

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **035577**(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.07.09

(21) Номер заявки
201791162

(22) Дата подачи заявки
2015.12.23

(51) Int. Cl. **G01M 11/00** (2006.01)
G01K 11/32 (2006.01)
G01H 9/00 (2006.01)

(54) РЕФЛЕКТОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ВИБРАЦИЙ И СООТВЕТСТВУЮЩИЙ СПОСОБ КОНТРОЛЯ МНОГОФАЗНЫХ ПОТОКОВ

(31) **MI2014A002244**

(32) **2014.12.23**

(33) **IT**

(43) **2017.12.29**

(86) **PCT/IB2015/059913**

(87) **WO 2016/103201 2016.06.30**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭНИ С.п.А. (IT)

(72) Изобретатель:
**Гальтаросса Андреа, Пальмери Лука,
Цампато Массимо (IT)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Путинцев А.И.,
Игнатьев А.В. (RU)**

(56) **US-A-5592282**

US-A-5848204

CN-U-203519149

US-A1-2009214154

US-A-4545253

US-B2-7668411

S.J. Mullens ET AL.: "OTC 20429 Fiber-Optic Distributed Vibration Sensing Provides Technique for Detecting Sand Production", Offshore Technology Conference held in Houston, 6 May 2010 (2010-05-06), pages 3-6, XP055251095, DOI: dx.doi.org/10.4043/20429-MS Retrieved from the Internet: URL:https://www.onepetro.org/download/conference-paper/OTC-20429-MS?id=conference-paper/OTC-20429-MS [retrieved on 2016-02-17] the whole document

(57) В изобретении представлена рефлектометрическая система для измерения вибраций, предназначенная для контроля многофазных потоков в добывающих скважинах или трубопроводах с использованием многомодовых волокон, содержащая измерительное многомодовое оптоволокно; оптический источник по меньшей мере с одним выходным оптоволоконным портом, генерирующий оптические импульсы, посылаемые в указанное измерительное волокно; оптический приемник по меньшей мере с одним многомодовым оптоволоконным входным портом; оптическое устройство по меньшей мере с тремя многомодовыми оптоволоконными портами, в котором один порт связан с оптическим источником, один порт - с оптическим приемником и один порт - с измерительным многомодовым волокном; систему для обработки выходных сигналов оптического приемника, дополнительно содержащую более одного фильтра пространственной моды. Кроме того, описан способ реконфигурирования оптической рефлектометрической системы, которая уже установлена в структуре, подвергаемой контролю.

B1**035577****035577****B1**

Настоящее изобретение относится к системе измерения вибраций и соответствующему способу контроля многофазных потоков, в частности, в добывающих скважинах или трубопроводах, с использованием многомодового оптоволокна.

Большинство неоптических методов не предусматривает прямого взаимодействия с потоком (кроме трубок Вентури и смесителей потока), а основаны на взаимодействии с излучением различного вида. Таким образом, существует томография с использованием гамма-излучения, рентгеновского излучения и ультразвуковая томография, томография с использованием электрического импеданса и анализ диэлектрических постоянных с использованием излучения микроволнового диапазона. По своей природе эти методы не подходят для использования в скважине.

В общем случае оптические датчики можно подразделить на два класса: те датчики, которые мы будем называть датчиками "прямого действия", в которых световое излучение взаимодействует с потоком, и датчики "непрямого действия", в которых световое излучение не взаимодействует с потоком.

В датчиках прямого действия в общем случае для оценки состава потока используют явление полного внутреннего отражения, ослабления переданной или исчезающей волны и флуоресценцию; часто используют спектральные методы. Примеры датчиков прямого действия также включают оптические томографические датчики.

В случае оптических датчиков непрямого действия излучение используется, как правило, для измерения температуры или деформации, воздействующих на датчик (который представляет собой волокно, резонатор и т.п.) со стороны трубопровода, структуры скважины или даже воздействующих непосредственно из самого потока. Следует отметить, что в случае датчиков непрямого действия измеренные физические параметры не являются только температурой или деформацией; на их основе могут быть получены и другие параметры. В частности, измерения деформации соответствуют измерениям давления или вибраций, а обе ситуации часто отличаются лишь полосой частот наблюдаемого явления. Поэтому вибрацию идентифицируют как акустическую энергию, и, таким образом, один из самых полезных - оптоволоконный датчик вибрации - существует на рынке как распределенный акустический датчик. Информацию о многофазной структуре потока получают на основе этих базовых физических измерений с использованием соответствующих физических моделей и обработки первичных данных.

В данном контексте следует подчеркнуть очень важную роль, играемую распределенными оптоволоконными датчиками. В контексте измерения многофазного потока представляют интерес измерения распределения температуры и вибраций, которые обеспечивают непрерывное отображение всей скважины с достаточным пространственным разрешением, поскольку позволяют с помощью соответствующих алгоритмов вычисления оценить характеристики потока. Следует отметить, что такие распределенные измерения могут быть выполнены вдоль скважины только с применением технологий на основе использования оптоволокна.

В пределах скважины и в непосредственной близости от нее часто устанавливают множество оптических волокон, в общем случае выполненных из кварца и расположенных параллельно скважине. Имеется два типичных применения таких волокон: двунаправленная передача данных по шине между скважиной и поверхностью или работа в качестве распределенного датчика температуры с использованием рамановской техники.

