

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **037645**(13) **B9**

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

(15) Информация об исправлении
Версия исправления: 1 (W1 B1)
исправления в формуле: п.9

(51) Int. Cl. **G01N 22/00** (2006.01)
G01B 7/13 (2006.01)

(48) Дата публикации исправления
2021.09.20, Бюллетень №9'2021

(45) Дата публикации и выдачи патента
2021.04.26

(21) Номер заявки
201990542

(22) Дата подачи заявки
2017.08.03

**(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ В
ТРУБОПРОВОДНОЙ СИСТЕМЕ УСТРОЙСТВА**

(31) **16185180.3**

(74) Представитель:

(32) **2016.08.22**

Беляева Е.Н. (BY)

(33) **EP**

(56) **US-A1-2015316402**

(43) **2019.09.30**

RU-C1-2052796

(86) **PCT/EP2017/069645**

JP-B2-3400255

(87) **WO 2018/036781 2018.03.01**

EP-A1-2561339

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

WO-A1-0046545

БАСФ SE (DE)

US-A1-2015123688

EP-A2-0821431

(72) Изобретатель:

US-A1-2007024505

Ватерс Геррит, Хенниг Ингольф,

JP-A-2003307502

Ваглёнер Штеффен, Енне Эрик, Ляйб

GB-A-2479741

Хайнрих (DE)

EP-A1-2365302

EP-A1-2919042

(57) Изобретение касается способа обнаружения отложений в трубопроводной системе устройства, причем через устройство проходит текучая среда. Способ предусматривает, что по меньшей мере один микроволновый зонд вводят в трубопроводную систему таким образом, что текучая среда течет в направлении окна (102) микроволнового зонда, которое является проницаемым для микроволнового излучения, и микроволны вводят в трубопроводную систему с помощью по меньшей мере одного микроволнового зонда, причем измерение методом отраженных волн проводят с помощью одного или более микроволновых зондов, и/или по меньшей мере два микроволновых зонда вводят в трубопроводную систему на расстоянии друг от друга и проводят измерение методом пропускания, причем в результате сравнения данных измерений со справочными данными или с предыдущим измерением делают вывод о сужении на участке трубопроводной системы и определяют свободное сечение в месте сужения, причем на основании обнаружения сужения делают вывод о наличии отложений. Дополнительные аспекты настоящего изобретения касаются микроволновых зондов для ввода микроволнового излучения в трубопроводную систему устройства, а также измерительного устройства для осуществления способа, при этом измерительное устройство содержит по меньшей мере один микроволновый зонд указанного типа.

B9**037645****037645****B9**

Изобретение касается способа обнаружения отложений в трубопроводной системе устройства с использованием в трубопроводной системе микроволнового излучения. Другой предмет изобретения касается микроволновых зондов для ввода микроволнового излучения в трубопроводную систему устройства и измерительного устройства для осуществления способа, которое содержит по меньшей мере один микроволновый зонд такого типа.

В устройствах, которые используют для проведения многих химических способов и процессов, образуются нежелательные отложения. Отложения мешают проведению способов или процессов и в зависимости от состава и ситуации могут представлять проблемы с точки зрения безопасности. Примером является парофазный крекинг, в котором добывают этилен и пропилен с помощью термического крекинга углеводородов с длинной цепью, как например, нефть или этан. Способ проводят в трубчатом реакторе, причем труба обычно имеет внутренний диаметр 80-120 мм и длину 50-200 м. Для проведения крекинга трубу нагревают с помощью печи. Процесс происходит при температуре до 1050°C при слегка повышенном давлении 2-3 бар, причем парциальное давление отдельных участников реакции уменьшают с помощью добавления пара. После крекинга газ быстро охлаждают до температуры ниже 300°C. Несмотря на то, что условия реакции постоянно оптимизируют на основании многолетнего опыта, углеродистые вещества образуют отложения в виде коксования на внутренних стенках труб. Это коксование образует твердый слой на внутренних стенках труб и может иметь толщину несколько сантиметров. При этом коксование в трубопроводной системе происходит неравномерно, отложения могут образовываться в трубе в разном количестве, особенно при изменяющихся условиях реакции, например из-за колебаний температуры, из-за устройства печи.

Коксование в трубопроводной системе является проблемой, так как оно не только может привести к блокаде, но и также представляет собой тепловую изоляцию между внутренней стенкой трубы и направленным в трубу охлаждающим потоком (особенно при эндотермической реакции). Кроме неравномерного переноса тепла на поток, направленный в трубу, также может наступить локальный перегрев трубы, что может нанести ей повреждение. Далее из-за коэффициента теплового расширения, отличающегося от трубы, отложения представляют собой проблему при снижении интенсивности работы реактора. Во время охлаждения может возникнуть механическое напряжение, которое повреждает трубу.

Поэтому согласно уровню техники принято прерывать производственный процесс через заданные интервалы времени и удалять коксование с помощью окисливания. При этом проблемой является то, что неизвестно точное состояние трубопроводной системы и, таким образом, количество и расположение коксования в трубопроводной системе.

В уровне техники известны способы, с помощью которых можно определять отложения внутри устройства.

Из WO 2014/173889 известны способ и устройство для измерения отложений внутри устройства с использованием микроволнового излучения. При этом в устройство помещают СВЧ-резонатор и определяют резонансную частоту СВЧ-резонатора. Устройство может означать, например, колонну, теплообменник или реактор. Если само устройство может иметь диаметр, подходящий для применения в качестве СВЧ-резонатора, то само устройство также можно использовать как СВЧ-резонатор. Для измерения в резонатор направляют микроволновое излучение и определяют СВЧ-резонатора. На основании изменений резонансной частоты и/или качества резонанса делают заключение о количестве и/или виде отложений внутри устройства.

Недостатком этого способа является то, что или устройство само должно иметь геометрию, подходящую для применения в качестве СВЧ-резонатора, или в устройство должны быть помещены дополнительные СВЧ-резонаторы. Если само устройство используют как резонатор, то получают данные только об общем объеме, что не дает возможность сделать заключение о местоположении отложений в устройстве.

Из US 6909669 B1 известны устройство и способ распознавания размывов в отложениях. Устройство содержит зонд, который, по меньшей мере, частично входит в осадок. Дополнительно устройство содержит рефлектометр, электроснабжение и телеметрический передатчик. Зонд содержит две параллельные трубки, которые входят в осадок. Обе трубки образуют трубопровод, к которому присоединяется сигнал. Полное сопротивление трубопровода зависит от материала, окружающего трубопровод. В одном варианте осуществления части сигнала отражаются от граничной поверхности, причем определяют время прохождения. Время прохождения является критерием для расстояния от граничной поверхности к началу трубопровода. Альтернативно присоединяют частотно-модулированный сигнал, в котором частота возрастает, например, от 100 до 1000 МГц. Затем отраженный сигнал смешивают с задержанным исходным сигналом и оценивают образовавшийся дифференциальный сигнал, причем частота дифференциального сигнала является критерием для расстояния отражающей граничной поверхности.

Недостатком в описанном способе является то, что для зоны покрытия измерений необходима определенная линия электропередачи для применяемых сигналов.

Таким образом, задачей изобретения является способ обнаружения отложений в трубопроводной системе и получение информации об их расположении в этой системе.

Другой задачей изобретения является получение микроволнового зонда, расположенного внутри

трубопроводной системы устройства.

Поэтому другой задачей изобретения может быть получение микроволнового зонда для соединения с трубопроводной системой устройства.

Предложен способ обнаружения отложений в трубопроводной системе устройства, причем через устройство проходит текучая среда. В способе предусмотрено, что по меньшей мере один микроволновый зонд вводят в трубопроводную систему таким образом, что проникаемое для микроволнового излучения окно микроволнового зонда омывается текучей средой, и что, по меньшей мере, через проникаемое окно для микроволнового излучения в трубопроводную систему с помощью по меньшей мере одного микроволнового зонда вводят микроволны, причем введенные в трубопроводную систему микроволны, распространяются в ней как в полном проводнике,

причем

а) проводят измерение методом отраженных волн, при котором снова принимают отражения излучаемых по меньшей мере одним микроволновым зондом микроволн с помощью соответствующего микроволнового зонда, причем определяют предельные частоты, причем для определения предельных частот изменяют частоту микроволн, введенных в трубопроводную систему, в заданном диапазоне и для каждой частоты определяют интенсивность отраженного микроволнового излучения, и в результате сравнения со справочными данными или с предыдущим измерением делают вывод о сужении в области микроволнового зонда, причем распознают предельные частоты, указывающие на сужение, и определяют свободное сечение в области сужения из этой указывающей на сужение предельной частоты, и/или

б) проводят измерение методом отраженных волн, при котором снова принимают отражения излучаемых по меньшей мере одним микроволновым зондом микроволн в месте сужения с помощью соответствующего микроволнового зонда, причем, учитывая время распространения сигнала, определяют расстояние между соответствующим микроволновым зондом и местом сужения в трубопроводной системе, и/или

с) в трубопроводную систему вводят по меньшей мере два микроволновых зонда на расстоянии друг от друга и проводят измерение методом пропускания между двумя микроволновыми зондами, причем расположение двух микроволновых зондов определяет участок трубопроводной системы, устанавливают предельные частоты участка трубопроводной системы, причем для установления предельных частот изменяют частоту микроволн, введенных в трубопроводную систему, в заданном диапазоне и для каждой частоты определяют интенсивность отраженного микроволнового излучения, и в результате сравнения со справочными данными или с предыдущим измерением делают вывод о сужении на участке трубопроводной системы, причем распознают предельные частоты, указывающие на сужение, и определяют свободное сечение в области сужения из этой, указывающей на сужение предельной частоты, причем исходя из обнаружения сужения делают вывод о наличии отложений.

Сужение может быть локальной узкостью трубопроводной системы, которая является пространственно ограниченной. В этом случае отложения располагаются в трубопроводной системе неравномерно. За сужения также принимают равномерно распределенные отложения, которые охватывают большую часть трубопроводной системы или всю трубопроводную систему и однородно уменьшают ее диаметр.

В способе предусмотрено введение микроволнового излучения в исследуемую трубопроводную систему. Трубопроводная система имеет одну или несколько труб, обычно с круглым поперечным сечением, из электропроводящего материала, таким образом, они представляют собой полый проводник с круглым поперечным сечением. В полном проводнике электромагнитные волны, как например, микроволны, могут распространяться лишь с незначительным ослаблением. Однако геометрические измерения полого проводника задают предельную частоту (частоту среза фильтра). Электромагнитные волны с частотой, которая ниже этой предельной частоты, не могут распространяться в полном проводнике.

В полном проводнике электромагнитные волны могут распространяться с разными видами колебаний, причем предельная частота для каждого из вида колебаний является различной. При ТМ видах колебаний (поперечные магнитные колебания) магнитное поле затухает в направлении распространения волны, таким образом, только электрическое поле имеет компонент в направлении распространения. При ТЕ видах колебаний (поперечные электрические колебания) наоборот, электрическое поле затухает в направлении распространения, таким образом, только магнитное поле имеет компонент в направлении распространения. Кроме того, виды колебаний имеют два индекса, причем для видов колебаний полого проводника с круглым поперечным сечением первый индекс указывает количество периодов поля в радиальном направлении, а второй индекс указывает количество нулевых точек поля в радиальном направлении. Виды колебаний TM_{01} и TE_{11} имеют самые низкие для полого проводника частоты среза фильтра и предпочтительно применяются в предложенном способе.

