно выполняемых сравнениях те совокупности данных выборки, которые не выдержали первого сравнения либо центра спектра или разброса спектральных значений, могут быть подвергнуты процедуре постобработки без необходимости прохождения через оставшиеся элемента процесса или процедуры проверки соответствия спектра.

В качестве альтернативы последовательному процессу, на шаге 612 может быть определен ряд признаков в частотной области. Сюда могут включаться те признаки в частотной области, которые использовались при сравнении с одним или более пороговыми значениями событий. В некоторых вариантах осуществления, дополнительные признаки в частотной области могут быть использованы как часть процесса обработки. Дополнительные признаки в частотной области могут быть использованы для дальнейших сравнений и определения новых сигнатур. Определение множества признаков в частотной области все еще сможет снизить объем данных в сравнении с объемом данных, сравниваемых с первичными данными измерений.

На шаге 610 сравнения, совокупность данных выборки может быть опционально подвергнута дальнейшей обработке для определения относительного количества твердых частиц 302 внутри текучей среды в поточной линии 114 и/или бомбардирующих внутреннюю поверхность поточной линии 114 в месте поточной линии 114, представленном совокупностью данных выборки. В некоторых вариантах осуществления, совокупность данных выборки может быть, опционально, подвергнута фильтрации для изолирования части акустических данных. Совокупность данных выборки может быть подвергнута фильтрации в пределах заданного частотного диапазона для получения второй совокупности данных выборки. В варианте осуществления, эта совокупность данных выборки может быть подвергнута фильтрации в полосе согласно

приведенному описанию. Частотный фильтр может выделить акустическую сигнатуру твердых частиц 302, проходящих через поточную линию 114 и/или бомбардирующих внутреннюю поверхность поточной линии 114, при этом исключив низкочастотные части, которые могут быть отнесены к потоку текучей среды 306 и другим возможным акустическим источникам. Полученная вторая совокупность данных далее может быть подвергнута обработке для вычисления энергии спектра второй совокупности данных. В варианте осуществления, энергия спектра может быть вычислена как среднееквадратическое значение энергии спектра второй совокупности данных. Энергией спектра может быть мощность или энергия акустического сигнала за период времени в месте в поточной линии 114, представленном второй совокупностью выборки Величина определенной энергии спектра может быть затем сохранена в запоминающем устройстве как ассоциированная с местом в поточной линии 114 во время приема акустического сигнала.

Обработанный сигнал далее может быть передан в шаг 628 сохранения данных и интегрирования. Вообще, шаги обработки определяют присутствие твердых частиц 302 и/или бомбардирование во внутреннюю поверхность поточной линии 114 в месте поточной линии 114, представленном совокупностью данных выборки. Для выполнения анализа по длине поточной линии 114 и на изгибах 120 поточной линии 114, шаги обработки между шагами предварительной обработки данных и процессом сравнения могут быть повторены для ряда совокупностей данных выборки, представляющих различные точки вдоль поточной линии 114. По мере анализа данных, полученная информация может передаваться в процедуру сохранения данных и интегрирования на шаге 628 для введения в файл каротажной диаграммы проявления твердых частиц, представляющей результаты по длине поточной линии 114 и на изгибах 120 поточной линии 114 в течение заданного периода времени. Когда анализ данных проводится по длине поточной линии 114 и на изгибах 120 поточной линии 114 для всей совокупности данных, процесс может начинаться снова для следующего периода времени для анализа данных по длине поточной линии 114 и на изгибах 120 поточной линии 114 для следующего периода времени. Затем процесс может быть повторен при необходимости для прослеживания протекания частиц по поточной линии 114 во времени.

В процессе сохранения данных и интегрирования на шаге 628, данные от каждого анализа могут быть приняты и использованы для обновления базы данных события. Данные также могут быть направлены в другую базу данных и/или база данных события может быть расположена удаленно от места проведения обработки. Затем данные могут быть подвергнуты дальнейшему анализу для интегрирования данных и отображения в масштабе времени, близком к реальному, или в любое время позднее. Данные могут включать вычисленные признаки в частотной области, или нулевую величину, когда признаки в частотной области ниже соответствующих порогов соответствующей сигнатуры события или сигнатур события, используемых для сравнения, глубину, ассоциированную с совокупностью данных выборки, время, ассоциированное с обнаружением акустического сигнала, или любую комбинацию этих данных. В некоторых вариантах осуществления, величины признаков в частотной области могут быть сохранены в данных, даже если сравнение с сигнатурой события не показывает совпадения. Данные из ряда анализов далее могут сохраняться в базе данных события или файле каротажа для дальнейшего использования.

Данные, сохраненные в процессе интегрирования данных, могут быть переданы в процесс отображения на шаге 640. В этом процессе, может быть создано некоторое количество каротажных диаграмм для отображения и/или представления твердых частиц 302 в текучей среде и/или бомбардирующих внутреннюю поверхность поточной линии 114. В варианте осуществления, данные, которые опционально могут быть интегрированы в процедуру интегрирования данных на шаге 628, но не должны обязательно быть интегрированы, могут быть переданы в процесс отображения данных на шаге 640. В процессе отображения данных, энергия спектра, вычисленная для совокупности данных выборки, может быть подвергнута анализу для определения, имеет ли энергия спектра величину более нуля. В этом примере, нуль или нулевая величина может быть использована как свидетельство того, что твердые частицы 302 не присутствуют в текучей среде или не ударяют во внутреннюю поверхность поточной линии (или по меньшей мере не присутствуют на обнаруживаемом уровне) в определенном месте поточной линии 114.

Когда обнаружена нулевая величина, процесс может перейти на шаг, где нуль вводится в схему или описание скважины, чтобы показать, что частицы 302 не обнаружены и/или отсутствует бомбардировка частицами внутренней поверхности поточной линии 114 в месте в поточной линии 114, представленном совокупностью данных выборки. Когда величина спектральной энергии не равна нулю, визуальное отображение может быть ассоциировано с соответствующим местом поточной линии 114. Визуальное представление может демонстрироваться как часть процесса отображения. Процесс может быть повторен для обработки следующей совокупности данных или других введенных данных в комплексную каротажную диаграмму. После проведения обработки всех совокупностей данных и/или введенных данных в комплексную каротажную диаграмму, может быть представлено полное визуальное отображение мест нахождения твердых частиц 302 и относительных расходов или количеств частиц 302 по длине поточной линии 114 для определенного момента времени. Этот процесс может быть повторен по ряду моментов времени для получения и отображения в реальном времени или близком к реальному представлению твердых частиц 302, находящихся вдоль поточной линии 114.