В патенте США 7668411, зарегистрированном корпорацией Schlumberger Tech. Corp., предложено различное использование таких уже установленных волокон для создания распределенного датчика вибрации посредством пространственного анализа обратно рассеянного сигнала вследствие эффекта Рэлея.

Измерительное устройство представляет собой так называемый оптический рефлектометр временной области (OTDR), который содержит импульсный оптический источник с высокой когерентностью, как правило, лазер с распределенной обратной связью (DFB); вследствие пространственной когерентности лазерного источника обратно рассеянный сигнал благодаря точкам рассеяния в пределах оптического импульса индуцирует интерференционный сигнал в приемнике.

Вследствие своей природы измерение рэлеевского рассеяния упрощается, если используется одномодовое оптическое волокно. Решение, предложенное в патенте США 7668411, предусматривает введение между когерентным рефлектометром OTDR и многомодовым волокном (см. фиг. 3, 4, 5 и 6 указанного патента) "системы с одномодовой пространственной фильтрацией". И вновь в указанном патенте в "системе с одномодовой пространственной фильтрацией" используется одномодовое волокно или воздушный микроканал.

У решения, описанного в указанном патенте, имеются три следующих критических недостатка:

I. Использование системы с одномодовой пространственной фильтрацией (такой как расщепитель луча в одномодовом волокне), расположенной между лазерным источником и многомодовым измерительным волокном, приводит к сильному ослаблению измеряемого сигнала; типичное ослабление в соединении между одномодовым волокном и многомодовым волокном может варьироваться от 6 до 15 дБ. Эти потери значительно ухудшают отношение сигнал/шум и поэтому ограничивают максимальную длину измерительного волокна, пространственное разрешение, диапазон вибраций или чувствительность устройства. Потери оптического сигнала еще больше, если, как предложено в патенте США 7668411, для изготовления одномодового пространственного фильтра используется воздушный микроканал.

II. Может произойти так, что выбранная "одионочная пространственная мода" временно нечувствительна к вибрациям в скважине. Эта проблема описана в патенте США № 7668411, в этом же патенте предлагается решить эту проблему, выбирая другой "спекл"; однако нет никакого описания, как делать этот выбор.

III. Интерпретация измерений распределенных вибрации может привести к критическим ситуациям. Фактически не следует забывать, что цель патента состоит в том, чтобы повторно использовать многомодовые волокна, уже установленные в скважинах для вышеуказанных целей передачи данных или измерения температуры, поэтому не обязательно оптимизированные для измерения вибраций. Многомодовые волокна предпочтительнее одномодовых для установки вдоль скважин вследствие большей простоты установки и соединений. Этот аспект делает конфигурацию системы для измерения вибраций субоптимальной и усложняет определение точных математических моделей для увязывания измерений вибраций со свойствами многофазного потока.

Была разработана новая система, которая решает эти три проблемы, указанные выше, путем устранения системы с одномодовой пространственной фильтрацией, предложенной в патенте США № 7668411 и введением подходящего оптического устройства, имеющего по меньшей мере 3 порта, основанных на многомодовом волокне между источником, многомодовым измерительным волокном измерения и приемником. Это обеспечивает лучшее отношение сигнал-шум, что можно использовать для улучшения динамических характеристик, разрешения или чувствительности.

Что касается распределенного измерения вибраций в многомодовых волокнах, изобретение позволяет решить некоторые проблемы, присущие решению, известному в литературе, которое предусматривает использование одномодового волокна между приемником и многомодовым измерительным волокном. При этом новое решение позволяет минимизировать потери, вносимые благодаря соединению между одномодовым волокном и многомодовым волокном, что повышает качество измерений. Кроме того, новшество позволяет одновременно осуществлять контроль различных спеклов обратно рассеянного сигнала, а следовательно, является нечувствительным к проблеме постепенного изменения индивидуального спекла, которая в противном случае, нарушила бы работу системы, известной в литературе.

Рефлектометрическая система для измерения вибраций согласно настоящему изобретению, предназначенная для контроля многофазных потоков, в частности, в добывающих скважинах или трубопроводах с использованием многомодовых волокон, содержит

- измерительное многомодовое оптоволокно;
- оптический источник по меньшей мере с одним выходным оптоволоконным портом, генерирующий оптические импульсы, посылаемые в указанное измерительное волокно;
- оптический приемник по меньшей мере с одним многомодовым оптоволоконным входным портом;
- оптическое устройство по меньшей мере с 3 многомодовыми оптоволоконными портами, в котором один порт связан с оптическим источником, один порт - с оптическим приемником и один порт - с измерительным многомодовым волокном;

систему для обработки выходных сигналов оптического приемника, дополнительно содержащую более одного фильтра пространственной моды.

Оптический приемник предпочтительно может содержать фотодиод или несколько фотодиодов.

Фотодиод или фотодиоды предпочтительно могут быть с сегментированной приемной площадкой, по меньшей мере с 2 отдельными измерительными сегментами, а более предпочтительно с 4.

