



(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.02.04

(51) Int. Cl. **G01M 3/04** (2006.01)

(21) Номер заявки
201892281

(22) Дата подачи заявки
2017.03.23

(54) СИСТЕМА И СПОСОБ ОБНАРУЖЕНИЯ ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ, ОПТИЧЕСКИ СОЕДИНЕННЫХ С ОПТИЧЕСКИМИ ВОЛОКНАМИ С ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ

(31) **15/154,509**

(32) **2016.05.13**

(33) **US**

(43) **2019.04.30**

(86) **PCT/US2017/023705**

(87) **WO 2017/196449 2017.11.16**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БЕЙКЕР ХЬЮЗ ХОЛДИНГЗ ЛЛК
(US)**

(72) Изобретатель:
**Чалленер Уильям Альберт, Косте
Глен Питер (US)**

(74) Представитель:
Веселицкий М.Б. (RU)

(56) Gui Xin ET AL.: "Research on Distributed Gas Detection Based on Hollow-core Photonic Crystal Fiber", *Sensors & Transducers*, 1 July 2014 (2014-07-01), pages 14-20, XP055379222, Toronto Retrieved from the Internet:URL:http://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/july_2014/Vol_174/P_2170.pdfabstract; figures 3,8

J. P. CARVALHO ET AL.: "Remote System for Detection of Low-Levels of Methane Based on Photonic Crystal Fibres and Wavelength Modulation Spectroscopy", *JOURNAL OF SENSORS*, vol. 2009, 1 January 2009 (2009-01-01), pages

1-10, XP055380756, US ISSN: 1687-725X, DOI: 10.1155/2009/398403abstract; figures 10,12

HARTMUT LEHMANN ET AL.: "In-Line Gas Sensor Based on a Photonic Bandgap Fiber With Laser-Drilled Lateral MicroChannels", *IEEE SENSORS JOURNAL*, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 11, no. 11, 1 November 2011 (2011-11-01), pages 2926-2931, XP011358389, ISSN: 1530-437X, DOI: 10.1109/JSEN.2011.2151184 figure 8

JP-A-2011179916

JOSA CR MIGUEL LOPEZ-HIGUERA ET AL.: "Fiber Optic Sensors in Structural Health Monitoring", *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY*, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 29, no. 4, 1 February 2011 (2011-02-01), pages 587-608, XP011348559, ISSN: 0733-8724, DOI: 10.1109/JLT.2011.2106479chapter "D. OFS in Oil and Gas"; figure 20

JIN W ET AL.: "Gas detection with micro-and nano-engineered optical fibers", *OPTICAL FIBER TECHNOLOGY*, vol. 19, no. 6, 2013, pages 741-759, XP028788782, ISSN: 1068-5200, DOI: 10.1016/J.YOFTE.2013.08.004 figure 27

XUEFENG LI ET AL.: "Measurement of Low Gas Concentrations Using Photonic Bandgap Fiber Cell", *IEEE SENSORS JOURNAL*, IEEE SERVICE CENTER, NEW YORK, NY, US, vol. 10, no. 6, 1 June 2010 (2010-06-01), pages 1156-1161, XP011306876, ISSN: 1530-437X figure 1

(57) Система обнаружения распределенного газа содержит волокна с твердотельной сердцевинной, волокна с поллой сердцевинной и запрашивающее устройство. Волокна с твердотельной сердцевинной выполнены с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света. Волокна с поллой сердцевинной расположены в разных местоположениях. Каждое волокно с поллой сердцевинной оптически соединено с другим соответствующим одним волокном с твердотельной сердцевинной и выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, прошедшего через указанное соответствующее волокно с твердотельной сердцевинной. Запрашивающее устройство выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, распространяющегося через волокна с твердотельной сердцевинной и волокна с поллой сердцевинной. Запрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света по меньшей мере в одном волокне с поллой сердцевинной.

Перекрестная ссылка на родственные заявки

Приоритет настоящей заявки испрашивается по дате подачи заявки на патент США №15/154,509, поданной 13 мая 2016 года, полное описание которой включено в настоящий документ посредством ссылки.

Права правительства на лицензию

Настоящее изобретение было сделано при поддержке правительства США по контракту под номером DE-AR0000543, присвоенным Министерством Энергетики США. Правительство США имеет определенные права на это изобретение.

Уровень техники

Были разработаны различные устройства для определения и измерения концентраций различных газов в искусственных или природных местоположениях, таких как нефтяные скважины, трубопроводы, шахты, производственные площадки, нефтеперерабатывающие заводы и тому подобное. Мониторинг наличия и концентрации газов может использоваться в различных применениях, таких как обнаружение утечек в трубопроводе, для проверки того, что токсичные газы (монооксид углерода (CO), сероводород (H₂S) и т.д.) не присутствуют в значительных концентрациях, для обеспечения того, что взрывоопасные газы (метан (CH₄), водород (H₂) и т.д.) присутствуют в концентрациях ниже соответствующих взрывоопасных пределов, для идентификации газов в смеси (для передачи потребителю, для определения теплосодержания и т.д.) или для различных других причин. Для обеспечения высокочувствительных и селективных датчиков может использоваться спектроскопия, поскольку каждый газ обладает уникальным спектральным отпечатком, так что газы поглощают и излучают энергию света на определенных длинах волн. Однако газы относительно прозрачны, поэтому интенсивность линии поглощения газа может быть относительно малой и трудно обнаруживаемой.

Для использования линии поглощения света малой интенсивности, свет, используемый в спектроскопии, должен проходить по длинному пути в газе для того, чтобы обеспечить достаточную чувствительность для спектроскопического датчика для обеспечения возможности измерения концентрации представляющего интерес газа в испытуемом образце. Например, для достижения необходимой длины пути источник света спектроскопического датчика может быть отделен от детектора спектроскопического датчика на расстояние один километр или более, но такие расстояния в большинстве случаев нецелесообразны.

Спектроскопические датчики других известных типов представляют собой оптический резонатор с двумя зеркалами и называются оптическими резонаторными датчиками. Газ содержится в оптическом резонаторе, а свет перед обнаружением отражается между двумя зеркалами несколько раз. Хотя этот способ позволяет сделать размеры устройства подходящими, это проблематично из-за необходимости поддерживать очень точное совмещение зеркал. Изменения в условиях, таких как изменение температуры, вибрация, влажность и т.п., могут нарушать совмещение зеркал или иным образом мешать чувствительности и/или точности этих оптических резонаторных датчиков. Поэтому этот способ обычно не используется для удаленных, автоматических измерений в различных полевых условиях, таких как нефтяная или газовая скважина, трубопровод, шахта или тому подобное. Кроме того, оптические резонаторные датчики, как правило, довольно дорогостоящи.

Некоторые системы обнаружения утечки газа используют измерительную трубу или трубку, расположенную вблизи трубопровода, через который транспортируется газ. Эта измерительная труба или трубка может иметь отверстия, обеспечивающие возможность газу просачиваться из трубопровода, чтобы диффундировать в измерительную трубу или трубку. Импульс воздуха или другого газа может быть введен в измерительную трубу или трубку для перемещения газа, вытекающего из трубопровода, через измерительную трубу или трубку. На одном своем конце измерительная труба или трубка может содержать газовый датчик для определения утечки газа, который проталкивается через измерительную трубу или трубку импульсом воздуха к датчику.

Системы обнаружения утечек этих типов могут быть неспособны точно определить место утечки по длине очень длинного трубопровода. Место утечки аппроксимируется на основании концентрации газа, обнаруженного на датчике, и задержкой по времени от того момента, когда импульс воздуха попадет в измерительную трубу или трубку. Поскольку газ может рассеиваться по длине измерительной трубы или трубки с помощью импульса воздуха, может быть трудно или невозможно точно определить, где газ сначала рассеялся в измерительной трубе или трубке, если газ должен проходить через трубку на очень большое расстояние, прежде чем он достигнет датчика на конце трубки. Например, может потребоваться несколько дней до того, как импульс воздуха протолкнет утечку газа к датчику, что приведет к значительной задержке до обнаружения утечки и к потенциальному увеличению степени потери газа и/или к экологическому ущербу, по сравнению с более быстрым обнаружением утечки.

Сущность изобретения

В одном варианте выполнения предложена система обнаружения газа, которая содержит оптические волокна с твердотельной сердцевиной, выполненные с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света. Система обнаружения газа также содержит оптические волокна с поллой сердцевиной, расположенные в разных местоположениях в пределах области, мониторинг которой

выполняют на наличие одного или нескольких представляющих интерес газов. Каждое оптическое волокно с поллой сердцевиной оптически соединено с другим соответствующим одним из оптических волокон с твердотельной сердцевиной и выполнено с возможностью поступления в него указанного одного или нескольких представляющих интерес газов. Каждое из оптических волокон с поллой сердцевиной выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, прошедшего через указанное соответствующее оптическое волокно с твердотельной сердцевиной. Система обнаружения газа также содержит опрашивающее устройство, содержащее источник света, который оптически соединен с оптическими волокнами с твердотельной сердцевиной и обеспечивает поступление в них света, детектор, выполненный с возможностью приема и измерения по меньшей мере части света, распространяющегося через оптические волокна с твердотельной сердцевиной и оптические волокна с поллой сердцевиной, и один или несколько процессоров, выполненных с возможностью исследования результатов измерений, предоставляемых указанным детектором. Опрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света по меньшей мере в одном из оптических волокон с поллой сердцевиной с использованием спектроскопического анализа света, выполняемого указанными одним или несколькими процессорами.

В одном варианте выполнения предложена система обнаружения газа, которая содержит удлиненную измерительную трубку, имеющую отверстия, через которые представляющий интерес газ может входить в измерительную трубку из источника указанного газа. Система обнаружения газа также содержит оптические волокна с твердотельной сердцевиной, выполненные с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света, и оптические волокна с поллой сердцевиной, расположенные в разных местах по длине измерительной трубки, причем оптические волокна с поллой сердцевиной расположены внутри измерительной трубки, по меньшей мере частично. Каждое из оптических волокон с поллой сердцевиной оптически соединено с другим соответствующим одним оптическим волокном с твердотельной сердцевиной и выполнено с возможностью поступления в него указанного представляющего интерес газа, причем каждое из оптических волокон с поллой сердцевиной выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, прошедшего через указанное соответствующее оптическое волокно с твердотельной сердцевиной. Система обнаружения газа также содержит опрашивающее устройство, содержащее источник света, который оптически соединен с оптическими волокнами с твердотельной сердцевиной и обеспечивает поступление в них света, детектор, выполненный с возможностью приема и измерения по меньшей мере части света, распространяющегося через одно или несколько оптических волокон с твердотельной сердцевиной и одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевиной, и один или несколько процессоров, выполненных с возможностью исследования результатов измерений, предоставляемых указанным детектором. Опрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа от источника путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света в одном или нескольких оптических волокнах с поллой сердцевиной с использованием спектроскопического анализа света, выполняемого указанными одним или несколькими процессорами.

В одном варианте выполнения предложен способ обнаружения газа, который включает размещение измерительной трубки с расположенными в ней волокнами описанной выше системы обнаружения газа с измерительной трубкой в месте проведения испытаний с обеспечением возможности прохождения газа, имеющегося в месте проведения испытаний, внутрь измерительной трубки через ее отверстия, передачу света с помощью источника света опрашивающего устройства через одно или несколько оптических волокон с твердотельной сердцевиной в одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевиной, прием, с помощью детектора опрашивающего устройства, света, который прошел через одно или несколько оптических волокон с твердотельной сердцевиной и одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевиной, определение, с использованием спектроскопического анализа принятого света, наличия представляющего интерес газа на основании того, была ли поглощена одна или несколько длин волн света представляющим интерес газом внутри одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевиной, и определение местоположения источника указанного газа, основываясь на местоположении указанного одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевиной, в которых одна или несколько длин волн света поглощаются представляющим интерес газом.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 изображает один вариант выполнения системы обнаружения утечки распределенного газа.

Фиг. 2 изображает другой вариант выполнения системы обнаружения утечки распределенного газа.

Фиг. 3 изображает вид в разрезе сегмента измерительной трубки и волокна с поллой сердцевиной, которое может быть расположено внутри измерительной трубки, в соответствии с одним вариантом выполнения.

Фиг. 4 изображает вид в разрезе сегмента измерительной трубки и волокна с поллой сердцевиной, которое может быть расположено внутри измерительной трубки, в соответствии с одним вариантом выполнения.

Фиг. 5 изображает вид в разрезе сегмента измерительной трубки, выполненной в соответствии с од-

ним вариантом выполнения.

Фиг. 6 изображает систему обнаружения утечки газа, выполненную в соответствии с другим вариантом выполнения.

Фиг. 7 иллюстрирует блок-схему последовательности операций в соответствии с одним вариантом выполнения способа обнаружения наличия представляющего интерес газа в месте проведения испытаний.

Фиг. 8 изображает еще один вариант выполнения системы обнаружения распределенного газа.

Фиг. 9 изображает сегмент системы обнаружения распределенного газа в соответствии с одним вариантом выполнения, а также изображает увеличенный вид части сегмента системы 900.

Фиг. 10 изображает вид в разрезе сегмента системы обнаружения распределенного газа в месте соединения, в соответствии с одним вариантом выполнения.

Фиг. 11 изображает вид в разрезе сегмента системы обнаружения распределенного газа в месте соединения, в соответствии с другим вариантом выполнения.

Фиг. 12 изображает сегмент системы обнаружения распределенного газа в соответствии с другим вариантом выполнения, а также изображает увеличенный вид части сегмента системы.

Фиг. 13 иллюстрирует блок-схему последовательности операций в соответствии с одним вариантом выполнения способа обнаружения наличия представляющего интерес газа в месте проведения испытаний.

Подробное описание

Различные варианты выполнения будут лучше поняты при прочтении приведенного ниже описания в сочетании с прилагаемыми чертежами. В той степени, в которой чертежи иллюстрируют диаграммы функциональных блоков различных вариантов выполнения, функциональные блоки необязательно указывают на разделение между аппаратным обеспечением (включая схемы). Таким образом, например, один или несколько функциональных блоков (например, процессоры, контроллеры или запоминающие устройства) могут быть реализованы в одном аппаратном обеспечении (например, процессор сигналов общего назначения или оперативное запоминающее устройство, жесткий диск или тому подобное) или в нескольких блоках аппаратного обеспечения. Аналогично, любые программы могут быть автономными программами, которые могут быть включены в операционную систему в качестве подпрограмм, могут быть функциями в установленном программном пакете и т.п. Следует понимать, что различные варианты выполнения не ограничиваются механизмами и инструментами, показанными на чертежах. Размеры компонентов, показанных на чертежах, могут быть выполнены не в масштабе и/или могут иметь другие пропорции.

Термины "система" или "устройство", как они используются в настоящем документе, могут включать аппаратную и/или программную систему, которая работает для выполнения одной или нескольких функций. Например, устройство или система могут содержать один или несколько компьютерных процессоров, микропроцессоров, программируемых пользователем вентильных матриц, интегральных схем, контроллеров или других логических устройств, которые выполняют операции на основе инструкций, хранящихся на материальном и непереходном машиночитаемом носителе, таком как память компьютера. В качестве альтернативы, устройство или система могут содержать проводное устройство, которое выполняет операции на основе жесткой логики устройства. Устройства, показанные на прилагаемых чертежах, могут представлять собой аппаратное обеспечение, которое работает на основе программного обеспечения или жестких инструкций, программного обеспечения, которое направляет аппаратное обеспечение для выполнения операций, или их комбинацию. Аппаратное обеспечение может содержать электронные схемы, которые содержат логические устройства и/или подключены к одному или нескольким логическим устройствам, таким как микропроцессоры, процессоры, контроллеры и т.п. Эти устройства могут быть готовыми устройствами, которые соответствующим образом запрограммированы или инструктированы для выполнения операций, описанных в настоящем документе, исходя из описанных выше инструкций. Дополнительно или в качестве альтернативы, одно или несколько из этих устройств могут быть жестко соединены с логическими схемами для выполнения этих операций.

Элемент или этап, указанный в единственном числе и сопровождаемый соответствующим артиклем, как они используются в настоящем документе, следует понимать как не исключающий множественное число указанных элементов или этапов, если это исключение явным образом не указано. Кроме того, ссылки на "один вариант выполнения" не предназначены для интерпретации как исключения существования дополнительных вариантов выполнения, которые также содержат перечисленные признаки. Нескольких того, если явным образом не указано обратное, варианты выполнения, "содержащие" или "имеющие" элемент или множество элементов, имеющих конкретное свойство, могут содержать дополнительно такие элементы, которые не имеют этого свойства.

Один или несколько вариантов выполнения изобретения, описанного в настоящем документе, обеспечивают системы и способы обнаружения распределенных газов. Системы и способы могут обнаруживать наличие утечки газа из трубопровода и местоположение утечки. Например, метан может вытекать из нефтяных и газовых скважин или из трубопроводов. Метан также является неприятным источником взрывов в подземных угольных шахтах. Из-за больших площадей, в которых может присутствовать газ,

для определения местоположения источника утечки может потребоваться большое количество мест обнаружения.

