

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **046065**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2024.02.02

(21) Номер заявки
202291027

(22) Дата подачи заявки
2020.10.02

(51) Int. Cl. **G01N 29/04** (2006.01)
G01N 29/24 (2006.01)
E21B 47/07 (2012.01)
E21B 47/14 (2006.01)

(54) **ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОПРОСА**

(31) **62/910,194**

(32) **2019.10.03**

(33) **US**

(43) **2022.07.29**

(86) **PCT/US2020/053894**

(87) **WO 2021/067662 2021.04.08**

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

(72) Изобретатель:
Стопфорд Пол, Симанджунтак Сурия
(FR), Кортуков Дмитрий (US)

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

(56) **WO-A1-2018093368**
US-A1-20190212761
US-A1-20180058982
US-A1-20050279510
US-B2-7428924

(57) Измерительное оптическое волокно содержит несколько волноводов или жил для обеспечения возможности измерения нескольких измеряемых параметров с помощью одного волокна. Волокно может представлять собой волокно с двойной оболочкой, имеющее одномодовую жилу и многомодовую жилу, расположенную радиально или по окружности вокруг одномодовой жилы. Ответитель на основе волокна с двойной оболочкой вводит исходный свет от опрашивающего устройства DAS и опрашивающего устройства DTS в волокно с двойной оболочкой при применении.

B1

046065

046065
B1

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Все без исключения заявки, по которым испрашивается иностранный или внутренний приоритет, указаны в информационном листке заявки, поданном вместе с настоящей заявкой, настоящим включены путем ссылки в соответствии с разделом 37 Свода федеральных правил, пункт 1.57. Настоящая заявка испрашивает преимущество приоритета по предварительной заявке на патент США № 62/910194, поданной 3 октября 2019 г., которая полностью включена в настоящий документ посредством ссылки и должна рассматриваться как часть настоящего описания.

Уровень техники

Область техники

Настоящее изобретение в целом относится к распределенному волоконно-оптическому мониторингу.

Описание известного уровня техники

Волоконно-оптические измерительные системы могут быть применены для распределенного (акустического) мониторинга температуры, деформации и/или вибрации. Такие системы могут содержать опрашивающие устройства и оптические волокна, действующие как распределенные датчики. Опрашивающее устройства применяют различные механизмы рассеяния в материале оптического волокна. Различные типы оптических волокон могут особенно хорошо подходить для различных измеряемых параметров. Например, многомодовое волокно может хорошо подходить для измерений температуры, а одномодовое волокно может хорошо подходить для измерений деформации и вибрации.

Для применения в нефтяных и газовых скважинах такие измерительные оптические волокна могут быть развернуты в предварительно установленных линиях управления (например, металлических трубах) методом закачки. Линии управления могут возвращаться на поверхность в U-образной конфигурации, чтобы обеспечить выход для прокачивания текучих сред и возможность опроса по двустороннему волокну. Линии и волокна обычно заканчиваются на поверхности, часто с помощью компонентов барьера давления. Волокна могут быть сращены с поверхностным кабелем, который подключается к опрашивающим устройствам.

Краткое изложение сущности изобретения

В некоторых конфигурациях волоконно-оптическая измерительная система для применения в стволе скважины содержит многожильное оптическое волокно; прибор распределенного акустического измерения (DAS - англ.: Distributed Acoustic Sensing), содержащий опрашивающее устройство; прибор распределенного измерения температуры (DTS - англ.: Distributed Temperature Sensing), содержащий опрашивающее устройство; и ответвитель или оптический переключатель, расположенный между многожильным оптическим волокном и приборами DAS и DTS.

Система может содержать устройство фильтрации по длинам волн, расположенное между ответвителем и прибором DAS. Устройство фильтрации по длинам волн может представлять собой тонкопленочный фильтр. Многожильное оптическое волокно может иметь многомодовый основной волновод, концентрически или радиально окружающий одномодовый основной волновод. Система может иметь двухстороннюю конфигурацию с первым концом многожильного оптического волокна, соединенным с ответвителем или оптическим переключателем, и вторым концом оптического волокна, соединенным с прибором DTS. Система может содержать второй ответвитель или оптический переключатель, расположенный между многожильным оптическим волокном и прибором DTS, с первым концом многожильного оптического волокна, соединенным с ответвителем или оптическим переключателем, и вторым концом оптического волокна, соединенным со вторым ответвителем или оптическим переключателем. Система может содержать множество многожильных оптических волокон и множество ответвителей или оптических переключателей, причем каждый из множества ответвителей или оптических переключателей связан с одним из множества многожильных оптических волокон. Такая система может содержать переключатель, расположенный между прибором DAS и множеством ответвителей или оптических переключателей, причем переключатель выполнен с возможностью мультиплексирования прибора DAS.

В некоторых конфигурациях способ развертывания многожильного оптического волокна в стволе скважины включает развертывание линии управления в стволе скважины, причем линия управления содержит металлическую трубу; и закачку многожильного оптического волокна в линию управления.

Многожильное оптическое волокно может содержать многомодовый основной волновод, концентрически или радиально окружающий одномодовый основной волновод. Закачка многожильного оптического волокна может включать применение воды, например, морской воды, толуола, ксилола и/или IPA в качестве несущей среды. Ствол скважины может быть закончен с помощью многоступенчатого заканчивания, включающего верхнее заканчивание и нижнее заканчивание, и закачка многожильного оптического волокна может позволить многожильному оптическому волокну достичь нижнего заканчивания. Развертывание линии управления может включать применение соединителя линии управления для влажных условий (CLWM - англ.: Control Line Wet Mate) для соединения первой части линии управления в верхнем заканчивании со второй частью линии управления в нижнем заканчивании. Затем закачка многожильного оптического волокна может включать развертывание непрерывного оптического волокна через первую и вторую части линии управления для достижения нижнего заканчивания. Разверты-

вание линии управления может включать соединение линии управления с внешней частью эксплуатационной колонны, развернутой в стволе скважины. Развертывание линии управления может включать размещение линии управления снаружи обсадной колонны ствола скважины и цементирование линии управления на месте. Развертывание линии управления может включать размещение линии управления внутри гибкой насосно-компрессорной трубы.