Процесс 640 отображения также может включать генерирование и отображение каротажной диаграммы присутствия твердых частиц 302 или 'каротажной диаграммы проявления частиц'. Каротажная диаграмма проявления частиц в целом представляет по одной оси полную акустическую мощность или энергию спектра, генерируемую твердыми частицами 302, и место в поточной линии 114, представленное совокупностью данных выборки, по другой оси. Эта каротажная диаграмма может быть получена с использованием комплексных каротажных данных из процедуры интегрирования данных на шаге 628, и/или индивидуальные совокупности данных могут быть подвергнуты итерационному анализу для создания комплексной каротажной диаграммы проявления частиц. В этом варианте осуществления, в местах, где не были обнаружены частицы, энергия спектра может быть принята равной нулю. Комплексная каротажная диаграмма проявления частиц может быть отражена на дисплее для представления мест на поточной линии 114, имеющей твердые частицы 302. Ряд комплексных каротажных диаграмм проявления частиц может быть создан для других продолжительностей сбора акустических данных для получения и

отображения большого числа каротажных диаграмм проявления частиц в реальном времени или близком к реальному для изменяющихся условий добычи.

Любые из раскрытых в настоящем описании систем и способов могут быть реализованы компьютером или другим устройством, содержащим процессор, например устройством 118 обнаружения на фиг. 1. На фиг. 7 представлена компьютерная система 780, приспособленная для реализации одного или более раскрытых здесь вариантов осуществления, 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, устройство ввода/вывода 790 и устройство 792 сетевого подключения. Процессор 782 может быть реализован в виде одной или более интегральных схем ЦП.

Понятно, что посредством программирования и загрузки выполняемых команд в компьютерную систему 780, по меньшей мере один из ее узлов – ЦП 782, ОЗУ 788, ПЗУ 786, подвергается изменению, отчасти трансформируя компьютерную систему 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 исполняемых программ в компьютер, могут быть преобразованы 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 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 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 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 устройством, компьютер, в который была установлена и/или загружена исполняемая программа, может считаться специальной машиной или устройством.

10 Далее, после включения или загрузки системы 780, ЦП 782 может выполнить компьютерную программу или приложение. Например, ЦП 782 может 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.

30 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
5 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 ко вторичной памяти 784.

Вторичную память 784, ОЗУ 788 и/или ПЗУ 786 в некоторых случаях можно назвать машиночитаемым носителем хранения данных и/или энергонезависимым
10 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
15 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
20 данным по оптоволокну (FDDI), карт беспроводной локальной сети (WLAN), 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
25 диапазоне (WiMAX), коммуникации ближнего поля (NFC), радиочастотной идентификации (RFID) и/или других приемопередающих карт протоколов радиоинтерфейса и иных хорошо известных сетевых устройств. Эти устройства 792 сетевого подключения могут обеспечить связь процессора 782 с интернетом или одной или более внутренней сетью (интранет). При таком сетевом
30 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. Такая информация, часто представленная в форме последовательности команд на исполнение с использованием процессора 782, может быть принята из сети и

выдана в сеть, 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 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 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 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 других устройств, ПЗУ 786 и/или ОЗУ 788, в некоторых случаях могут быть упомянуты как энергонезависимые команды и/или энергонезависимая информация.

В варианте осуществления, 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 осуществления, 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 осуществления, 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.

10 В некоторых случаях, вторичная память 784, ПЗ 786, ОЗУ 788 может быть названа 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 названы энергонезависимым машиночитаемым носителем или машиночитаемым носителем хранения данных.

После описания различных систем и способов, приводятся частные варианты осуществления, которые могут включать, помимо прочих, следующие:

25 В первом варианте осуществления, систему мониторинга, включающую: поточную линию, содержащая по меньшей мере один изгиб; оптоволокно, присоединенное с внешней стороны поточной линии, причем оптоволокно обмотано вокруг по меньшей мере части поточной линии; и приемник, присоединенный к концу оптоволокна, приспособленный для обнаружения по меньшей мере одного акустического сигнала от оптоволокна.

30 Второй вариант осуществления может включать систему в соответствии с первым вариантом осуществления, в которой частью поточной линии является изгиб в поточной линии.

Третий вариант осуществления может включать систему в соответствии с первым или вторым вариантом осуществления, в которой отношение длины

оптоволокна, обмотанного вокруг изгиба, к осевой длине поточной линии превышает 1,5:1.

Четвертый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по третий, в которой
5 оптоволокном является многомодовое оптоволокно, содержащее несколько оптоволоконных кабелей.

Пятый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по четвертый, в которой
10 оптоволокно присоединено непосредственно к внешней стороне поточной линии.

Шестой вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по пятый, дополнительно содержащую деформируемый слой, расположенный между оптоволокном и внешней стороной поточной линии на соединителе.

Седьмой вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по шестой, дополнительно имеющую защитную трубку, внутри которой расположено оптоволокно,
15 присоединенную к поточной линии.

Восьмой вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по седьмой, в которой защитная
20 трубка заполнена текучей средой, твердым материалом или тем и другим, и в которой оптоволокно удерживается в защитной трубке текучей средой, твердым материалом или тем и другим.

Девятый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по восьмой, дополнительно имеющую экран, расположенный вокруг оптоволокна на внешней стороне
25 поточной линии.

Десятый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по девятый, в которой экраном
30 является акустический экран.

Одиннадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по десятый, в которой оптоволокном является единое непрерывное оптоволокно, включающее
один оптоволоконный кабель или несколько оптоволоконных кабелей.

Двенадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по одиннадцатый, в которой оптоволоконном является единое непрерывное оптоволоконно, обмотанное вокруг нескольких изгибов поточной линии.

5 Тринадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по двенадцатый, в которой оптоволоконном является единое непрерывное оптоволоконно, обмотанное вокруг всех изгибов поточной линии.

10 Четырнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по тринадцатый, в которой оптоволоконно содержит несколько секций, имеющих оптическое соединение друг с другом.

15 Пятнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по четырнадцатый, в которой оптоволоконно имеет электромагнитный экран.