Оптический приемник может также содержать волокна с несколькими пространственными модами, установленные между входом приемника и фотодиодом или фотодиодами с сегментированной приемной площадкой (так что указанные волокна не являются одномодовыми). Количество канализированных мод в волокне с несколькими пространственными модами должно быть меньше 17, даже считая вырожденные моды, более предпочтительно меньше 13, еще более предпочтительно меньше 7.

Когда имеются по меньшей мере два фотодиода, оптический приемник может дополнительно содержать

- либо многомодовый оптоволоконный расщепитель сигнала, при этом в указанном расщепителе имеется 1 входной порт и количество выходных портов, по существу равное количеству фотодиодов, при этом входной порт расщепителя связан со входным портом приемника, а каждый выходной порт расщепителя связан с каждым фотодиодом некоторым отрезком многомодового оптоволоконного кабеля, при этом одномодовые волокна могут быть связаны с многомодовым волокном посредством адиабатического преобразователя моды;

- либо "фотонный фонарь" с многомодовым входом и количеством одномодовых оптоволоконных выходов, по существу равным количеству фотодиодов, при этом входной порт фотонного фонаря связан с входом оптического приемника, а каждый одномодовый выход фотонного фонаря связан с каждым фотодиодом.

Оптическое устройство, имеющее по меньшей мере 3 многомодовых оптоволоконных порта, предпочтительно может быть выбрано из следующих:

- направленный ответвитель;
- ответвитель/расщепитель мощности;

циркулятор;
оптический переключатель.

Оптический источник может предпочтительно содержать

лазер с высокой степенью когерентности, который испускает модулированный сигнал из выходного порта оптического источника;

лазер с высокой степенью когерентности, который генерирует непрерывный свет, и оптический модулятор, связанный с упомянутым лазером, при этом указанный модулятор генерирует оптические сигналы, которые посылаются в выходной порт источника.

Если желательна гетеродинная версия рефлектометрической системы согласно изобретению, в более расширенном составе она обладает следующими конкретными признаками:

оптический источник имеет два выходных порта и испускает модулированный оптический сигнал на первой частоте из первого порта и модулированный оптический сигнал на второй частоте из второго порта;

оптический приемник имеет два входных порта, из которых один является одномодовым и один - многомодовым, при этом указанный многомодовый порт связан с оптическим устройством по меньшей мере 3 многомодовыми оптоволоконными портами, а указанный одномодовый порт связан с указанным вторым портом оптического источника.

В случае гетеродинной версии оптический источник предпочтительно может содержать лазер, который излучает непрерывный свет, и 3-портовый акустически-оптический модулятор, при этом входной порт модулятора связан с лазером, а два выходных порта модулятора составляют выходные порты источника, при этом модулятор выполнен так, что посылает короткие импульсы в первый порт и, по существу, более длинные импульсы - во второй порт, при этом указанный второй порт связан с одномодовым оптоволоконным портом оптического приемника.

Вновь, в случае гетеродинной версии оптический приемник предпочтительно может также содержать поляризационный ответвитель/расщепитель (поляризационный расщепитель луча) с 2 входами и 2 выходами и два фотодетектора, при этом указанный поляризационный ответвитель/расщепитель содержит

первый вход, соединенный с многомодовым портом оптического приемника, и второй вход, связанный с одномодовым входом оптического приемника;

два выхода, соединенных с каждым из этих двух фотодетекторов;

при этом указанные два входа снабжены оптическими системами, способными коллимировать входные оптические пучки;

коллиматор на втором одномодовом входе имеет такие размеры, что генерируют коллимированный луч, который, по существу, перекрывает фундаментальную моду первого многомодового входа.

Фотодетекторы предпочтительно представляют собой фотодиоды с сегментированной приемной площадкой, имеющие по меньшей мере 2 сегмента.

Коллиматор одномодового входа ответвителя/расщепителя предпочтительно имеет такие размеры, что генерирует коллимированный луч, который, по существу, равномерно освещает фотодиоды с сегментированной приемной площадкой.

Оптоволокно с несколькими модами предпочтительно размещают между многомодовым входом приемника и соответствующим входом поляризационного ответвителя/расщепителя, при этом указанное оптоволокно с несколькими модами не является одномодовым.

Количество канализированных мод в оптоволокне с несколькими модами должно быть меньше 17, даже считая вырожденные моды, более предпочтительно меньше 13, еще более предпочтительно меньше 7.

Вновь, в случае гетеродинной версии оптический приемник может альтернативно содержать

пространственный демультиплексор с одним многомодовым входом и по меньшей мере двумя одномодовыми выходами, при этом указанный многомодовый вход связан с многомодовым входом оптического приемника;

оптический расщепитель с одним входом и количеством выходов, равным количеству одномодовых выходов указанного пространственного демультиплексора, при этом указанный вход связан с одномодовым входом оптического приемника;

количество фотодетекторов, равное количеству одномодовых выходов указанного пространственного демультиплексора;

количество оптических ответвителей, равное количеству одномодовых выходов указанного пространственного демультиплексора, при этом каждый ответвитель объединяет каждый одномодовый выход пространственного демультиплексора с другим выходом указанного оптического делителя и направляет объединенный свет в один из фотодетекторов.

Пространственный демультиплексор может содержать многомодовый оптоволоконный расщепитель мощности, в котором каждый многомодовый выход связан с одномодовым оптоволоконном.