Краткое описание графических материалов

Некоторые варианты осуществления, признаки, аспекты и преимущества настоящего изобретения далее в данном документе будут описаны со ссылкой на сопровождающие графические материалы, на которых одинаковые номера позиций обозначают одинаковые элементы. Следует понимать, что прилагаемые фигуры показывают различные варианты реализации, описанные в настоящем документе, и не предназначены для ограничения объема различных технологий, описанных в настоящем документе.

На фиг. 1А представлен частичный вид в перспективе иллюстративного варианта осуществления многожильного волокна с двойной оболочкой.

На фиг. 1В представлено распределение мод волокна согласно фиг. 1А.

На фиг. 2 графически изображена чувствительность фотоприемника к свету, излучаемому DTS и DAS.

На фиг. 3 схематически изображен режим работы ответвителя на основе волокна с двойной оболочкой (DCF - англ.: Dual Clad Fiber).

На фиг. 4 схематически изображена система опроса распределенных измерений на основе DCF с применением DCF ответвителя и односторонней конфигурации.

На фиг. 5 схематически изображена система опроса распределенных измерений на основе DCF с применением DCF ответвителя и двухсторонней конфигурации.

На фиг. 6 схематически изображена система опроса распределенных измерений на основе DCF с применением двухсторонней конфигурации и двух DCF ответвителей для улучшения изоляции DTS/DAS.

На фиг. 7 схематически представлена система опроса распределенных измерений на основе DCF с применением DCF переключателя и односторонней конфигурации.

На фиг. 8 схематически представлена многоканальная система опроса распределенных измерений на основе DCF.

На фиг. 9 графически показаны данные DTS, измеренные на отрезке DCF.

На фиг. 10 графически показано измерение фонового шума с помощью DAS.

На фиг. 11 изображен график "SEG-Y" данных DAS, записанных на DCF.

На фиг. 12 изображен оптический спектр, показывающий импульс или падающий свет и три полосы рассеяния.

На фиг. 13А изображен пример заканчивания скважины, в котором линия управления для оптических волокон соединена с эксплуатационной колонной.

На фиг. 13В изображен пример заканчивания скважины, в котором линия контроля соединена с внешней стороной обсадной колонны.

На фиг. 13С изображен пример заканчивания скважины, в котором линия управления установлена внутри гибкой колонны насосно-компрессорных труб.

На фиг. 14 изображен пример многоступенчатого заканчивания скважины, в котором соединитель линии управления для влажных условий применяется для обеспечения закачки оптического волокна в нижнее заканчивание.

На фиг. 15 изображено схематическое поперечное сечение примера многожильного волокна, имеющего несколько одномодовых жил.

На фиг. 16 изображено схематическое поперечное сечение примера многожильного волокна, имеющего несколько многомодовых жил.

На фиг. 17 изображено схематическое поперечное сечение примера многожильного волокна или волокна с двойной оболочкой, имеющего комбинацию одномодовых и многомодовых жил.

На фиг. 18 изображено схематическое поперечное сечение примера многожильного волокна или волокна с двойной оболочкой, имеющего концентрические одномодовые и многомодовые жилы.

На фиг. 19 изображен пример мультиплексора с разделением по длине волны.

Подробное описание изобретения

В последующем описании изложены многочисленные подробности, чтобы обеспечить понимание некоторых вариантов осуществления настоящего изобретения. Следует понимать, что в нижеследующем раскрытии представлено много различных вариантов осуществления, или примеров, для реализации различных признаков различных вариантов осуществления. Ниже описаны конкретные примеры компонентов и расположения для упрощения настоящего раскрытия. Разумеется, это лишь примеры и они не носят ограничительного характера. Однако специалистам в данной области техники будет понятно, что систему и/или методологию можно применять на практике без этих подробностей и что возможны многочисленные вариации или модификации описанных вариантов осуществления. Данное описание не должно рассматриваться в ограничивающем смысле, а приведено исключительно в целях описания об-

щих принципов вариантов осуществления. Объем описанных вариантов осуществления должен устанавливаться со ссылкой на приведенную формулу изобретения.

Используемые в настоящем документе термины "соединить", "соединение", "соединенный", "в соединении с" и "соединяющий" означают "в непосредственном соединении с" или "в соединении через один или несколько элементов"; а термин "комплект" означает "один элемент" или "более одного элемента". Кроме того, термины "сцеплять", "сцепление", "сцепленный", "сцепленные между собой" и "сцепленный с" означают "непосредственно сцепленные между собой" или "сцепленные между собой через один или более элементов". Используемые в настоящем документе термины "вверх" и "вниз"; "верхний" и "нижний"; "верх" и "низ"; а также другие подобные термины, обозначающие положения относительно заданной точки или элемента, применяются для более понятного описания некоторых элементов. Обычно эти термины относятся к опорной точке на поверхности, от которой начинают осуществлять буровые работы, при этом она является верхней точкой, а общая глубина является нижней точкой, причем скважина (например, ствол скважины, буровая скважина) является вертикальной, горизонтальной или наклонной относительно поверхности.

