

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **038165**(13) **B1**

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.07.16**

(21) Номер заявки  
**201791894**

(22) Дата подачи заявки  
**2016.02.26**

(51) Int. Cl. **G01N 33/28 (2006.01)**

### (54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СОСТАВА МНОГОФАЗНОЙ ТЕКУЧЕЙ СРЕДЫ

(31) **1503348.3**

(32) **2015.02.27**

(33) **GB**

(43) **2018.03.30**

(86) **PCT/GB2016/050507**

(87) **WO 2016/135506 2016.09.01**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**Эм-ФЛОУ ТЕКНОЛОДЖИЗ ЛТД**  
**(GB)**

(72) Изобретатель:  
**Паркер Алан, Эдвард Джайлз,**  
**Тремоле Арно, Уолл-Кларк Алекс**  
**(GB)**

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

(56) **US-A-4352288**

**US-A-5049823**

**WO-A1-9321501**

**WO-A2-2014064436**

**EBERLE C.S. ET AL.:** "Optimization of a one-shot gamma densitometer for measuring area-averaged void fractions of gas-liquid flows in narrow pipelines", **MEASUREMENT SCIENCE AND TECHNOLOGY**, IOP, BRISTOL, GB, vol. 5, no. 9, 1 September 1994 (1994-09-01), pages 1146-1158, XP020065779, ISSN: 0957-0233, DOI: 10.1088/0957-0233/5/9/017, the whole document

**US-A1-2012087467**

**BENJAMIN KAKU ARVOH ET AL.:** "Estimation of volume fraction and flow regime identification in inclined pipes based on gamma measurements and multivariate calibration", **JOURNAL OF CHEMOMETRICS**, vol. 26, no. 8-9, 2 August 2012 (2012-08-02), pages 425-434, XP055289600, GB, ISSN: 0886-9383, DOI: 10.1002/cem.2437, the whole document

(57) Способ для применения в измерении состава многофазной текучей среды включает протекание многофазной текучей среды через проточный канал текучей среды, определяемый стенкой трубы для текучей среды. Стенка включает электрически непроводящий материал. Способ включает создание электромагнитного поля, которое распространяется через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду, и измерение характеристики электромагнитного поля на протяжении периода времени измерения. Способ включает передачу дополнительной энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения независимо от электромагнитного поля и измерение дополнительной энергии, переданной через текучую среду, на протяжении периода времени измерения. Такой способ может быть использован для однозначного определения состава многофазной текучей среды, которая имеет различные компоненты.

**038165 B1**

**038165 B1**

### **Область техники, к которой относится изобретение**

Описываемые здесь способы и устройства относятся к измерению состава текучей среды и, в частности, хоть и не исключительно, к измерению состава многофазной текучей среды, включающей различные количества компонентов, таких как нефть, вода и газ.

#### **Уровень техники**

Как используемый здесь, термин "объемная доля газа" (GVF) текучей среды может быть определен как отношение объема газа, присутствующего в текучей среде, к общему объему текучей среды.

Кроме того, как применяемый здесь, термин "обводненность" текучей среды может быть определен как отношение объема воды, присутствующей в текучей среде, к объему всех жидкостей в текучей среде.

Текучие среды, добываемые из нефтяных и газовых скважин, могут представлять собой многофазные текучие среды, имеющие два или три различных компонента. В частности, для добываемых из нефтяной или газовой скважины текучих сред не является необычным содержание нефти, воды и газа. Обводненность добываемой из нефтяной или газовой скважины текучей среды может быть ценной частью информации, поскольку экономическая ценность добытой текучей среды в значительной мере определяется относительными пропорциями нефти и воды независимо от относительной доли любого присутствующего газа.

Известно применение пучка  $\gamma$ -лучей для измерения плотности многофазной текучей среды, протекающей по стальной трубе. В такой известной системе один или многие пучки  $\gamma$ -лучей могут быть пропущены вдоль одной или многих соответствующих хордальных траекторий, таких как одна или многие диаметральных траектории поперек определяемого трубой проточного канала текучей среды. Применение одного или многих таких пучков  $\gamma$ -лучей может иметь результатом измеренную плотность текучей среды, которая чувствительна к изменениям режима течения текучей среды внутри проточного канала текучей среды.

#### **Сущность изобретения**

Должно быть понятно, что любой из одного или многих признаков одного из описываемых здесь способов или устройств может быть использован по отдельности или в любой комбинации с любым одним или более из признаков других описываемых здесь способов или устройств.

Способ описывается здесь для применения в измерении состава многофазной текучей среды.

Способ может включать протекание многофазной текучей среды через проточный канал текучей среды, определяемый стенкой трубы для текучей среды.

Стенка может включать электрически непроводящий материал.

Способ может включать создание электромагнитного поля, которое распространяется сквозь электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду.

Способ может включать измерение характеристики электромагнитного поля на протяжении периода времени измерения, чтобы получать измеренное изменение во времени характеристики электромагнитного поля.

Способ может включать передачу дополнительной энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения, независимо от электромагнитного поля.

Способ может включать измерение дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду, на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать

протекание многофазной текучей среды через проточный канал текучей среды, определяемый стенкой трубы для текучей среды, причем стенка включает электрически непроводящий материал;

создание электромагнитного поля, которое распространяется сквозь электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду;

измерение характеристики электромагнитного поля на протяжении периода времени измерения, чтобы получать измеренное изменение во времени характеристики электромагнитного поля;

передачу дополнительной энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения независимо от электромагнитного поля; и

измерение дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду, на протяжении периода времени измерения.

Такой способ может быть использован для однозначного определения состава многофазной текучей среды, которая имеет различные компоненты. В частности, способ может быть применен для однозначного определения значения обводненности для многофазной текучей среды, включающей три компонента, такие как нефть, вода и газ.

Способ может включать создание электромагнитного поля через проточный канал текучей среды.

Создание электромагнитного поля, которое распространяется через стенку трубы для текучей среды сквозь проточный канал текучей среды, может формировать относительно однородное электромагнитное поле через проточный канал текучей среды. Это может способствовать снижению чувствительности измерения характеристики электромагнитного поля к распределению любого из различных компонентов текучей среды поперек проточного канала текучей среды. Например, это может содействовать снижению

чувствительности измерения резонансной частоты электромагнитного поля к распределению любых различных компонентов текучей среды поперек проточного канала текучей среды.

Применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может обеспечивать возможность создания более сильного электромагнитного поля в текучей среде сравнительно с использованием электропроводного материала в стенке трубы для текучей среды. Поэтому применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может повышать чувствительность измерения характеристики электромагнитного поля по сравнению с использованием электрически проводящего материала в стенке трубы для текучей среды.

Электрически непроводящий материал стенки может составлять по меньшей мере часть толщины стенки трубы для текучей среды.

Способ может включать выбор конфигурации стенки для повышения однородности электромагнитного поля поперек проточного канала текучей среды. Способ может включать выбор материала и/или толщины стенки для повышения однородности электромагнитного поля поперек проточного канала текучей среды.

Электромагнитное поле может включать электромагнитное поле радиочастотного (RF) диапазона.

Способ может включать локализацию электромагнитного поля в полости, такой как резонаторная полость, через которую проходит проточный канал текучей среды. Полость может включать электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды.

Характеристика электромагнитного поля может включать резонансную частоту электромагнитного поля.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать электромагнитную энергию отличной от электромагнитного поля частоты.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать  $\gamma$ -излучение и/или  $\gamma$ -лучи.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать рентгеновское излучение и/или рентгеновские лучи.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может быть иного типа, нежели любая энергия взаимодействия между электромагнитным полем и текучей средой.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать акустическую энергию.

Способ может включать передачу дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в дополнение к передаче дополнительной энергии через текучую среду. Способ может включать измерение дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду и электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды, на протяжении периода времени измерения.

Передача дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды может обеспечивать возможность размещения передатчика и/или приемника дополнительной энергии снаружи стенки трубы для текучей среды, или, по меньшей мере, частично встроенными в стенку трубы для текучей среды, и/или по меньшей мере частично заключенными внутри нее так, что передатчик и/или приемник не выступает или не вдавывается в проточный канал текучей среды. Передачей дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды можно избежать любой необходимости в формировании или создании отверстия, которое проходило бы сквозь стенку трубы для текучей среды. Таким образом, стенка может иметь повышенную прочность и/или целостность под давлением.

Передача дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды может служить для сокращения периода времени измерения, необходимого для измерения дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду, для источника дополнительной энергии данной мощности или интенсивности сигнала, и для данного отношения сигнал-шум (SNR), по сравнению с передачей дополнительной энергии через электрически проводящий материал. Таким образом, передача дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды может повышать значение SNR, достигаемое для источника дополнительной энергии данной мощности или интенсивности сигнала, и данного периода времени измерения, или может позволять применение меньшего или менее мощного источника дополнительной энергии для данного SNR и данного периода времени измерения.

Способ может включать передачу дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в виде пучка. Применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может обеспечивать дополнительные преимущества, поскольку некоторые части пучка дополнительной энергии могут передаваться больше через стенку трубы для текучей среды и меньше через проточный канал текучей среды. Если бы труба для текучей среды была сформирована из электрически проводящего материала, то для пропускания таких частей пучка дополнительной энергии через проточный канал текучей среды мог бы потребоваться источник энергии пучка с большей мощностью и/или датчик энергии пучка с более высокой чувствительностью. Кроме того, ес-

ли бы труба для текучей среды была выполнена из электрически проводящего материала, то поглощение пучка дополнительной энергии было бы особенно чувствительно к любому относительному перемещению между любыми двумя или многими из источника энергии пучка, датчика энергии пучка и электрически проводящей трубы для текучей среды, и это могло бы весьма влиять на калибровку. Кроме того, если бы труба для текучей среды была изготовлена из электрически проводящего материала, то мог бы потребоваться источник энергии пучка, рассчитанный на проникновение частей пучка дополнительной энергии, которые пропускаются больше через стенку трубы для текучей среды и меньше через проточный канал текучей среды, приводя к тому, что другие части пучка дополнительной энергии пропускаются со слишком высокой мощностью, и обуславливая насыщение соответствующих областей датчика энергии пучка такими другими частями пучка дополнительной энергии. Для этого могут потребоваться различные области датчика энергии пучка, имеющие различные чувствительности, тем самым приводя к необходимости в более сложном датчике энергии пучка.

Измерение дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду, на протяжении периода времени измерения, может включать измерение дополнительной энергии, передаваемой в текучую среду, и измерение дополнительной энергии, принимаемой из текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Дополнительная энергия, принимаемая из текучей среды, может включать энергию, рассеянную из текучей среды.

Труба для текучей среды может иметь поперечное сечение в плоскости, пересекающей проточный канал текучей среды, каковое поперечное сечение является симметричным относительно одной или более осей симметрии.

Способ может включать пропускание пучка дополнительной энергии поперек трубы для текучей среды из источника, размещенного на одной стороне трубы для текучей среды, до датчика, размещенного на другой стороне трубы для текучей среды, таким образом, что только область в поперечной плоскости внутри стенки, которая подвергается воздействию пучка дополнительной энергии, главным образом определяется одной из одной или более осей симметрии и стенкой, и причем область, подвергшаяся воздействию, составляет между 40 и 60% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

Область, подвергшаяся воздействию, может составлять между 45 и 55%, между 49 и 51%, быть, по существу, равной 50% или составлять 50% общей площади.