Многомодовые волокна могут быть связаны с указанными многомодовыми выходами посредством адиабатических преобразователей моды.

Пространственный демультиплексор может также представлять собой "фотонный фонарь".

Еще одной целью настоящего изобретения является способ измерения вибраций вдоль некоторой структуры с использованием системы, определенной выше, и включает

обнаружение многомодового измерительного оптоволокну, установленного вдоль структуры, подвергаемой контролю;

посылку светового импульса в указанное измерительное оптоволокну;

выбор одного или большего количества спеклов света, обратно рассеянного в измерительном оптоволокну благодаря рэлеевскому рассеянию посланного импульса;

генерацию сигнала, который показывает вибрации вдоль структуры, подвергнутой контролю, по множеству спеклов, собранных из указанного оптоволокну.

Указанный способ может также включать использование многомодового волокна для подачи обратно рассеянного света в оптический приемник.

Для сбора множества спеклов предпочтительно используют следующее:

либо фотодиод с сегментированной приемной площадкой;

либо многомодовый оптоволоконный расщепитель мощности с двумя или большим количеством выходных портов, при этом каждый выход связан с фотодиодом;

либо фотонный фонарь.

Еще одной целью настоящего изобретения является способ измерения вибраций вдоль некоторой структуры с использованием гетеродинной системы согласно изобретению, включающий

разделение света, созданного источником, на два различных тракта;

модуляцию света в первом тракте с формированием оптического импульса, который испускается в измерительное оптоволокну, в то время как свет во втором оптическом тракте имеет оптическую частоту, которая отличается от частоты света в первом тракте;

объединение света во втором тракте с каждым из множества спеклов, собранных в измерительном оптоволокну;

обнаружение сигнала только на частоте, равной разности между частотой света в первом тракте и частотой света во втором тракте.

Еще одной целью настоящего изобретения является процесс реконfigurирования оптической рефлектометрической во временной области системы, которая уже установлена в структуре, в которой производится контроль.

Отображение колебаний вдоль скважины может быть выполнено бесконтактно в технике рефлектометрии, основанной на когерентном рэлеевском рассеянии с использованием уже установленного оптоволокну. В частности, анализируют обратно рассеянный сигнал, и с использованием двух (или большего количества) приемников параллельно можно обработать различные спеклы, связанные с интерференцией различных мод, при этом каждый несет информацию о пространстве и времени, которая меняется согласно внешнему возмущению - обычно механическому растяжению, температуре и вибрациям. В то время как механическое растяжение и температура испытывают медленные вариации, вибрации по своей природе быстро меняются вдоль скважины как во времени, так и в пространстве, что облегчает их распознавание и последующий анализ. Пространственное отображение температуры, деформации и вибраций (вдоль скважины) позволяет идентифицировать неисправности, вариации состава многофазного потока, образование узких мест вследствие осаждения гидратов и т.д. в режиме реального времени.

Известно, что измерение вибраций может быть намного более точным, если выполнено с использованием одномодового оптоволокну; как следствие, если желательно использовать многомодовые волокна, уже установленные в скважинах, приходится принять более низкие уровни рабочих характеристик, чем оптимальные. Новаторская идея включает использование того же самого многомодового волокна для опроса локальных датчиков, установленных вдоль скважины, для объединения результатов измерений распределенных вибраций с другими физическими параметрами. Такие локальные датчики могут быть установлены во время обслуживания скважины, возможно как объекты, уже интегрированные непосредственно в специфические компоненты скважины (например, вентили и т.д.). Измеренный параметр также может быть вибрациями, но локализованными в точке нахождения датчика, полным внутренним отражением для прямого анализа трехфазного потока, как уже описано в документах, относящихся к современному уровню данной области техники. Индивидуальные датчики можно опрашивать посредством методов мультиплексирования по длине волны так, чтобы одно и то же многомодовое волокно можно было использовать для одновременного измерения распределенных вибраций и опроса локальных датчиков.

Процесс согласно настоящему изобретению для реконfigurирования оптической рефлектометрической системы, содержащей многомодовое измерительное оптоволокну, установленное вдоль указанной структуры, источник для посылки оптических сигналов в указанное многомодовое измерительное волокно, оптический приемник для приема света, обратно рассеянного указанным измерительным волокном вследствие рэлеевского рассеяния посланного импульса, по существу, включает введение между измерительным волокном и оптическим приемником устройства для пространственного разделения множества спеклов света, обратно рассеянного вследствие рэлеевского рассеяния.

Устройство для пространственного разделения множества спеклов предпочтительно может содержать

многомодовый оптоволоконный расщепитель мощности, каждый выход которого связан с фотодиодом;

многомодовое оптоволокно, связанное с фотодиодом с сегментированной приемной площадкой;

фотонный фонарь, каждый выход которого связан с фотодиодом.

Указанный процесс может также включать генерацию сигнала, показывающего вибрации вдоль структуры, на которой проводят контроль, посредством аналитической системы на основе множества зарегистрированных спеклов.

Для лучшего понимания изобретения приведены примеры, демонстрирующие эффективность предложенной системы.

Пример 1.

Упрощенная схема показана на фиг. 1.