Настоящее раскрытие в целом относится к системам и способам выполнения распределенных измерений в оптическом волокне, например, в волокне с двойной оболочкой или многожильном оптическом волокне. Такие системы и способы могут быть применены в нефтегазовой промышленности, например, для мониторинга пластов, скважин и активов. Волоконно-оптические измерительные системы могут быть применены для распределенного (акустического) мониторинга температуры, деформации и/или вибрации. Такие системы могут содержать опрашивающие устройства и оптические волокна, действующие как распределенные датчики. В процессе применения в оптическое волокно подается импульс света. Когда свет проходит по волокну, крошечные частицы света взаимодействуют со структурой волокна и рассеиваются обратно к прибору сбора данных.

Существует три основных типа рассеяния. На фиг. 12 изображен оптический спектр, показывающий импульс или падающий свет и три полосы рассеяния. Рассеяние Рэлея является самым сильным компонентом рассеянного света и имеет ту же длину волны, что и импульсный свет. Рассеянный свет Рэлея применяется для распределенного акустического измерения (DAS). Полоса рассеяния Бриллюэна чувствительна к температуре и деформации. Другими словами, ее длина волны или частота будет меняться в зависимости от температуры и деформации. Рассеяние Бриллюэна может быть применено для распределенного измерения деформации (DSS - англ.: distributed strain sensing). Однако трудно отличить или разделить тепловую деформацию и механическую деформацию. Рассеяние Рамана разделяется на две полосы, стоксовую и антистоксовую. Амплитуда стоксового рассеяния не чувствительна к температуре, в то время как амплитуда антистоксового рассеяния чувствительна к температуре. Соотношение между амплитудами стоксового рассеяния и антистоксового рассеяния применяется для распределенного измерения температуры (DTS).

Опрашивающие устройства волоконно-оптических измерительных систем применяют различные механизмы рассеяния в материале оптического волокна. Различные типы оптических волокон могут особенно хорошо подходить для различных измеряемых параметров. Например, многомодовое волокно может хорошо подходить для измерений температуры, а одномодовое волокно может хорошо подходить для измерений деформации и вибрации.

Для применения в нефтяных и газовых скважинах такие измерительные оптические волокна могут быть развернуты в предварительно установленных линиях управления (например, металлических трубах) методом закачки. Волокно закачивается, обычно с водой (например, морской водой в некоторых случаях), толуолом, ксилолом и/или IPA в качестве несущей среды, в предварительно установленные линии управления или металлические трубы. Линии управления могут проходить по длине скважины и возвращаться на поверхность в U-образной конфигурации, чтобы обеспечить выход для прокачивания текучих сред и возможность опроса по двустороннему волокну. В качестве альтернативы линии управления могут проходить по длине скважины и заканчиваться на забое, так что только один конец трубы доступен на поверхности. Линии и волокна обычно заканчиваются на поверхности, часто с помощью компонентов барьера давления. Волокна могут быть сращены с поверхностным кабелем, который подключается к опрашивающим устройствам.

Оптоволокно может закачиваться или устанавливаться при одноступенчатом и двухступенчатом заканчивании. При одноступенчатом заканчивании скважины линия управления является непрерывной по всей длине скважины. Линия 20 управления может быть развернута в различных конфигурациях, например, соединена с внешней стороной эксплуатационной колонны 30, как показано на фиг. 13А, соединена с внешней стороной обсадной колонны 40 и зацементирована на месте, как показано на фиг. 13В, или установлена внутри эксплуатационной колонны. На фиг. 13С показана конфигурация, в которой линия 20 управления установлена внутри гибкой колонны насосно-компрессорных труб. Для многоступенчатых заканчиваний процесс закачки волокна позволяет оптическому волокну (волокнам) переходить в нижнее заканчивание. В настоящее время не существует оптоволокна для влажных условий, которое может обеспечить надежное соединение на забое между оптическим кабелем верхнего и нижнего заканчиваний. Поэтому без процесса закачки оптическое волокно не сможет достичь нижнего заканчивания. Со-

единитель линии управления для влажных условий (CLWM), показанный на фиг. 14, позволяет закачивать волокно в многоступенчатое заканчивание. Дополнительные сведения о технологии CLWM можно найти, например, в патентах США № 7798212, 7640977 и 7503395, которые включены в настоящий документ посредством ссылки. CLWM представляет собой самоориентирующееся устройство, которое соединяет колонну насосно-компрессорных труб линии управления верхнего и нижнего двухступенчатых заканчиваний. После соединения верхней и нижней колонн насосно-компрессорных труб непрерывное оптическое волокно закачивается на место.

Процесс закачки может стать сложным, если требуется несколько волокон для мониторинга нескольких различных измеряемых параметров. Например, традиционно для получения одновременных измерений DAS, DSS и DTS вдоль ствола скважины необходимо развернуть не менее трех волоконно-оптических датчиков. Волокна необходимо закачивать последовательно, и существует высокий риск спутывания волокон, что может привести к блокировке колонны насосно-компрессорных труб. Если происходит спутывание или закупорка, волокна необходимо разорвать на мелкие кусочки и выкачать, а затем повторить процесс с новыми волокнами, что требует больших затрат и времени.

Поэтому некоторые системы и способы согласно настоящему раскрытию включают многожильное волокно 50. Многожильное волокно 50 позволяет проводить одновременное измерение, например, DAS, DSS и/или DTS, в многоступенчатых заканчиваниях. Многожильное волокно 50 представляет собой единую волоконную структуру, содержащую более одного волновода или жилы. Многожильное волокно 50 может содержать несколько волноводов одного или разных типов, например, несколько одномодовых жил 52, как показано на фиг. 15, несколько многомодовых жил 54, как показано на фиг. 16, или комбинацию одномодовых жил 52 и многомодовых жил 54, как показано на фиг. 17. В некоторых конфигурациях одномодовые жилы 52 могут иметь диаметр приблизительно 10 мкм. В некоторых конфигурациях многомодовые сердечники 54 могут иметь диаметр приблизительно 50 или приблизительно 62,5 мкм.