Системы и способы, описанные в настоящем документе, могут использовать оптические волокна с полой сердцевиной (HCF) для переноса инфракрасного света (или других длин волн света) вдоль относительно длинной длины пути для измерительного обнаружения метана и других типов утечек газа. В HCF могут быть сделаны отверстия в боковых сторонах в разных местах по длине HCF, так что газы, утекающие во внешнюю среду, могут диффундировать в полую сердцевину HCF, где распространяется световой пучок. В качестве альтернативы, HCF имеет отверстия только на своих концах и не имеет отверстий в боковой стороне. Измерения оптического поглощения, такие как лазерная абсорбционная спектрометрия на базе настраиваемого диода (TDLAS), могут быть использованы для высокочувствительных измерений концентрации газа, а также для различения различных типов газов, которые имеют разные длины волн поглощения, в зависимости от света, который поступает через HCF.

Системы и способы, описанные в настоящем документе, могут использоваться для обнаружения и измерения концентраций представляющих интерес газов в различных применениях. Например, газоизмерительная система может использоваться для выполнения мониторинга газов в нефтяных скважинах или площадках скважин, вдоль трубопроводов, в шахтах, на производственных площадках, на нефтеперерабатывающих заводах, на заводах и т.п. Одним из конкретных применений является обнаружение утечек метана из трубопроводов. Метан сильно влияет на парниковый эффект, который захватывает инфракрасное излучение в озоновом слое Земли. Низкозатратные, но высокочувствительные (~ 10 частей на миллион, или "ppm", более низкие пределы обнаружения) системы обнаружения газа, описанные в настоящем документе, могут быть расположены вдоль трубопроводов для обнаружения утечек метана. Обнаружение утечек метана может быть предназначено для уменьшения потери метана, который может быть продан как продукт, уменьшения ущерба окружающей среде в результате выбросов парниковых газов или тому подобное. В иллюстративном применении измерения выбросов летучего метана из нефтяных и газовых скважин выбросы метана могут контролироваться с целью соблюдения правил, направленных на сокращение выбросов парниковых газов, для уменьшения потерь метана, которые могут быть проданы в качестве продукта или тому подобного. Несмотря на то, что газоизмерительная система расположена в месте расположения трубопровода или скважины, газоизмерительная система может контролироваться дистанционно, что позволяет, например, дистанционно выполнять мониторинг нескольких систем обнаружения газа на разных трубопроводах и/или скважинах.

Спектроскопия может использоваться для обнаружения газа путем обнаружения длин волн, которые поглощаются образцами газа с излучением световой энергии. Эти длины волн, называемые спектрами поглощения, являются специфическими или уникальными для этих типов газов. Например, метан имеет несколько полос поглощения на разных длинах волн, таких как полоса поглощения при 1,65 мкм в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR). Эта полоса поглощения находится в "окне" длин волн, используемых телекоммуникационной отраслью для передачи данных через обычное оптическое волокно с твердотельной сердцевиной, и имеет значения от 1260 нм (полоса "O") до 1675 нм (полоса "U/XL"). Другие газы с линиями поглощения в этом диапазоне длин волн включают водяной пар, углекислый газ (CO₂), сероводород (H₂S) и аммиак (NH₃).

Микроструктурированные (или "дырчатые") оптические волокна имеют структуры, которые являются пористыми, причем эта пористость используется несколькими различными способами, чтобы ограничить свет в сердцевине волокна для его распространения на большие расстояния вдоль волокна. Волокна этих типов могут использоваться в качестве HCF, описанного в настоящем документе. В заявке на патент США № 14/876,411 описаны различные микроструктурированные волокна с полой сердцевиной, которые могут быть использованы в качестве HCF, описанных в настоящем документе, причем полное раскрытие этой заявки включено в настоящий документ посредством ссылки.

На фиг. 1 изображен один вариант выполнения системы 200 обнаружения утечки распределенного газа. Система 200 обнаруживает наличие, концентрацию и/или местоположение одного или нескольких представляющих интерес газов вдоль места 104 проведения испытаний. В проиллюстрированном варианте выполнения место 104 проведения испытаний представляет собой трубопровод 102, переносящий один или несколько представляющих интерес газов, но необязательно, место 104 проведения испытаний может представлять собой подземную шахту, полигон для захоронения отходов, установку для очистки воды, платформу нефтяной или газовой скважины и т.д. Система 200 выполняет мониторинг представляющих интерес газов по длине места 104 проведения испытаний. Место 104 проведения испытаний может подвергаться воздействиям условий окружающей среды, которые могут нанести ущерб определенному электронному оборудованию, такому как термодары, светодиоды или фотодиоды, или может содержать взрывоопасные смеси газов или других веществ, рядом с которыми нельзя располагать электрооборудование. Например, место 104 проведения испытаний может представлять собой геотермальную скважину, нефтяную и/или газовую скважину, платформу нефтяной и/или газовой скважины, нефтепровод и газопровод, шахту и т.п. Место 104 проведения испытаний в других примерах может быть промышленным объектом, таким как производственное предприятие, нефтеперерабатывающий завод или фабрика. В качестве еще одного примера, место 104 проведения испытаний может представлять собой

скважину, используемую в сочетании с гидравлическим разрывом.

Место 104 проведения испытаний может пониматься как удаленное, в том смысле, что оно может быть расположено на расстоянии от компонентов системы 200, выполненных с возможностью генерирования и/или приема сигналов, передаваемых через место 104 проведения испытаний. Например, части трубопровода 102, которые включены в место 104 проведения испытаний или представляют его, могут быть расположены на расстоянии 100 километров от компонентов системы 200. Таким образом, устройство формирования сигналов и/или устройство обработки сигналов, например, могут поддерживаться в других условиях окружающей среды, чем компоненты системы 200, расположенные в месте 104 проведения испытаний. В качестве альтернативы, компоненты формирования сигнала и/или обработки сигнала системы 200 могут быть расположены в непосредственной близости от места 104 проведения испытаний или могут находиться внутри защитных кожухов или корпусов для защиты таких компонентов от условий окружающей среды места 104 проведения испытаний, таких как высокие и низкие температуры, влажность, мусор, вибрации, взрывоопасные газовые смеси и тому подобное.

Система 200 содержит оптоволоконный узел 206, который проходит вдоль разных длин или по всей длине места 104 проведения испытаний. Узел 206 может быть образован из множества HCF 108, оптически соединенных с оптическими волокнами 210 с твердотельной сердцевиной. В отличие от HCF 108, волокна 210 могут быть оптическими волокнами, которые не имеют полого внутреннего пространства. HCF 108 и волокна 210 могут быть оптически соединены друг с другом, когда свет может передаваться вдоль и внутри HCF 108 и волокон 210.

В проиллюстрированном варианте выполнения оптоволоконный узел 206 проходит через перфорированную измерительную трубку 120, которая проходит вдоль места 104 проведения испытаний. Измерительная трубка 120 может представлять собой пластмассовую трубку или объем пространства, в котором расположен волоконный узел 206 (например, между пластмассовым листом и трубопроводом 102). Измерительная трубка 120 является пористой и имеет отверстия 122, через которые газ в месте 104 проведения испытаний (например, газ, протекающий из трубопровода 102) может диффундировать во внутреннее пространство трубки 120. Несмотря на то, что показаны только несколько отверстий 122, гораздо больше отверстий 122 может быть выполнено в разных местоположениях по длине трубки 120. Отверстия 122 могут быть просверлены в трубке 120 или, в качестве альтернативы, могут быть отверстиями, свойственными материалу самой трубки 120, или материалу мембраны, покрывающей трубку 120. Например, трубка 120 может состоять из пористого каучука или каучуко-подобного материала с отверстиями 122 в виде пор, которые проницаемы для представляющих интерес газов. В другом примере измерительная трубка может быть покрыта мембраной с отверстиями 122 в виде пор, которые проницаемы для представляющих интерес газов. Необязательно, отверстия 122 могут иметь размеры, чтобы противостоять или препятствовать проникновению воды или других жидкостей и/или газов, которые не представляют интереса или которые могут засорить трубку.

Волоконный узел 206 содержит несколько различных волокон 210 с твердотельной сердцевиной, по отдельности соединенных с различными HCF 108. Каждое HCF 108 может быть соединено с волокнами 210 с твердотельной сердцевиной на его противоположных сторонах и расположено между ними. HCF 108 могут быть расположены в разных местоположениях по длине трубки 120, чтобы обеспечить распределенное измерение утечек газа. Например, длины волокон 210 с твердотельной сердцевиной, проходящих от источника 114 света к HCF 108, могут быть различными для разных HCF 108, как показано на фиг. 1. В качестве альтернативы, узел 206 может содержать последовательность или ряд волокон 210 с твердотельной сердцевиной которые сращены друг с другом.

Система 200 содержит опрашивающее устройство 212, которое обнаруживает наличие и/или местоположение одного или нескольких представляющих интерес газов вдоль длины волоконного узла 206. Опрашивающее устройство 212 содержит источник 114 света, который оптически соединен с волоконным узлом 206. Как используется в настоящем документе, два компонента "оптически соединены", когда имеется достаточное количество света, излучаемого одним из компонентов, подлежащего обнаружению на другом компоненте. Источник 114 света генерирует свет, который передается в волоконный узел 206. Источник 114 света может быть лазером, который излучает свет в инфракрасном диапазоне, таком как ближний ИК-диапазон. Свет, генерируемый источником света 114, проникает вовнутрь волокон 210 с твердотельной сердцевиной и распространяется по ним до HCF 108. Полые сердцевины HCF 108 получают свет от волокон 110 с твердотельной сердцевиной.

HCF 108 могут иметь каналы, проходящие от наружной поверхности HCF 108 в полые сердцевины HCF 108. Размеры каналов обеспечивают возможность газу, находящемуся во внешней среде (например, который может протекать из трубопровода 102 или другого источника), диффундировать в полую сердцевину, где газ может взаимодействовать с распространяющимся через нее светом. Как используется в настоящем документе, "взаимодействие" газа со светом включает поглощение и излучение световой энергии газом на разных длинах волн, которое влияет и/или изменяет характеристики световой энергии, распространяющейся через полую сердцевину волокон. В качестве альтернативы, вместо или в дополнение к каналам, HCF 108 могут иметь отверстия на концах HCF 108, которые имеют размеры, обеспечивающие возможность газу диффундировать в полую сердцевину и взаимодействовать со светом, распро-

страняющимся через сердцевину. Например, в одном варианте выполнения HCF 108 имеет отверстия на концах, но не имеет каналы.

В проиллюстрированном варианте выполнения источник 114 света излучает свет в одно или несколько волокон с твердотельной сердцевиной в мультиплексор 228 ("10:1 MUX" на фиг. 1), который делит свет и передает разделенный свет в волокна 210 с твердотельной сердцевиной, которые оптически соединены с различными HCF 108. Мультиплексор 228 может передавать свет, принятый от источника 114 света, в разные волокна 210 с твердотельной сердцевиной в разное время. Свет, распространяющийся через сердцевину HCF 108, продолжает распространяться через волокна 210 с твердотельной сердцевиной с другой стороны HCF 108 на устройство 230 сведения лучей. Устройство 230 сведения лучей получает свет от различных волокон 210 с твердотельной сердцевиной перед передачей принятого света на детектор 116. В альтернативном варианте выполнения вместо мультиплексора 228 система 200 содержит делитель мощности. Делитель мощности выполнен с возможностью разделения и распределения света, испускаемого от источника 114 света, в различные волокна 210 с твердотельной сердцевиной.

Опрашивающее устройство 212 также содержит детектор 116, который измеряет принятый свет. Детектор 116 может представлять собой оптический датчик, оптическую камеру и т.п., выполненную с возможностью использования в инфракрасной газофазной спектроскопии. Один или несколько процессоров 118 опрашивающего устройства 212 представляют собой аппаратную схему, которая содержит и/или соединена с одним или несколькими микропроцессорами, программируемыми полевыми матрицами или интегральными схемами. Процессоры 118 определяют наличие, концентрацию и/или местоположение одного или нескольких газов в HCF 108 на основе света, принимаемого детектором 116. Например, процессоры 118 могут анализировать отраженный свет для идентификации различных представляющих интерес газов в HCF 108, который взаимодействовал со светом, для обнаружения наличия таких газов. Процессоры 118 могут анализировать свет с использованием газофазной ИК-спектроскопии. Например, процессоры 118 могут сравнивать обнаруженные длины волн полос поглощения в измеряемом образце с известными диапазонами длин волн излучения известных газов, чтобы идентифицировать один или несколько газов в испытуемом образце. Помимо идентификации газов, процессоры 118 также могут определять концентрации газов. Процессоры 118 могут определять, что газ в HCF 108 содержит, например, водяной пар, диоксид углерода, метан и этан, а также может определять концентрации и/или относительные концентрации этих идентифицированных газов.

Процессоры 118 могут быть выполнены с возможностью генерирования управляющего сигнала в ответ на обнаружение утечки, например, отправлять предупреждающий сигнал. Процессоры 118 могут также генерировать другие управляющие сигналы, реагирующие на обнаружение одного или нескольких представляющих интерес газов, например, для автоматического планирования дополнительного контроля, для инициирования остановки скважины, для активации системы, которая останавливает утечку или выброс газа, или тому подобное. Например, опрашивающее устройство 212 может содержать устройство 126 связи, которое передает в другое местоположение сигнал, такой как сигнал, который уведомляет других об обнаруженной утечке и/или о местоположении утечки, сигнал, который приводит к закрытию одного или нескольких клапанов и к остановке переноса по трубопроводу 102 газа, протекающего по этому трубопроводу, и т.д. Устройство 126 связи может представлять собой одну или несколько антенн, модемов и/или связанных приемопередающих схем.

В одном варианте выполнения волокна 210 с твердотельной сердцевиной и HCF 108 передают свет, генерируемый источником 114 света в различных режимах, и не ограничиваются распространением света вдоль волокон 210 и HCF 108 только в одном режиме. Свет может распространяться через оптические волокна, такие как волокна 210 с твердотельной сердцевиной, в режиме вертикальной поляризации, режиме горизонтальной поляризации и/или в комбинации или смеси вертикальной и горизонтальной поляризации света. Волокна 210 и HCF 108 могут не ограничиваться распространением или передачей только одного режима света. Например, свет, распространяющийся через волокна 210 с твердотельной сердцевиной и HCF 108, может распространяться через указанные волокна (и, необязательно, через одно или несколько HCF 108 до достижения одного или нескольких других HCF 108) в вертикальной поляризации, горизонтальной поляризации и/или смеси вертикальной и горизонтальной поляризации. Свет может продолжать распространяться или отражаться обратно на детектор 116 в той же самой или другой поляризации. Например, волокна 108, 210 не могут ограничивать распространение света либо к HCF 108, либо от HCF 108 одной поляризацией или режимом.

В одном варианте выполнения система 200 содержит источник 124 управляющего газа (например, "насос" на фиг. 1), который обеспечивает подачу импульса газа или воздуха в трубку 120. Управляющий газ или воздух, обеспечиваемые источником 124, могут отличаться от представляющего интерес газа, обнаруживаемого системой 200, чтобы не допустить путаницы между обнаружением утечки и управляющим газом или воздухом, обеспечиваемым источником 124. Источник 124 может представлять собой насос или вентилятор, который проталкивает окружающий воздух через трубку 120. Источник 124 может проталкивать воздух или другой газ через измерительную трубку 120 периодически, аperiodически или по требованию, для перемещения утечки газа в месте 104 проведения испытаний через измерительную трубку 120. Газ утечки будет иметь большую локальную концентрацию в измерительной трубке 120 в

местоположении утечки, чем в других местоположениях вдоль трубки 120. Локализованная концентрация утечки газа может перемещаться через трубку 120 посредством проталкиваемого воздуха или газа из источника 124. Когда протекающий газ проходит через трубку 120, опрашивающее устройство 212 может излучать свет и измерять отраженный свет, чтобы идентифицировать время, в которое концентрация протекающего газа достигает одного из HCF 108 (представляющего собой измерительную головку), чтобы помочь определить, в каком местоположении расположена утечка вдоль или в месте 104 проведения испытаний.

Как описано выше, место 104 проведения испытаний может представлять собой площадь или объем вокруг или вдоль трубопровода 102, переносящего один или несколько представляющих интерес газов, но, в качестве альтернативы, может быть расположено вокруг, вдоль или внутри подземной шахты, платформы нефтяной или газовой скважины и т.д. Системы, описанные в настоящем документе, могут содержать HCF 108 в разных местоположениях в пределах области, мониторинг которой на наличие одного или нескольких представляющих интерес газов, таких как, но не ограничиваясь ими, метан, должен выполняться. Для обнаружения наличия газа HCF 108 могут быть расположены в разных местоположениях по длине трубопровода, в разных местах подземной шахты, в разных местах на горнодобывающей платформе или тому подобное. Несмотря на то, что приведенные в настоящем документе описания и иллюстрации относятся к HCF 108, расположенному вдоль длины трубопровода, не все варианты выполнения изобретения ограничены трубопроводами.