Для ввода микроволнового излучения применяют микроволновый зонд. Внутри он имеет антенну, благодаря которой виды колебаний могут активироваться в окружении микроволнового зонда. Антенна закрыта для защиты от условий окружающей среды внутри трубопроводной системы устройства, причем микроволны попадают в трубопроводную систему через проникаемое окно для микроволнового излучения.

Если трубопроводная система имеет по меньшей мере одну изогнутую зону, например дугу в 90° ,

то предпочтительным является, если микроволновый зонд вводят в трубопроводную систему в этой изогнутой зоне. Внутри изогнутой зоны присутствует геометрия, отличная от прямых участков трубопроводной системы. При этом показано, что благодаря отличающейся геометрии окружения микроволнового зонда предпочтительно активизируются TE_{11} колебания с низкой частотой среза.

Так как отложения, которые необходимо обнаружить указанным способом, часто являются углеродистыми отложениями, как например, коксования в паровой крекинг-установке, то отложения внутри трубопроводной системы обычно способны проводить электричество. Однако материалы, способные проводить электричество, отражают микроволновое излучение, таким образом, окно микроволнового зонда может быть неполностью покрыто отложениями.

При этом неожиданно оказалось, что доставленный в устройство поток текучей среды, если он омывает микроволновый зонд, может препятствовать образованию отложений на окне микроволнового зонда. Для этого микроволновый зонд вводят в трубопроводной системы так, чтобы окно непосредственно омывалось текучей средой. Поток текучей среды, например, в случае использования паровой крекинг-установки, означает крекинг-газ. Предпочтительно текучая среда приносит с собой частицы, причем частицы, попадая на окно, очищают его от отложений. Это похоже на очистку поверхностей с помощью пескоструйной обработки.

При этом для работы микроволнового зонда не является обязательным, чтобы омывалась вся поверхность окна и очищалась таким образом от отложений. Если окно имеет вид футляра, выполненного в виде стержня, то предпочтительно микроволновый зонд вводят таким образом, чтобы омывалась боковая сторона футляра. Если окно ровное или имеет коническую форму, то предпочтительно микроволновый зонд вводят таким образом, чтобы окно омывалось вертикально к плоскости или продольной оси.

Принесенные текучей средой частицы могут образовываться во время процесса, происходящего в устройстве. Например, частицы означают образовавшиеся во время парового крекинга углеродные частицы или частицы сажи. Эти частицы имеют соизмеримую твердость с образовавшимися отложениями или коксованиями, таким образом частицы оказывают абразивное действие. Также альтернативно или дополнительно можно добавлять в поток частицы твердостью, соизмеримой с твердостью отложений, или выше.

Введенные микроволновым зондом в трубопроводную систему микроволны распространяются в трубопроводной системе как в полом проводнике. Для обнаружения отложений можно принимать назад микроволны через микроволновый зонд, который расположен на другой стороне в трубопроводной системе. Такое измерение называют измерением методом пропускания. Альтернативно или дополнительно можно применять назад отраженные микроволны через такой же микроволновый зонд, который вводит их в трубопроводную систему. Такое измерение называют измерением методом отраженных волн.

Трубопроводная система обычного устройства, как например, паровая крекинг-установка, содержит такие дополнительные места, создающие помехи, как разветвления, изгибы, распределители, соединительные элементы и вариации на поперечном сечении трубы. Любое изменение трубы, которое представляет собой видоизмененный полой проводник с круглым сечением с постоянным диаметром, мешает микроволновому излучению, таким образом в этих местах электромагнитное колебание уменьшается и отражается часть попавшего излучения. Неожиданно оказалось, что несмотря на большое количество этих мест, создающих помехи, в обычной системе труб возможно обнаружение отложений с помощью измерения, основанного на микроволнах.

Согласно признаку а) проводят измерение методом отраженных волн, при котором отражение излучаемых микроволновым зондом микроволн принимается обратно этим же микроволновым зондом. При этом можно определять предельные частоты. Предельная частота характерна для самого маленького поперечного сечения трубы мест, создающих помехи вокруг микроволнового зонда. При этом этот участок вокруг микроволнового зонда определяется областью трубопроводной системы, из которой можно определять и оценивать отражения микроволнового излучения. Чем чувствительнее является применяемая техника измерений или чем больше интенсивность введенного микроволнового излучения, тем больше область, из которой можно принимать отражения и соответственно можно контролировать больший участок трубопроводной системы. Для определения предельной частоты изменяют частоту излучаемых микроволновым зондом микроволн в заданной области и для каждой частоты определяют интенсивность отраженного микроволнового излучения.

Диаметры, используемые в обычных трубопроводных системах, составляют 80-120 мм, предельная частота для TE_{11} видов колебаний составляет 1,6-2,4 ГГц. В сужении, вызванном отложениями, возникает предельная частота, которая соответственно выше степени сужения. Поэтому нижнюю границу для вариаций сверхвысоких частот предпочтительно выбирают в пределах самой низкой предельной частоты для трубы, не содержащей отложений. Верхнюю границу можно выбирать в соответствии с толщиной предполагаемых отложений, причем верхнюю границу часто определяют с помощью используемой техники измерений. Например, частота варьируется в диапазоне 300 кГц-20 ГГц, предпочтительно в диапазоне 1-10 ГГц и весьма предпочтительно в диапазоне 1,5-4 ГГц.

Для выработки микроволн, их приема и последующих измерений можно использовать векторный схемный анализатор (VNA). Векторный схемный анализатор содержит управляемый СВЧ-генератор,

приемник и необходимое электронное оборудование, как например, усилитель и моделирующее устройство/цифровой трансформатор для оценки данных измерения. Также можно использовать соответствующие детали в виде отдельных приборов.

Если интенсивность отраженного микроволнового излучения зависит от частоты, то предельную частоту можно распознать в виде изменения интенсивности. Уже в простой трубе без ответвлений можно определить несколько предельных частот, которые представлены с помощью геометрических измерений образовавшегося в трубе полого проводника для разных видов колебаний. Другие установленные предельные частоты указывают на сужения в трубе или трубопроводной системы, которые вызваны отложениями, например, коксованием. Так как предельная частота геометрических измерений полого проводника является зависимой величиной, то таким образом можно определить свободный диаметр трубы в этом месте сужения на основании определенной предельной частоты.

Для обнаружения сужения в комплексной трубопроводной системе устройства можно сравнивать результаты измерений методом отраженных волн со справочными данными или с предыдущим измерением. При этом особенно сравнивают все установленные во время измерений предельные частоты с предельными частотами, указанными в справочных данных, или с предыдущими измерениями. Установленная предельная частота, которая не указана в справочных данных или в предыдущих измерениях, при этом указывает на сужение, которое вызвано отложениями. Таким образом делают заключение о наличии отложений. Затем на основании этой предельной частоты вычисляют присутствующий в месте сужения поперечный срез трубы, не содержащий отложений.

Альтернативно или дополнительно согласно признаку b) проводят измерение методом отраженных волн, при котором отражение излучаемых микроволновым зондом микроволн принимается обратно этим же микроволновым зондом. При этом определяют время распространения отраженного сигнала микроволн. Любые дополнительные места, создающие помехи, как например, разветвления, изгибы, распределители, соединительные элементы и вариации, на поперечном сечении трубы изменяют характеристики трубопроводной системы, которая служит полым проводником, причем при любом изменении отражается часть микроволнового сигнала. Таким образом, любое полученное отражение является указанием на место, создающее помехи, в области микроволнового зонда. При этом расстояние от места, создающего помехи, до микроволнового зонда определяют на основании половины установленного времени распространения сигнала, умноженного на скорость распространения микроволн в трубопроводной системе.

Для измерения этого времени прохождения микроволновый зонд излучает сигнал, и отражения этого сигнала снова принимают с помощью этого микроволнового зонда и оценивают. В рефлектометре во временной области (TDR) излучаемый сигнал является ограниченным во времени импульсом, который вырабатывается импульсным генератором, и ответный сигнал которого измеряют с помощью широкополосного осциллографа. Альтернативно можно вводить непрерывный монохромный микроволновый сигнал, например, с помощью схемного анализатора (VNA) через микроволновый зонд, таким образом получают резонансное микроволновое поле, причем с помощью микроволнового зонда определяют интенсивность резонансного микроволнового поля. Для этого определяют амплитуды и фазы. Затем изменяют частоту непрерывного монохромного микроволнового сигнала и снова измеряют интенсивность. Процесс повторяют для нескольких частот в указанном частотном диапазоне. Таким образом устанавливают реакцию трубопроводной системы в указанном частотном диапазоне. Затем преобразуют интенсивности, полученные для соответствующих частот, с помощью обратного преобразования Фурье из частотного диапазона во временной диапазон. После преобразования во временной диапазон измерения представлены в виде определенной амплитуды временного диапазона по отношению ко времени (TD спектр). С помощью этого способа рассчитывают ответ трубопроводной системы на ограниченный во времени импульс микроволн.

Способ измерений с изменениями частот непрерывного монохромного микроволнового сигнала имеет наилучшее соотношение сигнал/шум по сравнению со способом измерения TDR и, таким образом, большую динамическую область. Таким образом также еще можно измерять сигналы с незначительной интенсивностью.

Локальные максимумы в TD спектре или в измерении времени распространения указывают на места, создающие помехи. Расстояние мест, создающих помехи, от антенны при этом соответствует половине текущего значения, в момент которого возникает локальный максимум, умноженный на скорость распространения микроволн в трубопроводной системе. Как правило, место, создающее помехи, обозначает начало или конец сужения трубопроводной системы.

Нижнюю границу для вариаций сверхвысоких частот предпочтительно выбирают в указанном для измерения диапазоне частот в пределах самой низкой предельной частоты для трубы, не содержащей отложений. Верхнюю границу можно выбирать в соответствии с толщиной предполагаемых отложений, причем верхнюю границу часто определяют с помощью используемой техники измерений. Например, частота варьируется в диапазоне 300 кГц - 20 ГГц, предпочтительно в диапазоне 1-10 ГГц и весьма предпочтительно в диапазоне 1.5-4 ГГц.

Установленные места, создающие помехи, сравнивают со справочной литературой или с предыдущим измерением. При этом сравнивают расстояния от обнаруженных мест, создающих помехи, до мик-

роволнового зонда с расстояниями мест, создающих помехи, указанных в справочной литературе или во время предыдущих измерений. Места, создающие помехи, не указанные в справочной литературе или во время предыдущих измерений, указывают на отложения, которые недавно образовались. Расстояние от отложения до микроволнового зонда соответствует определенному расстоянию от соответствующего места, создающего помехи, до микроволнового зонда. На основании известного местоположения микроволнового зонда в трубопроводной системе можно определить расстояние от места, создающего помехи, или обнаруженного отложения до микроволнового зонда, а также местонахождение отложения в трубопроводной системе.

При измерении по признаку b) также можно вводить в трубопроводную систему несколько микроволновых зондов, находящихся на расстоянии друг от друга. Например, в трубопроводную систему вводят два микроволновых зонда, находящихся на расстоянии друг от друга, и проводят измерение методом отраженных волн с двух сторон определенного участка трубопроводной системы с помощью двух микроволновых зондов. При этом по сравнению с измерением, выполненным с помощью одного зонда, также можно на основании определенных расстояний от одного сужения до двух микроволновых зондов и известной длины участка трубопроводной системы определять длину сужения или при наличии двух сужений определять расстояние между ними.