В некоторых конфигурациях многожильное волокно 50 содержит одномодовый волновод или жилу 52 и многомодовый волновод или жилу 54. В некоторых конфигурациях волноводы расположены соосно или концентрически, и многожильное волокно может рассматриваться как волокно с двойной оболочкой (DCF) 10, например, как показано на фиг. 1A-1B и 18. В изображенной конфигурации многомодовая жила 54 окружает, например, радиально или по окружности, одномодовую жилу 52. Как показано, DCF 10 может также содержать внешнюю оболочку 56, радиально или по окружности окружающую многомодовую жилу 54, и внешнее покрытие 58, радиально или по окружности окружающее внешнюю оболочку 56. Внешнее покрытие может представлять собой акрилат или другой подходящий материал. Волокно с двойной оболочкой может иметь диаметр, который является таким же или по существу таким же, как у стандартного одномодового или многомодового волокна, что может позволить закачивать волокно с двойной оболочкой в нефтяном месторождении с помощью обычных методов и процессов закачки. Системы и способы согласно настоящему изобретению содержат компоненты, которые соединяются и/или работают с многожильным волокном или волокном с двойной оболочкой для обеспечения одновременного измерения нескольких измеряемых параметров.

Некоторые системы DAS (распределенного акустического измерения), например, система hDVS, доступная от компании Schlumberger, может работать на одномодовом (SM) или многомодовом (MM) волокнах. Система hDVS работает путем измерения фазы рассеянного света Рэлея на одностороннем оптическом волокне (SE). Поскольку система измеряет фазу, а не амплитуду, не так важно знать потери вдоль волокна. Некоторые системы DTS (распределенное измерение температуры), например, система DTS Ultra, поставляемая компанией Schlumberger, может работать на многомодовых волокнах. Система работает на основе рассеяния Рамана, измеряя разницу между стоксовыми и антистоксовыми полосами, причем антистоксова полоса более чувствительна к температуре. Измерение многомодового волокна в каждом направлении может помочь учесть дифференциальные потери, не связанные с температурой (например, потери при изгибе, водородное потемнение). Поэтому системы DTS могут применяться в односторонней и двухсторонней конфигурациях.

Технологии обнаружения отличаются между системами DAS и DTS из-за длин волн возбуждения лазеров каждой системы. Более конкретно, DTS работает на 1064 нм, а DAS - на 1550 нм. В приборе DTS применяется кремниевый фотодетектор, который может обнаружить частоту 1064 нм и нечувствителен к частоте 1550 нм, создаваемой DAS, как показано на фиг. 2. Однако в приборе DAS применяется детектор InGaAs, который может обнаружить частоту 1064 нм, создаваемую DTS, что также графически показано на фиг. 2.

Поэтому свет DTS должен быть заблокирован до того, как он достигнет прибора DAS, чтобы предотвратить искажения измерений DAS. Этого можно достичь двумя способами, используя пространственное мультиплексирование и мультиплексирование с разделением по длине волны. Волокно с двойной оболочкой представляет собой волновод, который может осуществлять пространственное разделение световых каналов. Поэтому волокно с двойной оболочкой может быть применено для реализации измерений DAS и DTS. Желательно, чтобы как можно больше света DAS оставалось в одномодовой части или жиле волокна с двойной оболочкой, а как можно больше света DTS - во внутренней области оболочки или многомодовой части или жиле волокна с двойной оболочкой.

Мультиплексирование по длине волны может быть достигнуто с помощью WDM (мультиплексора с разделением по длине волны) 101. На фиг. 19 показаны конкретные полосы пропускания/отражения WDM 101. WDM 101 предназначен для работы таким образом, чтобы оптические сигналы проходили или отражались к соответствующим опрашивающим устройствам, например опрашивающим устройствам DAS и DSS, соединенным с портом 3, опрашивающим устройствам DTS, соединенным с портом 2, и измеряемым DCF, соединенным с портом 1. В этом варианте осуществления отсутствует пространственное мультиплексирование. В частности, 1064 нм будет запускаться в одномодовую жилу, и необходимо полагаться на изоляцию фильтра WDM для предотвращения помех от частоты 1064 нм на приборе DAS.

Пространственное мультиплексирование может быть достигнуто с помощью ответвителя 100 на основе волокна с двойной оболочкой. В некоторых конфигурациях ответвитель 100 может применяться в качестве альтернативного подхода к WDM 101, показанному на фиг. 19. На фиг. 3 показан режим работы ответвителя 100. Ответвитель 100 может быть похож на сплавной ответвитель, применяемый для разделения и/или объединения оптических сигналов. Ответвитель 100 предназначен для работы таким образом, что одномодовый канал имеет относительно низкие потери между двумя портами, а многомодовый канал разделяется или объединяется. Потери в многомодовом тракте могут составлять приблизительно 3 дБ. Мультиплексирование с разделением по длине волны может быть введено или достигнуто с помощью необязательного тонкопленочного фильтра или другого устройства фильтрации по длинам волн, размещенного между ответвителем 100 на основе волокна с двойной оболочкой и прибором DAS. Тонкопленочный фильтр предназначен для пропускания 1550 нм и блокирования 1064 нм.

В качестве альтернативного подхода к ответвителю 100 на основе волокна с двойной оболочкой можно использовать оптический переключатель для временного и пространственного мультиплексирования. Пользовательский переключатель, например, с применением такой технологии, как MEMS, может быть применен в конфигурации 2×1. В такой конфигурации порт 1 представляет собой волокно с двойной оболочкой или одномодовое волокно, выполненное с возможностью подключения к DAS. Порт 2 представляет собой многомодовое волокно, выполненное с возможностью подключения к DTS. Общий порт представляет собой волокно с двойной оболочкой, выполненное с возможностью соединения с волокном с двойной оболочкой, которое будет развернуто для измерения. Такой подход потребует не одновременного измерения, и время опроса будет разделено между DAS и DTS. Однако процесс можно автоматизировать и позволить пользователю задавать время сбора данных в зависимости от применения.