Способ может включать пропускание пучка дополнительной энергии от источника к датчику вдоль оси пучка, которая параллельна одной из одной или многих осей симметрии в поперечной плоскости, но смещена относительно нее.

Способ может включать ориентирование трубы для текучей среды так, что проточный канал текучей среды ориентирован вертикально. Это может иметь результатом такой режим течения текучей среды, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды является симметричным или приблизительно симметричным поперек проточного канала текучей среды в горизонтальной плоскости. Например, проточный канал текучей среды может быть круговым или в основном круговым в поперечной плоскости, и режим течения текучей среды может быть таким, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды может быть кругообразно симметричным или приблизительно кругообразно симметричным поперек проточного канала текучей среды в поперечной плоскости.

В отношении режима течения текучей среды, который является таким, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды является кругообразно симметричным или приблизительно кругообразно симметричным поперек проточного канала текучей среды в поперечной плоскости, способ может обеспечивать определение значения характеристики текучей среды по измеренной дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду на протяжении периода времени измерения, каковое значение характеристики текучей среды является показательным для текучей среды, протекающей по всему проточному каналу текучей среды в поперечной плоскости. Точность измерения значения характеристики текучей среды может быть повышена, когда область, подвергшаяся воздействию, достигает 50% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

Более того, такой способ может позволять размещение источника пучка дополнительной энергии ближе к трубе для текучей среды по сравнению с ситуацией, когда пучок дополнительной энергии пропускается через трубу для текучей среды так, что вся поверхность, определяемая стенкой в поперечной плоскости, экспонируется пучком. Это может приводить к более компактной конструкции.

В дополнение, такой способ может обеспечивать возможность применения меньшего датчика для приема пучка дополнительной энергии после пропускания пучка дополнительной энергии через трубу для текучей среды сравнительно с ситуацией, когда пучок дополнительной энергии пропускается сквозь трубу для текучей среды так, что вся поверхность, определяемая стенкой в поперечной плоскости, экспонируется пучком.

Способ может включать пропускание пучка дополнительной энергии от источника дополнительной энергии, размещенного на одной стороне трубы для текучей среды, до датчика дополнительной энергии, размещенного на другой стороне трубы для текучей среды, так что вся площадь, определяемая стенкой в поперечной плоскости, экспонируется пучком дополнительной энергии.

Такой способ может обеспечивать возможность определения значения характеристики текучей среды по измеренной дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду на протяжении периода времени измерения, каковое значение характеристики текучей среды является показателем для текучей среды, протекающей по всему проточному каналу текучей среды, независимо от режима течения текучей среды и независимо от пространственного распределения различных компонентов текучей среды поперек проточного канала текучей среды в поперечной плоскости.

Способ может включать

применение измеренного изменения во времени характеристики электромагнитного поля и калибровочных данных для оценки изменения во времени состава текучей среды; и

применение расчетного изменения во времени состава текучей среды для оценки среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Характеристика текучей среды может включать свойство текучей среды. Например, характеристика текучей среды может включать плотность текучей среды.

Характеристика текучей среды может включать объемную долю газа.

Характеристика текучей среды может включать размер пузырей, количество пузырей, скорость течения текучей среды и/или тому подобное.

Способ может включать применение измеренной дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду на протяжении периода времени измерения, для определения независимо измеренного среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать определение значения целевой функции из расчетного среднего значения характеристики текучей среды и независимо измеренного среднего значения характеристики текучей среды.

Значение целевой функции может включать разность между расчетным средним значением характеристики текучей среды и независимо измеренным средним значением характеристики текучей среды.

Способ может включать сравнение величины значения целевой функции с предварительно заданным пороговым значением.

Способ может включать по выбору вывод данных расчетного изменения во времени состава текучей среды на протяжении периода времени измерения согласно результату сравнения между величиной значения целевой функции и предварительно заданным пороговым значением.

Способ может включать:

(i) применение измеренного изменения во времени характеристики электромагнитного поля и калибровочных данных для перерасчета изменения во времени состава текучей среды;

(ii) применение пересчитанного изменения во времени состава текучей среды для перерасчета среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения;

(iii) повторное определение значения целевой функции из расчетного среднего значения характеристики текучей среды и независимо измеренного среднего значения характеристики текучей среды;

(iv) сравнение величины значения целевой функции с предварительно заданным пороговым значением; и

(v) повторение стадий от (i) до (iv), пока величина значения целевой функции не станет меньше, чем предварительно определенное пороговое значение.

Текучая среда, протекающая через проточный канал текучей среды, может включать, по меньшей мере, некоторое количество жидкости во время части периода времени измерения и, по меньшей мере, некоторое количество газа во время иной части периода времени измерения.

Текучая среда, протекающая через проточный канал текучей среды, может включать более высокую долю жидкости, чем газа, во время части периода времени измерения и более высокое содержание газа, чем жидкости, во время иной части периода времени измерения.

Текучая среда, протекающая через проточный канал текучей среды, может состоять, по существу, из жидкости во время части периода времени измерения и может быть составлена, по существу, газом во время иной части периода времени измерения.

Состав текучей среды, протекающей через проточный канал текучей среды, может попеременно изменяться между первым и вторым составами на протяжении периода времени измерения.

В первом составе текучая среда может включать более высокую пропорцию жидкости, чем газа.

В первом составе текучая среда может состоять, по существу, из жидкости.

Во втором составе текучая среда может включать более высокое содержание газа, чем жидкости.

Во втором составе текучая среда может состоять в основном из газа.

Состав текучей среды, протекающей через проточный канал текучей среды, может периодически меняться на протяжении периода времени измерения. Например, состав текучей среды, протекающей через проточный канал текучей среды, может попеременно изменяться периодически между первым и вторым составами на протяжении периода времени измерения.

Текучая среда может протекать через проточный канал текучей среды в виде компактных порций текучей среды на протяжении периода времени измерения, причем последовательные порции текучей среды разделены промежуточным карманом текучей среды, каждая порция текучей среды включает

жидкость, и каждый карман текучей среды включает газ. Каждая порция текучей среды может состоять главным образом из жидкости, и каждый промежуточный карман текучей среды может состоять в основном из газа.

Текучая среда, протекающая через проточный канал текучей среды, может включать пузыри. Пузыри могут быть протяженными поперек проточного канала текучей среды.

Способ может включать ориентирование трубы для текучей среды так, что текучая среда протекает через трубу для текучей среды согласно желательному режиму течения на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать горизонтальное ориентирование трубы для текучей среды. Когда труба для текучей среды ориентирована горизонтально, текучая среда может протекать через проточный канал текучей среды компактными порциями текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать вертикальное ориентирование трубы для текучей среды.

Когда труба для текучей среды ориентирована вертикально, текучая среда, протекающая через проточный канал текучей среды, может включать пузыри Тейлора. Каждый пузырь Тейлора может заполнять трубу для текучей среды. Каждый пузырь Тейлора может перемещаться вверх в жидкости в трубопроводе для потока текучей среды. Это может иметь результатом текучую среду, включающую более высокую пропорцию газа, чем жидкости, во время прохождения пузыря Тейлора через трубу для текучей среды, и более высокую долю жидкости, чем газа, до и после прохождения пузыря Тейлора.

Когда труба для текучей среды ориентирована вертикально, текучая среда, протекающая через проточный канал текучей среды, может включать крупные полости, созданные эмульсионным режимом течения. Это может приводить к текучей среде, включающей более высокое содержание газа, чем жидкости, во время прохождения полости через трубу для текучей среды, и более высокую долю жидкости, чем газа, до и после прохождения полости.

Калибровочные данные могут включать значения характеристики электромагнитного поля как функции объемной доли газа и состава жидкости на протяжении периода времени калибровки.

Способ может включать измерение калибровочных данных.

Текучая среда может включать воду и другую жидкость в дополнение к воде. Другая жидкость может включать нефть. Состав жидкости может включать, или быть выраженным как обводненность.

Калибровочные данные могут включать характеристику электромагнитного поля как функцию объемной доли газа и обводненности.

Калибровочные данные могут быть имеющими одно значение. Т.е. для каждого значения обводненности и каждой объемной доли газа калибровочные данные могут включать единственное значение характеристики электромагнитного поля. На самом деле такие калибровочные данные определяют взаимосвязи между тремя переменными величинами, а именно, характеристикой электромагнитного поля, объемной долей газа и обводненностью. Такие калибровочные данные могут быть использованы для определения любой из этих трех переменных величин по знанию или по измерению двух других переменных величин.

Калибровочные данные могут включать многочисленные кривые, причем каждая кривая включает характеристику электромагнитного поля как функцию объемной доли газа для различного значения обводненности.

Калибровочные данные могут включать многочисленные кривые, причем каждая кривая включает характеристику электромагнитного поля как функцию обводненности для различного значения объемной доли газа.

Способ может включать идентификацию периодически повторяющегося признака в измеренном изменении во времени характеристики электромагнитного поля; и определение номинального значения характеристики электромагнитного поля, связанной с периодически повторяющимся признаком.

Периодически повторяющийся признак может включать по меньшей мере одно из повторяющейся глубины, повторяющегося сокращения и повторяющегося локального минимума.

Способ может включать выбор периода времени измерения согласно числу случаев и/или природе повторяющегося признака, наблюдаемого в измеренном изменении во времени характеристики электромагнитного поля. Способ может включать многократное измерение характеристики электромагнитного поля до тех пор, пока повторяющийся признак не будет наблюдаться предварительно определенное число раз.

Способ может включать оценку начального номинального значения объемной доли газа, связанного с повторяющимся признаком.

Способ может включать оценку начального номинального значения объемной доли газа как нулевого.

Способ может включать применение номинального значения характеристики электромагнитного поля и расчетного начального номинального значения объемной доли газа вместе с калибровочными данными для оценки номинального состава любой жидкости, протекающей через трубу для текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать применение номинального состава жидкости и калибровочных данных для

преобразования измеренного изменения характеристики электромагнитного поля во времени в расчетное изменение объемной доли газа во времени на протяжении периода времени измерения.

Номинальный состав жидкости и расчетное изменение объемной доли газа во времени на протяжении периода времени измерения могут совместно составлять расчетное изменение во времени состава текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать усреднение расчетного изменения объемной доли газа во времени на протяжении периода времени измерения для определения расчетного среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать применение расчетного изменения состава текучей среды во времени на протяжении периода времени измерения вместе с известным значением характеристики каждого компонента текучей среды для определения расчетного изменения во времени характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать усреднение расчетного изменения во времени характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения для определения расчетного среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

Способ может включать сравнение расчетного значения характеристики текучей среды с известным значением характеристики каждого из компонентов текучей среды. Например, способ может включать сравнение расчетного значения плотности текучей среды с известным значением плотности каждого из компонентов текучей среды.