Альтернативно или дополнительно согласно признаку с) можно проводить измерения методом пропускания, при котором первый микроволновый зонд подает микроволны в трубопроводную систему и второй микроволновый зонд принимает их обратно. Во время измерений исследуют участок трубопроводной системы, который находится между двумя введенными в трубопроводную систему микроволновыми зондами.

В принципе, процесс измерения соответствует описанному относительно признака а) измерению методом отраженных волн, причем первый микроволновый зонд вводит микроволны в трубопроводную систему и второй микроволновый зонд их принимает.

Для обнаружения сужения в комплексной трубопроводной системе устройства можно сравнивать результаты измерений методом пропускания со справочными данными или с предыдущим измерением. При этом особенно сравнивают все установленные во время измерений предельные частоты с предельными частотами, указанными в справочных данных или в предыдущих измерениях. Установленная предельная частота, которая не указана в справочных данных или в предыдущих измерениях, при этом указывает на сужение участка трубопроводной системы, которое вызвано отложениями. Таким образом делают заключение о наличии отложений. Затем на основании этой предельной частоты вычисляют присутствующий в месте сужения поперечный срез трубы, не содержащий отложений.

Дополнительно для обнаружения сужения с помощью определения предельных частот можно определять амплитуду передаваемого микроволнового сигнала. Эту амплитуду можно сравнить со справочной литературой или с предыдущим измерением. Изменение амплитуды, особенно уменьшение амплитуды, может указывать на присутствие нового сужения, которое вызвано отложениями.

Измерения по признакам а), b) и с) можно использовать отдельно или также в любой комбинации вариантов а), b) и с).

Предпочтительно измерения проводят одно за одним во время эксплуатации устройства, причем определяют изменения установленных параметров в течение времени. При этом предусмотрено, что условия эксплуатации устройства изменяются, причем при увеличении скорости изменений во времени делают вывод о неблагоприятных условиях производства и при замедлении скорости изменений во времени делают вывод о благоприятных условиях производства. Таким образом можно непрерывно оптимизировать эксплуатационные параметры устройства таким образом, что образование отложений сводится к минимуму.

При этом предпочтительно можно оптимизировать параметры таким образом, чтобы оказывать влияние на определенные участки трубопроводной системы. Если, например, трубопроводная система нагревается в нескольких местах, то с помощью определенного расположения микроволновых зондов и установленного расстояния от отложений до микроволновых зондов можно соотносить отложения с отдельными местами нагрева. Если в одном или более местах при превышении температуры отложения увеличиваются, то нагрев этих критических точек можно целенаправленно оптимизировать. Таким образом, предпочтительным является использование определенных позиций обнаруженных отложений для оптимизации параметров эксплуатации.

Измерения с помощью предложенного способа можно проводить непрерывно, причем, по меньшей мере, используют один микроволновый зонд во время процесса измерения в устройстве. Также можно проводить способ периодами, причем по меньшей мере один микроволновый зонд применяют только для приема точки измерения, затем его удаляют и снова вводят в устройство только для следующего измерения.

Применяемые контрольные значения по сравнению со значениями измерений можно получать на основании контрольных измерений трубопроводной системы, пока в ней нет отложений. Другой возможностью вычисления контрольных значений является вычисление контрольных значений на основании образца, этот образец может быть, например, компьютерной моделью или представленной моделью

трубопроводной системы уменьшенного размера. При этом в модели трубопроводной системы уменьшенного размера можно также, как затем в трубопроводной системе устройства, размещать микроволновые зонды и определять контрольные значения. На следующем этапе контрольные значения, полученные с помощью уменьшенной модели, пересчитывают в соответствии с размером устройства.

Если трубопроводная система устройства имеет места соединений, например, в виде фланцев, в которых соединяются две части трубопроводной системы, то на этом месте соединений из трубопроводной системы, служащей полым проводником, может просачиваться микроволновое излучение. Это просачивающееся микроволновое излучение при необходимости может снова проникать в трубопроводную систему через другие места соединений и изменять результаты измерений. Поэтому на местах соединений трубопроводной системы предпочтительно устанавливают экран. Этот экран предпочтительно выполнен из материала с хорошей электрической проводимостью, например листовой стали, которая делает место соединения электрически непроницаемым.

Предпочтительно в случае устройства речь идет о паровой крекинг-установке.

Другим аспектом изобретения является изготовление микроволнового зонда, который подходит для применения в описанном способе. Предпочтительно микроволновый зонд для применения в одном из описанных способов выполнен, таким образом, характеристики способа являются действующими для микроволнового зонда и наоборот, характеристики микроволнового зонда являются действующими для способа. Микроволновые зонды, которые вводят в исследуемые устройства, часто подвергаются там воздействию повышенных температур 800-1350°C. Кроме того, в устройствах часто применяют коррозионные материалы и абразивные средства, которые могут разрушать микроволновые зонды.

Предложен микроволновый зонд для ввода микроволн в трубопроводную систему устройства. Микроволновый зонд содержит микроволновую антенну, окно из проницаемого для микроволнового излучения материала, коаксиальный кабель, который соединен с микроволновой антенной, и оболочку. Далее предусмотрено, что

a) микроволновая антенна состоит из термостойкого сплава металлов, предпочтительно из никелевого сплава, что коаксиальный кабель содержит термостойкий сплав металлов и неорганический диэлектрик, и что окно выполнено в виде оболочки, которая окружает микроволновую антенну, причем оболочка устроена таким образом, что с наружной стороны эта оболочка присоединяется к трубопроводной системе, и причем выполненное в виде оболочки окно со стороны, прилегающей к коаксиальному кабелю, переходит в защитную трубу, которая с помощью компенсатора линейного расширения соединена с оболочкой, причем оболочка, по меньшей мере, частично окружает защитную трубу или

b) оболочка состоит из материала с хорошей электрической проводимостью и выполнена в виде полого проводника, причем внутренний диаметр оболочки соответствует внутреннему диаметру трубопроводной системы, причем оболочка на первой стороне имеет отверстие в направлении трубопроводной системы, на второй, противоположной стороне расположена микроволновая антенна, которая закрыта проницаемой для микроволнового излучения оболочкой и расположена внутри ее, а окно в виде вытесняющей капсулы выполнено из термостойкого и проницаемого для микроволнового излучения материала, которая занимает оставшееся внутреннее пространство оболочки. Выборочно вытесняющая капсула на стороне, прилегающей к отверстию, содержит колпак из проницаемого для микроволнового излучения материала.

Для обычных микроволновых зондов температуроустойчивость является проблемой. Из-за высоких температур и коррозионных условий окружающей среды повреждается материал применяемой антенны, таким образом также изменяются электрические свойства. Таким образом снова изменяется полное сопротивление, что мешает попаданию микроволнового излучения. При этом особенно проблематичным является то, что этот процесс протекает непрерывно, таким образом постоянно меняются качества обычных микроволновых зондов и применение описанного способа становится ненадежным. Также коаксиальный кабель, используемый для присоединения антенны, не подходит для применения при повышенных температурах. Таким образом необходимо оснастить микроволновый зонд таким образом, чтобы его критические компоненты, особенно антенна и коаксиальный кабель, выдерживали условия внутри трубопроводной системы или чтобы его критические компоненты были изолированы от высоких температур и коррозионных условий окружающей среды.

Под понятием "температуроустойчивый" следует понимать, что соответствующий материал, по меньшей мере, можно использовать до указанной температуры и, таким образом, он является жаростойким. Соответствующий материал предпочтительно выдерживает температуру по меньшей мере до 800°C, особенно предпочтительно по меньшей мере до 1000°C, весьма предпочтительно выдерживает температуру по меньшей мере до 1200°C и наиболее предпочтительно выдерживает температуру по меньшей мере до 1400°C, и, таким образом, он соответствует применению.

Согласно варианту a) предусмотрено, чтобы критические компоненты микроволнового зонда, особенно антенна и коаксиальный кабель, были термостойкими и коррозионно-устойчивыми. Это позволяет введение микроволнового зонда в трубопроводную систему устройства, в котором могут возникать повышенные температуры. Для этого антенна также должна быть выполнена из термостойкого сплава металла. Подобные сплавы включают в себя, например, сплавы на никелевой основе, как например, Inconel

600. Необходимо учитывать, что термостойкие сплавы металлов имеют эти свойства термостойкости, так как прочносцепленные оксидные слои (например, оксиды хрома) способствуют пассивированию. Присутствие таких поверхностных слоев влияет на эффективную электрическую проводимость материала и может привести к значительному ослаблению микроволн. Поэтому используемые антенны предпочтительно подвергают воздействию инертного газа.

Микроволновая антенна предпочтительно выполнена в виде штыревой антенны, причем длина штыря выбрана из диапазона $d/10-d$. При этом d означает внутренний диаметр трубопроводной системы. Предпочтительно длина штыря составляет $d/6-d/2$. Весьма предпочтительно длина штыря составляет $d/4-d/2$. Микроволновая антенна, выполненная в виде штыря, отличается особенно высокой стабильностью формы. Благодаря этой высокой стабильности формы параметры микроволновой антенны остаются постоянными в течение продолжительного периода времени, и измерения, проводимые с ее помощью, хорошо поддаются воспроизведению.

Другим предпочтительным выполнением микроволновой антенны является петлевая антенна для индуктивного соединения или рупорная антенна.

Антенна соединена с коаксиальным кабелем, который содержит неорганический диэлектрик, как например, оксид алюминия (Al_2O_3) или оксид кремния (SiO_2). Внутренний и внешний проводники предпочтительно выполнены из коррозионно-стойкого материала. Материал внутреннего и внешнего проводников предпочтительно выполнен из термостойкого сплава металлов, предпочтительно сплава на никелевой основе, как например, Inconel 600. Коаксиальный кабель изготавливают с учетом коррозионно-стойких материалов для проводников и неорганического диэлектрика, так как он должен также работать и при повышенных температурах. Предложенный коаксиальный кабель также может работать и при температуре до $1000^\circ C$. Например, у коаксиального кабеля из Inconel 600 с диэлектриком Al_2O_3 при $1000^\circ C$ и 8 ГГц его затухание составляет примерно 30 дБ/1,5 м.

Корпус, который окружает микроволновую антенну и представляет собой окно, на стороне расположенного у коаксиального кабеля переходит в защитную трубу, которая с помощью компенсатора линейного расширения соединяется с оболочкой. При этом оболочка расположена таким образом, что она, по меньшей мере, частично окружает защитную трубу. Окно микроволнового зонда, напротив, не окружено оболочкой. Переход от окна к защитной трубе может быть расположен в том месте, в котором коаксиальный кабель присоединен к антенне. Альтернативно коаксиальный кабель также можно соединить с антенной в области окна.