20 Шестнадцатый вариант осуществления может включать систему в соответствии с любым вариантом осуществления с первого по пятнадцатый, дополнительно содержащую: процессорный модуль, содержащий процессор и запоминающее устройство, и приспособленный для обмена сигналами с приемником, а запоминающее устройство содержит прикладную программу анализа, которая, при выполнении процессором конфигурирует процессор для: приема от приемника акустического сигнала, создаваемого текучей средой внутри поточной линии, содержащего множество признаков в частотной области, характеризующих акустический сигнал по спектру частот; сравнения множества признаков в частотной области с сигнатурой события, содержащей пороги и/или интервалы для одного или более признаков в частотной области; определения, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события; определения присутствия твердых частиц в текучей среде внутри поточной линии на основе определения того, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события; и генерирования выходных данных присутствия твердых частиц в текучей среде на основе того, присутствуют ли частицы в текучей среде внутри поточной линии.

Семнадцатый вариант осуществления включает способ обнаружения твердых частиц в поточной линии, при осуществлении которого пропускают

внутри поточной линии текучую среду, содержащую твердые частицы; генерируют акустический сигнал на изгибе поточной линии, образующийся в результате ударов твердых частиц во внутреннюю поверхность поточной линии на изгибе поточной линии, вокруг которой на изгибе намотано оптоволокно, обнаруживающее акустический сигнал, присутствующий на изгибе поточной линии; и обнаруживают акустический сигнал, используя оптоволокно, присоединенное к поточной линии; и определяют присутствие твердых частиц в текучей среде, используя акустический сигнал.

10 Восемнадцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с семнадцатым вариантом осуществления, в котором отношение длины оптоволоконного кабеля, обмотанного вокруг изгиба, к осевой длине поточной линии превышает 1,5:1.

15 Девятнадцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым из семнадцатого или восемнадцатого вариантов осуществления, в котором оптоволоконным является многомодовое оптоволокно, содержащее несколько оптоволоконных кабелей.

Двадцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с семнадцатого по девятнадцатый, в котором оптоволокно непосредственно соединено с внешней стороной поточной линии.

20 Двадцать первый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с семнадцатого по двадцатый, в котором между оптоволоконным и внешней стороной поточной линии располагается деформируемый слой, а способ дополнительно содержит гашение передачи вибраций в поточной линии к оптоволоконному кабелю.

25 Двадцать второй вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с семнадцатого по двадцать первый, в котором оптоволокно расположено внутри защитной трубки, присоединенной к внешней стороне поточной линии.

30 Двадцать третий вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с семнадцатого по двадцать второй, в котором защитная трубка заполнена текучей средой, твердым материалом или тем и другим, и оптоволокно удерживается внутри защитной трубки текучей средой, твердым материалом или тем и другим.

Двадцать четвертый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с семнадцатого по двадцать третий, в котором вокруг оптоволокну на внешней стороне поточной линии расположен экран.

5 Двадцать пятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с двадцать четвертым вариантом осуществления, дополнительно содержащий акустическое экранирование оптоволокну от внешнего шума посредством экрана.

10 Двадцать шестой вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с семнадцатого по двадцать пятый, в котором оптоволокну присоединено к приемнику, а при определении присутствия твердых частиц в текучей среде: принимают от приемника акустический сигнал, создаваемый текучей средой внутри поточной линии, и содержащий множество признаков в частотной области, характеризующих акустический сигнал по спектру частот; сравнивают множество признаков в частотной области с сигнатурой события, содержащей пороги или интервалы для одного или более из множества признаков в частотной области; определяют, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события; определяют присутствие твердых частиц в текучей среде внутри поточной линии на основе определения того, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события; и генерируют выходные данные присутствия твердых частиц, в случае определения присутствия твердых частиц в текучей среде внутри поточной линии.

15 Двадцать седьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с двадцать шестым вариантом осуществления, в котором выходные данные идентифицируют местоположение твердых частиц, ударяющих во внутреннюю поверхность поточной линии, и который инициирует ремонтные работы в месте на поточной линии.

20 Двадцать восьмой вариант осуществления включает способ в соответствии с любым вариантом осуществления от семнадцатого до двадцать седьмого, в котором дополнительно: генерируют акустический тест-сигнал в первом месте на поточной линии; обнаруживают акустический тест-сигнал, используя оптоволокну, присоединенное к поточной линии; определяют положение на оптоволокну, где был обнаружен акустический тест-сигнал; коррелируют первое

место с положением на оптоволокне; и определяют второе место присутствия твердых частиц в текучей среде, на основе определения соответствия первого места положению на оптоволокне.

5 Двадцать девятый вариант осуществления включает способ обнаружения твердых частиц в поточной линии, при осуществлении которого: получают совокупность данных выборки, содержащую акустический сигнал, генерируемый в оптоволокне, обмотанном вокруг по меньшей мере части поточной линии с текучей средой, и характеризующую акустический сигнал по спектру частот; определяют множество признаков в частотной области
10 совокупности данных выборки; сравнивают множество признаков в частотной области с сигнатурой события, содержащей ряд порогов, интервалов или то и другое, соответствующих множеству признаков в частотной области; определяют, что множество признаков в частотной области согласуются с пороговыми, интервалами или тем и другим сигнатуры события; и определяют
15 присутствие твердых частиц в текучей среде на основе определения того, что множество признаков в частотной области согласуются с пороговыми, интервалами или тем и другим сигнатуры события.

Тридцатый вариант осуществления может включать способ в соответствии с двадцать девятым вариантом осуществления, в котором оптоволокно
20 соединено с внешней стороной поточной линии и обмотано вокруг ее изгиба.

Тридцать первый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым из двадцать девятого или тридцатого вариантов осуществления, в котором дополнительно определяют место ударов твердых частиц, находящихся внутри текучей среды, во внутреннюю поверхность
25 поточной линии, используя акустический сигнал.

Тридцать второй вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с двадцать девятого по тридцать первый, в котором дополнительно определяют расход текучей среды в одном или более местах вдоль поточной линии, используя акустический сигнал.

30 Тридцать третий вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым из вариантов осуществления с двадцать девятого по тридцать второй, в котором оптоволокно обмотано вокруг поточной линии на изгибе, и в котором отношение длины оптоволокна, обмотанного вокруг изгиба, к осевой длине поточной линии превышает 1,5:1.

Тридцать четвертый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с двадцать девятого по тридцать третий, в котором дополнительно выполняют пространственную фильтрацию акустического сигнала для получения совокупности данных выборки для части оптоволокна, обмотанного вокруг изгиба.