Способ может включать:

- (i) повышение начальной оценки значения объемной доли газа;
- (ii) применение номинального значения характеристики электромагнитного поля и расчетного начального номинального значения объемной доли газа вместе с калибровочными данными для оценки номинального состава любой жидкости, протекающей через трубу для текучей среды на протяжении периода времени измерения;

- (iii) применение номинального состава жидкости и калибровочных данных для преобразования измеренного изменения во времени характеристики электромагнитного поля в расчетное изменение во времени объемной доли газа на протяжении периода времени измерения, причем номинальный состав жидкости и расчетное изменение во времени объемной доли газа на протяжении периода времени измерения составляют расчетное изменение во времени состава текучей среды на протяжении периода времени измерения;

- (vi) применение расчетного изменения во времени состава текучей среды на протяжении периода времени измерения вместе с известным значением характеристики каждого компонента текучей среды для определения расчетного изменения во времени характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения; и

- (v) сравнение расчетного значения характеристики текучей среды с известным значением характеристики каждого из жидкостных компонентов текучей среды; и

- (vi) повторение стадий (i)-(v), пока расчетное значение характеристики текучей среды не будет находиться в диапазоне, определенном по меньшей мере одним из известных значений характеристики для различных жидкостных компонентов текучей среды.

Например, стадия (vi) способа может включать повторение стадий (i)-(v) до тех пор, пока расчетное значение характеристики текучей среды не станет большим или равным известному значению характеристики одного из жидкостных компонентов текучей среды.

Здесь описывается устройство для применения в измерении состава многофазной текучей среды.

Устройство может включать трубу для текучей среды, имеющей стенку, определяющую проточный канал текучей среды для многофазной текучей среды.

Стенка может включать электрически непроводящий материал.

Устройство может включать электромагнитное измерительное устройство для создания электромагнитного поля, которое распространяется через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду, и для измерения характеристики электромагнитного поля на протяжении периода времени измерения.

Устройство может включать устройство для измерения текучей среды для передачи дополнительной энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения независимо от электромагнитного поля, и измерения дополнительной энергии, переданной через текучую среду на протяжении периода времени измерения.

Устройство может включать трубу для текучей среды, имеющую стенку, определяющую проточный канал текучей среды для многофазной текучей среды, причем стенка включает электрически непроводящий материал; электромагнитное измерительное устройство для создания электромагнитного поля, которое распространяется через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду, и для измерения характеристики электромагнитного поля на протяжении периода времени измерения; и устройство для измерения текучей среды для передачи дополнительной энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения независимо от электромагнитного поля, и из-

мерения дополнительной энергии, переданной через текучую среду на протяжении периода времени измерения.

Такое устройство может быть использовано для однозначного определения состава многофазной текучей среды, которая имеет различные компоненты. В частности, устройство может быть использовано для однозначного определения значения обводненности многофазной текучей среды, включающей три компонента, такие как нефть, вода и газ.

Создание электромагнитного поля, которое распространяется через стенку трубы для текучей среды в текучую среду, может формировать относительно однородное электромагнитное поле поперек проточного канала текучей среды. Это может способствовать снижению чувствительности измерения характеристики электромагнитного поля к распределению любого из различных компонентов текучей среды поперек проточного канала текучей среды. Например, это может содействовать снижению чувствительности измерения резонансной частоты электромагнитного поля к распределению любых различных компонентов текучей среды поперек проточного канала текучей среды.

Применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может обеспечивать возможность создания более сильного электромагнитного поля в текучей среде сравнительно с использованием электропроводящего материала в стенке трубы для текучей среды. Поэтому применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может повышать чувствительность измерения характеристики электромагнитного поля по сравнению с использованием электрически проводящего материала в стенке трубы для текучей среды.

Электрически непроводящий материал стенки может составлять по меньшей мере часть толщины стенки трубы для текучей среды.

Электромагнитное поле включает электромагнитное поле радиочастотного (RF) диапазона.

Характеристика электромагнитного поля может включать резонансную частоту электромагнитного поля.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать электромагнитную энергию отличной от электромагнитного поля частоты.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать  $\gamma$ -излучение.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать рентгеновское излучение.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может быть иного типа, нежели любая энергия взаимодействия между электромагнитным полем и текучей средой.

Дополнительная энергия, передаваемая через текучую среду, может включать акустическую энергию.

Труба для текучей среды может включать многочисленные секции, которые соединены вместе для формирования проточного канала текучей среды. Электромагнитное поле может распространяться через электрически непроводящий материал стенки одной секции в текучую среду, и дополнительная энергия может быть передана сквозь текучую среду, протекающую через участок проточного канала текучей среды, определяемый стенкой иной секции трубы для текучей среды.

Стенка трубы для текучей среды может быть сформирована из электрически непроводящего материала.

Электрически непроводящий материал может включать полимерный материал.

Электрически непроводящий материал может включать материал простого полиэфирэфиркетона (ПЭЭК).

Стенка может включать внутреннюю втулку.

Стенка может включать один или многие слои, сформированные один поверх другого вокруг внутренней втулки.

Стенка может включать наружную обойму, которая собрана поверх внутренней втулки.

Наружная обойма может быть сформирована встроенной или может быть отдельной.

Наружная обойма может определять отверстие, через которое является протяженной внутренняя втулка.

Наружная обойма может включать первый U-образный элемент и второй U-образный элемент. Первый и второй U-образные элементы могут быть присоединены, приклеены, сплавлены, приварены и/или соединены друг с другом так, чтобы формировать наружную обойму.

Наружная обойма может включать многочисленные элементы, причем каждый элемент имеет пару параллельных сторон и определяет отверстие, протяженное через элемент от одной из параллельных сторон до другой параллельной стороны, причем многочисленные элементы конфигурированы для сборки поверх внутренней втулки так, что внутренняя втулка проходит через отверстие каждого элемента, и параллельная сторона каждого элемента сопрягается с параллельной стороной смежного элемента. Каждый элемент наружной обоймы может быть в основном кольцеобразным. Элементы наружной обоймы могут быть соединены, склеены, сплавлены, приварены и/или соединены между собой, чтобы формировать наружную обойму.

Электромагнитное измерительное устройство может включать локализатор, чтобы, по меньшей ме-

ре, частично локализовать электромагнитное поле.

Локализатор может быть размещен снаружи трубы для текучей среды.

Локализатор может быть, по меньшей мере, частично заключен внутри стенки трубы для текучей среды.

Локализатор может быть, по меньшей мере, частично заглублен внутрь стенки трубы для текучей среды.

Локализатор может включать электрически проводящий материал.

Локализатор может включать композитный материал, содержащий матричный материал и один или многие армирующие элементы, утопленные внутрь матричного материала.

Матричный материал может быть электрически непроводящим.

Один или многие армирующие элементы могут быть электрически проводящими.

Локализатор может включать материал простого полиэфирэфиркетона (PEEK) и один или многие армирующие элементы из углеродного волокна, встроенные внутрь PEEK-материала.

Стенка трубы для текучей среды может включать такой же матричный материал, как композитный материал локализатора.

Стенка трубы для текучей среды может, по существу, не иметь любые армирующие элементы. Такая стенка может быть более прозрачной для электромагнитного поля и/или для дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду независимо от электромагнитного поля.

Матричный материал композитного материала локализатора может быть неразрывным с матричным материалом стенки трубы для текучей среды. Это может создавать механически прочную трубу для текучей среды. Такая труба для текучей среды может быть способна выдерживать относительно высокие внутренние и/или внешние давления. Такая труба для текучей среды также может, по существу, не иметь любые зазоры или пустоты между локализатором и стенкой трубы для текучей среды. Это может быть важным, чтобы избежать любую потерю целостности под давлением через стенку трубы для текучей среды.

Локализатор и стенка трубы для текучей среды могут быть выполнены в виде единой цельной детали.

Локализатор может быть сформирован на стенке трубы для текучей среды или вокруг нее.

Локализатор может включать металл.

Локализатор может быть предназначен для создания электромагнитного поля поперек проточного канала текучей среды.

Локализатор может образовывать резонаторная полость для электромагнитного поля, через которую проходит проточный канал текучей среды.

Резонаторная полость может включать электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды.

Локализатор может включать элемент полости, который сформирован отдельно от стенки трубы для текучей среды, через который распространяется электромагнитное поле.

Электромагнитное измерительное устройство может включать один или многие компоненты для передачи энергии в электромагнитное поле и/или из него.

Каждый из одного или многих компонентов для передачи энергии в электромагнитное поле и/или из него может включать антенну.

Каждый из одного или многих компонентов электромагнитного измерительного устройства может включать по меньшей мере один элемент из преобразователя, передатчика, источника, приемника и датчика.

Каждый из одного или многих компонентов электромагнитного измерительного устройства может быть размещен внутри локализатора.

Каждый из одного или многих компонентов для передачи энергии в электромагнитное поле и/или из него может быть, по меньшей мере, частично погружен и/или, по меньшей мере, частично встроен внутрь электрически непроводящего материала стенки трубы для текучей среды.

Электромагнитное измерительное устройство может включать генератор электрического сигнала для подведения электрической энергии к одному или многим компонентам электромагнитного измерительного устройства, и датчик электрического сигнала для приема электрической энергии от одного или многих компонентов электромагнитного измерительного устройства.

Устройство для измерения текучей среды может включать один или многие компоненты для передачи дополнительной энергии через текучую среду и/или приема дополнительной энергии после передачи через текучую среду.

Каждый из одного или многих компонентов устройства для измерения текучей среды может включать по меньшей мере один элемент из преобразователя, антенны, передатчика, источника, приемника и датчика.

Дополнительная энергия может включать  $\gamma$ -излучение и/или  $\gamma$ -лучи.

Дополнительная энергия может включать рентгеновское излучение и/или рентгеновские лучи.

Дополнительная энергия может включать акустическую энергию.

Труба для текучей среды может иметь поперечное сечение в плоскости, пересекающей проточный канал текучей среды, каковое поперечное сечение является симметричным относительно одной или бо-

лее осей симметрии.

Устройство для измерения текучей среды может включать источник пучка дополнительной энергии, размещенный на одной стороне трубы для текучей среды; и датчик пучка дополнительной энергии, размещенный на другой стороне трубы для текучей среды, причем источник и датчик размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка дополнительной энергии сквозь трубу для текучей среды от источника к датчику так, что только область в поперечной плоскости внутри стенки, которая подвергается воздействию пучка дополнительной энергии, главным образом определяется одной из одной или более осей симметрии и стенкой, и причем область, подвергшаяся воздействию, составляет между 40 и 60% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

Область, подвергшаяся воздействию, может составлять между 45 и 55%, между 49 и 51%, быть, по существу, равной 50% или составлять 50% общей площади.

Источник и датчик могут быть размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка дополнительной энергии от источника до датчика вдоль оси пучка, которая параллельна одной из одной или многих осей симметрии в поперечной плоскости, но смещена относительно нее.

Устройство для измерения текучей среды может включать источник пучка дополнительной энергии, размещенный на одной стороне трубы для текучей среды; и датчик пучка дополнительной энергии, размещенный на другой стороне трубы для текучей среды, причем источник и датчик размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка дополнительной энергии сквозь трубу для текучей среды от источника к датчику так, что воздействию пучка дополнительной энергии подвергается вся область, определяемая стенкой в поперечной плоскости.