На фиг. 4-8 схематически показаны различные примеры конфигураций для системы опроса на основе волокна с двойной оболочкой. Система на фиг. 4 выполнена с возможностью работы в одностороннем режиме и одновременного измерения. Система или прибор 110 DTS содержит опрашивающее устройство, соединенное с многомодовым входным плечом DCF ответвителя 100 или соединенное с ним посредством проволочного вывода. Система или прибор 120 DAS содержит блок 120 опрашивающего устройства, соединенный с входным плечом с двойной оболочкой ответвителя 100 или соединенный с ним посредством проволочного вывода. Вся или большая часть света в жиле одномодового коммутационного кабеля или монтажного шнура DAS передается в одномодовую жилу двухжильного волокна 10. В некоторых конфигурациях для выравнивания одномодовой жилы двухжильного волокна 10 с жилой коммутационного кабеля или монтажного шнура DAS может применяться способ обратной связи по потерям. В некоторых конфигурациях фильтр 130 расположен между опрашивающим устройством 120 DAS и ответвителем 100. Фильтр 130 пропускает излучение DAS (на длине волны 1550 нм), но блокирует свет, создаваемый DTS (на длине волны 1064 нм).

Исходный свет DTS и DAS проходит через измерительное волокно 10 с двойной оболочкой одновременно. Оба сигнала DTS и DAS подвергаются рассеянию Рэлея и Рамана. Свет, рассеянный назад, улавливается волокном с двойной оболочкой и направляется обратно к опрашивающим устройствам 110, 120 через ответвитель 100. Небольшое количество света DTS может быть рассеяно в одномодовой жиле волокна 10 с двойной оболочкой или соединено с одномодовой жилой по всей длине волокна 10. Этот свет DTS в одномодовой жиле блокируется фильтром, прежде чем попасть в систему DAS.

На фиг. 5 схематично показана система опроса на основе волокна с двойной оболочкой, выполненная с возможностью двухсторонней работы и одновременного измерения. Как показано, в двухсторонней конфигурации работает только DTS. Двухсторонняя конфигурация для DTS обеспечивает большую коррекцию потерь, что позволяет повысить точность измерения температуры, например, по сравнению с односторонней системой. Компоненты системы на фиг. 5 в целом такие же, как и в системе на фиг. 4, за исключением того, что в двухсторонней системе на фиг. 5 измерительное волокно 10 с двойной оболочкой направляется обратно в сопряженный порт системы DTS 110. В этой конфигурации свет DTS может быть направлен на одномодовую жилу и части многомодовой внутренней оболочки волокна 10 с двойной оболочкой. Ответвитель 100 является только модально селективным, но не селективным по длине волны, поэтому требуется эффективная фильтрация и блокирование света, создаваемого DTS, перед попаданием в систему DAS для предотвращения или подавления помех при срабатывании источника DTS.

Система опроса на основе волокна с двойной оболочкой на фиг. 6 уменьшает попадание света DTS в одномодовую жилу волокна 10 с двойной оболочкой за счет применения двух ответвителей 100.

На фиг. 7 схематически показана система опроса на основе волокна с двойной оболочкой, содер-

жащая оптический переключатель 140 вместо ответвителя 100. Как показано, переключатель 140 имеет конфигурацию "2×1 порт". В показанной конфигурации переключатель 140 имеет одномодовый режим волокна с двойной оболочкой на входе DAS или подключенное к нему, многомодовое волокно на входе DTS или подключенное к нему, и волокно 10 с двойной оболочкой на общем выходе или подключенное к нему. Другими словами, одномодовый режим волокна с двойной оболочкой может соединить прибор DAS и/или опрашивающее устройство 120 с одним из входов переключателя 140, многомодовое волокно может соединить прибор DTS и/или опрашивающее устройство 110 с другим входом переключателя 140, а измерительное волокно 10 с двойной оболочкой может быть соединено с выходом переключателя 140. В этой конфигурации DAS и DTS не могут быть измерены одновременно, но при применении, прибор, например, контроллер, управляющий переключателем 140, может циклически переключаться между двумя входными портами. Рабочий цикл и продолжительность времени измерения могут быть установлены посредством управляющего программного обеспечения. На фиг. 7 изображена односторонняя конфигурация; однако оптический переключатель 140 может быть применен в двухсторонней конфигурации, например, аналогичной показанной на фиг. 5, с переключателем 140 вместо ответвителя 100.

Существующая многоканальная функциональность опрашивающего устройства 110 DTS может быть применена в применении, в котором необходимо применять и опрашивать несколько измерительных волокон 10. Опрашивающее устройство 120 DAS может быть расширено или мультиплексировано с помощью $1 \times n$ переключателя 150, например, как показано на фиг. 8. Измерения могут быть мультиплексированы по времени по ряду применяемых или опрашиваемых волокон 10. Ответвитель 100 (как показано на фиг. 8) или переключатель 140 применяется для соединения каждого измерительного волокна 10 с двойной оболочкой в системе с опрашивающими устройствами DAS 120 и DTS 110. Таким образом, система с n волокнами 10 содержит n ответвителей 100 и/или переключателей 140.