Лазер 101 с высокой когерентностью и длиной волны излучения, как правило, между 800 и 1650 нм (предпочтительно между 1300 и 1650 нм), управляемый генератором 102 электрических сигналов (импульсным генератором), испускает оптические импульсы обычно длительностью 3-200 нс (предпочтительно 20-100 нс) с частотой повторения по меньшей мере 1 кГц, которые попадают во входной порт 3 дБ-направленного ответвителя (многомодовый направленный ответвитель) 103, связанного с многомодовым измерительным волокном (многомодовое волокно) 104 через оптический соединитель 105. Сигнал, обратно рассеянный от установленного многомодового волокна, попадает в ответвитель 103 через оптический соединитель 105, и часть сигнала попадает во второй ответвитель 106, все выполненные с использованием многомодовых оптоволокон предпочтительно того же самого типа, что и многомодовое измерительное волокно, для уменьшения потерь в соединениях и паразитных отражений. Два приемника 108 с одномодовым шлейфом (одномодовым оптоволоком) 107, которые измеряют две различных части многомодового спекла, связаны с выходом ответвителя 106. После этих двух фотодиодов (ФД) 108, связанных с генератором 102, имеется плата 109 для обработки обратно рассеянных оптических сигналов и управляющего сигнала из генератора электрических сигналов (обработка электрического сигнала).

Пример 2.

Схема, показанная на фиг. 2, аналогична показанной на фиг. 1, но ответвитель 103 заменен 3-портовым оптическим циркулятором (многомодовым оптическим циркулятором) 201 с вносимыми потерями, как правило, 1 дБ и направленностью больше чем 40 дБ,

Пример 3.

Схема, показанная на фиг. 3, аналогична показанной на фиг. 1, но многомодовые выходы ответвителя 106 соединены в одномодовый шнур 107 посредством плавных переходов 301 (см. фиг. 6). Эти переходы могут быть осуществлены следующими двумя способами:

i) ограниченные отборы интенсивности выполнены после сплавления одномодового волокна с многомодовым волокном, чтобы облегчить диффузию легирующего агента от сердцевины к оболочке;

ii) между этими оптоволоконками размещают очень короткий отрезок волокна с несколькими модами, геометрические характеристики которого и показатель преломления между ядром и оболочкой отличаются и являются промежуточными между аналогичными параметрами одномодового волокна и многомодового волокна.

Оба решения i) и ii) позволяют уменьшить потери в соединении.

Пример 4.

Схема, показанная на фиг. 4, аналогична показанной на фиг. 2, но введены два плавных перехода 301.

Пример 5.

Схема, показанная на фиг. 5, аналогична показанной на фиг. 2, но перед фотодиодами размещены короткие отрезки оптоволокон с несколькими модами, предпочтительно с двумя.

Пример 6.

Схема, показанная на фиг. 6, аналогична показанной на фиг. 1, но введен акустически-оптический модулятор (модулятор) для создания когерентной приемной системы, которая, возможно, также чувствительна к поляризации.

Пример 7.

Схема, показанная на фиг. 7, аналогична показанной на фиг. 1, но в приемной части введен фотодиод с сегментированной приемной площадкой (с двумя или большим количеством независимых чувствительных областей) с формированием массива из двух или большего количества приемников, каждый из которых чувствителен к одному спеклу. Фотодиод с сегментированной приемной площадкой чувствителен к длинам волн между 800 и 1700 нм.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Рефлектометрическая система для измерения вибраций, предназначенная для контроля многофазных потоков с использованием многомодовых волокон, содержащая

измерительное многомодовое оптоволокно;

оптический источник по меньшей мере с одним выходным оптоволоконным портом, генерирующий оптические импульсы, посылаемые в указанное измерительное волокно;

оптический приемник по меньшей мере с одним многомодовым оптоволоконным входным портом;

оптическое устройство по меньшей мере с тремя многомодовыми оптоволоконными портами, в котором один порт связан с оптическим источником, один порт - с оптическим приемником и один порт - с измерительным многомодовым волокном; и

систему для обработки выходных сигналов оптического приемника, дополнительно содержащую более одного фильтра пространственной моды.

2. Система по п.1, в которой оптический приемник содержит по меньшей мере один фотодиод, предпочтительно фотодиод с сегментированной приемной площадкой по меньшей мере с двумя отдельными измерительными сегментами, более предпочтительно с четырьмя.

3. Система по п.2, в которой оптический приемник дополнительно содержит волокна с несколькими пространственными модами, установленные между входом приемника и указанным по меньшей мере одним фотодиодом.

4. Система по п.3, в которой количество направляемых мод в волокне с несколькими пространственными модами, считая вырожденные моды, меньше 17, предпочтительно меньше 13, более предпочтительно меньше семи.

5. Система по п.1, в которой оптический приемник содержит по меньшей мере два фотодиода.

6. Система по п.5, в которой оптический приемник дополнительно содержит многомодовый оптоволоконный расщепитель сигнала, при этом указанный расщепитель имеет один входной порт и количество выходных портов, по существу, равное количеству фотодиодов, при этом входной порт расщепителя связан со входным портом приемника, а каждый выходной порт расщепителя связан с каждым фотодиодом отрезком одномодового оптоволокна.

7. Система по п.6, в которой одномодовые волокна связаны с многомодовыми волокнами посредством адиабатического преобразователя моды.