Стенка может включать электрически непроводящий материал.

Стенка может быть сформирована из электрически непроводящего материала.

Источник и датчик могут быть размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка дополнительной энергии через электрически непроводящий материал.

Устройство для измерения текучей среды может быть конфигурировано для передачи дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в дополнение к текучей среде на протяжении периода времени измерения, и для измерения дополнительной энергии, переданной через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды и текучую среду на протяжении периода времени измерения.

Передача дополнительной энергии через стенку трубы для текучей среды может обеспечивать возможность размещения передатчика и/или приемника дополнительной энергии снаружи стенки трубы для текучей среды или, по меньшей мере, частично утопленным и/или, по меньшей мере, частично встроенным внутрь стенки трубы для текучей среды так, что передатчик и/или приемник дополнительной энергии не выступают или не являются протяженными в проточный канал текучей среды. Передачей дополнительной энергии через стенку трубы для текучей среды можно избегать любой необходимости формировать или предусматривать отверстие, которое проходит сквозь стенку трубы для текучей среды. Таким образом, стенка может иметь улучшенную прочность и/или целостность под давлением.

Передача дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды может служить для сокращения периода времени измерения, необходимого для измерения дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду, для данного источника дополнительной энергии и для данного отношения сигнал-шум (SNR), по сравнению с передачей дополнительной энергии через электрически проводящий материал. Напротив, передача дополнительной энергии через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды может повышать значение SNR, достигаемое для данного источника дополнительной энергии и данного периода времени измерения, или может позволять применение меньшего или менее мощного источника дополнительной энергии для данного SNR и данного периода времени измерения.

Один или многие компоненты устройства для измерения текучей среды могут быть размещены внутри локализатора.

Один или многие компоненты устройства для измерения текучей среды могут быть, по меньшей мере, частично утопленными и/или, по меньшей мере, частично встроенными внутри электрически непроводящего материала стенки трубы для текучей среды.

Один или многие компоненты устройства для измерения текучей среды могут быть размещены снаружи электрически непроводящего материала стенки трубы для текучей среды.

Здесь описывается способ для применения в измерении характеристики многофазной текучей среды, причем способ включает стадии, в которых создают трубу для текучей среды, имеющую стенку, определяющую проточный канал текучей среды, причем труба для текучей среды имеет поперечное сечение в плоскости, проходящей поперек проточного канала текучей среды, каковое поперечное сечение является симметричным относительно одной или более осей симметрии; пропускают поток многофазной текучей среды через трубу для текучей среды; пропускают пучок энергии через трубу для текучей среды из источника, размещенного на одной стороне трубы для текучей среды, до датчика, размещенного на другой стороне трубы для текучей среды, таким образом, что только область в поперечной плоскости внутри стенки, которая подвергается воздействию пучка дополнительной энергии, главным образом оп-

ределяется одной из одной или более осей симметрии и стенкой, и причем область, подвергшаяся воздействию, составляет между 40 и 60% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

Область, подвергшаяся воздействию, может составлять между 45 и 55%, между 49 и 51%, быть, по существу, равной 50% или составлять 50% общей площади.

Способ может включать пропускание пучка энергии от источника к датчику вдоль оси пучка, которая параллельна одной из одной или многих осей симметрии в поперечной плоскости, но смещена относительно нее.

Пучок энергии может включать электромагнитную энергию.

Пучок энергии может включать  $\gamma$ -излучение и/или  $\gamma$ -лучи.

Пучок энергии может включать рентгеновское излучение и/или рентгеновские лучи.

Пучок энергии может включать акустическую энергию.

Способ может включать измерение значения характеристики пучка энергии, принятого датчиком.

Характеристика пучка энергии может включать по меньшей мере одно из мощности, интенсивности и уровня сигнала пучка энергии.

Характеристика пучка энергии может включать фазу и/или частоту пучка энергии.

Способ может включать определение характеристики текучей среды, такой как плотность или состав текучей среды, по измеренному значению характеристики принятого пучка энергии.

Способ может включать измерение значения характеристики пучка энергии до передачи пучка энергии через трубу для текучей среды.

Способ может включать определение разности между значением характеристики принятого пучка энергии после передачи пучка энергии через трубу для текучей среды и значением характеристики пучка энергии до передачи пучка энергии через трубу для текучей среды.

Способ может включать определение характеристики текучей среды, такой как плотность или состав текучей среды, по определенной разности между значением характеристики пучка энергии, принятого датчиком после передачи пучка энергии через трубу для текучей среды, и значением характеристики пучка энергии до передачи пучка энергии через трубу для текучей среды.

Способ может включать ориентирование трубы для текучей среды так, что проточный канал текучей среды ориентирован вертикально. Это может иметь результатом такой режим течения текучей среды, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды является симметричным или приблизительно симметричным поперек проточного канала текучей среды в горизонтальной плоскости. Например, поперечное сечение проточного канала текучей среды может быть круговым или в основном круговым, и режим течения текучей среды может быть таким, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды может быть кругообразно симметричным или приблизительно кругообразно симметричным поперек проточного канала текучей среды в поперечной плоскости.

В отношении режима течения текучей среды, который является таким, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды является кругообразно симметричным или приблизительно кругообразно симметричным поперек проточного канала текучей среды в поперечной плоскости, значение характеристики пучка энергии, принятого датчиком с использованием способа, может быть таким же или приблизительно таким же, как значение характеристики пучка энергии, когда вся область, определяемая стенкой в поперечном плоскости, подвергается воздействию пучка энергии.

Что касается режима течения текучей среды, который является таким, что пространственное распределение различных компонентов текучей среды является кругообразно симметричным или приблизительно кругообразно симметричным поперек проточного канала текучей среды в поперечной плоскости, способ может обеспечивать измерение значения характеристики текучей среды, которое является репрезентативным для текучей среды, протекающей по всему проточному каналу текучей среды в поперечной плоскости.

Более того, способ может позволять размещение источника пучка энергии ближе к трубе для текучей среды, по сравнению с ситуацией, когда вся поверхность, определяемая стенкой в поперечной плоскости, экспонируется пучком энергии. Это может приводить к более компактной конструкции.

В дополнение, способ может обеспечивать возможность применения меньшего датчика для измерения значения характеристики пучка энергии после пропускания пучка энергии через трубу для текучей среды, сравнительно с ситуацией, когда вся поверхность, определяемая стенкой в поперечной плоскости, экспонируется пучком энергии.

Стенка может включать электрически непроводящий материал.

Стенка трубы для текучей среды может быть сформирована из электрически непроводящего материала.

Способ может включать передачу пучка энергии через электрически непроводящий материал.

Электрически непроводящий материал может включать полимерный материал.

Электрически непроводящий материал может включать материал простого полиэфирэфиркетона (PEEK).

Применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может служить для сокращения периода времени измерения энергии источника пучка данной мощности или уров-

ня сигнала и для данного отношения сигнал-шум (SNR) по сравнению с применением электрически проводящего материала для стенки трубы для текучей среды. Напротив, применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может повышать значение SNR, достигаемое для источника пучка энергии данной мощности или уровня сигнала, и данного периода времени измерения, или может позволять применение меньшего или менее мощного источника пучка энергии для данного SNR и данного периода времени измерения.

Более того, применение электрически непроводящего материала в стенке трубы для текучей среды может обеспечивать дополнительные преимущества, поскольку некоторые части пучка энергии могут передаваться через трубу для текучей среды больше через стенку трубы для текучей среды и меньше через проточный канал текучей среды. Если бы труба для текучей среды была сформирована из электрически проводящего материала, то для передачи таких частей пучка энергии с одной стороны трубы для текучей среды до другой стороны трубы для текучей среды через проточный канал текучей среды мог бы потребоваться источник энергии пучка с большей мощностью и/или датчик энергии пучка с более высокой чувствительностью. Кроме того, если бы труба для текучей среды была выполнена из электрически проводящего материала, то поглощение пучка энергии было бы особенно чувствительно к любому относительному перемещению между любыми двумя или многими из источника энергии пучка, датчика энергии пучка и электрически проводящей трубы для текучей среды, и это могло бы весьма влиять на калибровку. Кроме того, если бы труба для текучей среды была изготовлена из электрически проводящего материала, то мог бы потребоваться источник энергии пучка, рассчитанный на проникновение таких частей пучка энергии через трубу для текучей среды, приводя к тому, что другие части пучка энергии пропускаются меньше через стенку трубы для текучей среды и больше через проточный канал текучей среды со слишком высокой мощностью, и обуславливая насыщение соответствующих областей датчика энергии пучка такими другими частями пучка энергии. Для этого могут потребоваться различные области датчика энергии пучка, имеющие различные чувствительности, тем самым приводя к необходимости в более сложном датчике энергии пучка.

Передача пучка энергии через трубу для текучей среды может включать передачу пучка энергии через текучую среду в проточном канале текучей среды.

Передача пучка энергии через трубу для текучей среды может включать рассеяние пучка энергии текучей средой в проточном канале текучей среды.

Здесь описывается устройство для применения в измерении характеристики многофазной текучей среды, причем устройство включает

трубу для текучей среды, имеющую стенку, определяющую проточный канал текучей среды для многофазной текучей среды, причем труба для текучей среды имеет поперечное сечение в плоскости, проходящей поперек проточного канала текучей среды, каковое поперечное сечение является симметричным относительно одной или более осей симметрии;

источник пучка энергии, размещенный на одной стороне трубы для текучей среды; и

датчик пучка энергии, размещенный на другой стороне трубы для текучей среды,

причем источник и датчик размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка энергии сквозь трубу для текучей среды от источника к датчику так, что только область в поперечной плоскости внутри стенки, которая подвергается воздействию пучка энергии, главным образом определяется одной из одной или более осей симметрии и стенкой, и причем область, подвергшаяся воздействию, составляет между 40 и 60% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

Область, подвергшаяся воздействию, может составлять между 45 и 55%, между 49 и 51%, быть, по существу, равной 50% или составлять 50% общей площади.

Источник и датчик могут быть размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка энергии от источника до датчика вдоль оси пучка, которая параллельна одной из одной или многих осей симметрии в поперечной плоскости, но смещена относительно нее.

Поперечное сечение проточного канала текучей среды может быть круглым или в основном круглым.

Передачик и/или приемник пучка энергии может быть размещен снаружи стенки трубы для текучей среды, или может быть, по меньшей мере, частично встроенным в стенку трубы для текучей среды, и/или, по меньшей мере, частично заключенным внутри нее так, что передачик и/или приемник не выступает или не вдаётся в проточный канал текучей среды. Этим можно избежать любой необходимости в формировании или создании отверстия, которое проходило бы сквозь стенку трубы для текучей среды. Таким образом, стенка может иметь повышенную прочность и/или целостность под давлением.

Стенка может включать электрически непроводящий материал.

Стенка может быть сформирована из электрически непроводящего материала.

Источник и датчик могут быть размещены относительно трубы для текучей среды для передачи пучка энергии через электрически непроводящий материал.

Электрически непроводящий материал может включать полимерный материал.

Электрически непроводящий материал может включать материал простого полиэфирэфиркетона (PEEK).