Тридцать пятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с двадцать девятого по тридцать четвертый, в котором дополнительно: генерируют ряд акустических тест-сигналов в нескольких местах на поточной линии; определяют положение каждого акустического тест-сигнала из множества акустических тест-сигналов на оптоволокне; и коррелируют положение на поточной линии с положением каждого акустического тест-сигнала на оптоволокне; и определяют место присутствия твердых частиц на основании соответствия положения.

Тридцать шестой вариант осуществления включает способ разработки модели идентификации состояния для поточной линии, при осуществлении которого: получают ряд совокупностей опорных данных для поточной линии, содержащих акустические данные, полученные по спектру частот от одного или более датчиков, присоединенных к по меньшей мере части поточной линии, причем ряд совокупностей опорных данных содержит по меньшей мере одну совокупность опорных данных, полученную при возникновении (определенного) состояния, и по меньшей мере одну совокупность опорных данных, полученную в отсутствие (определенного) состояния; определяют один или более признаков в частотной области из совокупностей опорных данных; обучают модель, используя один или более признаков в частотной области из по меньшей мере части совокупностей опорных данных.

Тридцать седьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с тридцать шестым вариантом осуществления, в котором при получении множества совокупностей опорных данных для поточной линии: выполняют ряд исследований потока в поточной линии, каждое из которых включает введение одного или более компонентов в протекающую текучую среду внутри поточной линии, причем один или более компонентов включает углеводородный газ, углеводородную жидкость, водную текучую среду, твердые частицы или комбинации этих компонентов; и получают акустические данные от

одного или более датчиков, присоединенных к поточной линии, для каждого исследования потока из ряда исследований потока.

Тридцать восьмой вариант осуществления может включать способ в соответствии с тридцать шестым вариантом осуществления, в котором при
5 получении множества совокупностей опорных данных для поточной линии: осуществляют работу поточной линии с одним или более протекающими в ней компонентами, где один или более компонентов включает углеводородный газ, углеводородную жидкость, водную текучую среду, твердые частицы или комбинации этих компонентов; и получают акустические данные от одного или
10 более датчиков, присоединенных к поточной линии, при работе поточной линии; получают идентификацию одного или более компонентов, используя по меньшей мере один датчик из нескольких датчиков.

Тридцать девятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления от тридцать шестого по
15 тридцать восьмой, в котором для обучения модели используется первая часть совокупности опорных данных, и при осуществлении способа дополнительно подтверждают модель, используя вторую часть совокупности опорных данных.

Сороковой вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с тридцать шестого по тридцать девятый, в
20 котором модель включает логистическую регрессионную модель, а при обучении модели: вводят один или более признаков в частотной области в логистическую регрессионную модель, соответствующую одной или более совокупностей опорных данных из множества совокупностей опорных данных, где одна или более текучих сред содержит твердые частицы; вводят один или
25 более признаков в частотной области в логистическую регрессионную модель, соответствующую одной или более совокупностей опорных данных из множества совокупностей опорных данных, где одна или более текучих сред не содержит твердые частицы; и определяют первую многомерную модель, использующую один или более признаков в частотной области в качестве
30 входных данных, причем первая многомерная модель определяет соотношение между присутствием и отсутствием твердых частиц в одной или более текучих средах.

Сорок первый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с тридцать шестого по сороковой, в котором моделью является алгоритм управляемого обучения.

5 Сорок второй вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с тридцать шестого по сорок первый, в котором поточной линией является наземная поточная линия.

10 Сорок третий вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым вариантом осуществления с тридцать шестого по сорок второй, в котором один или более датчиков содержат оптоволоконный кабель, присоединенный к поточной линии.

15 Сорок четвертый вариант осуществления может включать способ в соответствии с сорок третьим вариантом осуществления, в котором оптоволоконный кабель расположен вдоль поточной линии, а акустические данные характеризуют акустический сигнал, возникающий внутри поточной линии.

20 Сорок пятый вариант осуществления может включать способ в соответствии с любым из сорок третьего варианта осуществления или сорок четвертого варианта осуществления, в котором оптоволоконный кабель обмотан вокруг по меньшей мере одного изгиба в поточной линии, а акустические данные характеризуют акустический сигнал, возникающий внутри поточной линии.

25 Сорок шестой вариант осуществления может включать способ по любому варианту осуществления с тридцать шестого по сорок пятый, в котором состояние включает по меньшей мере одно из присутствия твердых частиц в протекающей текучей среде в поточной линии, потока текучей среды в поточной линии или удары твердых частиц по внутренней поверхности поточной линии.

30 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 осуществления 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 комбинации, объединения и/или

исключения признаков варианта(-ов) выполнения, 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. Все без
5 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 выполнения, но не должны ограничивать заявку опубликованной формулы процессами и конструкциям,
10 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 образом структурируют текст. Эти заголовки не должны ограничивать или
15 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
20 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
25 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
30 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 осуществления 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 здесь варианты осуществления носят исключительно 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.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система мониторинга, включающая:
поточную линию, имеющую по меньшей мере один изгиб;
5 оптоволокно, присоединенное с внешней стороны поточной линии и
обмотанное вокруг по меньшей мере части поточной линии; и
приемник, присоединенный к концу оптоволокна и выполненный с
возможностью обнаружения по меньшей мере одного акустического сигнала от
оптоволокна.
10
2. Система по п. 1, в которой частью поточной линии является изгиб в
поточной линии.
3. Система по любому из п.п. 1, 2, в которой отношение длины
15 оптоволокна, обмотанного вокруг изгиба, к осевой длине поточной линии
превышает 1,5:1.
4. Система по любому из п.п. 1-3, в которой оптоволокном является
многомодовое оптоволокно, содержащее несколько оптоволоконных кабелей.
20
5. Система по любому из п.п. 1-4, в которой оптоволокно присоединено
непосредственно к внешней стороне поточной линии.
6. Система по любому из п.п. 1-5, дополнительно содержащая
25 деформируемый слой, расположенный между оптоволокном и внешней стороной
поточной линии на соединителе.
7. Система по любому из п.п. 1-6, дополнительно имеющая защитную
трубку, внутри которой расположено оптоволокно и которая присоединена к
30 поточной линии.
8. Система по любому из п.п. 1-7, в которой защитная трубка заполнена
текучей средой, твердым материалом или тем и другим, и в которой оптоволокно

удерживается в защитной трубке текучей средой, твердым материалом или тем и другим.

5 9. Система по любому из п.п. 1-8, дополнительно содержащая экран, расположенный вокруг оптоволокну на внешней стороне поточной линии.