Для соединения с трубопроводной системой предпочтительно применяют штуцеры, которые служат для ввода зондов для измерения температуры. При этом вместо температурных зондов вводят микроволновые зонды, причем корпус, выполняющий роль окна, вместе с микроволновой антенной, окруженной корпусом, попадает внутрь трубопроводной системы. При этом предусмотрено, чтобы диаметр корпуса соответствовал диаметру зонда, измеряющего температуру. Предпочтительно диаметр составляет 20-30 мм. При этом оболочку микроволнового зонда не вводят внутрь трубопроводной системы, а она присоединяется к трубопроводной системе снаружи. Для этого, например, на оболочке расположен фланец, который при помощи сопряженной детали прикреплается к трубопроводной системе. При повышенных температурах, которые присутствуют внутри камеры сгорания, окружающей трубопроводную систему, оболочка может быть альтернативно приварена к трубопроводной системе.

Для того чтобы учитывать изменение длины, вызванное изменением температуры оболочки или защитной трубы, защитная труба должна быть закреплена на оболочке с помощью компенсатора линейного расширения. Кроме того, для ввода корпуса в трубопроводную систему предусмотрена свободная пригонка в виде скользящей опоры, которая при изменении длины позволяет корпусу двигаться в продольном направлении относительно трубопроводной системы. Однако скользящая опора соединена с внутренней частью трубопроводной системы, таким образом, образующиеся в этом месте отложения могут мешать работе скользящей опоры. С помощью компенсатора линейного расширения предотвращают возникновение механического напряжения, которое может привести к повреждению оболочки. При этом компенсатор линейного расширения предпочтительно отделен от внутренней части трубопроводной системы, таким образом, отложения трубопроводной системы не могут мешать его работе.

Предпочтительно микроволновый зонд также может содержать температурный датчик. В этом случае при замене присутствующих зондов для измерения температуры на предложенные микроволновые зонды функция измерения температуры сохраняется.

Согласно варианту б) предусмотрено термическое разделение, причем критические компоненты микроволнового зонда расположены в зоне пониженной температуры. При соединении с трубопроводной системой критические компоненты термически отделены от трубопроводной системы и, таким образом, от возникающих в ней высоких температур.

При этом оболочка состоит из материала с хорошей электрической проводимостью и имеет внутренний диаметр, который соответствует внутреннему диаметру трубопроводной системы. Если трубопроводная система имеет изменяющийся диаметр, то внутренний диаметр оболочки соответствует диаметру трубопроводной системы в том месте, в котором микроволновый зонд вводят в трубопроводную систему. Благодаря такому выполнению оболочки она также выполняет для трубопроводной системы

функцию полого проводника для микроволн. На первой стороне оболочки есть отверстие, которое предназначено для соединения с трубопроводной системой.

На противоположной стороне расположена микроволновая антенна, которая направлена внутрь оболочки, таким образом, что оболочка окружает микроволновую антенну полностью или, по меньшей мере, частично. Оставшееся внутреннее пространство оболочки заполнено вытесняющей втулкой. Это должно предотвращать попадание конденсируемых веществ из трубопроводной системы в прохладную зону, расположенную за зоной обогрева, и их конденсацию. Поэтому вытесняющая втулка служит проницаемым окном для микроволнового излучения. Окно должно быть устойчивым к абразивному разрушению, вызванному попаданием потока, при необходимости содержащего частицы, в трубопроводную систему. Для этого вытесняющая втулка предпочтительно выполнена из материала, который является устойчивым к абразивному разрушению, вызванному частицами в потоке. Альтернативно или дополнительно вытесняющая втулка может содержать колпачок из материала, который является устойчивым к абразивному разрушению, вызванному частицами в потоке, причем материал колпачка также является проницаемым для микроволнового излучения. В этом случае вытесняющая втулка может быть выполнена из недорогого материала, который обладает небольшой устойчивостью к абразивному разрушению.

Микроволновая антенна предпочтительно выполнена в виде штыревой антенны, причем длина штыря выбрана из диапазона $d/10-d$. При этом d означает внутренний диаметр трубопроводной системы. Предпочтительно длина штыря составляет $d/6-d/2$. Весьма предпочтительно длина штыря составляет $d/4-d/2$. Микроволновая антенна, выполненная в виде штыря, отличается особенно высокой стабильностью формы. Благодаря этой высокой стабильности формы параметры микроволновой антенны остаются постоянными в течение продолжительного периода времени, и измерения, проводимые с ее помощью, хорошо поддаются воспроизведению.

Другим предпочтительным выполнением микроволновой антенны является петлевая антенна для индуктивного соединения, а также рупорная антенна.

Вытесняющая втулка изолирует микроволновую антенну, таким образом микроволновая антенна защищена от высоких температур внутри трубопроводной системы и от коррозионных веществ. Присоединение антенны к коаксиальному кабелю происходит снаружи вытесняющей втулки со стороны, не прилегающей к отверстию, направленному во внутреннюю часть трубопроводной системы, таким образом, ни высокие температуры, ни коррозионные вещества не могут оказывать воздействие на присоединение или на применяемый коаксиальный кабель. Поэтому для соединения с микроволновой антенной в этом варианте осуществления можно использовать обычный коаксиальный кабель. Для микроволновой антенны также не требуется применение термостойкого материала. Также возможно использование для микроволновой антенны сплавов металлов, описанных для варианта а). Также можно применять один из описанных для варианта а) термостойкий коаксиальный кабель.

Вытесняющая втулка выполнена из термостойкого и проницаемого для микроволнового излучения материала. В качестве материалов особенно подходят термостойкий цемент и шпат.

Сторона окна, прилегающая к отверстию, предпочтительно имеет коническую форму или клиновидную форму. При использовании конической формы микроволновый зонд вводят в трубопроводную систему таким образом, что окно, конически сужаясь вдоль продольной оси, омывается текущей средой. Таким образом, текущая среда попадает на коническую верхушку окна. При использовании клиновидной формы текущая среда попадает на образованную в результате клина наклонную поверхность. Если материал вытесняющей втулки достаточно устойчив к воздействию коррозии, то втулка может иметь коническую верхушку, и можно отказаться от дополнительной крышки. Если материал вытесняющей втулки недостаточно устойчив к воздействию коррозии, то используемый колпачок имеет коническую форму или клиновидную форму.

Для соединения с трубопроводной системой, например, предусмотрен фланец, который может быть закреплен на соответствующем фланце трубопроводной системы. Фланец предпочтительно расположен на стороне оболочки, которая предназначена для соединения с трубопроводной системой. Альтернативно оболочку можно прочно соединять с трубопроводной системой, например, при помощи сварки. Если трубопроводная система находится внутри среды с повышенной температурой, например в камере сгорания, то оболочка предпочтительно должна быть такой длины, чтобы она выступала наружу этой камеры.

Как при варианте осуществления согласно варианту а), так и при варианте осуществления согласно варианту б) предпочтительным является, чтобы расстояние между микроволновой антенной и оболочкой в направлении продольной оси микроволновой антенны составляло по меньшей мере 20 мм. Особенно предпочтительно расстояние составляет 20-80 мм и весьма предпочтительно 20-40 мм. Если микроволновая антенна выполнена в виде штыревой антенны, то измеряют расстояние от вершины микроволновой антенны.

Также если окно выполнено из проницаемого для микроволн материала, то окно представляет собой переход от одной среды в другую среду, от которой отражается часть микроволнового излучения. С помощью планирования расстояния между оболочкой и микроволновой антенной можно улучшить качество обработки сигналов во временной области.

В качестве материала для окна согласно варианту а), так и варианта б) подходят материалы, которые являются устойчивыми к температурным влияниям, также при повышенных температурах имеют невысокую электрическую проводимость и не имеют открытой пористости. Особенно подходит термостойкая керамика. Подходящие керамические материалы, в частности $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, не имеют открытой пористости. При варианте б) предпочтительно используют колпачок из керамического материала.

Соединение окна с защитной трубой варианта а) можно проводить, например, с помощью склеивания или пайки. Подходящим клеем является Panacol Cerastil V-336, Thermeez Hi Seal 7030.

Соединение колпачка с вытесняющей капсулой согласно варианта б) можно проводить, например, с помощью склеивания при помощи клея, названного для варианта а).

В варианте б) оболочка также может состоять из керамики, причем из той же керамики, которую можно использовать для изготовления окна.

Как в варианте а), так и в варианте б) область между микроволновой антенной и окружающей ее оболочкой может быть заполнена инертным газом. В качестве инертного газа подходит, например, азот или аргон. При использовании инертного газа улучшается устойчивость микроволновой антенны к высоким температурам. При использовании таких термостойких никелевых сплавов, как Inconel 600 для микроволновой антенны, оказалось, что при повышенных температурах в кислородсодержащей атмосфере образуется слой оксида хрома (Cr_2O_3). Из-за этого меняются электрические свойства материала, которые изменяют свойства микроволновой антенны, состоящей из этого материала. Так как это изменение происходит медленно, то это усложняет сравнимость измерений. С помощью заполнения инертным газом полости между оболочкой и микроволновой антенной предотвращается образование такого слоя оксида хрома и улучшается стабильность микроволновой антенны.

Другим аспектом настоящего изобретения является получение измерительной системы, которая содержит по меньшей мере один из описанных микроволновых зондов и которая предназначена для осуществления одного из описанных способов. Поэтому описанные в рамках способа или микроволновых зондов признаки относятся и к измерительной системе. Система измерений предпочтительно содержит схемный катализатор, который соединен с помощью кабеля по меньшей мере с одним микроволновым зондом. Схемный анализатор содержит по меньшей мере один СВЧ-генератор и по меньшей мере один микроволновый приемник.

Далее изобретение описано более подробно с помощью чертежей.

Показаны:

фиг. 1a-1d - различные конфигурации трубопроводных систем,

фиг. 2a-2b - спектры пропускания для различных трубопроводных систем,

фиг. 3 - введение микроволнового зонда согласно первого варианта осуществления в трубопроводную систему,

фиг. 4 - схематичное изображение верхушки микроволнового зонда первого варианта осуществления,

фиг. 5 - схематичное изображение стороны присоединения микроволнового зонда первого варианта осуществления,

фиг. 6 - схематичное изображение второго варианта осуществления микроволнового зонда,

фиг. 7a-7c - измерения методом отраженных волн на системе модели в области частот,

фиг. 8a-8c - измерения методом отраженных волн на системе модели в промежутки времени,

фиг. 9a-9c - измерения методом пропускания на системе модели,

фиг. 10 - схематичное изображение измерительной системы.

На фиг. 1a-1d представлены различные примеры для конфигураций трубопроводных систем 10. Представленные трубопроводные системы 10 являются частью паровой крекинг-установки. В трубопроводные системы 10, представленные на фиг. 1a-1d, соответственно вводят два микроволновых зонда 100. При этом микроволновые зонды 100 применяют соответственно в глухом фланце 15, таким образом в этом месте микроволновое излучение попадает внутрь трубопроводной системы 10 или в этом месте принимается микроволновое излучение, и трубопроводная система 10 является закрытой.

Представленная на фиг. 1a первая трубопроводная система 10 имеет только две прямые трубы 12, которые в конце соединены друг с другом с помощью изгиба 14. Трубы 12 имеют внутренний диаметр 3,84 см. Две прямые трубы 12 на другом конце закрыты глухим фланцем 15, причем через глухой фланец 15 микроволновый зонд 100 соответственно вводят внутрь трубопроводной системы 10.