На фиг. 9-11 изображены данные, полученные с помощью систем опроса на основе волокна с двойной оболочкой, как показано на фиг. 4 и 5. На фиг. 9 показаны данные, записанные с помощью системы DTS 110, содержащей 1000-м отрезок волокна 10 с двойной оболочкой внутри температурной камеры. Длина волокна 10 в температурной камере составляет приблизительно среднюю 1000 м, указанную на графике. Ответвитель 100 расположен на расстоянии приблизительно 80 м и приблизительно 1080 м. Поэтому отклонения, вызванные отражениями, показанные на графике, находятся на концах длины внутри камеры и локализованы. На фиг. 10 показан "собственный шум" DAS для 100 соседних мест на волокне 10 с двойной оболочкой в изоляционной камере. На фиг. 11 показан отклик от волокна 10 с двойной оболочкой в виде графика в стиле "SEG-Y". Полученные данные представляют собой зависимость фазы от расстояния вдоль волокна 10 и времени. Полоса 160 на расстоянии - 530 м соответствует отклику волоконного стретчера на основе PZT, применяющего волокно 10 с двойной оболочкой, модулированное синусоидальным сигналом 63 Гц.

Применяемые в данном документе термины, характеризующие степень, такие как "приблизительно", "около", "в целом" и "по существу", представляют собой значение, количество или характеристику, близкие к указанным значению, количеству или характеристике, которые все еще выполняют желаемую функцию или достигают желаемого результата. Например, термины "приблизительно", "около", "в целом" и "по существу" могут относиться к количеству, которое находится в пределах менее 10%, менее 5%, менее 1%, менее 0,1% и/или менее 0,01% от указанного количества. В качестве другого примера, в некоторых вариантах осуществления термины "в целом параллельный" и "по существу параллельный" или "в целом перпендикулярный" и "по существу перпендикулярный" относятся к значению, количеству или характеристике, которая отклоняется от точной параллели или перпендикуляра, соответственно, менее чем или на 15° , 10° , 5° , 3° , 1° или $0,1^\circ$.

Несмотря на то, что несколько вариантов осуществления настоящего изобретения подробно описаны выше, специалисты в данной области техники легко поймут, что возможно множество модификаций без существенного отступления от идей настоящего изобретения. Соответственно, такие модификации предназначены для включения в объем настоящего изобретения, определенный в формуле изобретения. Также предполагается, что различные комбинации или подкомбинации конкретных признаков и аспектов описанных вариантов осуществления могут быть выполнены и все еще попадают в объем настоящего изобретения. Следует понимать, что различные признаки и аспекты раскрытых вариантов осуществления могут быть объединены друг с другом или заменены друг на друга для формирования различных вариантов осуществления настоящего изобретения. Таким образом, предполагается, что объем раскрытия настоящего документа не должен быть ограничен конкретными вариантами осуществления, описанными выше.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Волоконно-оптическая измерительная система для применения в стволе скважины, причем система содержит

многожильное оптическое волокно, причем многожильное оптическое волокно содержит многомодовый основной волновод, концентрически или радиально окружающий одномодовый основной волно-

вод,

прибор распределенного акустического измерения (DAS), содержащий опрашивающее устройство; прибор распределенного измерения температуры (DTS), содержащий опрашивающее устройство; и ответвитель, мультиплексор с разделением по длине волны или оптический переключатель, расположенный между многожильным оптическим волокном и приборами DAS и DTS.

2. Система по п.1, дополнительно содержащая устройство фильтрации по длинам волн, расположенное между ответвителем, мультиплексором с разделением по длине волны или оптическим переключателем и прибором DAS.

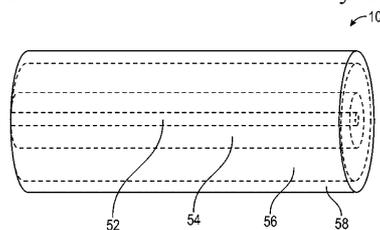
3. Система по п.2, отличающаяся тем, что устройство фильтрации по длинам волн представляет собой тонкопленочный фильтр.

4. Система по п.1, отличающаяся тем, что система имеет двухстороннюю конфигурацию и первый конец многожильного оптического волокна соединен с ответвителем, мультиплексором с разделением по длине волны или оптическим переключателем, а второй конец оптического волокна соединен с прибором DTS.

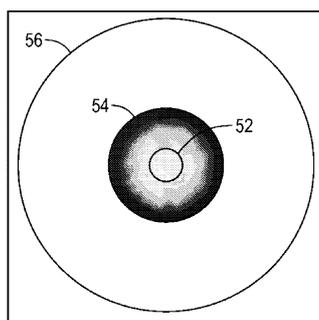
5. Система по п.1, дополнительно содержащая второй ответвитель, мультиплексор с разделением по длине волны или оптический переключатель, расположенный между многожильным оптическим волокном и прибором DTS, причем первый конец многожильного оптического волокна соединен с ответвителем, мультиплексором с разделением по длине волны или оптическим переключателем, а второй конец оптического волокна соединен со вторым ответвителем, мультиплексором с разделением по длине волны или оптическим переключателем.

6. Система по п.1, содержащая множество многожильных оптических волокон и множество ответвителей, мультиплексоров с разделением по длине волны или оптических переключателей, причем каждый из множества ответвителей, мультиплексоров с разделением по длине волны или оптических переключателей связан с одним из множества многожильных оптических волокон.

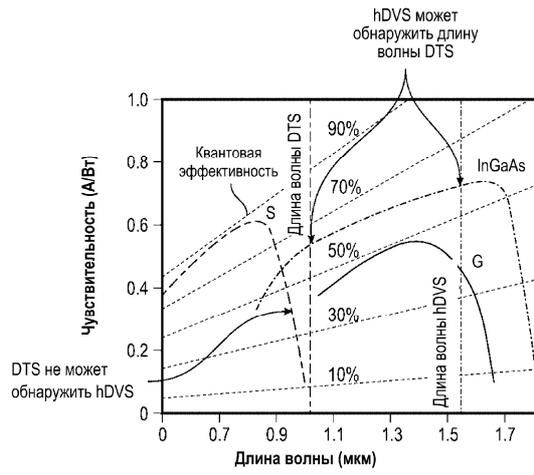
7. Система по п.6, дополнительно содержащая переключатель, расположенный между прибором DAS и множеством ответвителей, мультиплексоров с разделением по длине волны или оптических переключателей, причем переключатель выполнен с возможностью мультиплексирования прибора DAS.