В отличие от использования единственного HCF 108 для обнаружения наличия и/или местоположения утечки газа вдоль места 104 проведения испытаний, система 200 может содержать несколько HCF 108, расположенных в разных местоположениях вдоль места 104 проведения испытаний для обнаружения наличия и/или местоположения утечки газа. HCF 108 могут быть отделены друг от друга относительно большими расстояниями, такими как десять километров или другим расстоянием, чтобы обеспечить обнаружение утечки вдоль места 104 проведения испытаний, которое простирается на очень большую площадь или расстояние. Волокна 210 с твердотельной сердцевиной могут обеспечивать возможность распространения света через волокна 210 на большие расстояния, чем HCF 108. В результате волокна 210 с твердотельной сердцевиной могут быть сращены с HCF 108 для обеспечения расположения HCF 108 на большом расстоянии от источника 114 света и/или от детектора 116.

Кроме того, волокно или волокна 210 с твердотельной сердцевиной, которые соединяют волоконный узел 206 с опрашивающим устройством 212, могут обеспечивать возможность расположения устройства 212 относительно далеко от места 104 проведения испытаний. Устройство 212 может быть расположено далеко от места 104 проведения испытаний таким образом, что риск взрыва из-за утечки газа в месте расположения устройства 212 может быть очень низким или несуществующим. Это может обеспечивать возможность работы опрашивающего устройства 212 без ограничения мощности и/или без нахождения во взрывобезопасной упаковке, по сравнению с опрашивающими устройствами, которые находятся близко к месту 104 проведения испытаний.

Фиг. 2 иллюстрирует другой вариант выполнения системы 300 обнаружения утечки распределенного газа. Подобно системе 200, показанной на фиг. 1, система 300 обнаруживает наличие, концентрацию и/или местоположение одного или нескольких представляющих интерес газов вдоль места 104 проведения испытаний. Система 300 содержит волоконно-оптический узел 306, который проходит на разные длины или по всей длине места 104 проведения испытаний. Волоконно-оптический узел 306 может быть выполнен из множества HCF 108, оптически соединенных с оптическими волокнами 310 с твердотельной сердцевиной. В отличие от HCF 108, оптические волокна 310 с твердотельной сердцевиной могут представлять собой оптические волокна, которые не имеют полой внутренней части. HCF 108 и волокна 310 с твердотельной сердцевиной могут быть оптически соединены друг с другом, когда свет может передаваться вдоль и внутри HCF 108 и волокон 310 с твердотельной сердцевиной. Волоконный узел 306 может, по меньшей мере частично, быть расположен внутри измерительной трубки 120. Несмотря на то, что отверстия 122 (показаны на фиг. 1) в измерительной трубке 120 на фиг. 2 не видны, измерительная трубка 120 может содержать отверстия 122, обеспечивающие возможность попадания в HCF 108 газа, находящегося снаружи измерительной трубки 120. Измерительная трубка также может быть покрыта мембраной, которая проницаема для представляющих интерес газов, но которая не допускает или препятствует проникновению воды или других жидкостей и/или газов, которые не представляют интереса или которые могут засорить трубку.

В отличие от волоконного узла 206, показанного на фиг. 1, волоконный узел 306 содержит несколько различных волокон 310 с твердотельной сердцевиной, по-отдельности соединенных с различными HCF 108. Каждый HCF 108 может быть соединен с одним волокном 310 с твердотельной сердцевиной с одной стороны HCF 108. Волокна 310 с твердотельной сердцевиной имеют разную длину, так что HCF 108 расположены в разных местоположениях по длине измерительной трубки 120, чтобы обеспечить распределенное измерение утечек газа. Внутри HCF 108, на концах или вблизи концов HCF 108, которые противоположны концам, которые соединяются с волокнами 310 с твердотельной сердцевиной, могут быть расположены отражатели для отражения света.

Система 300 содержит опрашивающее устройство 312, которое обнаруживает наличие и/или место-

положение одного или нескольких представляющих интерес газов вдоль длины волоконного узла 306. Опрашивающее устройство 312 содержит источник 114 света, который оптически соединен с волоконным узлом 306 на одном конце волоконного узла 306. Источник 114 света генерирует свет, который передается в волоконный узел 306. В проиллюстрированном варианте выполнения источник 114 света излучает свет в одно или несколько волокон с твердотельной сердцевиной в мультиплексор 228 ("MUX" на фиг. 2), который делит свет и переносит разделенный свет в волокна 310с твердотельной сердцевиной, которые оптически соединены с различными HCF 108. Свет, распространяющийся через сердцевину HCF 108, отражается обратно в детектор 116 опрашивающего устройства 312.

Мультиплексор 228 принимает отраженный свет от различных волокон 310 с твердотельной сердцевиной перед переносом принятого света к детектору 116. Как описано выше, детектор 116 принимает свет, а процессоры 118 исследуют свет для определения наличия и/или местоположения утечки газа вдоль или в пределах места 104 проведения испытаний.

На фиг. 3 изображен вид в разрезе сегмента измерительной трубки 420 и одного из HCF 108, который может быть расположен внутри трубки 420, в соответствии с одним вариантом выполнения. Трубка 420 может представлять собой одну или несколько из измерительных трубок, описанных в настоящем документе. Как показано на фиг. 3, HCF 108 может иметь полу сердцевину 432, радиально окруженную или охватываемую оболочкой 433, как описано в заявке на патент США № 14/876,411. На фиг. 3 не показаны волокна 210, 310 с твердотельной сердцевиной (показанные на фиг. 1 и 2), которые могут быть оптически соединены с HCF 108, как описано выше.

Для измерения наличия утечки газа из источника 102 (показано на фиг. 2), газ обычно поступает в трубку 420 через одно или несколько отверстий 122 (не показаны на фиг. 3, но показаны на фиг. 1) и постепенно перемещается в полу сердцевину 432 HCF 108. Движение газа в полу сердцевину 432 может занимать значительное количество времени, например, несколько часов или дней, из-за относительно низкой концентрации газа, который может протекать из источника 102, и соответствующей скорости диффузии.

В результате система обнаружения утечки газа, использующая HCF 108 для обнаружения утечки газа, может и не иметь достаточного количества газа внутри полую сердцевину 432 одного или нескольких HCF 108 для обнаружения утечки в течение значительного количества времени после начала утечки.

Измерительная трубка 420 имеет внутреннюю форму, которая увеличивает скорость, с которой газ, протекающий из источника 102, может проникать в полые сердцевины 432 одного или нескольких HCF 108 внутри трубки 420. Это может приводить к увеличению количества газа, попадающего в HCF 108 раньше, чем начинается утечка относительно других измерительных трубок. Трубка 420 создает перепад давления на противоположных концах 434, 436 HCF 108, который заставляет газ втягиваться в полу сердцевину 432 HCF 108.

Измерительная трубка 420 содержит внутреннюю поверхность 438, радиально проходящую вокруг или охватывающую внутреннее пространство 440 трубки 420. Отверстия 122, которые позволяют газу утечки поступать в трубку 420, проходят через наружный корпус 442 трубки 420 для обеспечения доступа в ее внутреннее пространство 440. Следовательно, газ, утекающий из источника 102, может поступать во внутреннее пространство 440 трубки 420. Внутренняя поверхность 438 может иметь участок 442 с уменьшенным поперечным сечением на одном конце 436 или ближе к одному концу 436 HCF 108, чем противоположный конец 434 того же HCF 108. Участок 442 с уменьшенным поперечным сечением представляет собой участок трубки 420, на котором площадь поперечного сечения внутреннего пространства 440 трубки 420 меньше, чем в местоположении на противоположном конце 434 или ближе к противоположному концу 434 HCF 108. Например, площадь 421 поперечного сечения трубки 420 (измеренная в плоскости, перпендикулярной направлению 442 потока и/или центральной оси трубки 420) на конце 434 HCF 108 может быть больше, чем площадь 423 поперечного сечения трубки 420 (измеренная в плоскости, перпендикулярной направлению 442 потока и/или центральной оси трубки 420) на конце 436 HCF 108. Меньшая площадь 423 ограничивает поток газа и воздуха через трубку 420, по сравнению с большей площадью 421.

Разность площадей поперечного сечения в трубке 420 на разных концах 434, 436 HCF 108 вызывает перепад давления в газе утечки между различными концами 434, 436. Этот перепад давления может приводить к тому, что газ будет втягиваться, притягиваться или иным образом всасываться во внутреннюю сердцевину 432 HCF 108. Например, давление газа утечки из источника 102 внутри трубки 420 может быть ниже в объеме внутреннего пространства 440 трубки 420 на участке 442 с уменьшенным поперечным сечением трубки 420, чем в других объемах внутреннего пространства 440 трубки 420. Это более низкое давление на конце 436 HCF 108 может привести к тому, что газ будет втягиваться, притягиваться или всасываться во внутреннюю сердцевину 432 HCF 108 через конец 434 HCF 108. Конец 434 HCF 108 в объеме трубки 420, где давление газа утечки выше, чем объем, в котором расположен противоположный конец 436 HCF 108, может упоминаться как конец с более высоким давлением, тогда как противоположный конец 436 может упоминаться как конец с более низким давлением.

Этот перепад давления вынуждает газ вытекать в полу сердцевину 432 HCF 108 быстрее, чем это делает меньший перепад давления. Внутренняя форма трубки 420 может создавать перепад давлений,

чтобы концентрация газа утечки внутри полой сердцевины 432 становилась больше за более короткие периоды времени, чем в случае меньшего перепада давления. Большие концентрации или количества газа в HCF 108 могут приводить к тому, что наличие газа более вероятно будет обнаружено, чем в случае меньших концентраций в HCF 108. В результате газ утечки может быть обнаружен раньше, чем в системах без перепада давления.

Несмотря на то, что на фиг. 3 показан только один участок 442 трубки 420 с уменьшенным поперечным сечением, трубка 420 может содержать несколько участков с уменьшенным поперечным сечением. Например, каждое из нескольких или всех HCF 108 может быть расположено в трубке 420 с одним концом HCF 108 в пределах соответствующей области с уменьшенным поперечным сечением трубки 420 и с противоположным концом HCF 108, расположенным в области поперечного сечения трубки 420 большего размера.

Фиг. 4 изображает вид в разрезе участка измерительной трубки 520 и HCF 508, которое, в соответствии с одним вариантом выполнения, может быть расположено внутри трубки 520. Трубка 520 может представлять собой одну или несколько из измерительных трубок, описанных в настоящем документе. HCF 508 может быть похоже на HCF 108, описанное выше. Например, HCF 508 может иметь полую сердцевину 532, радиально окруженную или охватываемую оболочкой 533, и может пропускать свет через внутреннюю сердцевину 532 для обнаружения наличия газа, как описано в заявке на патент США № 14/876,411. На фиг. 4 не показаны волокна 1, 10, 210, 310 с твердотельной сердцевиной, которые могут быть оптически соединены с HCF 508, как описано выше.

Также, как описано выше, для измерения наличия утечки газа из источника 102 (показанного на фиг. 1) газ обычно вводят в трубку 520 через одно или несколько отверстий 122 (не показаны на фиг. 4, но показаны на фиг. 1) и постепенно перемещают в полую сердцевину 532 одного или нескольких HCF 508. Чтобы увеличить скорость, с которой газ входит в полую сердцевину 532 одного или нескольких HCF 508 и сократить время, необходимое для обнаружения наличия газа (также называемое временем обнаружения), одно или несколько HCF 508 могут содержать перегородку 544. Перегородка 544 может создавать перепад давления в измерительной трубке 520, аналогичный создаваемому участком 442 трубки 420 с уменьшенным поперечным сечением, показанной на фиг. 3. Этот перепад давления может втягивать, притягивать или всасывать в HCF 508 газ, находящийся в трубке 520.

В проиллюстрированном варианте выполнения перегородка 544 представляет собой конусообразное тело с меньшим диаметром площади поперечного сечения тела, прикрепленным или расположенным ближе к одному концу 536 HCF 508, чем к противоположному концу 534 того же HCF 508. Необязательно, перегородка 544 может иметь другую форму, такую как пирамидальная форма, форму усеченного конуса, сферическую форму или тому подобное, или может быть сформирована из плоских тел, проходящих от HCF 508. Перегородка 544 ориентирована под тупым углом относительно части наружной поверхности оболочки 533 HCF 508, которая находится снаружи перегородки 544 (например, выше по потоку от перегородки 544 вдоль направления потока 442), и под острым углом относительно части наружной поверхности оболочки 533 HCF 508, которая находится внутри перегородки 544 (например, ниже по потоку от перегородки 544 вдоль направления потока 442).

Перегородка 544 может быть расположена ближе к концу 536 одного HCF 508 для создания перепада давления в газе, который подвергается измерению между концами 534, 536 HCF 508. Подобно участку 442 с уменьшенным поперечным сечением в трубке 420, показанной на фиг. 3, перегородка 544 может уменьшать площадь поперечного сечения внутреннего пространства 540 трубки 520 на конце 536 или вблизи конца 536 HCF 508 относительно другого конца 534 того же самого HCF 508. Газ и/или воздух, протекающий во внутреннем пространстве 540 трубки 520 (например, благодаря потоку воздуха вдоль направления 442 потока) имеет уменьшенную площадь поперечного сечения 523, с которой он проходит между перегородкой 544 и внутренней поверхностью трубки 520 относительно площади 521 поперечного сечения между HCF 508 и внутренней поверхностью трубки 520 в местах трубки 520, которые расположены дальше от перегородки или которые не содержат перегородку 544. В результате создается перепад давления, причем давление газа в трубке 520 меньше у, вблизи или ближе всего к концу 536 HCF 508, чем у противоположного конца 534 того же самого HCF 508.

Этот перепад давления может привести к тому, что газ будет втягиваться, притягиваться или иным образом всасываться во внутреннюю сердцевину 532 HCF 508. Например, давление газа, утекающего из источника 102 внутри измерительной трубки 520, может быть больше в объеме внутреннего пространства 540 трубки 520 в пределах уменьшенной площади поперечного сечения между перегородкой 544 и внутренней поверхностью трубки 520, чем в другом объеме внутреннего пространства 540 трубки 520. Это более низкое давление на конце 536 HCF 508 может приводить к втягиванию, притягиванию или всасыванию газа во внутреннюю сердцевину 532 HCF 508 через конец 534 HCF 508.

Перепад давления принудительно перемещает газ утечки в полую сердцевину 532 HCF 508 быстрее, чем меньший перепад давления. Большие концентрации или количества газа в HCF 508 могут приводить к тому, что наличие газа будет несколько более вероятно обнаружено, чем при меньших концентрациях в HCF 508. В результате утечка газа может быть обнаружена раньше, чем в системах без перепада давления.

На фиг. 5 показан вид в разрезе участка измерительной трубки 620, выполненной в соответствии с одним вариантом выполнения. Трубка 620 может представлять собой одну или несколько измерительных трубок, описанных в настоящем документе. Трубка 620 содержит секцию или сегмент 646 большего диаметра и секцию или сегмент 648 меньшего диаметра. Как показано на фиг. 5, площадь 621 поперечного сечения, через которую протекает газ, утекающий из источника 102, и/или воздух, протекающий в сегменте 646 большего размера измерительной трубки 620, может быть больше площади 623 поперечного сечения, через которую протекает газ, утекающий из источника 102, и/или воздух, протекающий в меньший 648 меньшего размера трубки 620.

В отличие от измерительной трубки 120, показанной на фиг. 1-2, трубка 620 может проходить от одного конца 652 к противоположному концу 654, причем противоположные концы 652, 654 расположены ближе друг к другу (например, на том же конце места 104 проведения испытаний, показанного на фиг. 1), чем в трубке 620 без изгибов 650 (например, в трубке 120, показанной на фиг. 1). Размещение концов 652, 654 трубки 620 ближе друг к другу может обеспечить совместное расположение большего количества компонентов системы обнаружения утечки газа, чем если бы концы 652, 654 были расположены дальше друг от друга. Например, насос 124 (показан на фиг. 1) может быть соединен с концом 652 и размещен совместно с опрашивающим устройством 212 (показано на фиг. 1) вместо противоположных концов измерительной трубки 120.

Сегменты 646, 648 проточно соединены друг с другом. В проиллюстрированном варианте выполнения сегменты 646, 648 проточно соединены посредством изгиба 650 в трубке 620. Необязательно, для обеспечения проточного соединения сегментов 646, 648 может использоваться другой трубопровод. Проточное соединение сегментов 646, 648 позволяет пропускать воздух из насоса 124, расположенного у конца или соединенного с концом 652 трубки 620 для протекания (с газом, утекающим из источника 102 в случае утечки) через сегмент 646 большего размера трубки 620 вдоль направления 442 потока через изгиб 650, или другое проточное соединение между сегментами 646, 648 и через сегмент 648 меньшего размера (например, в направлении, противоположном направлению 442 потока в сегменте 646 большего размера).

Несколько HCF 108 могут быть соединены с измерительной трубкой 620. На фиг. 5 не показаны волокна ПО, 210, 310 с твердотельной сердцевиной, показанные на фиг. 1-2, которые могут быть оптически соединены с HCF 108, как описано выше. В проиллюстрированном варианте выполнения один конец 656 каждого HCF 108 проходит в сегмент 646 большего размера измерительной трубки 620 (например, через одно или несколько отверстий в измерительной трубке 620), а противоположный конец 658 того же самого HCF 108 проходит в сегмент 648 меньшего размера той же самой измерительной трубки 620.