В представленной на фиг. 1b второй системе труб 10 изгиб 14, который соединяет обе трубы 12 фиг. 1a друг с другом, заменен распределителем 16. Распределитель 16 дополнительно соединен с двумя другими трубами 12, таким образом всего четыре трубы 12 присоединены к распределителю 16 и параллельно отходят от распределителя 16. К другой трубе 12 соответственно присоединяется другой изгиб 14. Две средние трубы 12, как описано на фиг. 1a, соответственно закрыты глухим фланцем 15, причем на глухом фланце 15 оба микроволновых зонда 100 вводят в трубопроводную систему 10. Обе внешние трубы 12 через соответствующие изгибы 14 переходят в другую трубу 12, причем последующие трубы 12 соответственно закрыты глухим фланцем 15.

Представленная на фиг. 1c третья трубопроводная система 10 соответствует описанной на фиг. 1b

трубопроводной системе 10, причем к распределителю 16 на стороне, не прилегающей к трубам 12, присоединена сборная труба 18. Внутренний диаметр сборной трубы 18 равен 7,9 см. Сборная труба 18 имеет диаметр больше, чем труба 12.

Представленная на фиг. 1d четвертая трубопроводная система 10 соответствует описанной на фиг. 1c трубопроводной системе 10, причем к сборной трубе 18 присоединен конус 20, который раскрывается исходя из сборной трубы 18, таким образом увеличивается диаметр.

Фиг. 2a и 2b показывают спектр пропускания для описанных на фиг. 1a и 1d трубопроводных систем 10. Представленные спектры получают во время создания на одном из двух микроволновых зондов 100 микроволнового сигнала генератора сигналов, таким образом микроволны вводят в трубопроводную систему 10. Микроволны распространяются в трубопроводной системе 10 как в полой проводнике и принимаются обратно вторым микроволновым зондом 100. Частота микроволнового сигнала изменяется от 300 кГц до 10 ГГц, причем на фиг. 2a и 2b интенсивность проходящего сигнала нанесена по направлению к частоте. Для проведения измерений использовали схемный анализатор Agilent E5071 C. Схемный анализатор имеет генератор сигналов, усилитель, моделирующее устройство/цифровой преобразователь и технику автоматического управления для выполнения измерений.

Оба представленных спектра в диапазоне частот от 300 кГц до 6 ГГц идентичны, имеют лишь небольшие отклонения. Эти небольшие отклонения находятся в рамках погрешностей измерений. На четырех представленных на фиг. 1a-1d трубопроводных системах для выбранного расположения микроволновых зондов предельная частота составляет примерно 6 ГГц. Для частот внутри предельных частот можно не вводить микроволновое излучение в трубопроводную систему, таким образом, следует ожидать идентичное протекание спектров. Однако неожиданно оказалось, что в диапазоне частот от 6 до 10 ГГц, который находится выше предельной частоты, таким образом микроволновое излучение вводят в соответствующую трубопроводную систему, спектры показывают качественно такой же процесс. Спектры отличаются только во время затухания, которое при увеличении размера трубопроводной системы слегка возрастает. Представленный на фиг. 2b спектр четвертой и самой большой трубопроводной системы фиг. 1d по сравнению с представленным на фиг. 2a спектром первой и самой маленькой трубопроводной системы фиг. 1a имеет большее затухание. Присутствующие в трубопроводной системе фиг. 1d изгибы, ответвления и изменения диаметра не изменяют проходящий сигнал или проявляются лишь незначительным увеличением затухания. Это поведение объясняется тем, что в комплексных трубопроводных системах фиг. 1b, 1c и 1d значительная часть микроволнового излучения также проходит прямой путь между двумя микроволновыми зондами 100 через трубопроводную систему 10, таким образом, в четырех тестируемых системах 10 фиг. 1a-1d в основном только две трубы 12, которые граничат с микроволновыми зондами 100, а также часть изгиба 14 или распределителя 16, который прилегает к двум трубам 12, способствует принятию проходящего сигнала. Так как на распределителе 16 трубопроводной системы 10 фиг. 1b, 1c и 1d часть микроволнового излучения попадает в следующие трубы 12 или в сборную трубу 18 и конус 20, то не весь сигнал попадает во второй микроволновый зонд 100, таким образом затухание возрастает. Однако анализ измерения при этом незначительном увеличении затухания не нарушается.

Далее, в не представленном на фигурах исследования микроволновые зонды вводили в трубопроводную систему 10 не через глухой фланец 15, а соответственно через изгиб 14, причем изгиб 14 соответственно с микроволновым зондом 100 заменил глухой фланец 15 с микроволновым зондом 100. При этом показано, что благодаря отличающейся геометрии окружения зонда предпочтительно активизируются TE_{11} колебания с низкой частотой среза.

На фиг. 3 представлено введение микроволнового зонда 100 согласно первого варианта осуществления в трубопроводную систему 10. При этом трубопроводная система 10 представлена 10 в разрезе, микроволновый зонд 100 не показан в разрезе. Представленная часть трубопроводной системы 10 показывает трубу 12, которая через изгиб 14 переходит во фланец 22. Альтернативно в качестве соединения вместо фланца можно использовать сварное соединение.

С помощью фланца 22 можно соединять другие части трубопроводной системы 10, которые не представлены на фиг. 3. На изгибе 14 расположен штуцер 24, который позволяет доступ внутрь трубопроводной системы 10. Через штуцер 24 микроволновый зонд 100 вводят в трубопроводную систему 10. Альтернативно в качестве соединения вместо фланца можно использовать сварное соединение.

Микроволновый зонд 100 содержит выполненный в виде окна 102 корпус 112, который окружает микроволновую антенну, см. фиг. 4. Окно 102 вдавливается внутрь через штуцер 24 в трубопроводную систему 10. Окно 102 переходит в защитную трубу 132, причем часть, которая выступает из штуцера 24, окружена оболочкой 110. К оболочке 110 через следующую оболочку 111 примыкает присоединительный фланец 116, который имеет присоединение 118. Через присоединение 118 можно подавать микроволновый зонд 100 или микроволновую антенну с сигналом или принятые сигналы можно передавать дальше на анализатор. Присоединительный фланец 116 с помощью фланца 114 и фланца 142 прикрепляется к оболочке 110. Оболочку 110 и штуцер 24 соединяют, например, с помощью сварки.

Фиг. 4 схематично показывает верхушку микроволнового зонда 100 первого варианта осуществления, причем микроволновый зонд 100 вводят в трубопроводную систему 10. Представлен лишь один участок трубопроводной системы 10 с изгибом 14, который имеет штуцер 24. Участок трубопроводной

системы 10 представлен в разрезе.

Верхушка микроволнового зонда 100 также представлена в разрезе на фиг. 4. На фиг. 4 представлено окно 102, выполненное в виде корпуса 112. Окно 102 выступает внутрь трубопроводной системы 10, причем продольная ось 150 микроволнового зонда 100 находится перпендикулярно направлению движения потока 26, таким образом, омывается примерно половина поверхности окна 102.

Внутри корпуса 112 находится микроволновая антенна 120, которая на фиг. 4 представлена в виде штыревой антенны. Вершина микроволновой антенны 120 в продольном направлении расположена на расстоянии от корпуса 11. Расстояние составляет по меньшей мере 20 мм.

Микроволновая антенна 120 соединена с коаксиальным кабелем 124, причем в месте соединения с коаксиальным кабелем 124 расположен концевой колпачок 122. Коаксиальный кабель 124 с помощью зажимной плиты 128 устанавливается по центру в корпусе 112. Зажимная плита 128 держится на нескольких, например трех, стержнях 126, причем в разрезе на фиг. 4 видны два стержня 126. При необходимости на стержнях 126 могут быть расположены другие зажимные плиты 128 для проводки коаксиального кабеля 124.

Микроволновые зонды 100 или их корпуса 112 на штуцере 24 вводят внутрь трубопроводной системы 10, причем на штуцере 24 расположена скользящая опора 130. Она оказывает прямое воздействие на центрирование корпуса 112 для предотвращения отрицательных вибраций. Кроме того, из-за кокования узкий кольцевой зазор скользящей опоры 130 очень быстро закрывается, и таким образом газовый канал между штуцером 24 и корпусом 112 становится непроходимым, и минимальное количество струящейся конденсируемой текучей среды внутри трубопроводной системы 10 попадает наружу. Одновременно скользящая опора 130 способствует движению микроволнового зонда 100 вдоль его продольной оси 150.

Фиг. 5 показывает схематичное изображение стороны присоединения микроволнового зонда 100 первого варианта осуществления.

Присоединяемая сторона расположена противоположно к стороне, на которой расположена микроволновая антенна 120, и имеет присоединительный фланец 116. Коаксиальный кабель 124 через присоединительный фланец 116 направляется к соединению 118. Соединение 118 означает, например, применяемый в технике высоких частот соединитель, как например, SMA-соединитель, APC7 соединитель или N-соединитель. Присоединительный фланец 116 в направлении микроволновой антенны 120 переходит в другую оболочку 111. Внутри другой оболочки 111 установлен компенсатор 138 линейного расширения, который с одной стороны приварен к оболочке 111 и с другой стороны переходит в защитную трубу 132. Для этого на оболочке 111 закреплено кольцо 137, которое соединено с соединительной деталью 139 компенсатора 138 линейного расширения.

Следующая оболочка 111 заканчивается во фланце 114. С помощью фланца 114 и расположенного на оболочке 110 фланца 142 соединяют друг с другом оболочку 110 и следующую оболочку 111, причем между фланцем 114 и фланцем 142 есть уплотнение 140. Для соединения фланцев 114 и 142 используют несколько болтов 115.

На переходе между защитной трубой 132 и компенсатором 138 линейного расширения на защитной трубе 132 установлена соединительная труба 134 и на компенсаторе линейного расширения 138 расположено кольцо 136. Соединительную трубу 134 и кольцо 136 сваривают друг с другом. Соответственно на переходе между компенсатором 138 линейного расширения и присоединительным фланцем 116 на компенсаторе 138 линейного расширения расположена соединительная труба, которая приварена к кольцу 137, которое также прикрепляют к оболочке 110 с помощью сварки.

На фиг. 6 схематично представлен второй вариант осуществления микроволнового зонда 100. Фиг. 6 показывает микроволновый зонд 100 и участок трубопроводной системы 10 в разрезе. Представлен лишь изгиб 14 трубопроводной системы 10, к концам которого присоединяют другие, не представленные на фигуре части трубопроводной системы 10.

Микроволновый зонд 100 имеет оболочку 110, которая на одной стороне имеет отверстие для соединения с трубопроводной системой 10 и на другой, противоположной стороне закрыта крышкой 152. Через крышку 152 подведена микроволновая антенна 120, которая выполнена в виде штифтовой антенны и окружена корпусом 112. Корпус 112 и микроволновая антенна 120 расположены концентрически к оболочке 110 и вдаются внутрь в оболочку 110, но не в трубопроводную систему 10.

К корпусу 112 на внешней стороне крышки 152 присоединяется присоединительный фланец 116, который закреплен на крышке 152 с помощью большого количества болтов 115 и который имеет присоединение 118. Через присоединительный фланец 116 подведен коаксиальный кабель 124, который закрыт концевым колпачком 122 и который переходит в микроволновую антенну 120. Коаксиальный кабель 124 соединен с присоединением 118 и способствует подаче сигнала на микроволновую антенну 120 и наоборот передает дальше полученный от микроволновой антенны 120 сигнал на анализатор.