8. Система по п.5, в которой оптический приемник дополнительно содержит фотонный фонарь с многомодовым входом и количеством одномодовых оптоволоконных выходов, по существу, равным количеству фотодиодов, при этом входной порт фотонного фонаря связан с входом оптического приемника, а каждый одномодовый выход фотонного фонаря связан с каждым фотодиодом.

9. Система по п.1, в которой оптическое устройство, имеющее по меньшей мере три многомодовых оптоволоконных порта, предпочтительно выбрано из следующих:

направленный ответвитель;

ответвитель/расщепитель мощности;

циркулятор;

оптический переключатель.

10. Система по п.1, в которой оптический источник содержит

лазер с высокой степенью когерентности, который испускает модулированный сигнал из выходного порта оптического источника;

лазер с высокой степенью когерентности, который генерирует непрерывный свет, и

оптический модулятор, связанный с упомянутым лазером, при этом указанный модулятор генерирует оптические сигналы, которые посылаются в выходной порт источника.

11. Система по п.1 в гетеродинном исполнении, в которой

оптический источник имеет два выходных порта и испускает модулированный оптический сигнал на первой частоте из первого порта и модулированный оптический сигнал на второй частоте из второго порта;

оптический приемник имеет два входных порта, из которых один является одномодовым и один - многомодовым, при этом указанный многомодовый порт связан многомодовым волокном с оптическим устройством по меньшей мере с тремя многомодовыми оптоволоконными портами, а указанный одномодовый порт связан с указанным вторым портом оптического источника.

12. Система по п.11, в которой оптический приемник дополнительно содержит поляризационный расщепитель луча/ответвитель с двумя входами и двумя выходами и два фотодетектора, при этом указанный поляризационный расщепитель содержит

первый вход, соединенный с многомодовым портом оптического приемника, и второй вход, связанный с одномодовым входом оптического приемника;

два выхода, соединенных с каждым из этих двух фотодетекторов;

при этом указанные два входа снабжены оптическими системами, способными коллимировать

входные оптические пучки;

коллиматор на втором одномодовом входе имеет такие размеры, что генерирует коллимированный луч, который, по существу, перекрывает фундаментальную моду первого многомодового входа.

13. Система по п.12, в которой фотодетекторы представляют собой фотодиоды сегментированной приемной площадки, при этом одномодовый вход ответвителя/расщепителя предпочтительно имеет такие размеры, что генерирует коллимированный луч, который, по существу, равномерно освещает фотодиоды сегментированной приемной площадки.

14. Система по п.13, в которой фотодиоды имеют по меньшей мере два отдельных измерительных сегмента, предпочтительно четыре.

15. Система по п.13, в которой между многомодовым входом приемника и соответствующим входом поляризационного расщепителя луча размещено оптоволокно с несколькими модами, при этом указанное оптоволокно с несколькими модами не является одномодовым.

16. Система по п.15, в которой количество направляемых мод в оптоволокне с несколькими модами, считая вырожденные моды, меньше 17, более предпочтительно меньше 13, еще более предпочтительно меньше семи.

17. Система по п.11, в которой оптический приемник содержит пространственный демультиплексор с одним многомодовым входом и по меньшей мере двумя одномодовыми выходами, при этом указанный многомодовый вход связан с многомодовым входом оптического приемника;

оптический расщепитель с одним входом и количеством выходов, равным количеству одномодовых выходов указанного пространственного демультиплексора, при этом указанный вход связан с одномодовым входом оптического приемника;

количество фотодетекторов, равное количеству одномодовых выходов указанного пространственного демультиплексора;

количество оптических ответвителей, равное количеству одномодовых выходов указанного пространственного демультиплексора, при этом каждый ответвитель объединяет каждый одномодовый выход пространственного демультиплексора с другим выходом указанного оптического делителя и направляет объединенный свет в один из фотодетекторов.

18. Система по п.17, в которой указанный пространственный демультиплексор содержит многомодовый оптоволоконный расщепитель мощности, в котором каждый многомодовый выход связан с одномодовым оптоволокном.

19. Система по п.18, в которой многомодовые волокна связаны с указанными многомодовыми выходами посредством адиабатических преобразователей моды.

20. Система по п.24, в которой указанный пространственный демультиплексор представляет собой фотонный фонарь.

21. Система по п.11, в которой оптический источник содержит лазер, который излучает непрерывный свет, и акустически-оптический модулятор с тремя портами, при этом входной порт модулятора связан с лазером, а два выходных порта модулятора представляют собой выходные порты источника, и при этом модулятор посылает короткие импульсы в первый порт и, по существу, более длинные импульсы - во второй порт, при этом второй порт связан с одномодовым портом оптического приемника.

22. Способ измерения вибраций вдоль структуры посредством системы по меньшей мере по одному из пп.1-10, включающий

обнаружение многомодового измерительного оптоволокна, установленного вдоль структуры, подвергаемой контролю;

посылка светового импульса в указанное измерительное оптоволокно;

выбор одного или большего количества спеклов обратно рассеянного света в измерительном оптоволокне, обусловленных рэлеевским рассеянием посланного импульса;

генерацию сигнала, который показывает вибрации вдоль структуры, подвергнутой контролю, из множества спеклов, собранных из указанного оптоволокна.