Для измерения наличия утечки газа из источника 102 газ обычно поступает в трубку 620 через одно или несколько отверстий 122 (не показаны на фиг. 5, но показаны на фиг. 1) и постепенно переходит в полую сердцевину одного или нескольких из HCF 108. Насос 124 может быть проточно соединен с концом 652 сегмента 646 большего размера трубки 620 для создания воздушного потока вдоль направления 442 потока. Этот воздушный поток может перемешать утечку газа через трубку 620, как описано выше.

Различные площади 621, 623 поперечного сечения сегментов 646, 648 трубки 620 могут создавать перепад давления в газе, утекающем через противоположные концы 656, 658 одного или нескольких HCF 108. Большая площадь 621 поперечного сечения в сегменте 646 большего размера трубки 620 приводит к тому, что давление утечки газа на конце 656 одного или нескольких из HCF 108 будет выше, чем давление утечки газа на конце 658 того же самого HCF 108 в сегменте 648 меньшего размера (например, из-за меньшей площади 623 поперечного сечения). Газ и/или воздух, протекающий в сегменте 648 меньшего размера измерительной трубки 620, имеет меньшую площадь 623 поперечного сечения относительно площади 621 поперечного сечения сегмента 646 большего размера измерительной трубки 620. Как результат, возникает перепад давления, при этом давление газа в трубке 620 ниже у, ближе или вблизи конца 658 HCF 108, чем у противоположного конца 656 того же самого HCF 108.

Этот перепад давления может приводить к тому, что газ будет втягиваться, притягиваться или иным образом всасываться во внутреннюю сердцевину HCF 108. Давление газа, вытекающего из источника 102 внутри измерительной трубки 620, может быть ниже в сегменте 648 меньшего размера, чем в сегменте 646 большего размера. Это более низкое давление на конце 658 HCF 108 может привести к тому, что газ будет втягиваться, притягиваться или всасываться во внутреннюю сердцевину HCF 108 через конец 656 HCF 108. Большие концентрации или количества газа в HCF 108 могут приводить к тому, что наличие газа будет обнаружено с большей вероятностью, чем в случае меньших концентраций в HCF 108. В результате газ утечки может быть обнаружен раньше, чем в системах без перепада давления.

На фиг. 6 изображена система 700 обнаружения утечки газа, выполненная в соответствии с другим вариантом выполнения. На фиг. 6 также показан увеличенный вид 701 части системы 700. Система 700 содержит измерительную трубку 720, которая может быть аналогичной или идентичной трубке 120, показанной на фиг. 1. Хотя это на фиг. 6 и не показано, трубка 720 может иметь отверстия 122 (показанные на фиг. 1), чтобы обеспечивать возможность утечки газа из источника 102 (показанного на фиг. 1) для поступления во внутреннюю часть трубки 720.

Одно или несколько HCF 108 оптически соединено с опрашивающим устройством 212 или 312 (не

показаны на фиг. 6, но показаны на фиг. 1-2) системы 700 одним или несколькими волокнами 710 с твердотельной сердцевиной, которые могут быть похожими или идентичными волокнам 110, 210 или 310 с твердотельной сердцевиной. В отличие от систем обнаружения утечки газа и измерительных трубок, показанных на фиг. 1-4, волокна 710 с твердотельной сердцевиной и часть или большинство (например, по меньшей мере большинство) HCF 108 расположены снаружи измерительной трубки 720 в системе 700. Волокна 710 с твердотельной сердцевиной могут быть прикреплены к наружной поверхности измерительной трубки 720 и могут быть соединены с одним или несколькими HCF 108 механическим сращиванием или посредством соединителя 760. Сращивание 760 оптически соединяет волокно 710 с твердотельной сердцевиной с концом 658 HCF 108, чтобы обеспечить возможность распространения света через волокно 710 с твердотельной сердцевиной для проникновения вовнутрь и распространения через полую сердцевину HCF 108. В одном варианте выполнения сращивание 760 может быть использовано для оптического соединения волокна с твердотельной сердцевиной и HCF одного или нескольких других вариантов выполнения, описанных в настоящем документе. Сращивание 760 может быть открыто для атмосферного давления снаружи измерительной трубки 720.

Сегмент HCF 108, который содержит конец 656 HCF 108, может быть расположен внутри трубки 720, тогда как остальная часть HCF 108 расположена снаружи трубки 720. В одном варианте выполнения сегмент HCF 108, который находится внутри трубки 720, короче, чем сегмент HCF 108, который находится снаружи трубки 720. Трубка 720 содержит одно или несколько измерительных отверстий 762, через которые HCF 108 проходят во внутреннюю область трубки 720. Измерительные отверстия 762 могут быть отверстиями в трубке 720 в дополнение к отверстиям 122, через которые газ, утекающий из источника 102 (показан на фиг. 1), поступает в трубку 720. В качестве альтернативы, одно или несколько отверстий 122, через которые газ поступает в трубку 720, можно использовать в качестве одного или нескольких измерительных отверстий 762.

Конец 656 HCF 108 вставляется во внутреннее пространство измерительной 720 через или посредством измерительного отверстия 762. Поверх измерительного отверстия 762 расположено уплотнение 764, причем HCF 108 проходит через уплотнение 764. Уплотнение 764 может быть герметичным уплотнением, которое не позволяет газу или воздуху внутри трубки 720 ни вытекать из измерительной трубки 720, ни втекать в трубку 720 через измерительное отверстие 762. Уплотнение 764 может быть выполнено из жесткого или эластичного материала, такого как термопластичный материал, резиновый материал и т.д.

Как описано выше, утечка газа из источника 102 может проникать внутрь трубки 720 через одно или несколько отверстий 122 в трубке 720. Этот газ может проникать в полую сердцевину одного или нескольких HCF 108 через конец 656 соответствующих HCF 108. Свет, распространяющийся снаружи трубки 720 в волокнах 710 с твердотельной сердцевиной, может входить в HCF 108 и, необязательно, отражаться отражателем на конце или вблизи конца 656 HCF 108 для обнаружения наличия газа в полости сердцевины HCF 108, как описано выше.

Размещение волокна(ов) 710 с твердотельной сердцевиной и по меньшей мере одного сегмента HCF 108 снаружи трубки 720 обеспечивает системе 700 возможность быть добавленной в существующую трубку 720 без необходимости замены или значительной модификации трубки 720. Например, несмотря на то, что в трубке 720 может возникнуть необходимость создания дополнительных отверстий для формирования измерительных отверстий 762, другие модификации в трубке 720 (включая изменения во внутренней части трубки 720), не обязательно должны быть сделаны. Это может обеспечить возможность использования варианта выполнения системы 700, показанной на фиг. 6, для легкой модернизации существующей измерительной трубки с помощью системы 700.

Конец трубки 720, на котором выходит протекающий по ней газ, может дополнительно иметь ограничительный или предохранительный клапан. Когда воздух закачивается в трубку 720 с другого конца, давление внутри трубки 720 увеличивается из-за наличия ограничительного или предохранительного клапана. Это создает перепад давлений в HCF и заставляет газ, находящийся в трубке 720, входить в отверстие 656 HCF, поскольку другой конец HCF 658 находится снаружи трубки и при более низком атмосферном давлении.

Фиг. 7 иллюстрирует блок-схему последовательности операций в соответствии с одним вариантом выполнения способа 800 обнаружения наличия представляющего интерес газа в месте проведения испытаний. Способ 800 может быть выполнен одним или несколькими вариантами выполнения описанных в настоящем документе систем для обнаружения наличия представляющего интерес газа, такого как, но не ограничиваясь этим, метана, вытекающего из трубопровода в подземную шахту, на горнодобывающую платформу или в другом месте.

На этапе 802 воздух необязательно направляют через измерительную трубку, имеющую множество волокон с твердотельной сердцевиной, расположенных в разных местоположениях в измерительной трубке или вдоль нее. Этот воздух может проталкиваться через измерительную трубку для перемещения представляющего интерес газа через измерительную трубку, чтобы способствовать обнаружению газа. Воздух может проходить через измерительную трубку с периодическими интервалами, в выбранное время или по требованию, непрерывно или в любое другое время. Например, воздух может быть и не посто-

янно принудительно подаваться или накачиваться через измерительную трубку.

На этапе 804 давление внутри измерительной трубки необязательно изменяют. Давление может быть изменено для создания перепада давления на противоположных концах одного или нескольких волокон с поллой сердцевиной или между ними, как описано выше. Этот перепад давления может быть создан для того, чтобы втягивать, притягивать или всасывать воздух и/или газы, находящиеся в измерительной трубке, в одно или несколько НСФ, чтобы сократить период времени, необходимый для обнаружения потенциального наличия представляющего интерес газа. В качестве альтернативы, этап 804 может и не выполняться.

На этапе 806 свет направляют к множеству волокон с твердотельной сердцевиной. Свет может быть направлен к волокнам с твердотельной сердцевиной на одной или нескольких выделенных или выбранных оператором длинах волн. Эти длины волн могут быть выбраны на основе представляющего интерес газа. Например, различные газы могут поглощать различное количество различных длин волн света. Управление длиной(ами) волн(ы) света, распространяющегося к волокнам с поллой сердцевиной и в них, позволяет определять, какой газ обнаружен. Свет может быть направлен на волокна с поллой сердцевиной через одно или несколько волокон с твердотельной сердцевиной, как описано выше.

На этапе 808 по меньшей мере часть света принимают после прохождения через одно или несколько волокон с поллой сердцевиной. Например, свет может проходить через волокна с поллой сердцевиной, и часть света может поглощаться газом(ами) в одном или нескольких волокнах с поллой сердцевиной. Необязательно, свет может проходить через одно или несколько волокон с поллой сердцевиной и отражаться обратно отражателями, расположенными в волокнах с поллой сердцевиной или соединенных с ними.

На этапе 810 принятый свет исследуют, чтобы определить, поглощается ли одна или несколько длин волн света в одном или нескольких волокон с поллой сердцевиной. Уменьшение амплитуды одной или нескольких длин волн света (например, по количеству обнаруженных фотонов, интенсивности или других измерений) относительно других длин волн света может указывать на то, что уменьшенная длина волны или длины волн света поглощаются газом в одном или нескольких волокнах с поллой сердцевиной.

На этапе 812 определяют, указывает ли поглощенный свет на наличие представляющего интерес газа. Например, если одна или несколько длин волн света были уменьшены, то можно определить, будет ли длина волны или длины волн, которые были уменьшены, представлять собой длину волны света, поглощаемого представляющим интерес газом. Если представляющий интерес газ не поглощает эти длины волн света, то представляющий интерес газ может и не присутствовать в волокне с поллой сердцевиной (из которого был получен свет, который и был исследован). В результате выполнение способа 800 могут вернуться к этапу 802 или, необязательно, к этапу 804, к этапу 806, или может закончиться. Но если представляющий интерес газ поглощает эти длины волн света, то представляющий интерес газ может присутствовать в волокне с поллой сердцевиной (из которого был получен свет, который и был исследован). В результате выполнение способа 800 может перейти к выполнению этапа 814.

На этапе 814 определяют местоположение представляющего интерес газа. Например, в зависимости от местоположения волокна с поллой сердцевиной, которое уменьшает указанную одну или несколько длин волн света, которые поглощаются представляющим интерес газом, и от скорости потока воздуха через измерительную трубку, можно определить местоположение утечки газа или источника газа. Местоположение может быть определено путем вычисления времени, в течение которого воздух будет поступать в волокно с поллой сердцевиной до обнаружения сигнала газа, и путем вычисления расстояния от источника газа на основе этого времени.

На этапе 816 может быть реализовано одно или несколько ответных действий. Например, в ответ на обнаружение утечки газа или источника газа, процессоры 118 могут генерировать и передавать сигнал тревоги, который вынуждает устройство выдачи сигнала (например, лампочка, динамик и т.д.) выдавать предупреждение о наличии газа и о местоположении газа. Необязательно, сигнал тревоги может передаваться насосу, перемещающему газ через трубопровод, чтобы отключить насос и прекратить перемещать газ по трубопроводу. В качестве альтернативы, могут быть реализованы одно или несколько других действий.

Фиг. 8 изображает еще один вариант выполнения системы 900 обнаружения распределенного газа. Подобно системе 300, показанной на фиг. 2, система 900 обнаруживает наличие, концентрацию и/или местоположение одного или нескольких представляющих интерес газов вдоль места 104 проведения испытаний. Система 300 содержит волоконно-оптический узел 906, который проходит на различные длины или на всю длину места 104 проведения испытаний. Волоконно-оптический узел 906 образован из множества НСФ 108, оптически соединенных с оптическими волокнами 310 с твердотельной сердцевиной, так что свет может передаваться внутри и через границу раздела между НСФ 108 и волокнами 310 с твердотельной сердцевиной. Аналогично волоконно-оптическому узлу 906, показанному на фиг. 3, каждое НСФ 108 оптически соединено с соответствующим (единственным) волокном 310 с твердотельной сердцевиной на одном конце НСФ 108.

Система 900 содержит полую удлиненную измерительную трубку 120, которая проходит вдоль места 104 проведения испытаний. Измерительная трубка 120 имеет отверстия 122, которые расположены на некотором расстоянии друг от друга по длине трубки 120. Необязательно, отверстия 122 могут представ-

лять собой пористые или микропористые отверстия, размеры которых достаточно малы, чтобы обеспечить диффузию газов через отверстия 122, одновременно предотвращая или блокируя прохождение жидкости и/или твердых частиц через отверстия 122. Необязательно, трубка 120 может быть покрыта мембраной, которая проницаема для представляющих интерес газов, но которая противодействует или препятствует проникновению воды или других жидкостей и твердых веществ, которые могут закупоривать трубку 120.

Система 900 также содержит опрашивающее устройство 312 из системы 300, показанной на фиг. 2, которая обнаруживает наличие и/или местоположение одного или нескольких представляющих интерес газов вдоль длины волоконного узла 906. Опрашивающее устройство 312 содержит источник 114 света, который оптически соединен с волоконным узлом 306 на одном конце волоконного узла 306. Источник 114 света генерирует свет, который передается на волоконный узел 306. В проиллюстрированном варианте выполнения мультиплексор 228 делит свет и передает разделенный свет в волокна 310 с твердотельной сердцевиной. Например, мультиплексор 228 может передавать свет в виде импульсов по одному за раз в разные волокна 310 с твердотельной сердцевиной в обозначенной последовательности. Волокна 310 с твердотельной сердцевиной оптически соединены с разными HCF 108, поэтому HCF 108 принимают свет в соответствии с последовательностью. Свет, распространяющийся через сердцевину HCF 108, возвращается обратно к детектору 116 устройства 312 благодаря наличию отражателей (например, зеркал) у, внутри или вблизи дистальных концов HCF 108, которые противоположны концам, которые соединяются с волокнами 310 с твердотельной сердцевиной. Мультиплексор 228 может принимать отраженный свет от волокон 310 с твердотельной сердцевиной до передачи принятого света в детектор 116.

Как описано выше, указанный один или несколько процессоров 118 исследуют свет, принимаемый детектором 116, для определения наличия и/или местоположения утечки газа вдоль или в пределах места 104 проведения испытаний.

Поскольку HCF 108 расположены в разных, разнесенных друг от друга местоположениях по длине трубки 120, чтобы обеспечить распределенное измерение утечек газа, волокна с твердотельной сердцевиной имеют разную длину, чтобы проходить между опрашивающим устройством 312 и соответствующим HCF 108. Расстояние между HCF 108 может быть относительно большим, например, около 5 км или около 10 км. Кроме того, опрашивающее устройство 312 может быть удаленным от места 104 проведения испытаний. Чтобы увеличить полное расстояние от опрашивающего устройства 312 до соответствующего HCF 108, некоторые из волокон 310 с твердотельной сердцевиной могут представлять собой последовательность или ряд волокон 310 с твердотельной сердцевиной, которые оптически соединены друг с другом на концах. Например, четыре волокна 310 с твердотельной сердцевиной, имеющие индивидуальную длину 10 км, могут быть сращены друг с другом, чтобы проходить на расстояние до 40 км, чтобы оптически соединить один из HCF 108 с устройством 312.

Подобно системе 700 обнаружения утечки газа, показанной на фиг. 6, волокна 310 с твердотельной сердцевиной и часть HCF 108 системы 900 расположены снаружи измерительной трубки 120. Например, первый конец 908 каждого из HCF 108 оптически соединен с соответствующим волокном 310 с твердотельной сердцевиной снаружи измерительной трубки 120. HCF 108 проходят в измерительную трубку 120 в соответствующих местоположениях HCF 108 таким образом, что противоположный второй конец 910 каждого HCF 108 расположен во внутреннем пространстве полой измерительной трубки 120. Трубка 120 имеет измерительные отверстия 912, которые проходят через наружную стенку трубки 120. Каждое HCF 108 проходит через соответствующее одно из измерительных отверстий 912. В качестве альтернативы, одно или большее количество отверстий 122 (через которые в трубку 120 входит газ, утекающий из источника (например, трубопровода 102)), могут использоваться как измерительные отверстия 912, через которые HCF 108 проходят в трубку 120. Несмотря на то, что это не показано на фиг. 8, трубка 120 может содержать уплотнения (например, уплотнение 1020 показанное на фиг. 10), окружающие HCF 108 у измерительных отверстий 912 или вблизи них, чтобы герметизировать трубку 120. Например, уплотнения могут заполнять любые промежутки или зазоры, которые образуются между HCF 108 и краями измерительного отверстия 912, через которое проходит HCF 108. Уплотнения могут обеспечивать герметичное уплотнение, которое не пропускает газ в трубку 120 или из нее через измерительные отверстия 912.