Не заполненное корпусом 112 внутреннее пространство оболочки 110 принимает вытесняющая капсула 146, которая в направлении трубопроводной системы 10 снабжена колпачком 144. Вытесняющая капсула 146 и колпачок 144 выполнены из проницаемых для микроволнового излучения материалов и вместе образуют окно 102. Корпус 112 также выполнен из проницаемого для микроволнового излучения

материала. Колпачок 144 имеет коническую форму, причем верхушка конусообразной формы находится на продольной оси 152 микроволнового зонда 100. Альтернативно колпачок 144 также может быть выполнен в виде клина, причем клин расположен таким образом, что образовавшиеся благодаря клинообразной форме наклонные поверхности омываются текучей средой.

Оболочка 110 на стороне, направленной к трубопроводной системе 10, имеет фланец 142. На изгибе 14 трубопроводной системы 10 расположен фланец 22, таким образом с помощью фланцев 142 и 22 микроволновый зонд 100 можно соединить с трубопроводной системой 10. Альтернативно оболочка 110 может быть соединена с трубопроводной системой 10 с помощью сварки.

Оболочка 110, как и трубопроводная система 10, выполнена из материала с хорошей электрической проводимостью, таким образом, как трубопроводная система 10, так и оболочка 110 подходят в качестве полого проводника для микроволн. Внутренний диаметр оболочки 110 соответствует внутреннему диаметру трубопроводной системы 10.

После соединения микроволновый зонд 100 расположен таким образом, что поток 26 направленной в трубопроводную систему 10 текучей среды омывает конусообразное окно 102 перпендикулярно продольной оси 152 микроволнового зонда 100.

Фиг. 7а-7с показывают измерения методом отраженных волн на системе модели в области частот. Система опытного образца состоит из трубы 12 со внутренним диаметром 107,1 мм и длиной 1071. Соотношение диаметра к длине составляет 1:10 и выбрано таким образом, что результат измерений не зависит от длины трубы 12, т.е. полученные результаты также относятся и к более длинным трубам. В трубу вставляют графитные вкладыши 50, 52, чтобы моделировать углеродистые отложения. Каждый вкладыш имеет длину 89 мм, таким образом в трубе помещается 12 вкладышей. Во время испытаний применяют вкладыши с двумя различными внутренними диаметрами, причем наружный диаметр соответственно составляет 106,85 мм. В больших вкладышах 52 внутренний диаметр составляет 64,11 мм, в маленьких вкладышах 50 внутренний диаметр составляет 74,8 мм.

В конце трубы 12 микроволновую антенну 120 в виде штифтовой антенны помещают в трубу 12, причем штифтовая антенна расположена в трубе 12 концентрически. Для проведения измерений с помощью схемного анализатора типа Agilent E5071 С принимали спектры отражения в пределах 300 кГц-10 ГГц. При этом для каждой измеренной частоты отправляли ограниченный временем микроволновый сигнал с этой частотой и затем снова принимали этой же микроволновой антенной 120.

Во время испытания, представленного на фиг. 7а, труба 12 полностью снабжена маленькими вкладышами 50. На обозначенной под номером (1) позиции в спектре можно распознать предельную частоту трубы 12 с маленькими вкладышами 50 примерно при 3,2 ГГц. Нарисованная на фиг. 7а-7с заштрихованная линия обозначает предельную частоту трубопроводной системы 12 с маленькими вкладышами 50.

Во время представленного на фиг. 7б испытания оба плотно расположенных на микроволновой антенне 120 маленьких вкладыша 50 заменили большими вкладышами 52 и измерили спектр отражения. Как видно из изображения спектра на фиг. 7б, из-за сужения, вызванного большими вкладышами 52, предельная частота переместилась к более высоким частотам. Этот сдвиг указывает на сужение. Предельная частота переместилась примерно на 3,7 ГГц, что соответствует ожидаемому изменению диаметра.

Во время представленного на фиг. 7с испытания пять плотно расположенных на микроволновой антенне 120 маленьких вкладыша 50 заменили большими вкладышами 52 и измерили спектр отражения. Как видно из изображения спектра на фиг. 7с, по сравнению с измерением, представленным на изображении 7б, не наступает дальнейшего изменения предельной частоты. Последующее изменение также не предвидится, так как предельная частота представлена самым маленьким свободным поперечным сечением трубы.

Фиг. 8а-8с показывают измерения методом отраженных волн на системе модели в промежутки времени. Система опытного образца состоит из трубы 12 со внутренним диаметром 107,1 мм и длиной 1071. Соотношение диаметра к длине составляет 1:10 и выбрано таким образом, что результат измерений не зависит от длины трубы 12, т.е. полученные результаты также относятся и к более длинным трубам. В трубу 12 вставляют графитные вкладыши, чтобы моделировать углеродистые отложения. Каждый вкладыш имеет длину 89 мм, таким образом в трубе помещается 12 вкладышей. Во время испытаний применяют вкладыши с двумя различными внутренними диаметрами, причем наружный диаметр соответственно составляет 106,85 мм. В больших вкладышах 52 внутренний диаметр составляет 64,11 мм, в маленьких вкладышах 50 внутренний диаметр составляет 74,8 мм.

В конце трубы 12 микроволновую антенну 120 в виде штифтовой антенны вставляют в трубу 12. Для проведения измерений схемный анализатор типа Agilent E5071 С принимал спектры отражения для микроволнового импульса, который вводит в трубу микроволновая антенна 120 и затем его отражения снова принимает та же микроволновая антенна. На фиг. 8а-8с соответственно нанесена амплитуда сигнала с помощью произвольных элементов по отношению ко времени распространения сигнала в нс.

Во время измерения, представленного на фиг. 8а, труба 12 полностью снабжена большими вкладышами 52. На представленной кривой измерений есть два максимума. Первый максимум, который обозначен как (1), присвоен отражению на переходе от антенны к трубе. Это указывает на прямое отражение

микроволн в зоне микроволновой антенны 120. Второй максимум, который обозначен как (2), образован отражением микроволн на открытом конце трубы 12.

Во время измерения, представленного на фиг. 8b, труба 12 наполовину снабжена большими вкладышами 52. Сторона трубы 12, противоположно расположенная по отношению к микроволновой антенне 120, снабжена маленькими вкладышами 50. На представленной кривой измерений есть три максимума. Обозначенные как (1) и (2) максимумы соответствуют, как было описано относительно фиг. 8a, прямому отражению при вводе излучения в микроволновую антенну 120 и отражению на открытом конце трубы 12. Обозначенный как (3) третий максимум соответствует отражению на переходе от больших вкладышей 52 к маленьким вкладышам 50. С помощью времени распространения сигнала можно локализовать позицию этого перехода в трубе 12 и разместить точно в середине трубы 12.

Во время измерения, представленного на фиг. 8c, труба 12 на одну четверть снабжена большими вкладышами 52. Сторона трубы 12, противоположно расположенная по отношению к микроволновой антенне 120, снабжена маленькими вкладышами 50. Как описано на фиг. 8b, образуется кривая измерений с тремя максимумами, причем позиция третьего максимума (3), который соответствует отражению в месте перехода от больших вкладышей 52 к маленьким вкладышам 50, сдвигается. Сдвиг точно соответствует измененному расстоянию перехода к микроволновой антенне 120.

На фиг. 9a-9c представлены измерения методом пропускания на системе опытного образца в зоне частоты. Система образца состоит, как описано на фиг. 7 и 8, из трубы 12 со внутренним диаметром 107,1 мм и длиной 1071 мм. Соотношение диаметра к длине составляет 1:10 и выбрано таким образом, что результат измерений не зависит от длины трубы 12, т.е. полученные результаты также относятся и к более длинным трубам. В трубу вставляют графитные вкладыши, чтобы моделировать углеродистые отложения. Каждый вкладыш имеет длину 89 мм, таким образом в трубе 12 помещается 12 вкладышей. Во время испытаний применяют вкладыши с двумя различными внутренними диаметрами, причем наружный диаметр соответственно составляет 106,85 мм. В больших вкладышах 52 внутренний диаметр составляет 64,11 мм, в маленьких вкладышах 50 внутренний диаметр составляет 74,8 мм.

На обоих концах трубы 12 микроволновую антенну 120 в виде штифтовой антенны вставляют в трубу 12. Для проведения измерений с помощью схемного анализатора типа Agilent E5071 С принимали трансмиссионные спектры в пределах 300 кГц - 10 ГГц. При этом для каждой измеренной частоты отправляли микроволновый сигнал с этой частотой с помощью микроволновой антенны и затем снова принимали другой микроволновой антенной 120.

На измерении фиг. 9a в трубу 12 поместили 12 маленьких вкладышей 50. В представленном спектре пропускания заметны две предельные частоты, которые соответственно обозначены как (0) и (1). Позиция (0) обозначает предельную частоту вида колебаний TE_{11} и позиция (1) обозначает предельную частоту вида колебаний TM_{01} . Заметно, что амплитуда вида колебаний TM_{01} значительно больше, чем амплитуда вида колебаний TE_{11} . Это объясняется тем, что благодаря выбранному расположению микроволновой антенны виды колебаний TE_{11} слабо стимулируются.

Во время измерения на фиг. 9b два плотно прилегающих к одной из микроволновых антенн 120 маленьких вкладыша 50 заменили большими вкладышами 52. На представленном спектре пропускания видно, что предельные частоты сдвинулись. Смещенную предельную частоту вида колебаний TM_{01} обозначили как (2).

Во время представленного на фиг. 9c испытания пять плотно расположенных на левой микроволновой антенне 120 маленьких вкладыша 50 заменили большими вкладышами 52 и измерили спектр пропускания. Из представленного спектра пропускания видно, что предельные частоты больше не сдвигаются, увеличилась только резкость перехода, т.е. подъем в спектре.

На фиг. 10 измерительная система 200 представлена в виде схем.

Измерительная система 200 содержит один схемных анализатор, который снова содержит один СВЧ-генератор 212, один приемник 214 микроволн и одно моделирующее устройство 216. СВЧ-генератор 212 служит как генератор сигналов и вырабатывает микроволновые сигналы с необходимой амплитудой и частотой. Приемник 214 микроволн содержит фильтр и предварительный усилитель, а также моделирующее устройство/цифровой трансформатор. Приемник 214 микроволн обрабатывает принятые сигналы для последующей дальнейшей электронной переработки. Эту дальнейшую переработку проводят анализатором 216, который также управляет процессом измерения.

Схемный анализатор 210 с помощью кабеля 218 связан с микроволновым зондом 100, который вводят в трубопроводную систему устройства для осуществления предложенных способов измерения. В других вариантах осуществления система содержит несколько микроволновых зондов 100, особенно предпочтительно два микроволновых зонда 100. При использовании по меньшей мере двух микроволновых зондов 100, кроме измерений методом отраженных волн, для которых достаточно одного микроволнового зонда 100, также можно проводить измерения методом пропускания.

Перечень основных условных обозначений.