### Краткое описание чертежей

Способы и устройства для измерения состава текучей среды описаны только в порядке неограничивающего примера со ссылкой на нижеследующие фигуры, в которых

фиг. 1А показывает схематический вид сбоку устройства для применения в измерении состава текучей среды;

фиг. 1В представляет вид в поперечном разрезе по линии АА устройства из фигуры 1А;

фиг. 2 показывает эмпирические калибровочные данные, измеренные для различных известных составов текучих сред, протекающих через трубу для текучей среды устройства согласно фиг. 1А и 1В;

фиг. 3 представляет технологическую блок-схему, иллюстрирующую способ оценки состава текучей среды с использованием устройства из фиг. 1А и 1В;

фиг. 4 показывает измеренное изменение во времени резонансной частоты электромагнитного поля во время течения текучей среды, имеющей переменный во времени состав, через трубу для текучей среды устройства согласно фиг. 1А и 1В для различных ориентации трубы для текучей среды;

фиг. 5 представляет технологическую блок-схему, иллюстрирующую усовершенствование стадии 104 способа оценки состава текучей среды из фиг. 4;

фиг. 6А показывает схематический вид сбоку альтернативного устройства для применения в измерении состава текучей среды;

фиг. 6В представляет вид в поперечном разрезе по линии АА устройства из фиг. 6А;

фиг. 7 - технологическую блок-схему, иллюстрирующую способ оценки состава текучей среды с использованием устройства из фиг. 6А и 6В;

фиг. 8А показывает вид в поперечном разрезе первой конструкции  $\gamma$ -денситометра для применения с устройством согласно фиг. 1А;

фиг. 8В - вид в поперечном разрезе второй конструкции  $\gamma$ -денситометра для применения с устройством согласно фиг. 1А; и

фиг. 8С - вид в поперечном разрезе третьей конструкции  $\gamma$ -денситометра для применения с устройством согласно фиг. 1А.

### Подробное описание чертежей

Со ссылкой сначала на фиг. 1А и 1В, показано устройство, в целом обозначенное кодовым номером 10 позиции, для применения в измерении состава текучей среды. Устройство 10 включает трубу 12 для текучей среды, имеющую стенку 14, которая определяет проточный канал 18 текучей среды. Стенка 14 сформирована из электрически непроводящего материала простого полиэфирэфиркетона (ПЕЕК). Кроме того, устройство 10 включает электромагнитное измерительное устройство, в целом обозначенное кодовым номером 20 позиции, и устройство для измерения текучей среды в форме  $\gamma$ -денситометра, в целом обозначенное кодовым номером 22 позиции.

Электромагнитное измерительное устройство 20 включает электрически проводящий локализатор 23, сформированный на наружной поверхности стенки 14 трубы для текучей среды 12. Локализатор 23 включает композитный материал, образованный из простого полиэфирэфиркетона (ПЕЕК) в качестве матричного материала и одного или многих армирующих элементов из углеродного волокна, встроенных внутрь матричного ПЕЕК-материала. Матричный ПЕЕК-материал локализатора 23 выполнен неразрывным с ПЕЕК-материалом стенки 14 трубы для текучей среды 12. Локализатор 23 включает аксиальный центральный участок 23а и аксиальные концевые участки 23b, расположенные на каждом конце аксиального центрального участка 23а. Углеродные волокна внутри аксиального центрального участка 23а локализатора 23 в основном навиты спиралеобразно вокруг трубы для текучей среды 12 под различными углами. Углеродные волокна внутри аксиальных концевых участков 23b локализатора 23 в основном уложены в окружном направлении.

Должно быть понятно, что локализатор 23 образует резонаторная полость 25 для локализации радиочастотного (RF) электромагнитного поля, распространяющегося от локализатора 23 через стенку 14 трубы для текучей среды 12 и поперек проточного канала 18 текучей среды. Конкретное размещение углеродных волокон на аксиальном центральном участке 23а и аксиальных концевых участках 23b локализатора 23 служит для локализации электромагнитной энергии внутри полости 25. ПЕЕК-материал стенки 12 является относительно прозрачным для радиочастотного (RF) электромагнитного поля. Толщина стенки 14 выбирается для создания электромагнитного поля с относительно однородным распределением поперек проточного канала 18 текучей среды. Это может содействовать снижению чувствительности измерения характеристики электромагнитного поля к неравномерному распределению любых различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды. Например, это может способствовать снижению чувствительности измерения резонансной частоты электромагнитного поля к неравномерному распределению любых различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды.

Кроме того, электромагнитное измерительное устройство 20 включает RF-генератор 26 электрического сигнала, электрически соединенный с антенной 28 через циркуляторное устройство 30, и RF-датчик 32 электрического сигнала, который также электрически соединен с антенной 28 через циркуля-

торное устройство 30. Антенна 28 проходит через локализатор 23 в стенку 14 трубы для текучей среды 12. Антенна 28 электрически изолирована от локализатора 23.

$\gamma$ -Денситометр 22 аксиально отделен от локализатора 23.  $\gamma$ -Денситометр 22 включает источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения. Источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения присоединены к наружной поверхности стенки 14 трубы для текучей среды 12. Источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения размещаются так, что датчик 42  $\gamma$ -излучения может детектировать любое  $\gamma$ -излучение, передаваемое от источника 40  $\gamma$ -излучения через любую текучую среду, протекающую через проточный канал 18 текучей среды.

Фиг. 8А показывает первый вариант размещения  $\gamma$ -денситометра 22. Хотя это подробно не показано в фиг. 8А, должно быть понятно, что источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения могут быть присоединены к наружной поверхности стенки 14 трубы для текучей среды 12. Источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения размещены таким образом, что при применении источник 40  $\gamma$ -излучения испускает пучок (луч) 44  $\gamma$ -излучения, который пропускается через первую сторону стенки 14 трубы для текучей среды 12 в проточный канал 18 текучей среды, через любую текучую среду, протекающую через проточный канал 18 текучей среды, и из проточного канала 18 текучей среды через вторую стенку 14 трубы для текучей среды 12 на датчик 42  $\gamma$ -излучения.

Как показано в фиг. 8А, пучок 44  $\gamma$ -лучей и датчик 42  $\gamma$ -излучения являются гораздо меньшими, чем труба для текучей среды 12, так что при применении  $\gamma$ -денситометр 22 измеряет только плотность текучей среды, проходящей через область в поперечной плоскости, которая подвергается воздействию пучка 44  $\gamma$ -лучей и которая проходит в основном поперек диаметра трубы для текучей среды 12. Таким образом, плотность, измеренная с использованием показанного в фиг. 8А  $\gamma$ -денситометра 22 первой конструкции, в основном является показателем только средней плотности текучей среды, протекающей через весь проточный канал 18 текучей среды, когда распределение различных компонентов текучей среды, протекающей через область, подвергающуюся воздействию, является в основном показателем распределения различных компонентов текучей среды, протекающей через весь проточный канал 18 текучей среды. Однако на практике было обнаружено, что плотность, измеренная с использованием показанного в фиг. 8А  $\gamma$ -денситометра 22 первой конструкции, представляет собой только приблизительный показатель средней плотности текучей среды, протекающей через весь проточный канал 18 текучей среды, если распределение различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды является кругообразно симметричным. Это представляет собой одну из причин того, что некоторые известные многофазные измерители (не показаны) могут включать одну или многие конструкции в потоке, такие как одна или многие лопасти или тому подобные в проточном канале текучей среды, для создания завихрения в текучей среде, чтобы создавать кругообразную симметрию. Однако введение таких конструкций в поток в проточном канале 18 текучей среды устройства 10 может влиять на течение текучей среды, и в реально хаотических потоках или потоках в снаряжном режиме все-таки не может создавать желательную степень кругообразной симметрии.

Фиг. 8В показывает вторую конструкцию  $\gamma$ -денситометра 22. Хотя это подробно не показано в фиг. 8В, должно быть понятно, что источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения могут быть присоединены к наружной поверхности стенки 14 трубы для текучей среды 12. Источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения размещены таким образом, что при применении источник 40  $\gamma$ -излучения испускает пучок 44  $\gamma$ -лучей, который пропускается через первую сторону стенки 14 трубы для текучей среды 12 в проточный канал 18 текучей среды, через любую текучую среду, протекающую через проточный канал 18 текучей среды, и из проточного канала 18 текучей среды через вторую стенку 14 трубы для текучей среды 12 на датчик 42  $\gamma$ -излучения.

В отличие от первой конструкции, показанной в фиг. 8А, во второй конструкции, показанной в фиг. 8В, весь проточный канал 18 текучей среды в целом экспонируется (подвергается воздействию) пучком 44  $\gamma$ -лучей так, что плотность текучей среды, измеряемая  $\gamma$ -денситометром с конструкцией согласно фиг. 8В, является показателем плотности текучей среды, протекающей по всему проточному каналу 18 текучей среды, независимо от распределения различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды. Таким образом, применением  $\gamma$ -денситометра 22 второй конструкции согласно фиг. 8В можно избежать любой необходимости во введении любых конструкций в поток в проточном канале 18 текучей среды.

Более того, самая верхняя и самая нижняя части пучка 44  $\gamma$ -лучей пропускаются больше через стенку 14 трубы для текучей среды 12 и меньше через проточный канал 18 текучей среды. Если бы труба для текучей среды 12 была сформирована из материала, который был бы менее прозрачным для  $\gamma$ -излучения, такого как сталь, пучок 44  $\gamma$ -лучей должен был бы иметь достаточную мощность для прохождения самой верхней и самой нижней частей пучка 44  $\gamma$ -лучей через стенку 14 трубы для текучей среды 12 в проточный канал 18 текучей среды, через текучую среду, и через стенку 14 трубы для текучей среды 12. Кроме того, если бы труба для текучей среды 12 была сформирована из материала, который был бы менее прозрачным для  $\gamma$ -излучения, такого как сталь, поглощение пучка 44  $\gamma$ -лучей было бы особенно чувстви-

тельным к любому относительному перемещению между двумя или более из источника 40  $\gamma$ -излучения, датчиком 42  $\gamma$ -излучения и трубой для текучей среды 12, и это могло бы оказывать сильное влияние на калибровку. Кроме того, если бы труба для текучей среды была изготовлена из материала, который был бы менее прозрачным для  $\gamma$ -излучения, такого как сталь, и источник 40  $\gamma$ -излучения был бы рассчитан на обеспечение проникновения самой верхней и самой нижней частей пучка 44  $\gamma$ -лучей через стенку 14 трубы для текучей среды 12, то могла бы быть гораздо интенсивной срединная часть пучка 44  $\gamma$ -лучей, передаваемая через середину трубы для текучей среды 12, где пучок 44  $\gamma$ -лучей передается меньше через стенку 14 трубы для текучей среды 12 и больше через проточный канал 18 текучей среды. Для этого может потребоваться, чтобы датчик 42  $\gamma$ -излучения имел менее чувствительную срединную область для приема срединной части пучка 44  $\gamma$ -лучей, и более чувствительные самую верхнюю и самую нижнюю области для приема самой верхней и самой нижней частей пучка 44  $\gamma$ -лучей, соответственно, чтобы предотвращать ситуацию, когда датчик 42  $\gamma$ -излучения становится насыщенным. Это привело бы к необходимости в более сложном датчике 42  $\gamma$ -излучения. Однако все эти проблемы, связанные с использованием трубы для текучей среды 12, выполненного из материала, который менее прозрачен для  $\gamma$ -излучения, такого как сталь, могут быть устранены формированием трубы для текучей среды из материала, который является более прозрачным для  $\gamma$ -излучения, такого как PEEK, так, что относительное поглощение самой верхней и самой нижней частей пучка 44  $\gamma$ -лучей не является принципиально отличным от относительного поглощения срединной части пучка 44  $\gamma$ -лучей.