В проиллюстрированном варианте выполнения ни одна часть из волокон 310 с твердотельной сердцевиной не находится внутри измерительной трубки 120. Волокна 310 с твердотельной сердцевиной могут быть оптически соединены с первыми концами 908 HCF 108 снаружи измерительной трубки 120 механическим сращиванием или соединителем 760 (показан на фиг. 6). Как описано выше со ссылкой на фиг. 6, сращивание 760 может фиксировать и позиционировать конец волокна 310 с твердотельной сердцевиной и противоположного первого конца 908 HCF 108, чтобы обеспечивать возможность проникновения света, распространяющегося через волокно 310 с твердотельной сердцевиной, во внутрь полой сердцевины HCF 108, и распространения через него, и наоборот для отраженного света.

Как описано выше, газ, утекающий из трубопровода 102 или другого источника, может поступать вовнутрь трубки 120 через одно или несколько отверстий 122 в трубке 120. Этот утекающий газ входит в полую сердцевину одного или нескольких HCF 108 через второй конец 910 соответствующих HCF 108 в

трубке 120. Свет, передаваемый от источника 114 света через волокна 310 с твердотельной сердцевиной, входит в HCF 108 и отражается отражателями на конце 910 или вблизи конца HCF 108. Утекающий газ в одном или нескольких из HCF 108 может поглощать по меньшей мере некоторые длины волн света, которые могут быть обнаружены детектором 116 и/или процессорами 118 опрашивающего устройства 312 для обнаружения наличия газа в HCF 108.

Источник 124 управляющего газа (например, насос) направляет управляющий газ, такой как воздух, через измерительную трубку 120, чтобы проталкивать любой утекающий газ в трубку 120 в направлении вниз по HCF 108. Благодаря количеству, расходу, температуре и/или давлению воздуха, который прокачивается через измерительную трубку 120, давление внутри трубки 120 увеличивается до давления, которое больше, чем давление окружающей среды снаружи трубки 120. Например, для управления давлением в трубке 120 последняя может иметь ограничитель потока или предохранительный клапан. Как описано выше, трубка 120 может быть герметично закрыта, что позволяет создавать перепад давления между газом внутри трубки 120 и газом снаружи трубки 120. Поскольку вторые концы 910 HCF 108 расположены внутри трубки 120, то вторые концы 910 находятся под большим давлением, чем первые концы 908, расположенные снаружи трубки 120. Большее давление внутри трубки 120 заставляет газ, который находится внутри трубки 120, принудительно перемещаться в отверстия HCF 108 на вторых концах 910. Следовательно, перепад давления поддерживает обнаружение утечек газа, заставляя представляющие интерес газы принудительно перемещаться в HCF 108, где представляющие интерес газы могут быть обнаружены с использованием описанных в настоящем документе способов спектроскопии. Перепад давления заставляет газ принудительно перемещаться в HCF 108 с большей скоростью, чем это было бы только благодаря диффузии без перепада давления (например, изобарической диффузии), что может улучшить точность обнаружения по сравнению с использованием изобарической диффузии.

Размещение волокна 310 с твердотельной сердцевиной и по меньшей мере одного сегмента HCF 108 снаружи трубки 120 обеспечивает системе 900 возможность встраивания в существующую трубку 120 без необходимости замены или значительного изменения измерительной трубки 120. Например, несмотря на то, что в трубке 120 могут быть созданы дополнительные отверстия для формирования измерительных отверстий 912, другие изменения в трубке 120 (включая изменения во внутренней части трубки 120) могут и не потребоваться. Таким образом, система 900 может использоваться для легкой модификации существующей трубки 120, которая уже проходит вдоль места 104 проведения испытаний.

В проиллюстрированном варианте выполнения волокна 310 с твердотельной сердцевиной расположены, по меньшей мере частично, внутри полого удлиненного волоконного канала 914, который расположен рядом с трубкой 120 и проходит по длине измерительной трубки 120. Волокно 310 с твердотельной сердцевиной размещено или находится во внутреннем пространстве волоконного канала 914. Волоконный канал 914 может содержать или представлять собой трубки, трубы, кабели или тому подобное в дополнение к хомутам, соединителям и тому подобному, которые соединяют смежные сегменты трубок, труб или кабелей. Волоконный канал 914 может состоять из металла, такого как сталь и/или из пластмассы. Необязательно, волоконный канал 914 может иметь меньший диаметр, чем трубка 120. Например, волоконный канал 914 может иметь диаметр в 1/4 дюйма (0,64 см), тогда как диаметр трубки 120 составляет не менее 1/2 дюйма (1,27 см). В проиллюстрированном варианте выполнения первые концы 908 HCF 108 расположены внутри волоконного канала 914 и оптически соединены с соответствующими волокнами 310 с твердотельной сердцевиной внутри волоконного канала 914.

В дополнение к размещению волокон 310 с твердотельной сердцевиной и частей HCF 108 для системы 900 обнаружения распределенного газа, волоконный канал 914, необязательно, может также содержать другие расположенные в нем электрические провода и/или оптические волокна. Например, волоконный канал 914 может содержать оптические волокна, используемые для других способов обнаружения газа, таких как акустическое детектирование (например, распределенное акустическое детектирование (DAS)), температурное детектирование (например, распределенное температурное детектирование (DTS)), детектирование деформации и/или т.п. Волокна, используемые для DAS и/или DTS, оптически не соединены с HCF 108. Кроме того, волоконный канал 914 может содержать электрический провод и/или оптические волокна, используемые для передачи сигналов, таких как управляющих сигналов или данных. Волоконный канал 914, необязательно, может также содержать электрические провода для подачи электрической мощности (например, тока) к нагрузке. Таким образом, описанное в настоящем документе измерение распределенного газа может быть установлено совместно с другими технологиями или методами измерения, так что описанное в настоящем документе измерение распределенного газа использует тот же самый волоконный канал 914, что и другие технологии измерения. Измерение распределенного газа, описанное в настоящем документе, может быть объединено с другими технологиями измерения.

Волоконный канал 914 может, необязательно, представлять собой существующий канал, а волокна 310 с твердотельной сердцевиной нагнетанием, волочением, вытягиванием или иным образом могут быть вставлены в волоконный канал 914. HCF 108 могут быть установлены вблизи или внутри волоконного канала 914 только в конкретных разнесенных друг от друга местоположениях по длине волоконного канала 914. Следовательно, система 900 может использоваться для легкой модернизации существующего волоконного канала 914, который уже проходит вдоль места 104 проведения испытаний.

Фиг. 9 иллюстрирует сегмент системы 900 обнаружения распределенного газа, выполненной в соответствии с одним вариантом выполнения. На фиг. 9 также показан увеличенный вид 915 части сегмента системы 900. Поскольку трубка 120 и волоконный канал 914 могут проходить на большие расстояния вдоль длины трубопровода 102 или другого места 104 проведения испытаний, например до 100 км или превышая это значение, трубка 120 и волоконный канал 914 содержат места 916 соединения, расположенные на расстоянии друг от друга по длине. Места 916 соединения (и HCF 108 в них) могут быть отделены от смежного места 916 соединения (и HCF 108) на расстояние, например, не менее 0,5 км (500 м), например, 5 км или 10 км. На фиг. 9 показано только одно место 916 соединения, но показанное место 916 соединения может быть идентичным или по меньшей мере аналогичным другим местам соединения. Место 916 соединения представляет собой точку доступа, в которой оператор может получить доступ к измерительной трубке 120 и/или к волоконному каналу 914. Например, оператор в месте 916 соединения может вставлять волокна 310 с твердотельной сердцевиной и/или HCF 108 в волоконный канал 914. Оператор в месте 916 соединения может получить доступ к внутренним пространствам трубки 120 и канала 914 через канал (не показан), например, открывая крышку или удаляя небольшую часть трубы. Оператор также может проверить волокна и/или манипулировать с волокнами, которые находятся внутри волоконного канала 914 в месте 916 соединения, например, для проведения испытаний или для проведения ремонта. Место 916 соединения также может представлять собой точку соединения, в которой две дискретные длины трубы или трубки механически соединены вместе посредством соединителя, хомута или другого соединительного элемента. Например, длина трубы или трубки может составлять пять или десять километров, а места 916 соединения могут быть разнесены друг от друга на расстояние, соответствующее длине трубы или трубки.

В проиллюстрированном варианте выполнения трубопровод 102 расположен под землей (например, ниже поверхности 918 земли). Большая часть длины измерительной трубки 120 и волоконного канала 914 также спрятана под землей. В месте 916 соединения трубка 120 и канал 914 проходят над землей, чтобы обеспечить оператору на поверхности 918 возможность получения доступа к трубке 120 и волоконному каналу 914. Как показано на фиг. 9, сегменты трубки 120 и волоконный канал 914 в месте 916 соединения расположены относительно близко друг к другу, например, приблизительно два метра, приблизительно один метр или меньше.

Как показано на увеличенном виде 915 в разрезе трубки 120 и канала 914, трубка 120 в одном варианте выполнения соединена с волоконным каналом 914 в месте 916 соединения посредством соединительной трубки 920, которая проходит между ними. Соединительная трубка 920 может быть соединена с одним из измерительных отверстий 912 измерительной трубки 120. Соединительная трубка 920 может быть герметично закрыта в трубке 120 вокруг измерительного отверстия 912. Соединительная трубка 920 содержит по меньшей мере часть одного HCF 108. Поскольку соединительная трубка 920 соединяет трубку 120 с волоконным каналом 914, соединительная трубка 920 задает узел. HCF 108 расположены в узлах. Например, HCF 108 проходит от измерительной трубки 120 через по меньшей мере часть соединительной трубки 920, чтобы оптически соединиться с соответствующим волокном 310 с твердотельной сердцевиной. В проиллюстрированном варианте выполнения HCF 108 оптически соединяется с волокном 310 с твердотельной сердцевиной внутри соединительной трубки 920, так что первый конец 908 расположен внутри соединительной трубки 920. Например, HCF 108 оптически соединен с волокном 310 с твердотельной сердцевиной посредством механического сращивания 921, расположенного в соединительной трубке 920. В другом варианте выполнения HCF 108 может полностью проходить через соединительную трубку 920, так что первый конец 908 находится внутри волоконного канала 914 и оптически соединяется с волокном 310 с твердотельной сердцевиной внутри волоконного канала 914. Хотя это и не показано на фиг. 9, соединительная трубка 920 может содержать по меньшей мере одно уплотнение, которое герметизирует соединительную трубку 920 вокруг HCF 108. Например, уплотнение может проходить в радиальном направлении между наружной поверхностью HCF 108 и внутренней поверхностью соединительной трубки 920 для герметичного уплотнения трубки 920, чтобы предотвращать протекание газа через трубку 920 из измерительной трубки 120 в волоконный канал 914 (или наоборот).

На фиг. 10 изображен вид в разрезе сегмента системы 900 в месте 916 соединения, в соответствии с одним вариантом выполнения. На фиг. 10 показана соединительная трубка 920, соединяющая волоконный канал 914 и трубку 120 для определения узла. В проиллюстрированном варианте выполнения волоконный канал 914 содержит каналный соединитель 1002, который механически соединяет два сегмента 1004 трубы волоконного канала 914, чтобы продлить длину волоконного канала 914. Признано, что сегменты 1004 трубы могут представлять собой трубки, кабели или тому подобное, как описано выше. Канальный соединитель 1002 представляет собой соединительный элемент, такой как хомут, втулка, наконечник, сращивание или тому подобное. Кроме того, трубка 120, изображенная на фиг. 10, содержит трубчатый соединитель 1006, который механически соединяет два трубчатых сегмента 1008 трубки 120, чтобы продлить длину трубки 120. Трубчатый соединитель 1006 может представлять собой хомут, втулку, наконечник, сращивание или тому подобное, а трубчатые сегменты 1008 могут представлять собой длины трубы, трубки, кабели и т.п.

В проиллюстрированном варианте выполнения соединительная трубка 920 механически соединена

с канальным соединителем 1002 и трубчатым соединителем 1006. В качестве альтернативы, соединительная трубка 920 может быть соединена с одним из сегментов 1004 трубы и/или с одним из сегментов 1008 трубки. HCF 108 в показанном варианте выполнения полностью проходит через соединительную трубку 920, так что первый конец 908 расположен внутри канального соединителя 1002 волоконного канала 914, а второй конец 910 расположен внутри трубчатого соединителя 1006 измерительной трубки 120. Первый конец 908 оптически соединен с дистальным концом 1012 соответствующего волокна 310 с твердотельной сердцевиной посредством механического сращивания 921 (показано пунктирными линиями). Механическое сращивание 921 содержит два устройства 1010 управления светом (например, линзы), используемые для управления направлением световых лучей через два волокна 310, 108. Между двумя концами 908, 910 HCF 108 имеет длину, которая может составлять приблизительно между 0,1 м и 10 м, например, приблизительно 1 м. Длина HCF 108 может быть основана на пространстве между волоконным каналом 914 и измерительной трубкой 120 в узле. Как показано на фиг. 10, соединительная трубка 920 содержит уплотнение 1020, которое герметизирует соединительную трубку 920 вокруг HCF 108. Уплотнение 1020 может быть выполнено из жесткого или упругого материала, такого как термопластичный материал, резиновый материал или тому подобное. Уплотнение 1020 может быть воздухопроницаемым (или герметичным) уплотнением, которое допускает существование градиента давления между давлением в измерительной трубке 120 и давлением в волоконном канале 914. Полая сердцевина 432 HCF 108 может обеспечивать единственный путь утечки из измерительной трубки 120 в волоконный канал 914. Однако диаметр полой сердцевины 432 для поддержания градиента давления может быть достаточно малым, например, менее 50 мкм.

В проиллюстрированном варианте выполнения система 900 содержит отражатель 1014, расположенный в измерительной трубке 120, который оптически соединен со вторым концом 910 HCF 108. Отражатель 1014 изображен как вогнутое зеркало, но в других вариантах выполнения он может иметь другие формы и/или компоненты (например, одну или несколько линз). Отражатель 1014 выполнен с возможностью отражать свет, полученный от HCF 108, обратно в HCF 108 таким образом, что свет распространяется через HCF 108 и волокно 310 с твердотельной сердцевиной назад к опрашивающему устройству 312 (изображенному на фиг. 8). В проиллюстрированном варианте выполнения отражатель 1014 отстоит, по меньшей мере немного, от конца 910 HCF 108 таким образом, что конец 910 подвергается воздействию окружающей среды в измерительной трубке 120. Хотя это и не показано, короткий сегмент волокна с твердотельной сердцевиной оптически может быть расположен между вторым концом 910 HCF 108 и отражателем 1014 и используется для направления света между HCF 108 и отражателем 1014.

На втором конце 910 HCF 108 имеет дистальное отверстие 1016, через которое газ, такой как представляющий интерес газ, может диффундировать в полую сердцевину 432 HCF 108. Газ в полую сердцевину 432 может взаимодействовать со светом, распространяющимся через HCF 108, поглощая по меньшей мере некоторые длины волн света, которые могут быть обнаружены опрашивающим устройством 312. На первом конце 908 HCF 108 также имеет проксимальное отверстие 1018. Необязательно, оболочка 433 не содержит каналов по длине HCF 108 между проксимальным и дистальным отверстиями 1016, 1018, но в альтернативном варианте выполнения HCF 108 может иметь по меньшей мере несколько каналов по всей длине.

Как показано на фиг. 10, волоконный канал 914 содержит множество оптических волокон в дополнение к волокну 310А с твердотельной сердцевиной, которое оптически соединено с изображенным HCF 108. Например, волоконный канал 914 содержит DAS-волокно 1022, которое используется для акустического измерения, и два дополнительных волокна 310В, 310С с твердотельной сердцевиной. Каждое из волокон 310В, 310С с твердотельной сердцевиной оптически соединено с различными соответствующими HCF 108 (показанными на фиг. 8), расположенными в разных узлах и/или в местах 916 соединения, чтобы обеспечить обнаружение распределенного газа. В месте 916 соединения два сегмента каждого из волокон 1022, 310В, 310С соединены друг с другом посредством соответствующих оптических сращиваний 1024, которые могут быть похожими, а могут быть и не похожими на механическое сращивание 921.