23. Способ по п.22, дополнительно включающий использование многомодового волокна для подачи обратно рассеянного света в оптический приемник.

24. Способ по п.22, в котором для сбора множества спеклов предпочтительно используют следующее:

либо фотодиод с сегментированной приемной площадкой;

либо многомодовый оптоволоконный расщепитель мощности с двумя или большим количеством выходных портов, при этом каждый выходной порт связан с фотодиодом;

либо фотонный фонарь.

25. Способ по п.22, дополнительно включающий

разделение света, созданного источником, на два различных тракта;

модуляцию света в первом тракте с формированием оптического импульса, который испускается в измерительное оптоволокно, в то время как свет во втором оптическом тракте имеет оптическую частоту, которая отличается от частоты света в первом тракте;

объединение света во втором тракте с каждым из множества спеклов, собранных в измерительном оптоволокне;

обнаружение сигнала только на частоте, равной разности между частотой света в первом тракте и частотой света во втором тракте.

26. Способ формирования рефлектометрической системы для измерения вибраций по п.1 путем реконфигурирования оптической рефлектометрической системы, которая уже установлена в контролируемой структуре, содержащей измерительное многомодовое оптоволокно, установленное вдоль указанной структуры, оптический источник для посылки импульсов в указанное многомодовое измерительное волокно, оптический приемник для приема обратно рассеянного света из указанного измерительного оптоволокна, обусловленного рэлеевским рассеянием посланного импульса, при этом способ включает установку устройства для пространственного разделения множества спеклов света, обратно рассеянного вследствие рэлеевского рассеяния, между измерительным оптоволокном и оптическим приемником;

при этом упомянутое оптическое устройство имеет по меньшей мере три многомодовых оптоволоконных порта, при этом один порт связан с оптическим источником, один порт - с оптическим приемником и один порт - с измерительным многомодовым волокном.

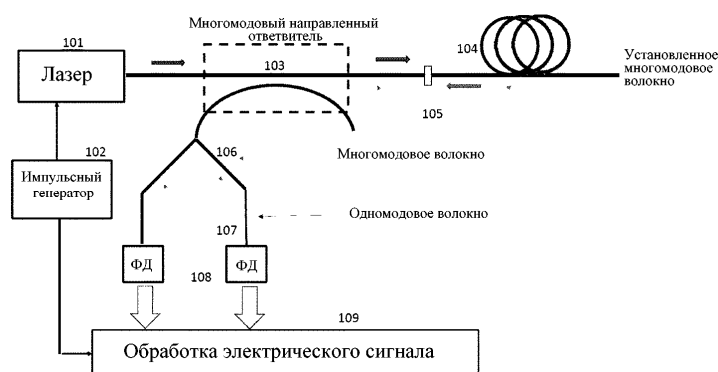
27. Способ по п.26, в котором устройство для пространственного разделения множества спеклов содержит

либо многомодовый оптоволоконный расщепитель мощности, в котором каждый выход связан с фотодиодом,

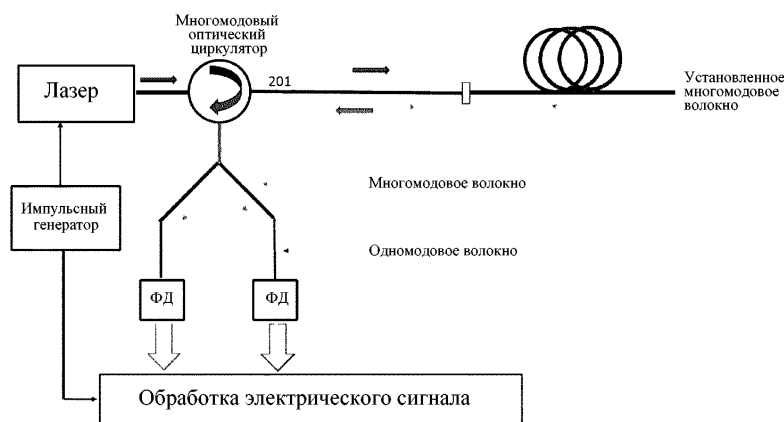
либо многомодовое оптоволокно, связанное с фотодиодом с сегментированной приемной площадкой,

либо фотонный фонарь, в котором каждый выход связан с фотодиодом.

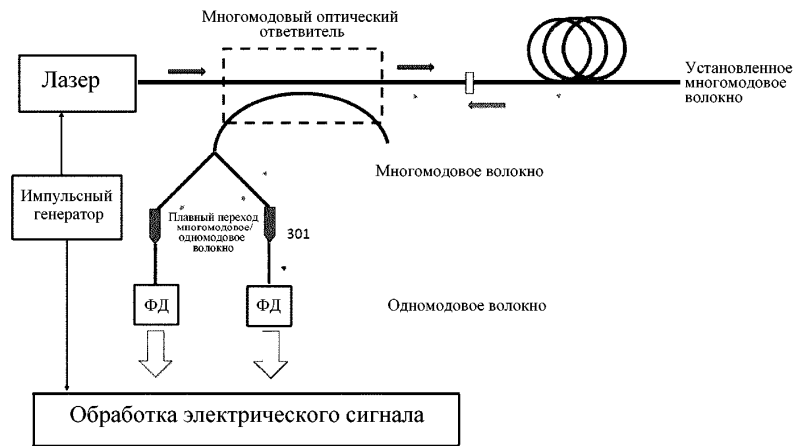
28. Способ по п.26, дополнительно включающий генерирование сигнала, показывающего вибрации вдоль структуры, подвергаемой контролю, посредством системы анализа на основе множества зарегистрированных спеклов.