10 - трубопроводная система,

12 - труба,

14 - изгиб,

15 - глухой фланец,
16 - сборная труба,
18 - труба с большим диаметром,
20 - конус,
22 - фланец (трубопроводная система),
24 - входной штуцер,
26 - поток,
50 - тонкостенный графитный вкладыш,
52 - толстостенный графитный вкладыш,
100 - микроволновый зонд,
102 - окно,
110 - оболочка,
111 - оболочка,
112 - корпус,
114 - фланец,
115 - болт,
116 - присоединительный фланец,
118 - присоединение,
120 - антенна,
122 - концевой колпачок,
124 - коаксиальный кабель,
126 - стержень,
128 - зажимная плита,
130 - подшипник скольжения,
132 - защитная труба,
134 - соединительная труба,
136 - кольцо,
137 - кольцо,
138 - компенсатор линейного расширения,
139 - соединительная деталь,
140 - уплотнение,
142 - фланец,
144 - колпак,
146 - вытесняющая капсула,
150 - продольная ось,
152 - крышка,
200 - измерительная система,
210 - схемный анализатор,
212 - СВЧ-генератор,
214 - приемник микроволн,
216 - анализатор,
218 - кабель.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ обнаружения отложений в трубопроводной системе (10) устройства, через которое проходит текучая среда, отличающийся тем, что по меньшей мере один микроволновый зонд (100) вводят в трубопроводную систему (10) таким образом, что проникаемое для микроволнового излучения окно (102) микроволнового зонда (100) омывается потоком текучей среды и что с помощью по меньшей мере одного микроволнового зонда (100) через проникаемое для микроволнового излучения окно микроволны вводят в трубопроводную систему (10), причем введенные в трубопроводную систему (10) микроволны распространяются в ней (10) как в полном проводнике,

причем

а) проводят измерение методом отраженных волн, при котором снова принимают отражения излучаемых по меньшей мере одним микроволновым зондом (100) микроволн с помощью соответствующего микроволнового зонда (100), причем определяют предельные частоты, причем для определения предельных частот изменяют частоту микроволн, введенных в трубопроводную систему (10), в заданном диапазоне и для каждой частоты определяют интенсивность отраженного микроволнового излучения, и в результате сравнения со справочными данными или с предыдущим измерением делают вывод о сужении в области микроволнового зонда (100), причем распознают предельные частоты, указывающие на сужение, и причем определяют свободное сечение в области сужения из этой указывающей на сужение предельной частоты, и/или

б) проводят измерение методом отраженных волн, при котором снова принимают отражения излучаемых по меньшей мере одним микроволновым зондом (100) микроволн в месте сужения с помощью соответствующего микроволнового зонда (100), причем, учитывая время распространения сигнала, определяют расстояние между соответствующим микроволновым зондом (100) и местом сужения в трубопроводной системе, причем два микроволновых зонда (100) вводят в трубопроводную систему (10) на расстоянии друг от друга и проводят измерение методом отраженных волн согласно варианту б) с помощью микроволновых зондов (100) с двух сторон определенного участка трубопроводной системы, причем на основании установленных расстояний от сужения до обоих микроволновых зондов (100) и известной длины участка трубопроводной системы определяют длину сужения или расстояние между двумя сужениями, и/или

с) в трубопроводную систему вводят по меньшей мере два микроволновых зонда (100) на расстоянии друг от друга и проводят измерение методом пропускания между двумя микроволновыми зондами (100), причем расположение обоих микроволновых зондов (100) определяет участок трубопроводной системы, устанавливают предельные частоты участка трубопроводной системы, причем для установления предельных частот изменяют частоту микроволн, введенных в трубопроводную систему (10), в заданном диапазоне и для каждой частоты определяют интенсивность отраженного микроволнового излучения и с помощью сравнения со справочными данными или с предыдущим измерением делают вывод о сужении на участке трубопроводной системы, причем распознают предельные частоты, указывающие на сужение, и причем определяют свободное сечение в области сужения из этой указывающей на сужение предельной частоты,

причем исходя из обнаружения сужения делают вывод о наличии отложений.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что трубопроводная система (10) имеет по меньшей мере одну область с измененным поперечным сечением, одно разветвление и/или один изгиб.

3. Способ по п.1 или 2, причем для определения времени распространения микроволнового сигнала согласно варианту б) в трубопроводную систему (10) вводят или ограниченный по времени микроволновый импульс, или непрерывный монохромный микроволновый сигнал таким образом, что образуется резонансное микроволновое поле, причем с помощью микроволнового зонда (100) определяют амплитуду и фазу резонансного поля, изменяют частота сигнала и с помощью обратного преобразования Фурье рассчитывают ответ трубопроводной системы на ограниченный по времени микроволновый импульс.

4. Способ по п.1 или 2, отличающийся тем, что при измерении методом пропускания согласно варианту с) дополнительно измеряют амплитуду, причем изменение амплитуды указывает на наличие сужения.

5. Способ по одному из пп.1-4, причем измерения проводят непрерывно во время эксплуатации устройства и определяют изменение во времени измеренных параметров, отличающийся тем, что условия эксплуатации устройства изменяют, причем при увеличении скорости изменения во времени делают вывод о неблагоприятных условиях эксплуатации и при замедлении скорости изменения во времени делают вывод о благоприятных условиях эксплуатации.

6. Способ по одному из пп.1-5, отличающийся тем, что определяют контрольные значения для трубопроводной системы (10) устройства на основании модели, контрольные значения масштабируют до размера устройства и во время проведения измерения сравнивают результаты измерений с контрольными значениями, причем модель является компьютерной моделью или моделью трубопроводной системы (10), представленной в уменьшенном размере.

7. Способ по одному из пп.1-6, отличающийся тем, что на местах соединения трубопроводной системы (10) располагают экран.

8. Способ по одному из пп.1-7, отличающийся тем, что трубопроводная система (10) имеет по меньшей мере одну изогнутую зону, причем по меньшей мере один микроволновый зонд (100) вводят в изогнутую зону в трубопроводную систему (10).

9. Микроволновый зонд (100) для ввода микроволн в трубопроводную систему (10) устройства, причем введенные в трубопроводную систему (10) микроволны распространяются в трубопроводной системе (10) как в полном проводнике, содержащий

микроволновую антенну (120),

окно (102) из проникаемого для микроволнового излучения материала,

коаксиальный кабель (124), который соединен с микроволновой антенной (120), и

оболочку (110),

отличающийся тем, что микроволновый зонд (100) выполнен для использования в способе по одному из пп.1-8, причем

а) микроволновая антенна (120) состоит из термостойкого сплава металлов, предпочтительно из сплава на основе никеля, коаксиальный кабель (124) содержит термостойкий сплав металлов и неорганический диэлектрик, и окно (102) выполнено в виде корпуса (112), который окружает микроволновую антенну (120), причем оболочка (110) выполнена таким образом, что с наружной стороны эта оболочка (110) присоединяется к трубопроводной системе (10), и причем выполненное в виде корпуса (112) окно (102) со стороны, прилегающей к коаксиальному кабелю (124), переходит в защитную трубу (132), кото-

рая с помощью компенсатора линейного расширения (138) соединена с оболочкой (110), причем оболочка (110), по меньшей мере, частично окружает защитную трубу (132), или

б) оболочка (110) состоит из электропроводящего материала и выполнена в виде полого проводника, причем внутренний диаметр оболочки (110) соответствует внутреннему диаметру трубопроводной системы (10), причем оболочка (110) на первой стороне имеет отверстие для соединения с трубопроводной системой (10), на второй, противоположной стороне расположена микроволновая антенна (120), которая закрыта проницаемым для микроволнового излучения корпусом (112) и простирается вовнутрь оболочки (110), а окно (102) в виде вытесняющего элемента (146) выполнено из термостойкого и проницаемого для микроволнового излучения материала, который занимает оставшееся внутреннее пространство оболочки (110).

10. Микроволновый зонд (100) по п.9, отличающийся тем, что прилегающая к отверстию сторона окна (102), выполненного в виде вытесняющего элемента (146), имеет коническую форму или клиновидную форму.

11. Микроволновый зонд (100) по п.9 или 10, отличающийся тем, что вытесняющий элемент (146) на стороне, прилегающей к отверстию, имеет колпачок (144) из устойчивого к абразивному воздействию и проницаемого для микроволнового излучения материала.

12. Микроволновый зонд (100) по одному из пп.9-11, отличающийся тем, что расстояние между вершиной микроволновой антенны (120) и корпусом (112) в направлении продольной оси антенны (120) составляет по меньшей мере 20 мм.

13. Микроволновый зонд (100) по одному из пп.9-12, отличающийся тем, что зона между микроволновой антенной (120) и окружающим ее корпусом (112) заполнена инертным газом.

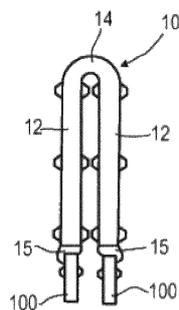
14. Измерительная система (200) для обнаружения отложений в трубопроводной системе (10) устройства, содержащая

по меньшей мере один микроволновый зонд (100) по одному из пп.9-13,

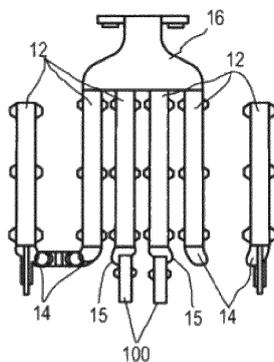
по меньшей мере один микроволновый генератор (212) и

по меньшей мере один приемник (214) микроволн,

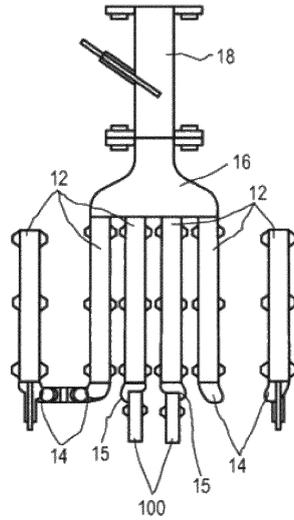
причем измерительная система (200) выполнена для выполнения способа по одному из пп.1-8.