10. Система по любому из п.п. 1-9, в которой экраном является акустический экран.

10 11. Система по любому из п.п. 1-10, в которой оптоволокну является единое непрерывное оптоволокну, включающее один оптоволоконный кабель или несколько оптоволоконных кабелей.

15 12. Система по любому из п.п. 1-11, в которой оптоволокну является единое непрерывное оптоволокну, обмотанное вокруг нескольких изгибов поточной линии.

20 13. Система по любому из п.п. 1-12, в которой оптоволокну является единое непрерывное оптоволокну, обмотанное вокруг всех изгибов поточной линии.

14. Система по любому из п.п. 1-13, в которой оптоволокну содержит несколько секций, имеющих оптическое соединение друг с другом.

25 15. Система по любому из п.п. 1-14, в которой оптоволокну имеет электромагнитный экран.

30 16. Система по любому из п.п. 1-15, дополнительно содержащая процессорный модуль, содержащий процессор и запоминающее устройство, и приспособленный для обмена сигналами с приемником, а запоминающее устройство содержит прикладную программу анализа, которая, при выполнении процессором, конфигурирует процессор для:

приема от приемника акустического сигнала, создаваемого текучей средой внутри поточной линии и содержащего множество признаков в частотной области, характеризующих акустический сигнал по спектру частот;

5 сравнения множества признаков в частотной области с сигнатурой события, содержащей пороги и/или интервалы для одного или более из множества признаков в частотной области;

определения, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события;

10 определения присутствия твердых частиц в текучей среде внутри поточной линии на основе определения, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события; и

генерирования выходных данных присутствия твердых частиц в текучей среде на основе определения, присутствуют ли частицы в текучей среде внутри поточной линии.

15

17. Способ обнаружения твердых частиц в поточной линии, в котором: пропускают внутри поточной линии текучую среду, содержащую твердые частицы;

20 генерируют акустический сигнал на изгибе поточной линии, причем акустический сигнал генерируется в результате ударов твердых частиц о внутреннюю поверхность поточной линии на изгибе поточной линии, вокруг которой на указанном изгибе намотано оптоволокно, улавливающее акустический сигнал, представленный на изгибе поточной линии; и

25 обнаруживают акустический сигнал, используя оптоволокно, присоединенное к поточной линии; и

определяют присутствие твердых частиц в текучей среде, используя акустический сигнал.

30 18. Способ по п. 17, в котором отношение длины оптоволоконного обмотанного вокруг изгиба, к осевой длине поточной линии превышает 1,5:1.

19. Способ по любому из п.п. 17 и 18, в котором оптоволоконном является многомодовое оптоволокно, содержащее несколько оптоволоконных кабелей.

20. Способ по любому из п.п. 17-19, в котором оптоволокну непосредственно соединено с внешней стороной поточной линии.

5 21. Способ по любому из п.п. 17-20, в котором между оптоволокну и внешней стороной поточной линии располагается деформируемый слой, и способ дополнительно включает гашение передачи вибраций в поточной линии к оптоволокну.

10 22. Способ по любому из п.п. 17-21, в котором оптоволокну расположено внутри защитной трубки, присоединенной к внешней стороне поточной линии.

15 23. Способ по любому из п.п. 17-22, в котором защитная трубка заполнена текучей средой, твердым материалом или тем и другим, и оптоволокну удерживается внутри защитной трубки текучей средой, твердым материалом или тем и другим.

24. Способ по любому из п.п. 17-23, в котором вокруг оптоволокну на внешней стороне поточной линии размещен экран.

20 25. Способ по п. 24, в котором дополнительно осуществляют акустическое экранирование оптоволокну от внешнего шума посредством экрана.

25 26. Способ по любому из п.п. 17-25, в котором оптоволокну присоединено к приемнику, и при определении присутствия твердых частиц в текучей среде:

принимают от приемника акустический сигнал, создаваемый текучей средой внутри поточной линии и содержащий множество признаков в частотной области, характеризующих акустический сигнал по спектру частот;

30 сравнивают множество признаков в частотной области с сигнатурой события, содержащей пороги или интервалы для одного или более из множества признаков в частотной области;

определяют, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события;

определяют присутствие твердых частиц в текучей среде внутри поточной линии на основе определения того, что множество признаков в частотной области согласуется с сигнатурой события; и

5 генерируют выходные данные присутствия твердых частиц в текучей среде, в случае определения присутствия твердых частиц в текучей среде внутри поточной линии.

10 27. Способ по п. 26, в котором выходные данные идентифицируют местоположение твердых частиц, ударяющихся о внутреннюю поверхность поточной линии, и способ дополнительно включает инициирование ремонтных работ по месту на поточной линии.

15 28. Способ по любому из п.п. 17-27, в котором дополнительно: генерируют акустический тест-сигнал в первом месте на поточной линии; обнаруживают акустический тест-сигнал с использованием оптоволокну, присоединенного к поточной линии;

определяют положение на оптоволокну, где был обнаружен акустический тест-сигнал; коррелируют первое место с положением на оптоволокну; и
20 определяют второе место присутствия твердых частиц в текучей среде, на основе корреляции первого места с положением на оптоволокну.

25 29. Способ обнаружения твердых частиц в поточной линии, в котором: получают совокупность данных выборки, содержащую акустический сигнал, генерируемый в оптоволокну, обмотанном вокруг по меньшей мере части поточной линии с текучей средой, и представляющую акустический сигнал по спектру частот;

определяют множество признаков в частотной области совокупности данных выборки;

30 сравнивают множество признаков в частотной области с сигнатурой события, содержащей множество порогов, интервалов или то и другое, соответствующих указанному множеству признаков в частотной области;

определяют, что множество признаков в частотной области согласуется с порогом, интервалами или тем и другим сигнатуры события; и

определяют присутствие твердых частиц в текучей среде на основе определения того, что множество признаков в частотной области согласуются с порогами, интервалами или тем и другим сигнатуры события.

5 30. Способ по п. 29, в котором оптоволокно соединено с внешней стороной поточной линии и обмотано вокруг ее изгиба.

10 31. Способ по любому из п.п. 29-30, в котором дополнительно определяют место ударов твердых частиц, находящихся внутри текучей среды, о внутреннюю поверхность поточной линии, используя акустический сигнал.

15 32. Способ по любому из п.п. 29-31, в котором дополнительно определяют расход текучей среды в одном или более местах вдоль поточной линии, используя акустический сигнал.