В соответствии с другим вариантом выполнения, на фиг. 11 изображен вид в разрезе сегмента системы 900 в месте 916 соединения. Как и в варианте выполнения, показанном на фиг. 10, система 900 содержит соединительную трубку 920, через которую HCF 108 проходит в измерительную трубку 120. Волоконный канал 914, с которым соединена соединительная трубка 920, на фиг. 11 не показана. В отличие от варианта выполнения, показанного на фиг. 10, соединительная трубка 920 на фиг. 11 ограничена верхним трубчатым сегментом 1102 и нижним трубчатым сегментом 1104. Каждый из трубчатых сегментов 1102, 1104 проходит между волоконным каналом 914 (показан на фиг. 10) и трубчатым соединителем 1006 измерительной трубки 120 и соединяет их между собой. Трубчатые сегменты 1102, 1104 называются верхним по потоку и нижним по потоку сегментами, основываясь на направлении потока (или другого управляющего газа), в котором он прокачивается через измерительную трубку 120. HCF 108 в месте 916 соединения проходит через верхний по потоку сегмент 1102 и в трубку 120 через первое измерительное отверстие 912А в трубчатом соединителе 1006. Волокно 310 с твердотельной сердцевиной оптически соединено со вторым концом 910 HCF 108 в трубке 120 через сращивание 921. Волокно 310 с твердотельной сердцевиной проходит от измерительной трубки 120 через второе измерительное отверстие

912В и через нижний по потоку сегмент 1104 в волоконный канал 914. Следовательно, большая часть или по меньшей мере часть волокна 310 с твердотельной сердцевиной, изображенного на фиг. 11, расположена снаружи трубки 120.

Как описано выше, первый конец 908 НCF 108 оптически соединен с соответствующим волокном 310А с твердотельной сердцевиной (показано на фиг. 10) снаружи трубки 120. Волокно 310А с твердотельной сердцевиной упоминается как верхнее по потоку волокно 310А с твердотельной сердцевиной, а волокно 310 с твердотельной сердцевиной, изображенное на фиг. 11, упоминается как нижнее по потоку волокно 310В с твердотельной сердцевиной. Волокна 310А, 310В с твердотельной сердцевиной называются волокнами, расположенными выше по потоку и ниже по потоку, в зависимости от направления потока, в котором воздух (или другой управляющий газ) прокачивается через трубку 120. Таким образом, НCF 108 соединен между волокнами 310А, 310В с твердотельной сердцевиной выше и ниже по потоку для определения последовательности или ряда волокон, которые обеспечивают оптический путь передачи. Вариант выполнения системы 900 обнаружения распределенного газа, показанной на фиг. 11, содержит опрашивающее устройство 212, показанное на фиг. 1, или аналогичное опрашивающее устройство, в котором источник 114 света (фиг. 1) и детектор 116 (фиг. 1) расположены удаленно друг от друга, например, на противоположных концах места 104 проведения испытаний (фиг. 1). Например, верхнее по потоку волокно 310А с твердотельной сердцевиной (показанное на фиг. 10) может передавать свет от источника 114 света в НCF 108, где свет может взаимодействовать с газом внутри НCF 108. Нижнее по потоку волокно 310В с твердотельной сердцевиной может передавать свет от НCF 108 к детектору 116 для спектроскопического анализа света для определения характеристик газа в НCF 108. В одном варианте выполнения верхний по потоку трубчатый сегмент 1102 содержит первое уплотнение 1020А, а нижний по потоку трубчатый сегмент 1104 содержит второе уплотнение 1020В. Первое уплотнение 1020А создает уплотнение вокруг НCF 108, как описано на фиг. 10, а второе уплотнение 1020В создает уплотнение вокруг нижнего по потоку волокна 310В с твердотельной сердцевиной.

На фиг. 12 изображен сегмент системы 900 обнаружения распределенного газа, выполненной в соответствии с другим вариантом выполнения, а также в увеличенном виде 1202 показана часть сегмента системы 900. Иллюстративный вариант выполнения аналогичен варианту выполнения, показанному на фиг. 9. Например, измерительная трубка 120 и волоконный канал 914 расположены под землей, проходя вдоль места 104 проведения испытаний, которое содержит газопровод 102. В месте 916 соединения измерительная трубка 120 и волоконный канал 914 проходят к поверхности 918 земли, чтобы обеспечить оператору возможность получения доступа к измерительной трубке 120 и волоконному каналу 914. В отличие от варианта выполнения, показанного на фиг. 9, проиллюстрированный вариант выполнения, изображенный на фиг. 12, в месте 916 соединения содержит распределительную коробку 1204. Несмотря на то, что изображена только одна распределительная коробка 1204, система 900 может содержать распределительную коробку 1204 во всех (или по меньшей мере в некоторых) местах 916 соединения. Следовательно, распределительные коробки 1204 могут быть разнесены друг от друга по длине трубки 120.

Увеличенный вид 1202 показывает поперечное сечение распределительной коробки 1204, выполненной в соответствии с вариантом выполнения. Распределительная коробка 1204 окружает участок измерительной трубки 120 и длины волокон 310 с твердотельной сердцевиной волоконного канала 914. Например, измерительная трубка 120 проходит в распределительную коробку 1204 через первое впускное отверстие 1206 и выходит из распределительной коробки 1204 через первое выпускное отверстие 1208. Волоконный канал 914 соединен со вторым впускным отверстием 1210 распределительной коробки 1204 и, необязательно, проходит через него по меньшей мере частично. Волоконный канал 914 также соединен со вторым выпускным отверстием 1212 и проходит от распределительной коробки 1204 у второго выпускного отверстия 1212. Одно из волокон 310А с твердотельной сердцевиной оптически соединено с первым концом 908 НCF 108 снаружи измерительной трубки 120, но внутри распределительной коробки 1204. Например, НCF 108 может быть оптически соединено с волокном 310 с твердотельной сердцевиной посредством механического сращивания 921 в распределительной коробке 1204 (но вне участка трубки 120). НCF 108 проходит от измерительной трубки 120 во внутреннюю часть распределительной коробки 1204 (и до сращивания 921) через измерительное отверстие 912 в измерительной трубке 120. Трубка 120 может быть герметизирована от воздуха в распределительной коробке 1204 с помощью уплотнения (не показано), расположенным в измерительном отверстии 912. Другие волокна 310 с твердотельной сердцевиной и любые дополнительные волокна, провода или кабели в волоконном канале 914 могут проходить через соединительную коробку 1204 между вторым впускным отверстием 1210 и вторым выпускным отверстием 1212 без соединения с НCF 108 или взаимодействия с трубкой 120.

В одном варианте выполнения распределительная коробка 1204 герметично закрыта (например, воздухонепроницаема) и содержит клапан 1216 сброса давления (или другое устройство управления давлением) для уменьшения давления в распределительной коробке 1204. Например, клапан 1216 сброса давления может быть выполнен с возможностью поддержания давления в распределительной коробке 1204 при атмосферном давлении. Давление внутри трубки 120 может быть больше, чем давление в коробке 1204, что создает перепад давления между первым концом 908 и вторым концом 910 НCF 108. Как описано выше, перепад давления заставляет больше газа из трубки 120 принудительно входить в НCF

108, чем в случае, когда градиент давления отсутствует, или в случае, когда давление в коробке 1204 больше, чем давление в трубке 120. Увеличенное количество газа внутри HCF 108 может улучшить характеристики (например, точность) системы 900 обнаружения распределенного газа.

Фиг. 13 иллюстрирует блок-схему последовательности операций одного варианта выполнения способа 1300 обнаружения наличия представляющего интерес газа в месте проведения испытаний. Способ 1300 может быть реализован одним или несколькими вариантами выполнения описанных в настоящем документе систем для обнаружения наличия представляющего интерес газа, такого как, но не ограничиваясь этим, метана, утекающего из трубопровода в подземной шахте, горнодобывающей платформе или в другом месте. Например, способ 1300 может быть реализован одним или несколькими вариантами выполнения системы 900, показанной на фиг. 8-12.

На этапе 1302 волокна с твердотельной сердцевиной устанавливают в волоконном канале. Волокна с твердотельной сердцевиной могут быть установлены в существующий волоконный канал, который проходит вдоль места проведения испытаний, различными способами установки, такими как нагнетание, волочение, вытягивание волокон с твердотельной сердцевиной в волоконный канал в месте соединения. Например, волоконный канал может быть закопан, и единственные участки волоконного канала, которые проходят до поверхности земли, находятся в местах соединения. Волокна с твердотельной сердцевиной могут быть установлены в уже существующий волоконный канал путем нагнетания, волочения, вытягивания или чего-либо другого, волокон с твердотельной сердцевиной в волоконный канал в месте соединения. Поэтому волокна с твердотельной сердцевиной могут быть установлены в волоконный канал без раскапывания волоконного канала.

На этапе 1303 обеспечивают прохождение волокон с полый сердцевиной (HCF) через измерительную трубку в разных местах вдоль места проведения испытаний. HCF могут быть установлены таким образом, чтобы первые концы HCF были расположены снаружи измерительной трубки, а противоположные концы HCF были расположены внутри измерительной трубки. Измерительная трубка является перфорированной и/или пористой для обеспечения возможности диффузии газа из места проведения испытаний во внутреннее пространство измерительной трубки. По меньшей мере часть газа может диффундировать в одно или несколько HCF внутри измерительной трубки. Необязательно, HCF могут быть установлены на существующую измерительную трубку, например, в местах соединения по длине измерительной трубки. На этапе 1306 HCF оптически соединяют с волокнами с твердотельной сердцевиной снаружи измерительной трубки. Например, первый конец каждого HCF оптически соединяют с соответствующим волокном с твердотельной сердцевиной внутри волоконного канала, в распределительной коробке или внутри соединительной трубки, которая проходит между волоконным каналом и измерительной трубкой и соединяет их друг с другом. HCF могут быть оптически соединены с волокнами с твердотельной сердцевиной в местах соединения. Для оптического соединения HCF с волокнами с твердотельной сердцевиной могут использоваться механические сращивания.

На этапе 1306 управляющий газ, такой как воздух, необязательно направляют в осевом направлении через измерительную трубку. Управляющий газ может быть протолкнут или вытянут через измерительную трубку посредством насоса или другого источника управляющего газа. Управляющий газ перемещает любой представляющий интерес газ через измерительную трубку, чтобы способствовать обнаружению газа. Проточный управляющий газ может перемещать представляющий интерес газ к одному или нескольким HCF, которые проходят в измерительную трубку, так что по меньшей мере часть представляющего интерес газа диффундирует в один или несколько HCF. Например, измерительная трубка может иметь большее внутреннее давление, чем окружающая среда снаружи измерительной трубки, что может быть частично обусловлено давлением управляющего газа внутри измерительной трубки. Следовательно, вторые концы HCF внутри измерительной трубки могут находиться под большим давлением, чем первые концы HCF снаружи измерительной трубки. Перепад давления может вытягивать представляющий интерес газ во второй конец одного или нескольких HCF. Управляющий газ может проходить по измерительной трубке через периодические, выбранные интервалы времени или по требованию, непрерывно или в другие времена. Например, воздух может и не перемещаться или перекачивается принудительно на постоянной основе через измерительную трубку.

На этапе 1308 свет направляют через волокна с твердотельной сердцевиной в HCF. Свет может иметь одну или несколько заданных или выбранных пользователем длин волн. Эти длины волн могут быть выбраны на основе представляющего интерес газа. Например, различные газы могут поглощать разное количество различных длин волн света. Управляя длиной волны света, распространяющегося к HCF и в него, можно определять, какие из газов были обнаружены. Свет внутри HCF может взаимодействовать с газами в HCF. Например, газы могут поглощать одну или несколько длин волн света в зависимости от типа газа в каждом HCF.

На этапе 1310 по меньшей мере часть света принимают после передачи через одно или несколько HCF. В одном варианте выполнения свет может проходить через HCF и передаваться через дополнительные волокна с твердотельной сердцевиной в детектор. В альтернативном варианте выполнения свет может проходить через HCF и отражаться обратно к источнику света с помощью отражателей, расположенных в HCF или оптически соединенных с HCF. В любом случае, свет может быть принят детектором

опрашивающего устройства. На этапе 1312 принятый свет исследуют, чтобы определить, были ли длины волн света поглощены в одном или нескольких НСФ. Уменьшение амплитуды одной или нескольких длин волн света (например, по количеству обнаруженных фотонов, интенсивности или других измерений) относительно других длин волн света может указывать на то, что уменьшенная длина волн(ы) света была поглощена газом внутри одного или нескольких НСФ.

На этапе 1314 определяют, указывает ли поглощенный свет на наличие представляющего интерес газа. Например, если бы длины волн света были уменьшены, то можно было бы определить, были ли уменьшенные длины волн характерными длинами волн света, которые поглощаются представляющим интерес газом. Если представляющий интерес газ не поглощает эти длины волн света, которые уменьшены, то представляющий интерес газ может и не присутствовать в НСФ (из которого был получен исследуемый свет). В результате выполнение способа 1300 может вернуться к выполнению этапа 1306 или, возможно, к выполнению этапа 1308 или может остановиться. Но если длины волн света, которые были уменьшены, являются характерными длинами волн, которые поглощает газ, тогда представляющий интерес газ может присутствовать в НСФ (из которого был получен исследуемый свет). В результате выполнение способа 1300 может перейти к выполнению этапа 1316.

На этапе 1316 определяют местоположение представляющего интерес газа. Например, конкретное НСФ, из которого был получен свет, может быть определено путем направления света в НСФ последовательно по одному. Свет также принимают из НСФ последовательно по одному, так что исследуемый свет связан с соответствующим НСФ. Известны местоположения НСФ вдоль места проведения испытаний. Основываясь на местоположении НСФ, в котором одна или несколько длин волн света поглощались представляющим интерес газом, и на скорости потока управляющего газа (например, воздуха) через измерительную трубку, можно определить местоположение источника газ (например, местоположение утечки). Местоположение может быть определено путем измерения количества времени, которое потребуется управляющему газу для протекания из начального положения в измерительной трубке к НСФ еще до обнаружения сигнала газа, а также путем вычисления расстояния от исходного положения до источника газа на основе этого количества времени и скорости потока управляющего газа.

На этапе 1318 может быть выполнено одно или несколько ответных действий. Например, в ответ на обнаружение утечки газа или источника газа, процессоры 118 могут генерировать и сообщать сигнал тревоги, который заставляет устройство выдачи сигнала (например, лампочку, динамик и т.д.) предупредить о наличии газа и указывать местоположение газа. Необязательно, сигнал тревоги может передаваться насосу, перемещающему газ через трубопровод, чтобы отключить насос и прекратить перемещение газа по трубопроводу. В другом примере сигнал тревоги может автоматически передаваться в виде сообщения на мобильное устройство, связанное с оператором и/или с центром управления. Сигнал тревоги может предоставлять информацию об обнаруженном утекающем газе, такую как идентификация типа газа, концентрация газа и местоположение газа вдоль места проведения испытаний (например, трубопровода, скважины, шахты, площадки скважины, и т.д.). В качестве альтернативы или дополнительно, может быть выполнено одно или несколько других действий.

В одном варианте выполнения предложена система (например, система обнаружения газа), которая содержит волокна с твердотельной сердцевиной, волокна с поллой сердцевиной и опрашивающее устройство. Волокна с твердотельной сердцевиной выполнены с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света. Волокна с поллой сердцевиной расположены в разных местоположениях. Каждое из волокон с поллой сердцевиной оптически соединено с другим соответствующим одним из волокон с твердотельной сердцевиной и выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, проходящего через соответствующее волокно с твердотельной сердцевиной. Опрашивающее устройство выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, распространяющегося через волокно с твердотельной сердцевиной и волокна с поллой сердцевиной. Опрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света в по меньшей мере одном из волокон с поллой сердцевиной.

Необязательно, волокна с поллой сердцевиной и волокна с твердотельной сердцевиной расположены, по меньшей мере частично, в удлиненной измерительной трубке, имеющей отверстия, через которые представляющий интерес газ может входить в измерительную трубку из источника указанного газа. Волокна с поллой сердцевиной расположены в разных местоположениях по длине измерительной трубки.

Необязательно, измерительная трубка имеет внутреннюю поверхность, имеющую один или несколько участков с уменьшенным поперечным сечением, с меньшей площадью поперечного сечения на первом конце одного или нескольких волокон с поллой сердцевиной, по сравнению с площадью поперечного сечения внутренней поверхности на противоположном, втором конце указанного одного или нескольких волокон с поллой сердцевиной.

Необязательно, одно или несколько волокон с поллой сердцевиной соединены с перегородкой, выходящей наружу из волокна с поллой сердцевиной. Перегородка расположена ближе к первому концу волокна с поллой сердцевиной, чем к противоположному второму концу волокна с поллой сердцевиной. Перегородка уменьшает площадь поперечного сечения измерительной трубки на первом конце волокна с

полой сердцевиной по сравнению со вторым концом волокна с полой сердцевиной.

Необязательно, измерительная трубка имеет сегмент большего размера, проточно соединенный с сегментом меньшего размера. Сегмент большего размера имеет поперечное сечение большей площади, чем сегмент меньшего размера. Первый конец одного или нескольких волокон с полой сердцевиной расположен в сегменте большего размера измерительной трубки, а противоположный второй конец одного или нескольких волокон с полой сердцевиной расположен в сегменте меньшего размера трубки.

Необязательно, волокна с твердотельной сердцевиной расположены снаружи удлиненной измерительной трубки, имеющей отверстия, через которые представляющий интерес газ может входить в измерительную трубку из источника представляющего интерес газа. Волокна с полой сердцевиной содержат первые концы, оптически соединенные с волокнами с твердотельной сердцевиной снаружи измерительной трубки, и противоположные, вторые концы, проходящие во внутреннее пространство измерительной трубки.