Должно быть понятно, что для второй конструкции  $\gamma$ -денситометра 22, показанного в фиг. 8В, датчик 42  $\gamma$ -излучения в принципе должен быть более крупным, чем сама труба для текучей среды 12, и источник 40  $\gamma$ -излучения должен быть размещен на некотором расстоянии от трубы для текучей среды 12. Это приводит к тому, что вторая конструкция  $\gamma$ -денситометра 22 согласно фиг. 8В должна быть в общем особенности более громоздкой, чем конструкция  $\gamma$ -денситометра 22 согласно фиг. 8А. Это может сделать более затруднительным монтаж системы  $\gamma$ -денситометра 22 согласно фиг. 8В вокруг трубы для текучей среды 12.

Такие трудности монтажа могут быть, по меньшей мере частично, уменьшены с использованием третьей конструкции  $\gamma$ -денситометра 22, показанной в фиг. 8С. Хотя это подробно не показано в фиг. 8С, должно быть понятно, что источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения могут быть присоединены к наружной поверхности стенки 14 трубы для текучей среды 12. Источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения размещены таким образом, что при применении источник 40  $\gamma$ -излучения испускает пучок 44  $\gamma$ -лучей, который пропускается через первую сторону стенки 14 трубы для текучей среды 12 в проточный канал 18 текучей среды, через любую текучую среду, протекающую через проточный канал 18 текучей среды, из проточного канала 18 текучей среды через вторую стенку 14 трубы для текучей среды 12 и на датчик 42  $\gamma$ -излучения.

В отличие от второй конструкции, показанной в фиг. 8В, в третьей конструкции, показанной в фиг. 8С, пучок 44  $\gamma$ -лучей пропускается через труба для текучей среды так, что только область в поперечной плоскости внутри стенки 14, которая экспонируется пучком 44  $\gamma$ -лучей, в основном определяется диаметром трубы для текучей среды 12 и стенкой 14. Область, подвергающаяся воздействию, может составлять между 40 и 60%, между 45 и 55%, между 49 и 51%, по существу, быть равной 50% или составлять 50% общей площади, определяемой стенкой 14 в поперечной плоскости. Эксперименты продемонстрировали, что плотность текучей среды, измеряемая  $\gamma$ -денситометром с конструкцией согласно фиг. 8С, может быть показателем плотности текучей среды, протекающей через весь проточный канал 18 текучей среды, когда распределение различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды проявляет зеркальную симметрию поперек диаметра проточного канала 18 текучей среды, с точностью измерений плотности текучей среды, улучшенной, когда область, подвергающаяся воздействию, достигает 50% общей площади, определяемой стенкой 14 в поперечной плоскости. Это в особенности справедливо, когда труба для текучей среды 12 ориентирован вертикально. Таким образом, применением  $\gamma$ -денситометра 22 третьей конструкции согласно фиг. 8С можно не только избежать любой необходимости во введении любых конструкций в поток в проточном канале 18 текучей среды для создания кругообразной симметрии, но также можно сократить, по существу, наполовину размер необходимого датчика 42  $\gamma$ -излучения, и уменьшить по существу наполовину расстояние между источником 40  $\gamma$ -излучения и трубой для текучей среды 12.

Должно быть понятно, что, поскольку PEEK-материал стенки 14 трубы для текучей среды 12 относительно прозрачен для  $\gamma$ -излучения, количество  $\gamma$ -излучения, регистрируемое датчиком 42  $\gamma$ -излучения, является более высоким, чем количество  $\gamma$ -излучения, которое в ином случае регистрировалось бы датчиком 42  $\gamma$ -излучения, если бы стенка 14 была сформирована из материала, который менее прозрачен для  $\gamma$ -излучения, такого как сталь. В частности, для данного количества  $\gamma$ -излучения, испускаемого источником 40  $\gamma$ -излучения, количество  $\gamma$ -излучения, регистрируемое датчиком 42  $\gamma$ -излучения, является значительно более высоким, чем количество  $\gamma$ -излучения, которое в ином случае регистрировалось бы датчи-

ком 42  $\gamma$ -излучения, если бы стенка 14 была сформирована из материала, который менее прозрачен для  $\gamma$ -излучения, такого как сталь. Как описывается более подробно ниже, это может иметь важные последствия, когда датчик 42  $\gamma$ -излучения должен регистрировать измерения на протяжении периода измерения, например, подсчетом и усреднением  $\gamma$ -сцинтилляций. Более конкретно, применение такого электрически непроводящего материала, как PEEK, для стенки 14 может сокращать период измерения, необходимый для данного источника 40  $\gamma$ -излучения и данного сигнала  $\gamma$ -излучения до коэффициента шума (SNR), сравнительно с применением электрически проводящего материала для стенки 14. Таким образом, применение такого электрически непроводящего материала, как PEEK, для стенки 14, может повышать SNR  $\gamma$ -излучения, достигаемый для данного источника 40  $\gamma$ -излучения и данного периода измерения, или может обеспечивать возможность использования меньшего или менее мощного источника 40  $\gamma$ -излучения, применяемого для данного SNR  $\gamma$ -излучения и данного периода измерения.

Со ссылкой опять на фиг. 1A и 1B, устройство 10, кроме того, включает контроллер 36, который общается с генератором 26 электрического сигнала, датчиком 32 электрического сигнала, источником 40  $\gamma$ -излучения и датчиком 42  $\gamma$ -излучения.

При применении многофазная текучая среда, протекающая через проточный канал 18 текучей среды, может включать одну или многие жидкости и один или многие газы. В частности, текучая среда может включать нефть, воду и газ. Должно быть понятно, что относительные пропорции различных компонентов многофазной текучей среды варьируют с течением времени. В частности, должно быть понятно, что текучая среда, протекающая через проточный канал 18 текучей среды, включает по меньшей мере некоторое количество жидкости во время части периода времени измерения и, по меньшей мере, некоторое количество газа во время иной части периода времени измерения. Такой режим течения типичен или характерен для потока многофазной текучей среды. Когда труба для текучей среды 12 ориентирована горизонтально, текучая среда может протекать через проточный канал 18 текучей среды преимущественно в виде компактных порций текучей среды на протяжении периода времени измерения, причем последовательные порции текучей среды разделены промежуточным карманом текучей среды, каждая порция текучей среды включает жидкость, и каждый карман текучей среды включает газ. Например, каждая порция текучей среды может состоять главным образом из жидкости, и каждый промежуточный карман текучей среды может состоять в основном из газа. Распределение различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды может быть неравномерным или неоднородным. Способ для применения в измерении состава текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, более подробно описываемый ниже, не предполагает допущений в отношении конкретного распределения различных компонентов текучей среды поперек проточного канала 18 текучей среды. Более конкретно, способ, более подробно описываемый ниже, не требует равномерного распределения различных компонентов текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, или преднамеренного перемешивания перед протеканием через проточный канал 18 текучей среды.

Когда текучая среда протекает через проточный канал 18 текучей среды, контроллер 36 определяет характеристику электромагнитного поля по электрическому сигналу, генерированному генератором 26 электрического сигнала, и электрическому сигналу, зарегистрированному датчиком 32 электрического сигнала. В частности, контроллер 36 определяет резонансную частоту электромагнитного поля по электрическому сигналу, генерированному генератором 26 электрического сигнала, и электрическому сигналу, зарегистрированному датчиком 32 электрического сигнала, с использованием стандартных методов электрических измерений. Такие методы электрических измерений могут предусматривать, например, развертку частоты электрического сигнала, генерированного генератором 26 электрического сигнала, и измерение электрического сигнала, детектированного датчиком 32 электрического сигнала, как функцию частоты генерированного электрического сигнала. Контроллер 36 многократно измеряет резонансную частоту электромагнитного поля этим путем на протяжении периода времени измерения, чтобы выявить изменение во времени резонансной частоты электромагнитного поля. Контроллер 36 также определяет поглощение  $\gamma$ -излучения в текучей среде, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, от  $\gamma$ -денситометра 22 на протяжении периода времени измерения.

Прежде чем устройство 10 будет использовано для измерения состава неизвестной текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, устройство 10 калибруют измерением резонансной частоты электромагнитного поля для различных текучих сред с известными составами, протекающих через проточный канал 18 текучей среды. Например, перед тем как устройство 10 используют для измерения состава смеси нефти, воды и газа, протекающей через проточный канал 18 текучей среды в неизвестных пропорциях, устройство 10 калибруют измерением резонансной частоты электромагнитного поля для различных известных пропорций нефти, воды и газа, протекающих через проточный канал 18 текучей среды. Во время калибровки в проточный канал 18 текучей среды подают смесь нефти, воды и газа, имеющую известную обводненность, но неизвестное значение GVF. Контроллер 36 контролирует генератор 26 электрического сигнала и датчик 32 электрического сигнала, чтобы измерять резонансную частоту электромагнитного поля многократно на протяжении периода времени измерения, и контроллер 36 усредняет измеренные резонансные частоты для определения средней резонансной частоты электро-

магнитного поля на протяжении периода времени измерения.

Кроме того, контроллер 36 контролирует  $\gamma$ -денситометр 22, чтобы измерять поглощение  $\gamma$ -излучения на протяжении периода времени измерения. Контроллер 36 определяет среднюю плотность текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, на протяжении периода времени измерения, по измеренному среднему поглощению  $\gamma$ -излучения и калибровочным данным для  $\gamma$ -денситометра 22, которые сохраняются в контроллере 36. Затем контроллер 36 использует среднюю плотность текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, соответствующие известные плотности нефти, воды и газа в проточном канале 18 текучей среды, и известное значение обводненности для определения значения GVF соответственно средней резонансной частоте электромагнитного поля. Без вариации значения обводненности текучей среды, вводимой в проточный канал 18 текучей среды, варьируют величину расхода потока газа, вводимого в проточный канал 18 текучей среды, и контроллер 36 определяет среднюю резонансную частоту электромагнитного поля и значение GVF для различных величин расхода потока газа. Как только средние резонансные частоты и значения GVF были определены для надлежащего диапазона значений GVF, варьируют обводненность, и контроллер 36 определяет средние резонансные частоты электромагнитного поля и значения GVF для различных величин расхода потока газа в пределах того же диапазона значений GVF. Полученные калибровочные данные сохраняются в контроллере 36. Должно быть понятно, что калибровочные данные, полученные с использованием описанной выше процедуры, являются, по существу, постоянными для периода времени измерения достаточной продолжительности, т.е. калибровочные данные, по существу, не зависят от периода времени измерения для периодов времени измерения достаточной продолжительности.