20 33. Способ по любому из п.п. 29-32, в котором оптоволокно обмотано вокруг поточной линии на изгибе, а отношение длины оптоволокну, обмотанного вокруг изгиба, к осевой длине поточной линии превышает 1,5:1.

25 34. Способ по любому из п.п. 29-33, в котором дополнительно выполняют пространственную фильтрацию акустического сигнала для получения совокупности данных выборки для части оптоволокну, обмотанного вокруг изгиба.

30 35. Способ по любому из п.п. 29-34, в котором дополнительно:
генерируют ряд акустических тест-сигналов в нескольких местах на поточной линии;

 определяют положение каждого акустического тест-сигнала из множества акустических тест-сигналов на оптоволокну; и

35 коррелируют положение на поточной линии с положением каждого акустического тест-сигнала на оптоволокну; и

 определяют место присутствия твердых частиц на основе указанной корреляции.

36. Способ разработки модели идентификации состояния для поточной линии, в котором:

получают ряд совокупностей опорных данных для поточной линии, содержащих акустические данные, полученные по спектру частот от одного или более датчиков, присоединенных к по меньшей мере части поточной линии, причем ряд совокупностей опорных данных содержит по меньшей мере одну совокупность опорных данных, полученную при возникновении определенного состояния, и по меньшей мере одну совокупность опорных данных, полученную в отсутствие этого состояния;

определяют один или более признаков в частотной области из совокупностей опорных данных; и

обучают модель, используя один или более признаков в частотной области из по меньшей мере части совокупностей опорных данных.

37. Способ по п. 36, в котором при получении множества совокупностей опорных данных для поточной линии:

выполняют ряд исследований потока в поточной линии, в каждом из которых вводят в текучую среду, протекающую внутри поточной линии, один или более компонентов, включающих углеводородный газ, углеводородную жидкость, водную текучую среду, твердые частицы или комбинации этих компонентов; и

получают акустические данные от одного или более датчиков, присоединенных к поточной линии, для каждого из ряда исследований потока.

38. Способ по п. 36, в котором при получении множества совокупностей опорных данных для поточной линии:

осуществляют работу поточной линии с одним или более протекающими в ней компонентами, включающими углеводородный газ, углеводородную жидкость, водную текучую среду, твердые частицы или комбинации этих компонентов; и

получают акустические данные от одного или более датчиков, присоединенных к поточной линии, при работе поточной линии;

получают идентификацию одного или более компонентов, используя по меньшей мере один датчик из нескольких датчиков.

39. Способ по любому из п.п. 36-38, в котором для обучения модели используется первая часть совокупности опорных данных, и способ дополнительно включает подтверждение достоверности модели, используя вторую часть совокупности опорных данных.

40. Способ по любому из п.п. 36-39, в котором модель включает логистическую регрессионную модель, и при обучении модели:

вводят один или более признаков в частотной области в логистическую регрессионную модель, соответствующую одной или более совокупностей опорных данных из множества совокупностей опорных данных, когда одна или более текучих сред содержит твердые частицы;

вводят один или более признаков в частотной области в логистическую регрессионную модель, соответствующую одной или более совокупностей опорных данных из множества совокупностей опорных данных, когда упомянутые одна или более текучих сред не содержат твердые частицы; и

определяют первую многомерную модель, используя один или более признаков в частотной области в качестве входных данных, причем первая многомерная модель определяет соотношение между присутствием и отсутствием твердых частиц в одной или более текучих средах.

41. Способ по любому из п.п. 36-40, в котором моделью является алгоритм управляемого обучения.

42. Способ по любому из п.п. 36-41, в котором поточной линией является наземная поточная линия.

43. Способ по любому из п.п. 36-42, в котором один или более датчиков содержат оптоволоконный кабель, присоединенный к поточной линии.

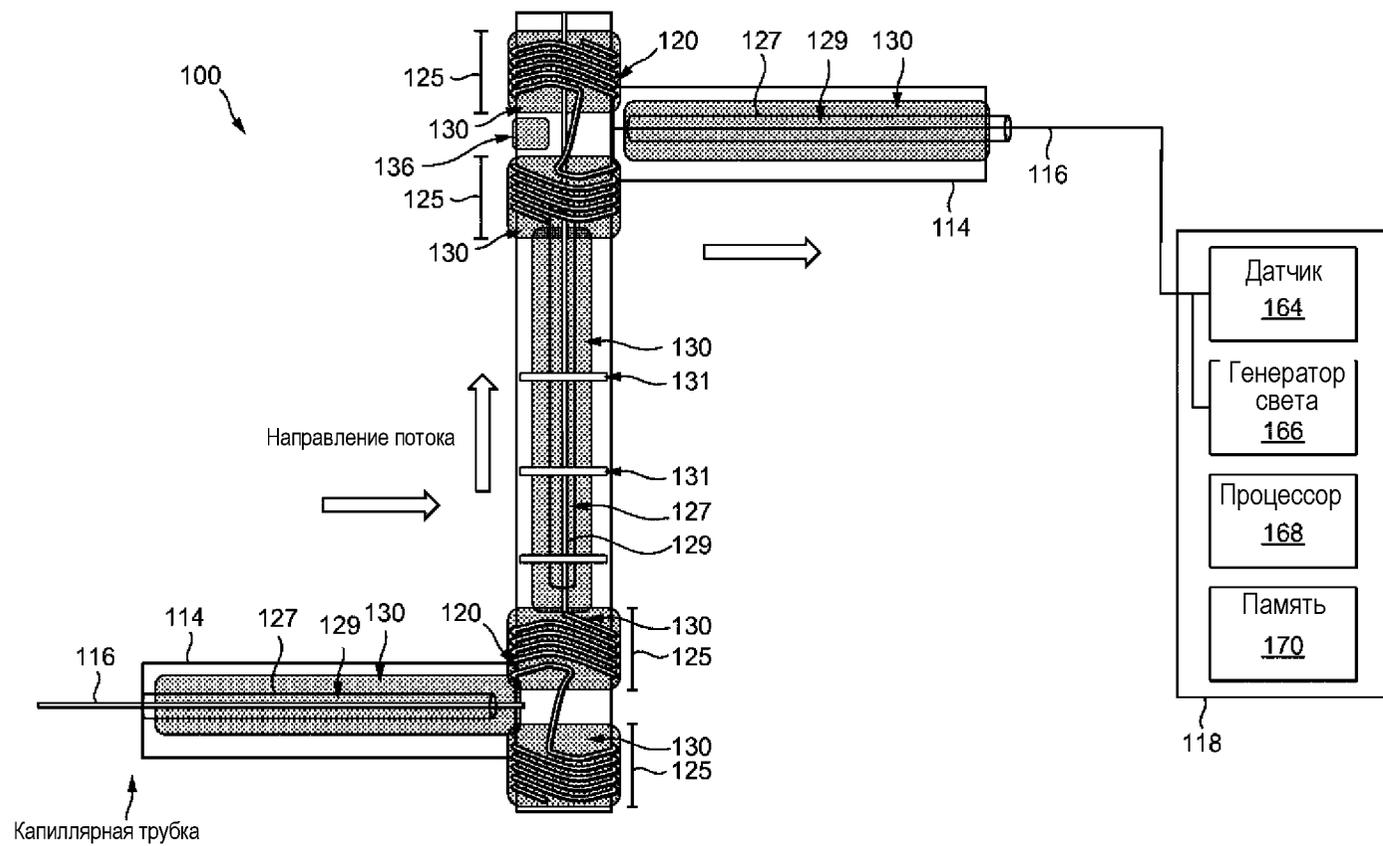
44. Способ по п. 43, в котором оптоволоконный кабель расположен вдоль поточной линии, а акустические данные характеризуют акустический сигнал, возникающий внутри поточной линии.