Необязательно, второе волокно с твердотельной сердцевиной прикреплено ко второму концу по меньшей мере одного из волокон с полой сердцевиной, который проходит во внутреннее пространство измерительной трубки.

Необязательно, волокна с полой сердцевиной выполнены с возможностью размещения в разных местоположениях в одном или нескольких из: подземной шахте, на горнодобывающей платформе, или в измерительной трубке, проходящей вдоль трубопровода.

В одном варианте выполнения предложена система (например, система детектирования распределенного газа), которая содержит удлиненную измерительную трубку, волокна с твердотельной сердцевиной, волокна с полой сердцевиной и опрашивающее устройство. Измерительная трубка имеет отверстия, через которые представляющий интерес газ может проникать в измерительную трубку из источника представляющего интерес газа. Волокна с твердотельной сердцевиной выполнены с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света. Волокна с полой сердцевиной расположены в разных местоположениях по длине измерительной трубки. Волокна с полой сердцевиной расположены, по меньшей мере частично, внутри измерительной трубки. Каждое из волокон с полой сердцевиной оптически соединено с другим соответствующим одним из волокон с твердотельной сердцевиной и выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, прошедшего через соответствующее волокно с твердотельной сердцевиной. Опрашивающее устройство выполнено с возможностью приема по меньшей мере некоторого количества света, распространяющегося через одно или нескольких из волокон с твердотельной сердцевиной и одно или несколько волокон с полой сердцевиной. Опрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа из источника путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света в одном или нескольких волокнах с полой сердцевиной.

Необязательно, волокна с полой сердцевиной и волокна с твердотельной сердцевиной расположены внутри измерительной трубки.

Необязательно, волокна с твердотельной сердцевиной расположены снаружи измерительной трубки. Волокна с полой сердцевиной содержат первые концы, оптически соединенные с волокнами с твердотельной сердцевиной снаружи измерительной трубки, и противоположные, вторые концы, проходящими во внутреннее пространство измерительной трубки.

Необязательно, система дополнительно содержит отражатели, расположенные внутри измерительной трубки. Отражатели расположены по меньшей мере вблизи вторых концов волокон с полой сердцевиной и оптически соединены с этими концами, чтобы отражать свет, который передается через волокно с полой сердцевиной назад в направлении к источнику света к опрашивающему устройству.

Необязательно, волокна с твердотельной сердцевиной, которые оптически соединены с первыми концами волокон с полой сердцевиной, представляют собой расположенные выше по потоку волокна с твердотельной сердцевиной. Система дополнительно содержит расположенные ниже по потоку волокна с твердотельной сердцевиной, оптически соединенные со вторыми концами волокон с полой сердцевиной внутри измерительной трубки. Расположенные ниже по потоку волокна с твердотельной сердцевиной выступают из измерительной трубки таким образом, что часть расположенных ниже по потоку волокон с твердотельной сердцевиной расположена снаружи измерительной трубки.

Необязательно, волокна с полой сердцевиной содержат оболочку, которая ограничивает полую сердцевину. Каждое из волокон с полой сердцевиной выполнено с возможностью приема представляющего интерес газа в полую сердцевину через дистальное отверстие на втором конце волокна с полой сердцевиной.

Необязательно, измерительная трубка имеет измерительные отверстия, через которые проходят волокна с полой сердцевиной. Измерительная трубка содержит уплотнения, окружающие волокна с полой сердцевиной у измерительных отверстий для герметизации измерительных отверстий.

Необязательно, система дополнительно содержит волоконный канал, расположенный вблизи измерительной трубки и проходящий по длине измерительной трубки. Волокна с твердотельной сердцевиной расположены внутри волоконного канала.

Необязательно, первые концы волокон с полой сердцевиной расположены внутри волоконного ка-

нала и оптически соединены в нем с соответствующими волокнами с твердотельной сердцевиной.

Необязательно, система дополнительно содержит соединительные трубки, проходящие между волоконным каналом и измерительной трубкой и соединяющие их между собой. Каждое волокно с поллой сердцевиной расположено, по меньшей мере частично, внутри соответствующей одной из соединительных трубок.

Необязательно, система дополнительно содержит распределительные коробки, расположенные на расстоянии вдоль длины измерительной трубки. Каждая распределительная коробка окружает секцию измерительной трубки и отрезки волокон с твердотельной сердцевиной. Каждое волокно с поллой сердцевиной расположено, по меньшей мере частично, в соответствующей одной из распределительных коробок и оптически соединено с соответствующим волокном с твердотельной сердцевиной в распределительной коробке.

Необязательно, распределительные коробки герметично закрыты и содержат клапаны сброса давления для управления давлением в распределительных коробках.

Необязательно, в дополнение к волокнам с твердотельной сердцевиной волоконный канал также содержит по меньшей мере одно оптическое волокно, используемое по меньшей мере для одного из: акустического измерения, измерения температуры или измерения деформации.

Необязательно, измерительная трубка расположена так, чтобы проходить по длине места проведения испытаний. Место проведения испытаний представляет собой один или несколько из: трубопровод, шахту, ствол скважины или площадку скважины.

В одном варианте выполнения предлагается способ (например, обнаружения распределенного газа), который включает установку множества волокон с поллой сердцевиной в разных местоположениях по длине удлиненной измерительной трубки, имеющей отверстия, через которые представляющий интерес газ может входить в измерительную трубку от источника представляющего интерес газа. Волокна с поллой сердцевиной располагают внутри измерительной трубки, по меньшей мере частично. Каждое из волокон с поллой сердцевиной оптически соединяют с другим соответствующим одним из нескольких волокон с твердотельной сердцевиной и выполняют с возможностью приема света, проходящего через соответствующее волокно с твердотельной сердцевиной. Способ включает прием света, который распространяется через одно или несколько волокон с твердотельной сердцевиной и одно или несколько волокон с поллой сердцевиной, и определения того, была ли поглощена одна или несколько длин волн света представляющим интерес газом внутри одного или нескольких волокон с поллой сердцевиной на основании принятого света. Способ дополнительно включает определение местоположения источника представляющего интерес газа в зависимости от местоположения одного или нескольких волокон с поллой сердцевиной, в которых указанная одна или несколько длин волн света были поглощены представляющим интерес газом.

Необязательно, первый конец каждого из волокон с поллой сердцевиной расположен снаружи измерительной трубки, а противоположный второй конец каждого из волокон с поллой сердцевиной расположен внутри измерительной трубки. Первые концы волокон с поллой сердцевиной оптически соединены с соответствующими волокнами с твердотельной сердцевиной, расположенными снаружи трубки.

Необязательно, способ дополнительно включает установку волокон с твердотельной сердцевиной в волоконный канал, расположенный вблизи измерительной трубки и проходящий по ее длине.

Необязательно, способ дополнительно включает направление управляющего газа через измерительную трубку для проталкивания представляющего интерес газа в осевом направлении через измерительную трубку в одно или несколько волокон с поллой сердцевиной.

Необязательно, способ дополнительно включает остановку потока представляющего интерес газа в трубопроводе в ответ на определение местоположения источника представляющего интерес газа.

Как используется в настоящем документе, конструкция, ограничение или элемент, который "выполнен с возможностью" выполнения задачи или операции, в особенности конструктивно сформирован, сконструирован или адаптирован способом, соответствующим этой задаче или операции. Для ясности и чтобы избежать сомнений, объект, который просто может быть модифицирован для выполнения задачи или операции, не "выполнен с возможностью" для выполнения задачи или операции, как используется в настоящем документе. Вместо этого использование конструкции "выполнен с возможностью" в настоящем документе означает конструктивные адаптации или характеристики и обозначает конструктивные требования любой конструкции, ограничения или элемента, которые описываются как "выполнен с возможностью" выполнения задачи или операции.

Следует отметить, что различные варианты выполнения могут быть реализованы в аппаратном обеспечении, программном обеспечении или их комбинации. Различные варианты выполнения и/или компоненты, например модули, или компоненты и контроллеры в нем также могут быть реализованы как часть одного или нескольких компьютеров или процессоров. Компьютеры или процессоры могут содержать вычислительное устройство, устройство ввода, устройство отображения и интерфейс, например, для доступа к Интернету. Компьютер или процессор может содержать микропроцессор. Микропроцессор может быть подключен к коммуникационной шине. Компьютер или процессор может также содержать память. Память может включать оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и постоянное запоми-

нающее устройство (ПЗУ). Компьютер или процессор дополнительно могут содержать запоминающее устройство, которое может быть жестким диском или съемным накопителем, таким как твердотельный накопитель, оптический диск и тому подобное. Запоминающее устройство также может быть другим аналогичным средством для загрузки компьютерных программ или других инструкций в компьютер или процессор.

Следует понимать, что приведенное выше описание предназначено для иллюстрации, а не для ограничения. Например, вышеописанные варианты выполнения (и/или их аспекты) могут использоваться в комбинации друг с другом. Кроме того, может быть сделано множество модификаций для адаптации конкретной ситуации или материала к идеям изобретения без отхода от его объема. Размеры, типы материалов, ориентации различных компонентов, а также количество и положение различных компонентов, описанных в настоящем документе, предназначены для определения параметров определенных вариантов выполнения и никоим образом не ограничивают изобретение и являются просто его иллюстративными вариантами выполнения. Многие другие варианты выполнения и модификации в пределах сущности и объема формулы изобретения будут очевидны специалистам в данной области после рассмотрения вышеприведенного описания. Следовательно, объем изобретения должен определяться со ссылкой на прилагаемую формулу изобретения вместе с полным объемом эквивалентов, на которые такая формула изобретения имеет право. В прилагаемой формуле изобретения термины "в том числе" и "в которых" используются как эквивалентно-английские эквиваленты соответствующих терминов "содержащий" и "где". Кроме того, в последующих пунктах формулы изобретения термины "первый", "второй" и "третий" и т.д. используются исключительно в качестве меток и не предназначены для наложения численных требований на определяемые ими объекты. Кроме того, ограничения последующей формулы изобретения не записываются в формате "плюс-функция" и не предназначены для интерпретации на основе параграфа 112(f) Раздела 35 Свода законов США, если только и до тех пор, пока такие ограничения формулы изобретения не будут прямо использовать фразу "средства для", за которой следует заявление о функции, лишенное дальнейшей структуры.

В этом описании примеры используются для раскрытия различных вариантов выполнения, а также для того, чтобы обеспечить возможность специалисту в данной области практиковать различные варианты выполнения, включая создание и использование любых устройств или систем и выполнение любых встроенных способов. Патентоспособный объем различных вариантов выполнения определяется формулой изобретения и может включать другие примеры, которые будут очевидны для специалистов в данной области техники. Такие другие примеры предназначены быть охваченными формулой изобретения, если примеры имеют конструктивные элементы, которые не отличаются от буквального языка формулы изобретения, или примеры включают эквивалентные конструктивные элементы с несущественными отличиями от буквального языка формулы изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Система обнаружения газа, содержащая оптические волокна с твердотельной сердцевиной, выполненные с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света,

оптические волокна с поллой сердцевиной, располагаемые в разных местоположениях в пределах области, мониторинг которой выполняют на наличие одного или нескольких представляющих интерес газов, причем каждое оптическое волокно с поллой сердцевиной оптически соединено с другим соответствующим одним из оптических волокон с твердотельной сердцевиной и выполнено с возможностью поступления в него указанного одного или нескольких представляющих интерес газов, причем каждое из оптических волокон с поллой сердцевиной выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, прошедшего через указанное соответствующее оптическое волокно с твердотельной сердцевиной,

опрашивающее устройство, содержащее источник света, который оптически соединен с оптическими волокнами с твердотельной сердцевиной и обеспечивает поступление в них света, детектор, выполненный с возможностью приема и измерения по меньшей мере части света, распространяющегося через оптические волокна с твердотельной сердцевиной и оптические волокна с поллой сердцевиной, и один или несколько процессоров, выполненных с возможностью исследования результатов измерений, предоставляемых указанным детектором, причем опрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света по меньшей мере в одном из оптических волокон с поллой сердцевиной с использованием спектроскопического анализа света, выполняемого указанными одним или несколькими процессорами.

2. Система по п.1, в которой оптические волокна с поллой сердцевиной и оптические волокна с твердотельной сердцевиной расположены, по меньшей мере частично, в удлиненной измерительной трубке, имеющей отверстия, через которые представляющий интерес газ может попадать в измерительную трубку из источника указанного газа, причем оптические волокна с поллой сердцевиной расположены в разных местоположениях по длине измерительной трубки.

3. Система по п.2, в которой измерительная трубка имеет внутреннюю поверхность, имеющую один или несколько участков с уменьшенным поперечным сечением, имеющих поперечное сечение меньшей площади у первого конца одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевинной, чем площадь поперечного сечения внутренней поверхности у противоположного, второго конца указанного одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевинной.

4. Система по п.2, в которой одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевинной соединены с перегородкой, проходящей в наружном направлении от оптического волокна с поллой сердцевинной, причем перегородка расположена ближе к первому концу оптического волокна с поллой сердцевинной, чем к противоположному второму концу оптического волокна с поллой сердцевинной, при этом перегородка уменьшает площадь поперечного сечения измерительной трубки у первого конца оптического волокна с поллой сердцевинной по сравнению со вторым концом оптического волокна с поллой сердцевинной.

5. Система по п.2, в которой измерительная трубка содержит сегмент большего размера, проточно соединенный с сегментом меньшего размера, причем сегмент большего размера имеет поперечное сечение большей площади, чем сегмент меньшего размера, при этом первый конец одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевинной расположен в сегменте большего размера измерительной трубки, а противоположный, второй конец указанного одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевинной расположен в сегменте меньшего размера измерительной трубки.

6. Система по п.1, в которой оптические волокна с твердотельной сердцевинной расположены снаружи удлиненной измерительной трубки, имеющей отверстия, через которые представляющий интерес газ может входить в измерительную трубку из источника указанного газа, причем оптические волокна с поллой сердцевинной имеют первые концы, оптически соединенные с оптическими волокнами с твердотельной сердцевинной снаружи измерительной трубки, и противоположные, вторые концы, проходящие во внутреннее пространство измерительной трубки.

7. Система по п.6, в которой второе оптическое волокно с твердотельной сердцевинной прикреплено ко второму концу по меньшей мере одного из оптических волокон с поллой сердцевинной, который проходит во внутреннее пространство измерительной трубки.

8. Система по п.1, в которой оптические волокна с поллой сердцевинной выполнены с возможностью размещения в разных местоположениях в одном или нескольких из следующих мест: подземной шахте, горнодобывающей платформе или измерительной трубке, проходящей вдоль трубопровода.

9. Система обнаружения газа, содержащая удлиненную измерительную трубку, имеющую отверстия, через которые представляющий интерес газ может входить в измерительную трубку из источника указанного газа,

оптические волокна с твердотельной сердцевинной, выполненные с возможностью приема света одной или нескольких длин волн от источника света,

оптические волокна с поллой сердцевинной, располагаемые в разных местах по длине измерительной трубки, причем оптические волокна с поллой сердцевинной расположены внутри измерительной трубки, по меньшей мере частично, при этом каждое из оптических волокон с поллой сердцевинной оптически соединено с другим соответствующим одним оптическим волокном с твердотельной сердцевинной и выполнено с возможностью поступления в него указанного представляющего интерес газа, причем каждое из оптических волокон с поллой сердцевинной выполнено с возможностью приема по меньшей мере части света, прошедшего через указанное соответствующее оптическое волокно с твердотельной сердцевинной, и

опрашивающее устройство, содержащее источник света, который оптически соединен с оптическими волокнами с твердотельной сердцевинной и обеспечивает поступление в них света, детектор, выполненный с возможностью приема и измерения по меньшей мере части света, распространяющегося через одно или несколько оптических волокон с твердотельной сердцевинной и одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевинной, и один или несколько процессоров, выполненных с возможностью исследования результатов измерений, предоставляемых указанным детектором, причем опрашивающее устройство выполнено с возможностью идентификации местоположения наличия представляющего интерес газа от источника путем изучения поглощения по меньшей мере одной из длин волн света в одном или нескольких оптических волокнах с поллой сердцевинной с использованием спектроскопического анализа света, выполняемого указанными одним или несколькими процессорами.

10. Система по п.9, в которой оптические волокна с поллой сердцевинной и оптические волокна с твердотельной сердцевинной расположены внутри измерительной трубки.

11. Система по п.9, в которой оптические волокна с твердотельной сердцевинной расположены снаружи измерительной трубки, и оптические волокна с поллой сердцевинной содержат первые концы, оптически соединенные с оптическими волокнами с твердотельной сердцевинной снаружи измерительной трубки, и противоположные, вторые концы, проходящие во внутреннее пространство измерительной трубки.

12. Система по п.11, содержащая отражатели, расположенные в измерительной трубке, причем отражатели размещены по меньшей мере вблизи вторых концов оптических волокон с поллой сердцевинной и оптически соединены с ними с обеспечением отражения света, который передается через оптическое волокно с поллой сердцевинной назад в направлении источника света к опрашивающему устройству.