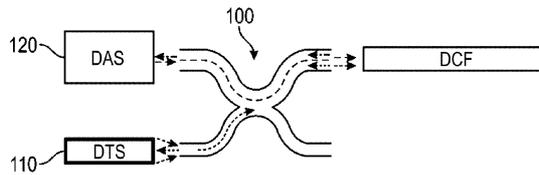
Фиг. 1А



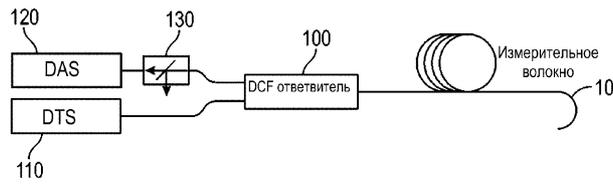
Фиг. 1В



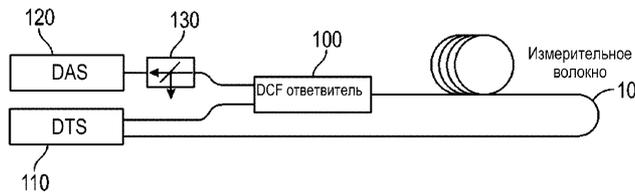
Фиг. 2



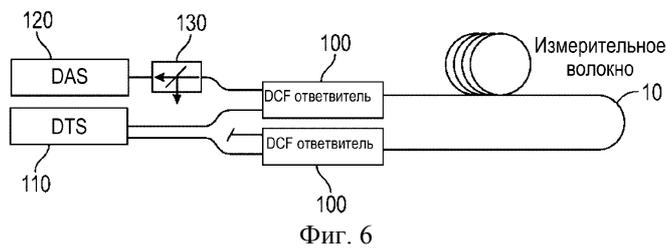
Фиг. 3



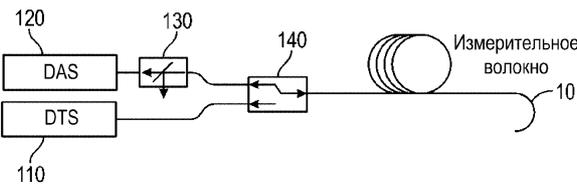
Фиг. 4



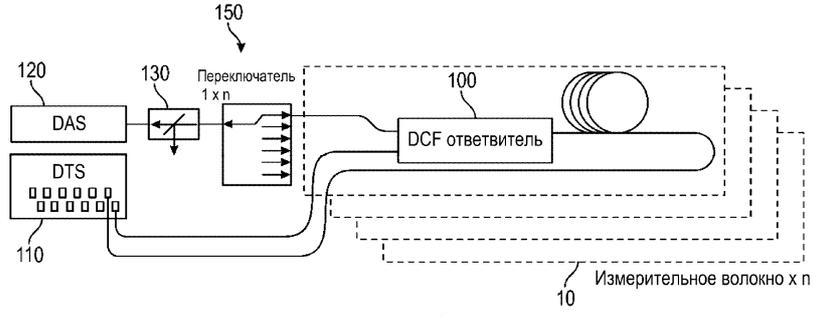
Фиг. 5



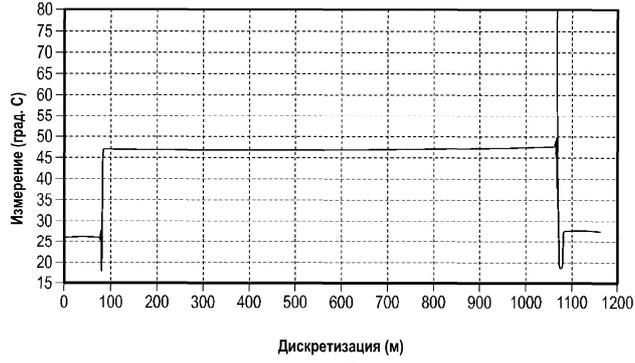
Фиг. 6



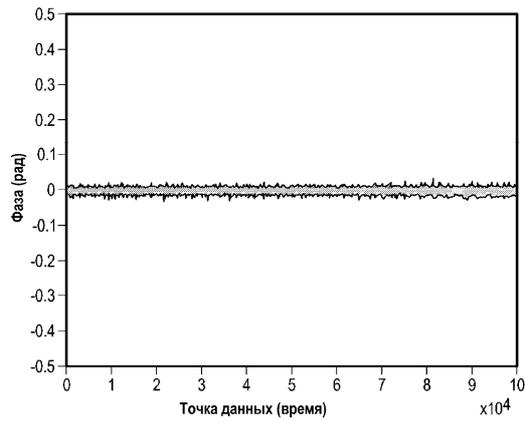
Фиг. 7



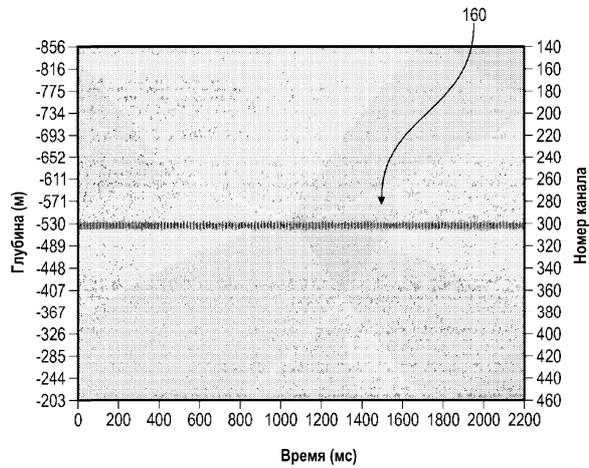
Фиг. 8



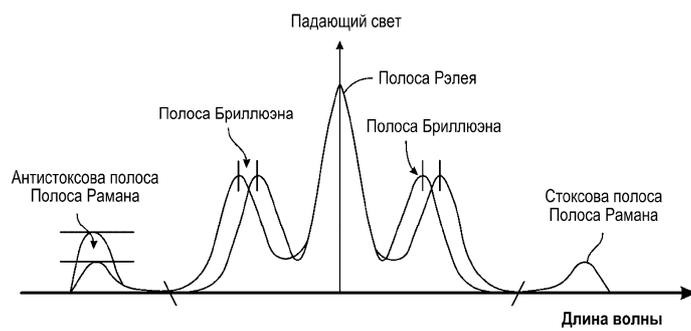