45. Способ по п. 43 или 44, в котором оптоволоконный кабель обмотан вокруг по меньшей мере одного изгиба в поточной линии, а акустические данные характеризуют акустический сигнал, возникающий внутри поточной линии.

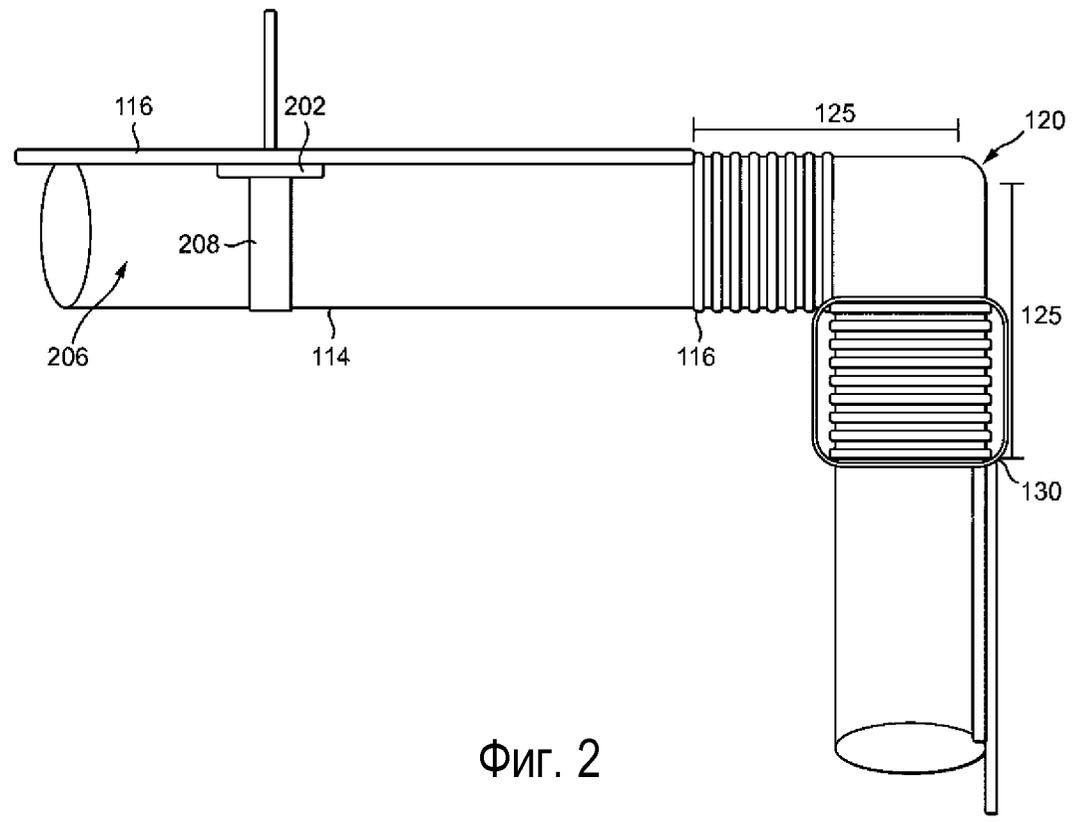
5

46. Способ по любому из п.п. 36-45, в котором упомянутое состояние включает по меньшей мере одно состояние из присутствия твердых частиц в протекающей текучей среде в поточной линии, потока текучей среды в поточной линии или ударов твердых частиц о внутреннюю поверхность поточной линии.