13. Система по п.11, в которой оптические волокна с твердотельной сердцевиной, которые оптически соединены с первыми концами оптических волокон с поллой сердцевиной, представляют собой расположенные выше по потоку оптические волокна с твердотельной сердцевиной, причем система также содержит расположенные ниже по потоку оптические волокна с твердотельной сердцевиной, оптически соединенные со вторыми концами оптических волокон с поллой сердцевиной в измерительной трубке, причем расположенные ниже по потоку оптические волокна с твердотельной сердцевиной выступают из измерительной трубки, так что часть расположенных ниже по потоку оптических волокон с твердотельной сердцевиной расположена снаружи измерительной трубки.

14. Система по п.11, в которой оптические волокна с поллой сердцевиной содержат оболочку, которая ограничивает полую сердцевину, причем каждое оптическое волокно с поллой сердцевиной выполнено с возможностью приема представляющего интерес газа в полую сердцевину через дистальное отверстие на втором конце оптического волокна с поллой сердцевиной.

15. Система по п.11, в которой измерительная трубка имеет измерительные отверстия, через которые проходят оптические волокна с поллой сердцевиной, причем измерительная трубка содержит уплотнения, окружающие оптические волокна с поллой сердцевиной в измерительных отверстиях для герметизации измерительных отверстий.

16. Система по п.11, дополнительно содержащая оптоволоконный канал, расположенный вблизи измерительной трубки и проходящий по длине измерительной трубки, причем оптические волокна с твердотельной сердцевиной расположены внутри оптоволоконного канала.

17. Система по п.16, в которой первые концы оптических волокон с поллой сердцевиной расположены внутри оптоволоконного канала и оптически соединены в нем с соответствующими оптическими волокнами с твердотельной сердцевиной.

18. Система по п.16, дополнительно содержащая соединительные трубки, проходящие между оптоволоконным каналом и измерительной трубкой и соединяющие их вместе, причем каждое оптическое волокно с поллой сердцевиной расположено, по меньшей мере частично, в соответствующей одной соединительной трубке.

19. Система по п.16, содержащая распределительные коробки, расположенные на расстоянии друг от друга по длине измерительной трубки, причем каждая распределительная коробка окружает участок измерительной трубки и отрезки оптических волокон с твердотельной сердцевиной, причем каждое оптическое волокно с поллой сердцевиной расположено, по меньшей мере частично, в соответствующей одной из распределительных коробок и оптически соединено с соответствующим оптическим волокном с твердотельной сердцевиной в распределительной коробке.

20. Система по п.19, в которой распределительные коробки герметично закрыты и содержат клапаны сброса давления для управления давлением в распределительных коробках.

21. Система по п.16, в которой в дополнение к оптическим волокнам с твердотельной сердцевиной оптоволоконный канал также содержит по меньшей мере одно оптическое волокно, используемое для по меньшей мере одного из следующего: акустического измерения, температурного измерения или измерения деформации.

22. Система по п.9, в которой измерительная трубка расположена так, что она проходит по длине места проведения испытаний, причем место проведения испытаний представляет собой одно или несколько из следующего: трубопровод, шахту, ствол скважины или площадку скважины.

23. Способ обнаружения газа, включающий размещение измерительной трубки с располагаемыми в ней волокнами системы обнаружения газа по любому из пп.9-22 в месте проведения испытаний и обеспечение возможности прохождения газа, имеющегося в месте проведения испытаний, внутрь измерительной трубки через ее отверстия,

передачу света с помощью источника света опрашивающего устройства через одно или несколько оптических волокон с твердотельной сердцевиной в одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевиной,

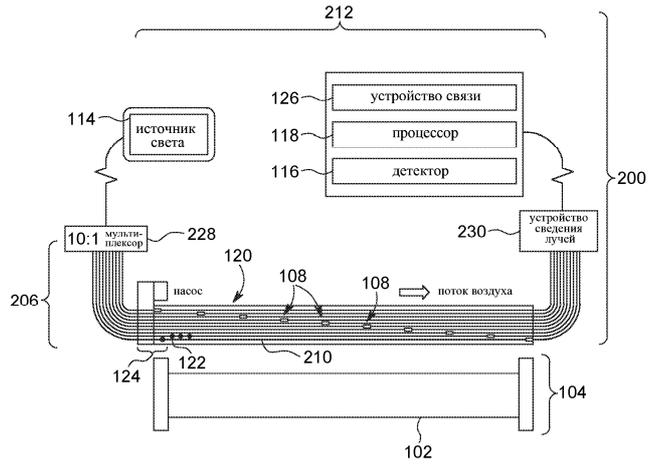
прием с помощью детектора опрашивающего устройства света, который прошел через одно или несколько оптических волокон с твердотельной сердцевиной и одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевиной,

определение с использованием спектроскопического анализа принятого света наличия представляющего интерес газа на основании того, была ли поглощена одна или несколько длин волн света представляющим интерес газом внутри одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевиной и

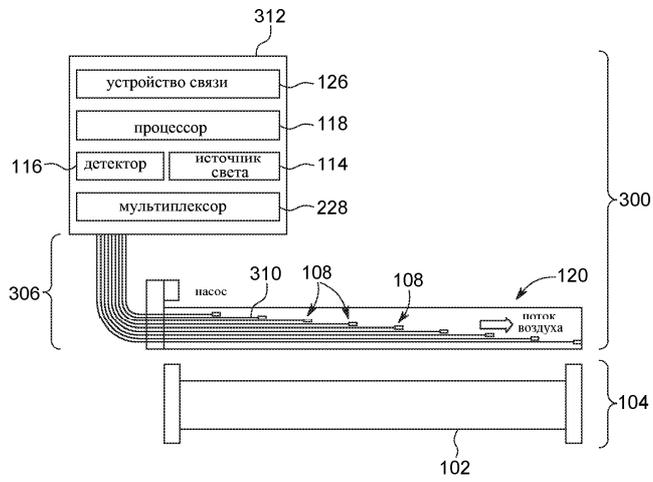
определение местоположения источника указанного газа, основываясь на местоположении указанного одного или нескольких оптических волокон с поллой сердцевиной, в которых одна или несколько длин волн света поглощаются представляющим интерес газом.

24. Способ по п.23, в котором направляют управляющий газ через измерительную трубку для проталкивания представляющего интерес газа в осевом направлении через измерительную трубку в одно или несколько оптических волокон с поллой сердцевиной.

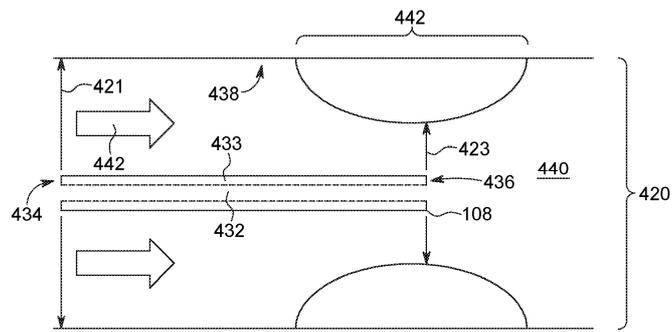
25. Способ по п.23, в котором останавливают поток представляющего интерес газа в трубопроводе в ответ на определение местоположения источника представляющего интерес газа.



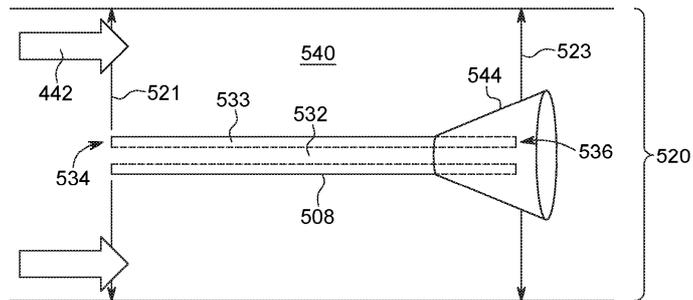
Фиг. 1



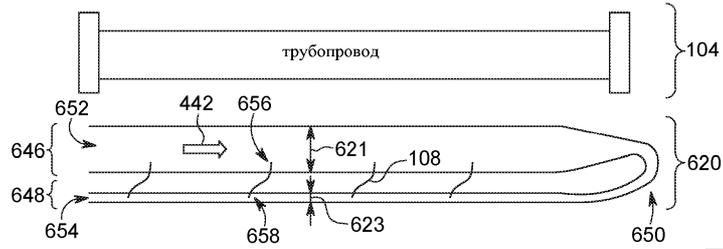
Фиг. 2



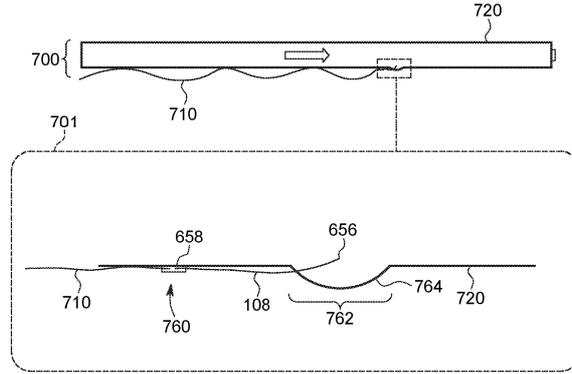
Фиг. 3



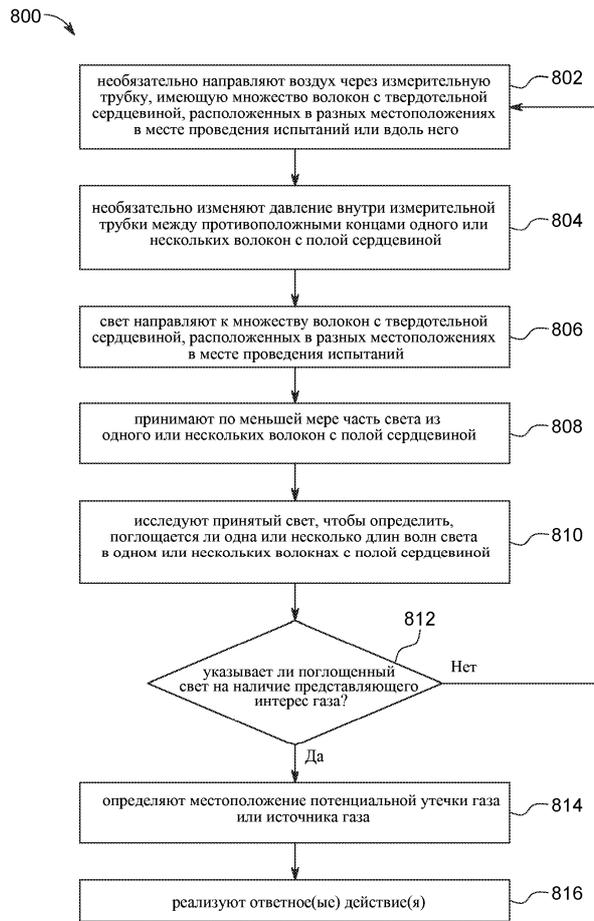
Фиг. 4



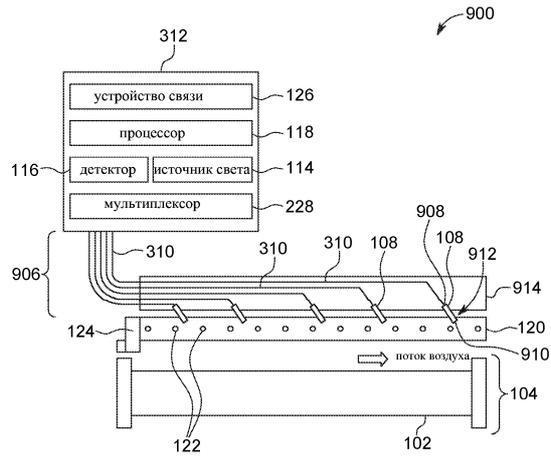
Фиг. 5



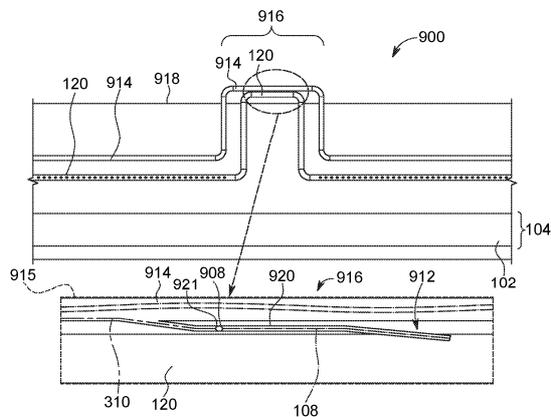
Фиг. 6



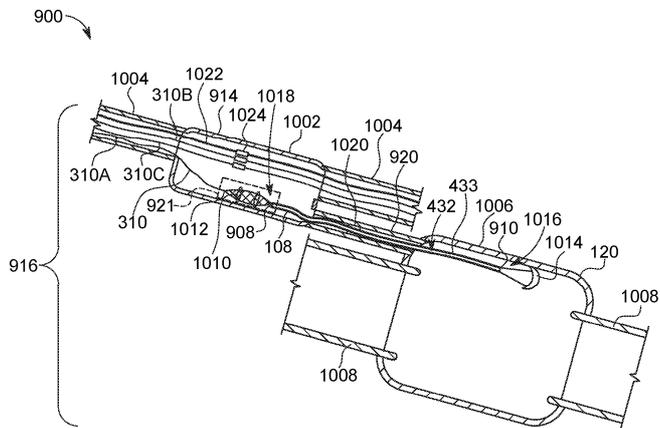
Фиг. 7



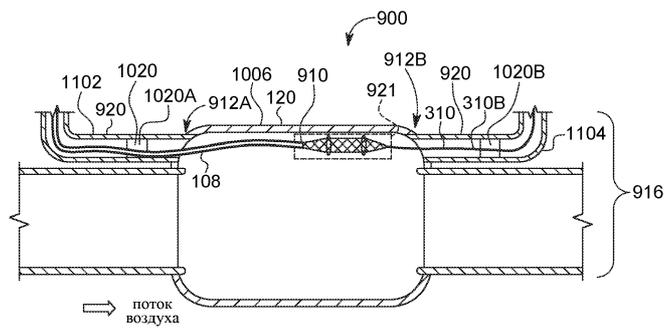
Фиг. 8



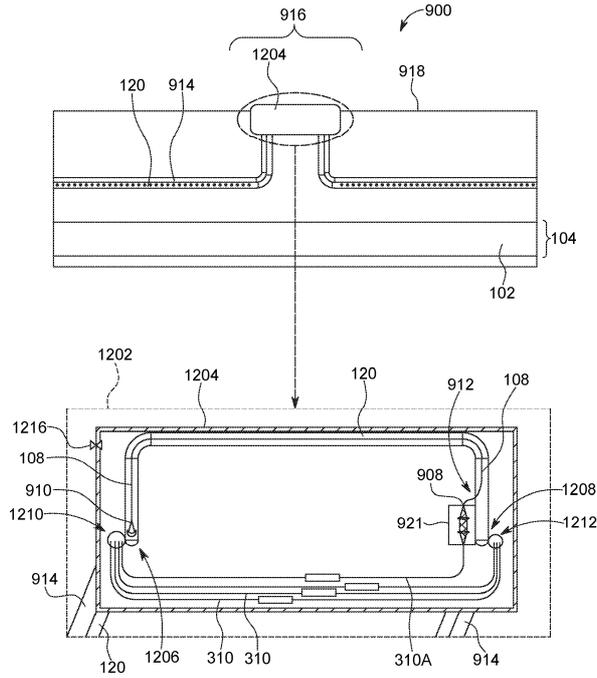
Фиг. 9



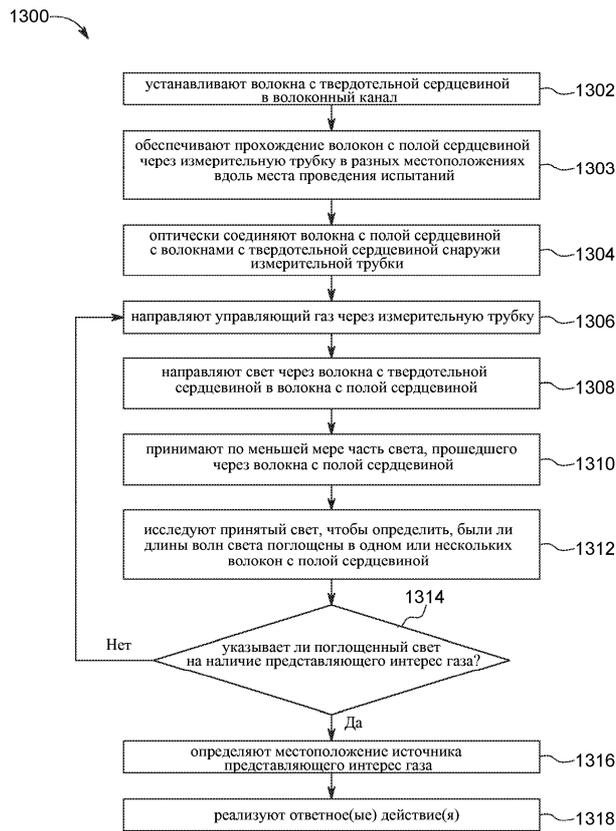
Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12



Фиг. 13