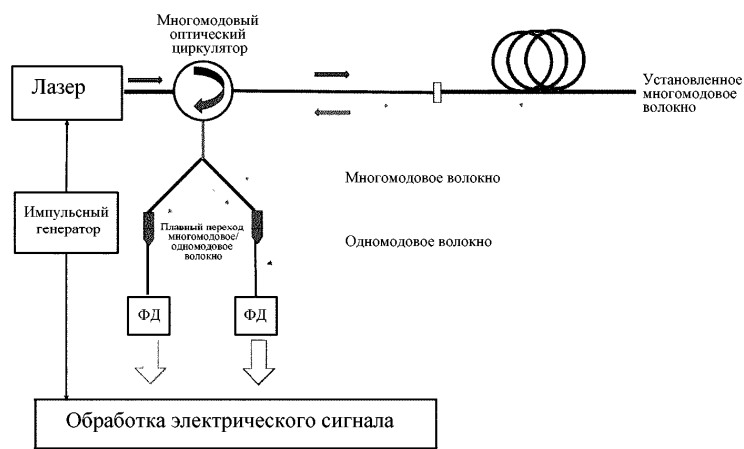
Фиг. 1



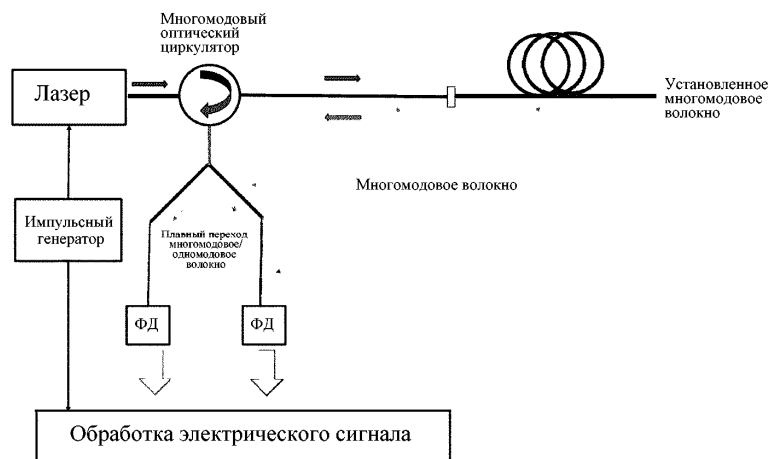
Фиг. 2



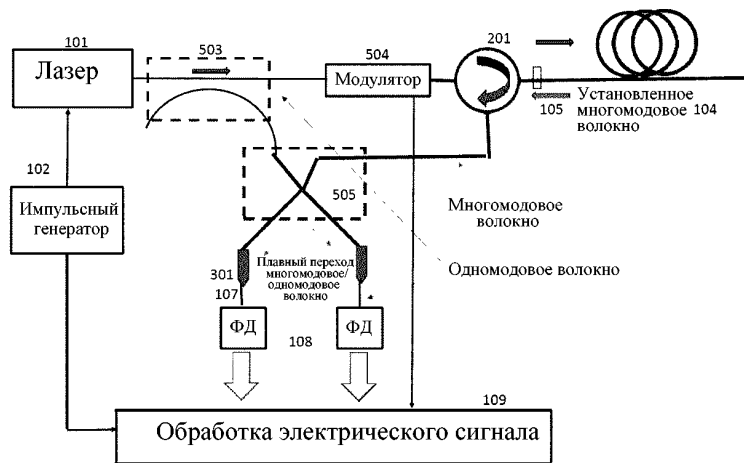
Фиг. 3



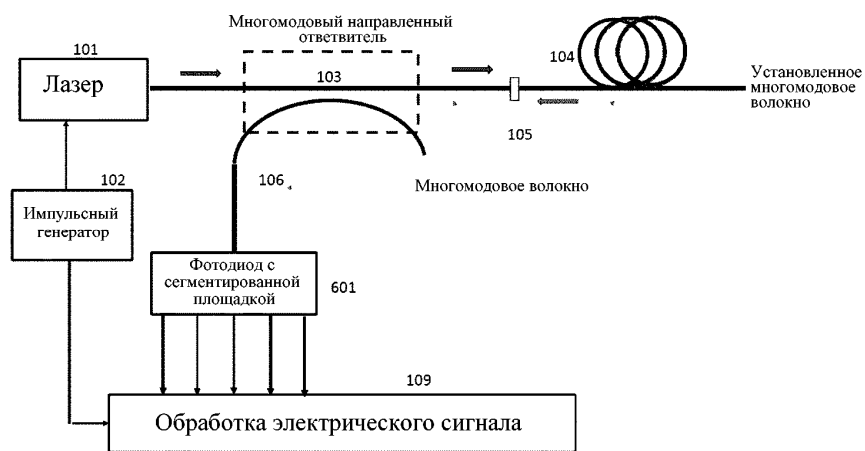
Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7