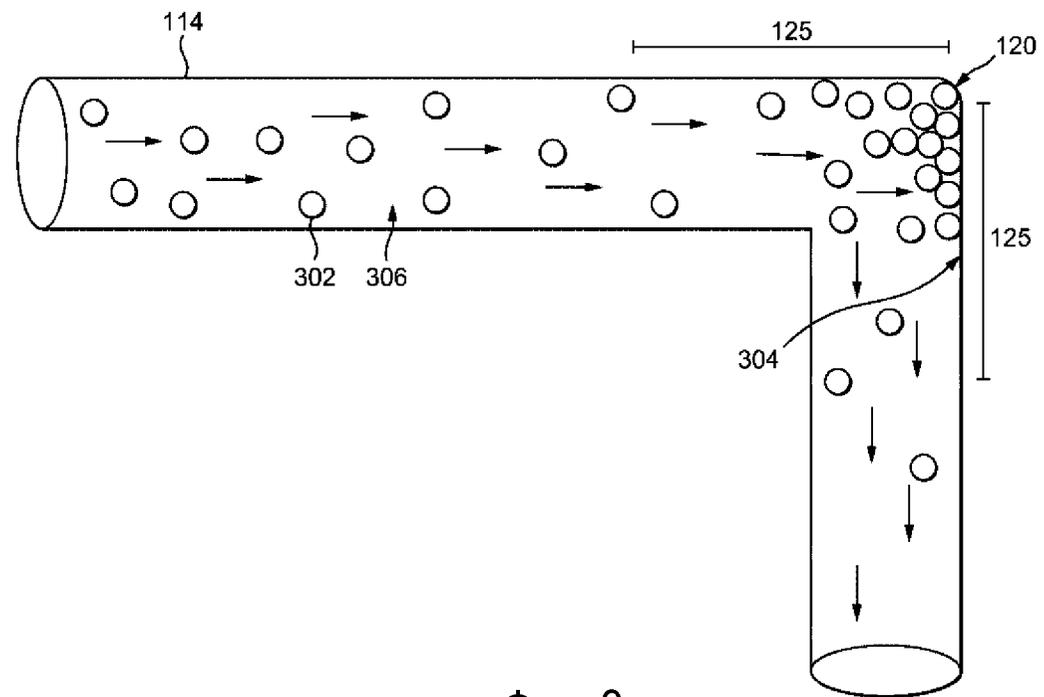
10



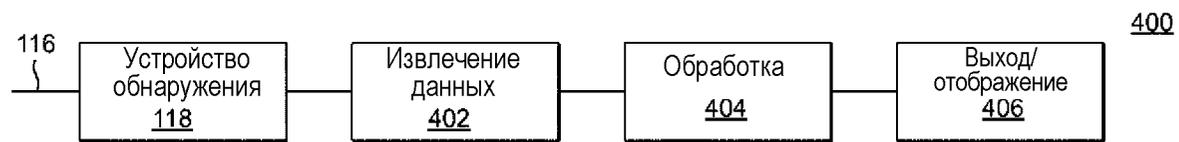
Фиг. 1



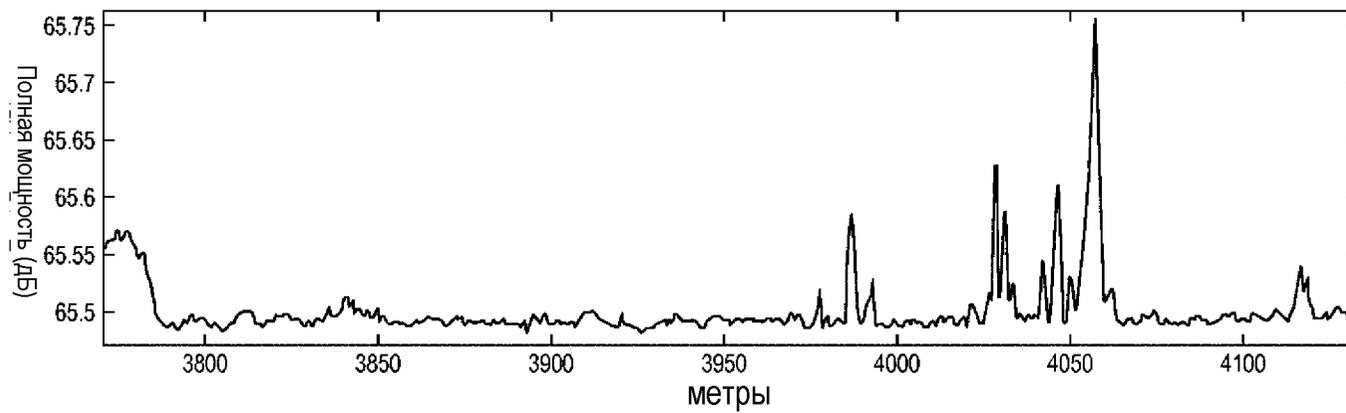
Фиг. 2



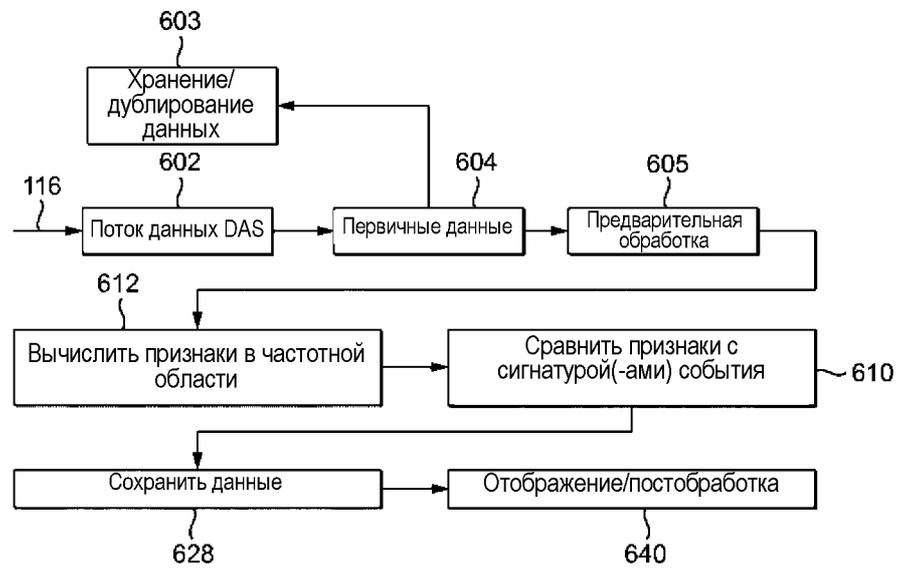
ФИГ. 3



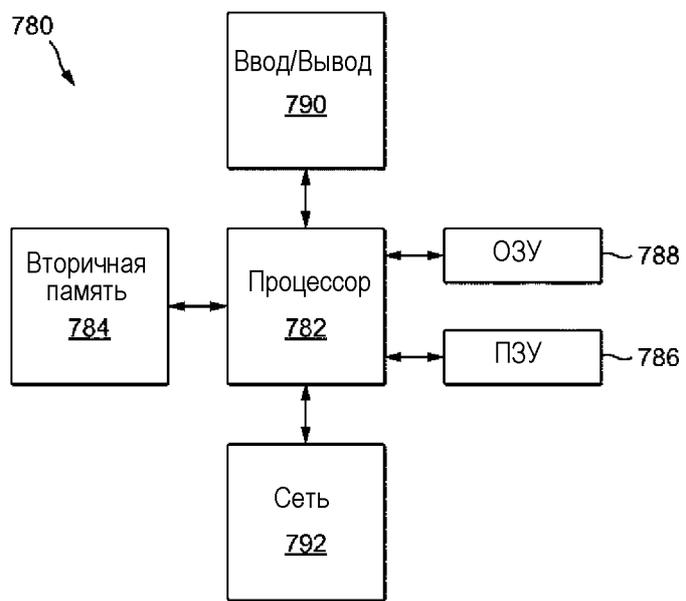
Фиг. 4



Фиг. 5



ФИГ. 6



ФИГ. 7