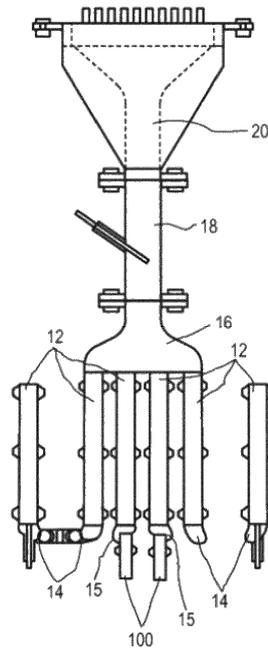
Фиг. 1А



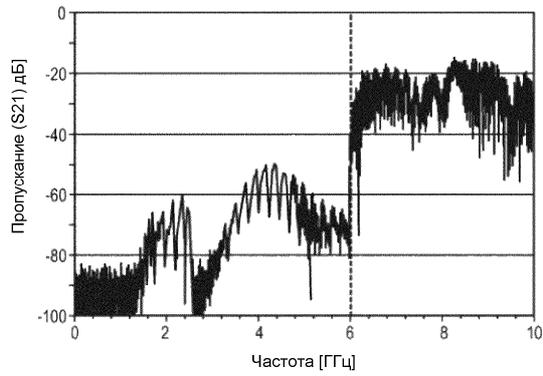
Фиг. 1В



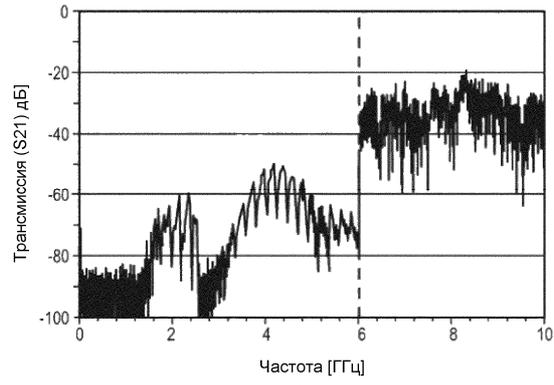
Фиг. 1С



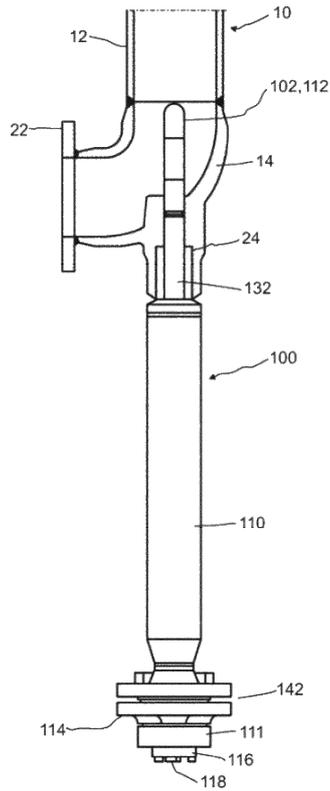
Фиг. 1D



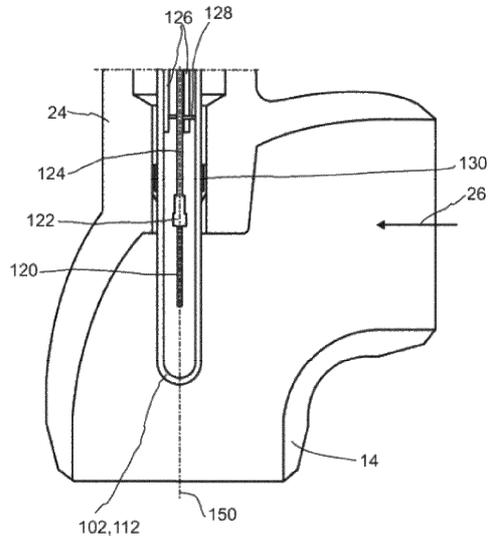
Фиг. 2А



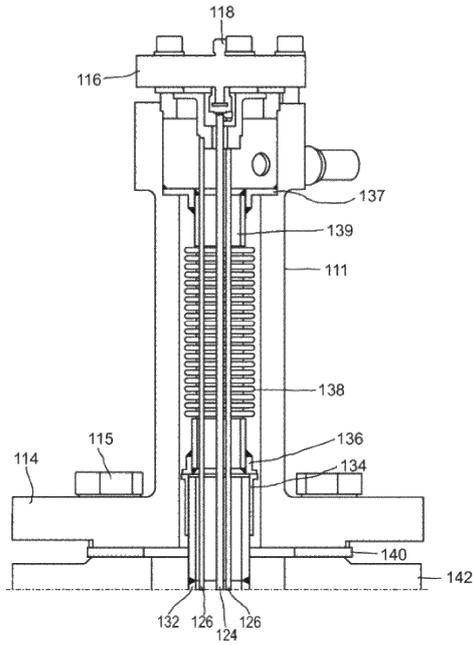
Фиг. 2В



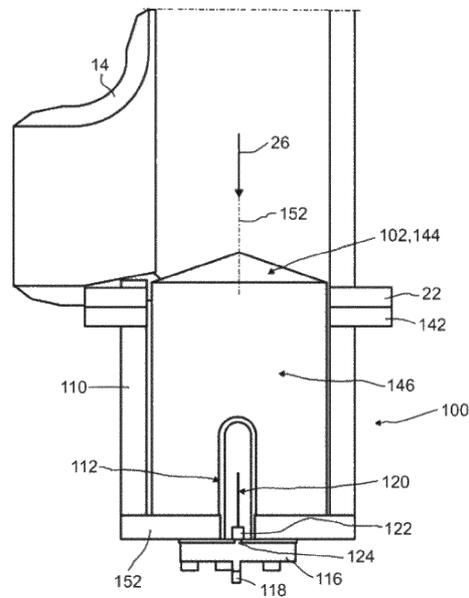
Фиг. 3



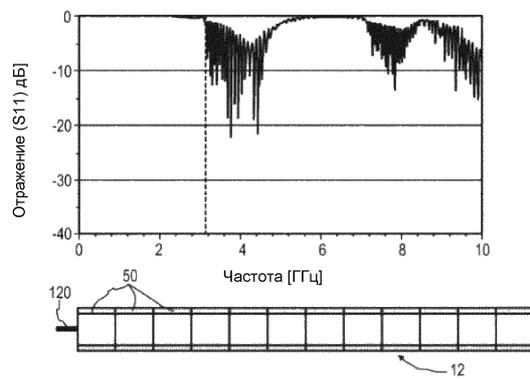
Фиг. 4



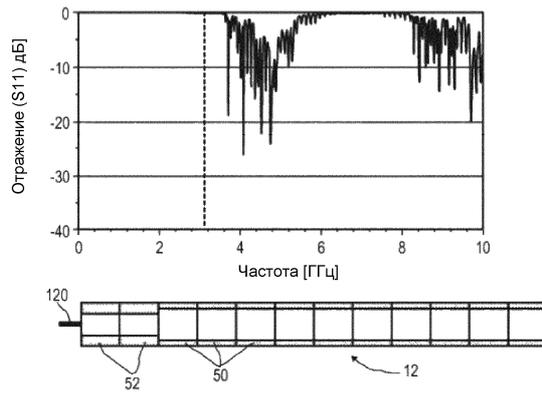
Фиг. 5



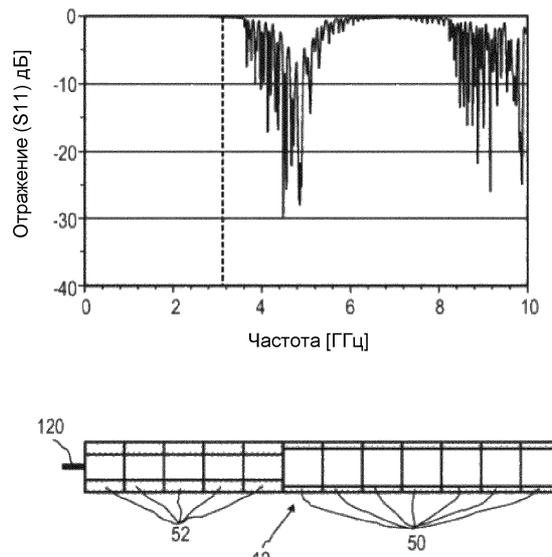
Фиг. 6



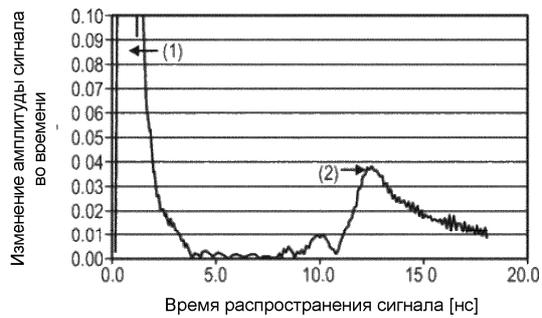
Фиг. 7А



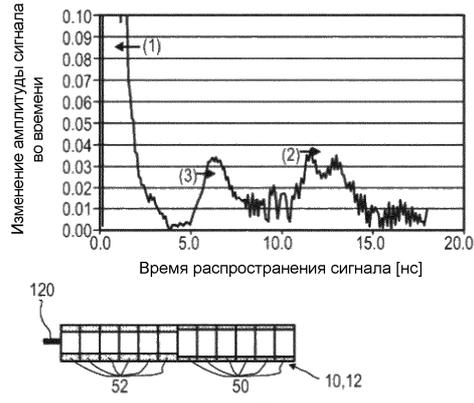
Фиг. 7В



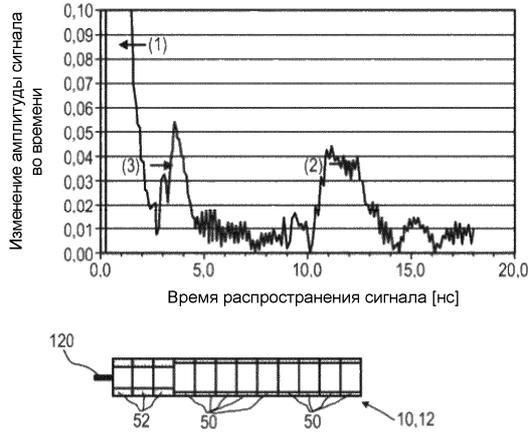
Фиг. 7С



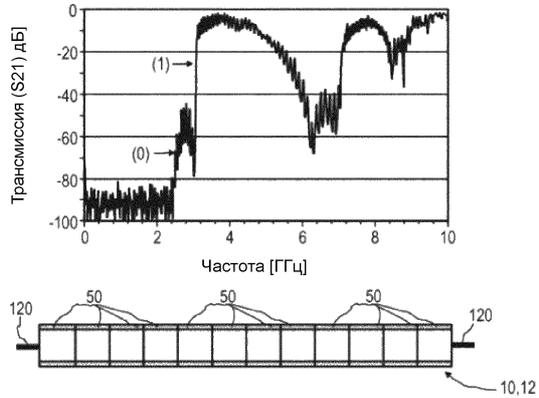
Фиг. 8А



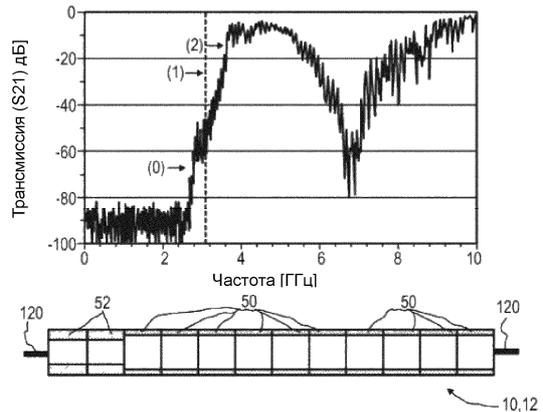
Фиг. 8В



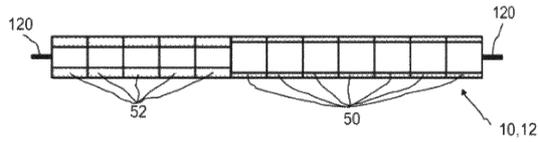
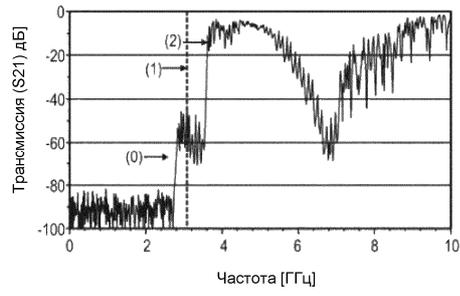
Фиг. 8С



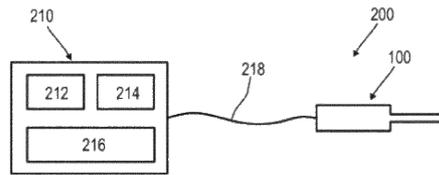
Фиг. 9А



Фиг. 9В



Фиг. 9С



Фиг. 10