Фиг. 2 показывает калибровочные данные, полученные с использованием описанной выше процедуры калибровки для смеси нефти, воды и газа, протекающей через проточный канал 18 текучей среды. Должно быть понятно, что калибровочные данные в фиг. 2, по существу, не зависят от конкретного режима течения текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды во время периода времени измерения. Без намерения вдаваться в теорию, это представляется следствием в основном равномерного распределения электромагнитного поля поперек проточного канала 18 текучей среды.

Специалисту с обычной квалификацией в этой области технологии будет понятно, что калибровочные данные в фиг. 2 являются однозначными. Т.е. для каждого значения обводненности и каждого значения объемной доли газа калибровочные данные включают единственное значение резонансной частоты электромагнитного поля. На самом деле такие калибровочные данные определяют взаимосвязь между тремя переменными величинами, а именно, резонансной частотой электромагнитного поля, объемной долей газа и обводненностью, и могут быть использованы для определения любого из этих трех переменных величин при знании или измерении других двух переменных величин.

Как только калибровка завершается, устройство 10 используют для измерения переменного во времени состава текучей среды, включающей нефть, воду и газ, с использованием способа, описанного со ссылкой на фиг. 3. В стадии 100 контроллер 36 контролирует генератор 26 электрического сигнала и датчик 32 электрического сигнала, чтобы измерять резонансную частоту электромагнитного поля многократно на протяжении периода времени измерения, когда текучая среда протекает через проточный канал 18 текучей среды, пока два или более повторяющихся локальных признаков, таких как два или более повторяющихся локальных минимумов, не будут наблюдаться в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля. На стадии 100 контроллер 36 также контролирует  $\gamma$ -денситометр 22 для измерения поглощения  $\gamma$ -излучения на протяжении того же периода времени измерения.

В стадии 101 контроллер 36 определяет среднюю плотность  $\rho_{avg}$  текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, по поглощению  $\gamma$ -излучения, измеренному на протяжении периода времени измерения, и калибровочным данным для  $\gamma$ -денситометра 22, сохраняемым в контроллере 36.

Изменение во времени резонансной частоты электромагнитного поля, измеренное в стадии 100, нанесено на график в фиг. 4 синим цветом. Очевидные повторяющиеся локальные минимумы в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля, нанесенные на график в фиг. 4 синим цветом, представляются соответствующими течению через проточный канал 18 текучей среды текучей среды компактными порциями, состоящими по существу из жидкости, причем различные компактные порции включают жидкость, имеющую в основном подобное или постоянное значение обводненности. Такой режим течения может быть типичным для текучих сред, добываемых из нефтяной или газовой скважины.

В стадии 102 контроллер 36 идентифицирует повторяющиеся локальные минимумы в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля, и определяет номинальное значение резонансной частоты электромагнитного поля, связанное с повторяющимися локальными минимумами. Для изменения во времени частоты электромагнитного поля, показанного в фиг. 4, контроллер 36 определяет номинальное значение резонансной частоты электромагнитного поля, связанное с повторяющимися локальными минимумами, на уровне приблизительно 895 МГц. Поскольку повторяющиеся локальные минимумы в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля, нанесенные на график в фиг. 4 синим цветом, представляются соответствующими течению через про-

точный канал 18 текучей среды компактных порций текучей среды, состоящих, по существу, из жидкости, в котором различные компактные порции включают жидкость, имеющую в основном подобное или постоянное значение обводненности, контроллер 36 первоначально оценивает номинальное значение GVF как нулевое для компактных порций текучей среды в стадии 104 в фиг. 3.

В стадии 106 контроллер 36 использует номинальное значение 895 МГц резонансной частоты электромагнитного поля и расчетное номинальное значение GVF вместе с калибровочными данными из фиг. 2 для оценки номинального состава компактных порций текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды. Более конкретно, контроллер 36 использует калибровочные данные фиг. 2 для оценки значения обводненности, соответствующего номинальному значению 895 МГц резонансной частоты электромагнитного поля и расчетному номинальному значению GVF.

В стадии 108 контроллер 36 использует расчетное значение обводненности и калибровочные данные из фиг. 2 для преобразования измеренного изменения во времени резонансной частоты электромагнитного поля, нанесенной на график в фиг. 4 синим цветом, в расчетное изменение во времени GVF,  $GVF(t)$ , на протяжении периода времени измерения. Должно быть понятно, что расчетное значение обводненности и расчетное изменение во времени GVF,  $GVF(t)$ , вместе составляют расчетное изменение во времени состава текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды на протяжении периода времени измерения.

В стадии 110 контроллер 36 использует расчетное значение обводненности и  $GVF(t)$  на протяжении периода времени измерения вместе с соответствующими известными плотностями нефти, воды и газа для определения расчетного изменения во времени плотности  $\rho(t)$  текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды на протяжении периода времени измерения.

В стадии 112 контроллер 36 определяет расчетное среднее значение плотности  $\rho_{avg}'$  текучей среды на протяжении периода времени измерения усреднением расчетного изменения во времени плотности  $\rho(t)$  текучей среды на протяжении периода времени измерения.

В стадии 116 контроллер 36 определяет целевую функцию в форме разности  $\Delta\rho$  между расчетным средним значением плотности  $\rho_{avg}'$  текучей среды и независимо измеренным средним значением плотности  $\rho_{avg}$  текучей среды, которое было определено контроллером 36 по измерениям поглощения  $\gamma$ -излучения в стадии 101.

В стадии 118 контроллер 36 сравнивает величину  $\Delta\rho$  с предварительно установленным значением разности  $\Delta\rho_{th}$ .

Если контроллер 36 определяет, что величина  $\Delta\rho$  является меньшей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta\rho_{th}$  в стадии 118, способ завершается в стадии 120 контроллером 36, выдающим расчетный состав текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, пользователю или оператору устройства 10. Более конкретно, контроллер 36 выдает пользователю или оператору устройства 10 расчетное значение обводненности и расчетное изменение GVF во времени,  $GVF(t)$ , на протяжении периода времени измерения.

Если же контроллер 36 определяет, что величина  $\Delta\rho$  является большей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta\rho_{th}$ , или равное ему, это может показывать, что компактные порции текучей среды, которые соответствуют повторяющимся локальным минимумам в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля, нанесенной на график в фиг. 4 синим цветом, не состоят только из жидкости, но могут включать относительно малую долю газа. Соответственно этому если величина  $\Delta\rho$  является большей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta\rho_{th}$ , или равной ему, контроллер 36 пересчитывает номинальное значение для GVF в стадии 119. Более конкретно, в стадии 119 контроллер 36 сравнивает величину и/или знак  $\Delta\rho$ , определенные во время одной итерации в стадии 116, с величиной и/или знаком  $\Delta\rho$ , определенными во время последней итерации в стадии 116, и пересчитывает номинальное значение GVF в стадии 119 согласно результату сравнения. Затем контроллер 36 повторяет стадии от 106 до 118, пока величина  $\Delta\rho$  не станет меньшей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta\rho_{th}$  в стадии 118.

Фиг. 5 иллюстрирует усовершенствование стадии 104. В стадии 104a контроллер 36 оценивает номинальное значение GVF как нулевое. Стадии 104b, 104c и 104d идентичны стадиям 106, 108 и 110 соответственно. В стадии 104e контроллер 36 определяет плотность  $\rho(t)$ , определенную во время или времена  $t=t_{slug}$ , соответствующие одному или более из повторяющихся локальных минимумов в фиг. 4, и сравнивает плотность  $\rho(t_{slug})$  с минимальной плотностью  $\rho_{oil}$  для нефти. Если контроллер 36 определяет, что  $\rho(t_{slug}) < \rho_{oil}$ , это показывает, что текучая среда, протекающая через проточный канал 18 текучей среды при  $t=t_{slug}$ , содержит некоторое количество газа, и что начальная оценка как нулевая для номинального значения GVF при  $t=t_{slug}$  была слишком низкой. Соответственно этому, контроллер 36 повышает начальную оценку номинального значения GVF в стадии 104g и повторяет стадии 104b, 104c, 104d и 104e, пока контроллер 36 не определит, что  $\rho(t_{slug}) \geq \rho_{oil}$  в стадии 104e, вследствие чего начальная оценка номинального значения GVF представляется в стадии 104f.

В фиг. 6A и 6B показано альтернативное устройство 110 для применения в измерении состава теку-

чей среды. Разница между устройством 110 и устройством 10 состоит только в том, что устройство 110 включает блок 122 измерения акустической энергии вместо  $\gamma$ -денситометра 22 устройства 10. Как показано в фиг. 6В, блок 122 измерения акустической энергии включает акустический источник 140 вместо источника 40  $\gamma$ -излучения, и акустический датчик 142 вместо датчика 42  $\gamma$ -излучения. Акустический источник 140 может быть предназначен для передачи акустической энергии через проточный канал 18 текучей среды, и контроллер 36 может быть предназначен для определения средней характеристики текучей среды в проточном канале 18 текучей среды по акустической энергии, принятой акустическим датчиком 142. Например, контроллер 36 может быть предназначен для определения средней объемной доли газа по акустической энергии, переданной акустическим источником 140 и/или акустической энергии, принятой акустическим датчиком 142.

Во время калибровки устройства 110 смесь нефти, воды и газа, имеющую известное значение обводненности, но неизвестное значение GVF, вводят в проточный канал 18 текучей среды. Контроллер 36 контролирует генератор 26 электрического сигнала и датчик 32 электрического сигнала для измерения резонансной частоты электромагнитного поля многократно на протяжении периода времени измерения, и контроллер 36 усредняет измеренные резонансные частоты для определения средней резонансной частоты электромагнитного поля на протяжении периода времени измерения.

Контроллер 36 также контролирует акустический источник 140 и акустический датчик 142, чтобы измерять передачу акустической энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения. Контроллер 36 определяет среднее значение GVF для текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, на протяжении периода времени измерения по измеренной средней передаче акустической энергии через текучую среду и по калибровочным данным для блока 122 измерения акустической энергии, которые сохраняются в контроллере 36. Без вариации значения обводненности текучей среды, вводимой в проточный канал 18 текучей среды, варьируют величину расхода потока газа, вводимого в проточный канал 18 текучей среды, и контроллер 36 определяет среднюю резонансную частоту электромагнитного поля и значение GVF для различных величин расхода потока газа. Как только средняя резонансная частота и среднее значение GVF были определены для подходящего диапазона значений GVF, варьируют обводненность, и контроллер 36 определяет среднюю резонансную частоту электромагнитного поля и значение GVF для различных величин расхода потока газа в пределах того же диапазона значений GVF. Полученные калибровочные данные сохраняются в контроллере 36. Должно быть понятно, что калибровочные данные, полученные с использованием устройства 110 согласно описанной выше процедуре калибровки, сходны тем, которые показаны в фиг. 2, будучи измеренным с использованием устройства 10.

Как только калибровка завершается, устройство 110 может быть использовано для измерения состава смеси нефти, воды и газа с неизвестными пропорциями, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, с использованием способа, описываемого со ссылкой на фиг. 7. В стадии 200 контроллер 36 контролирует генератор 26 электрического сигнала и датчик 32 электрического сигнала для измерения резонансной частоты электромагнитного поля многократно на протяжении периода времени измерения, когда текучая среда протекает через проточный канал 18 текучей среды, пока два или более повторяющихся локальных признака, такие как два или более повторяющихся локальных минимума, не будут наблюдаться в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля. В стадии 200 контроллер 36 также контролирует блок 122 измерения акустической энергии, чтобы измерять передачу акустической энергии на протяжении периода времени измерения.