Фиг. 9



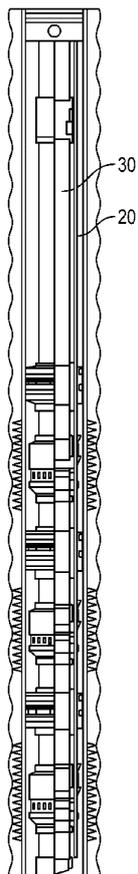
Фиг. 10



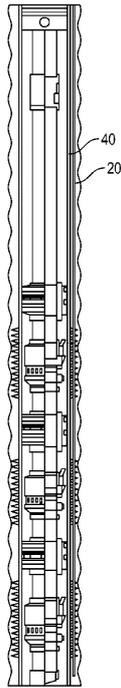
Фиг. 11



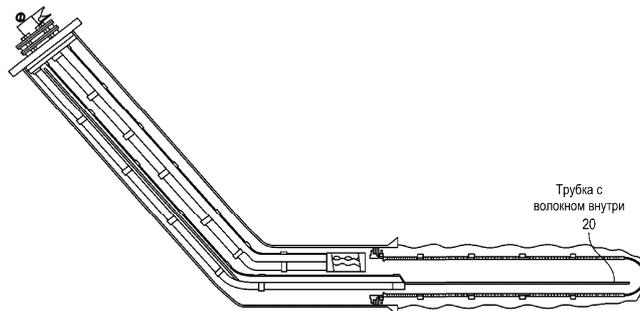
Фиг. 12



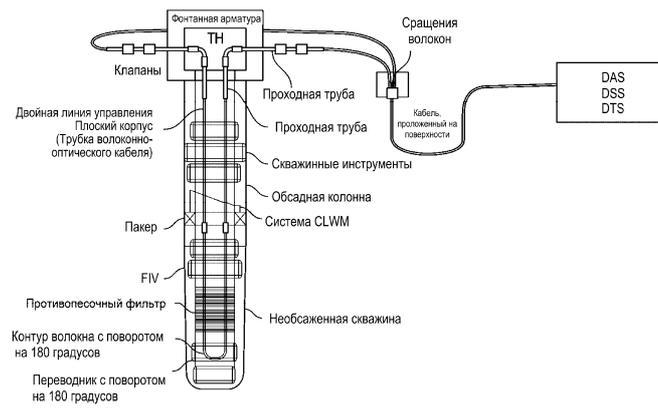
Фиг. 13А



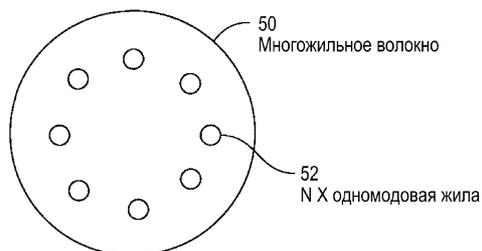
Фиг. 13В



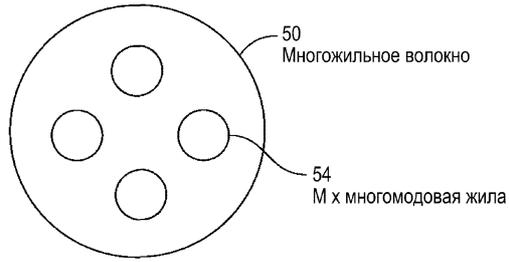
Фиг. 13С



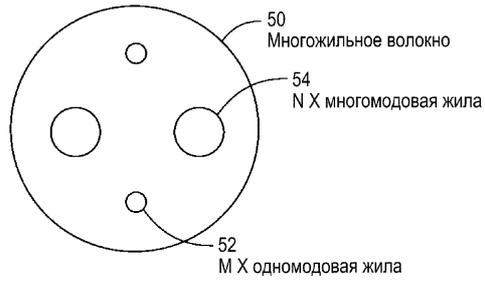
Фиг. 14



Фиг. 15



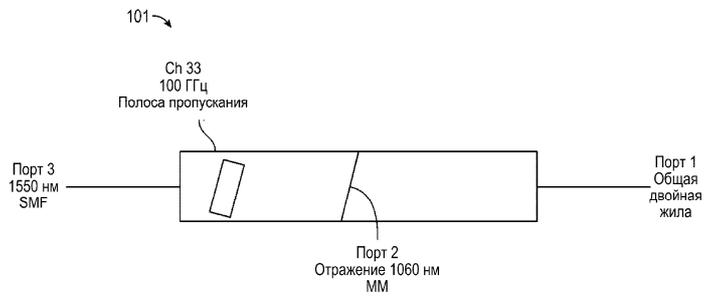
Фиг. 16



Фиг. 17



Фиг. 18



Фиг. 19