В стадии 201 контроллер 36 определяет среднее значение GVF,  $GVF_{avr}$ , для текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды, по передаче акустической энергии, измеренной на протяжении периода времени измерения, и по калибровочным данным для блока 122 измерения акустической энергии, сохраняемым в контроллере 36. Изменение во времени резонансной частоты электромагнитного поля, измеренное в стадии 200, является таким же, как нанесенное на график в фиг. 4 синим цветом. Как таковые, стадии 202, 204, 206 и 208 в сущности идентичны стадиям 102, 104, 106 и 108, описанным со ссылкой на фиг. 3.

В стадии 208 контроллер 36 использует расчетное значение обводненности и калибровочные данные из фиг. 2 для преобразования измеренного изменения во времени резонансной частоты электромагнитного поля, нанесенного на график в фиг. 4 синим цветом, в расчетное изменение во времени GVF,  $GVF(t)$ , на протяжении периода времени измерения. Должно быть понятно, что расчетное значение обводненности и расчетное изменение во времени GVF,  $GVF(t)$ , совместно составляют расчетное изменение во времени состава текучей среды, протекающей через проточный канал 18 текучей среды на протяжении периода времени измерения.

В стадии 212 контроллер 36 определяет расчетное среднее значение GVF,  $GVF_{avg}'$ , на протяжении периода времени измерения усреднением  $GVF(t)$  на протяжении периода времени измерения.

В стадии 216 контроллер 36 определяет целевую функцию в форме разности  $\Delta GVF$  между расчетным значением GVF,  $GVF_{avg}'$ , и независимо измеренным средним значением GVF,  $GVF_{avg}$ , определенным контроллером 36 по измерению акустической передачи в стадии 201.

В стадии 218 контроллер 36 затем сравнивает величину  $\Delta GVF$  с предварительно установленным значением разности  $\Delta GVF_{th}$ .

Если контроллер 36 определяет, что величина  $\Delta GVF$  является меньшей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta GVF_{th}$  в стадии 218, способ завершается в стадии 220 с выдачей контроллером 36 расчетного состава текучей среды пользователю или оператору устройства 110.

Если же контроллер 36 определяет, что величина  $\Delta GVF$  является большей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta GVF_{th}$ , или равной ему, это может показывать, что компактные порции текучей среды, которые соответствуют повторяющимся локальным минимумам в измеренном изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля, нанесенной на график в фиг. 4 синим цветом, не состоят только из жидкости, но могут включать относительно малую долю газа. Соответственно этому, если величина  $\Delta GVF$  является большей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta GVF_{th}$ , или равной ему, контроллер 36 пересчитывает номинальное значение для  $GVF$  в стадии 219. Более конкретно, в стадии 219 контроллер 36 сравнивает величину и/или знак  $\Delta GVF$ , определенные во время одной итерации в стадии 216, с величиной и/или знаком  $\Delta GVF$ , определенными во время последней итерации в стадии 216, и пересчитывает номинальное значение  $GVF$  в стадии 219 согласно результату сравнения. Затем контроллер 36 повторяет стадии от 206 до 218, пока величина  $\Delta GVF$  не станет меньшей, чем предварительно установленное значение разности  $\Delta GVF_{th}$  в стадии 218.

Специалисту с обычной квалификацией в этой области технологии будет понятно, что могут быть сделаны разнообразные модификации описанных выше устройств и способов. Например, устройство 10 или устройство 110 может включать как  $\gamma$ -денситометр, так и блок передачи акустической энергии. Кроме того, хотя способ, описанный со ссылкой на фиг. 3, основывался на измерении средней плотности с использованием  $\gamma$ -денситометра 22 и сравнения измеренной средней плотности с расчетной средней плотностью, определенной по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля, способ вместо этого может включать измерение среднего значения  $GVF$  с использованием  $\gamma$ -денситометра 22 и сравнение измеренного среднего значения  $GVF$  с расчетным средним значением  $GVF$ , определенным по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля. Более конкретно, скорее, нежели определение среднего значения плотности,  $\rho_{avg}$ , по измеренному поглощению  $\gamma$ -излучения в стадии 101 согласно фиг. 3 и сравнения  $\rho_{avg}$  в стадии 116 с расчетным значением средней плотности,  $\rho_{avg}'$ , определенным по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля, как описано со ссылкой на стадии 102-112 в фиг. 3, контроллер 36 может определять среднее значение  $GVF$ ,  $GVF_{avg}$ , по измеренному поглощению  $\gamma$ -излучения в стадии 101 и сравнению  $GVF_{avg}$  в стадии 116 с расчетным средним значением  $GVF$ ,  $GVF_{avg}'$ , определенным по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля, как описано со ссылкой на стадии 202-212 в фиг. 7.

Наоборот, хотя способ, описанный со ссылкой на фиг. 7, был основан на измерении среднего значения  $GVF$  с использованием блока 122 измерения акустической энергии и сравнения измеренного среднего значения  $GVF$  с расчетным средним значением  $GVF$ , определенным по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля, способ вместо этого может включать измерение средней плотности с использованием блока 122 измерения акустической энергии и сравнения измеренной средней плотности с расчетной средней плотностью, определенной по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля. Более конкретно, скорее, нежели определение среднего значения  $GVF$ ,  $GVF_{avg}$ , по измеренной акустической передаче в стадии 201 фиг. 7, и сравнение  $GVF_{avg}$  в стадии 216 с расчетным средним значением  $GVF$ ,  $GVF_{avg}'$ , определенным по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля, как описано со ссылкой на стадии 202-212 в фиг. 7, контроллер 36 может определять среднее значение плотности,  $\rho_{avg}$ , по измеренной акустической передаче в стадии 201, и сравнивать  $\rho_{avg}$  в стадии 216 с расчетным средним значением плотности,  $\rho_{avg}'$ , определенным по измерениям резонансной частоты электромагнитного поля, как описано со ссылкой на стадии 102-112 в фиг. 3.

Труба для текучей среды 12 может быть ориентирована вертикально во время калибровки и измерения. Как обсуждалось выше, это может иметь результатом более симметричное распределение различных компонентов текучей среды в проточном канале 18 текучей среды. Полученное измерением изменение во времени резонансной частоты электромагнитного поля нанесено на график в фиг. 4 красным цветом. Хотя полученное изменение во времени резонансной частоты электромагнитного поля имеет повторяющиеся локальные минимумы, они являются менее выраженными, чем повторяющиеся локальные минимумы в изменении во времени резонансной частоты электромагнитного поля, когда труба для текучей среды 12 ориентирована горизонтально, как показано синим цветом в фиг. 4. Иначе говоря, когда труба для текучей среды 12 ориентирована вертикально, хотя текучая среда может протекать через проточный канал текучей среды компактными порциями текучей среды на протяжении периода времени измерения с последовательными порциями текучей среды, разделенным промежуточным карманом текучей среды, каждая порция текучей среды может включать смесь жидкости и газа, и каждый промежуточный карман текучей среды может включать смесь жидкости и газа, причем доля жидкости является большей в каждой порции текучей среды сравнительно с долей жидкости в каждом промежуточном кар-

мане текучей среды. Это может быть следствием пузырей, таких как пузыри Тейлора, или полостей, перемещающихся вверх через жидкость в проточном канале 18 текучей среды.

Локализатор может включать электрически проводящий слой или электрически проводящий элемент любого типа. Например, локализатор может быть сформирован из металла. Локализатор может быть, по меньшей мере частично, погружен внутрь стенки 14 трубы для текучей среды 12. Локализатор может быть выполнен в виде единой цельной детали со стенкой 14 трубы для текучей среды 12. Локализатор может быть сформирован на стенке 14 трубы для текучей среды 12 или вокруг нее.

Источник 40  $\gamma$ -излучения и датчик 42  $\gamma$ -излучения могут быть, по меньшей мере частично, встроены внутрь стенки 14 трубы для текучей среды 12.

Стенка 14 трубы для текучей среды 12 может включать различные аксиальные секции, причем различные аксиальные секции имеют различные диаметры.

Локализатор 23 может включать различные аксиальные секции, причем различные аксиальные секции имеют различные диаметры.

Локализатор 23 может иметь иные ориентации углеродных волокон, нежели описанные выше.

Контроллер может быть предназначен для определения других характеристик текучей среды, таких как размер пузырей, количество пузырей, скорость течения текучей среды или тому подобные, по дополнительной энергии, передаваемой через текучую среду. Например, контроллер может быть предназначен для определения таких других характеристик текучей среды по измерениям поглощения  $\gamma$ -излучения в текучей среде и/или по измерениям передачи акустической энергии через текучую среду.

Устройство может включать по меньшей мере один элемент из датчика давления и температурного датчика. Контроллер может быть конфигурирован для корректирования по меньшей мере одного параметра из измеренной резонансной RF-частоты, измеренного поглощения  $\gamma$ -излучения и измеренной акустической передачи, согласно давлению, измеренному датчиком давления, и/или температуре, измеренной температурным датчиком.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для измерения состава многофазной текучей среды, причем устройство содержит трубу для текучей среды, имеющую стенку, образующую проточный канал текучей среды для многофазной текучей среды, причем стенка содержит электрически непроводящий материал;

электромагнитное измерительное устройство для создания электромагнитного поля радиочастотного (RF) диапазона, которое распространяется через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду, и для измерения характеристики созданного электромагнитного поля RF на протяжении периода времени измерения; и

устройство для измерения свойств текучей среды посредством передачи лучистой энергии через текучую среду на протяжении периода времени измерения независимо от электромагнитного поля и измерения лучистой энергии, прошедшей через текучую среду на протяжении периода времени измерения, причем электромагнитное измерительное устройство содержит локализатор, служащий в качестве резонаторной полости для электромагнитных волн RF, распространяющихся поперек проточного канала текучей среды, причем труба для текучей среды имеет поперечное сечение в плоскости, пересекающей проточный канал текучей среды, причем это поперечное сечение является симметричным относительно одной или более осей симметрии, и причем устройство для измерения текучей среды содержит

источник лучистой энергии, размещенный на одной стороне трубы для текучей среды, причем лучистая энергия представляет собой по меньшей мере одно из  $\gamma$ -излучения и рентгеновского излучения; и

датчик лучистой энергии, размещенный на другой стороне трубы для текучей среды, причем указанные источник и датчик размещены относительно трубы для текучей среды так, что только область в поперечной плоскости внутри стенки, которая подвергается воздействию лучистой энергии, главным образом определяется одной из одной или более осей симметрии и стенкой, и причем область, подвергшаяся воздействию, составляет между 40 и 60% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

2. Устройство по п.1, в котором труба для текучей среды включает множество секций, которые соединены вместе для формирования проточного канала текучей среды, электромагнитное поле RF распространяется через электрически непроводящий материал стенки одной секции в текучую среду, и лучистая энергия передается через текучую среду, протекающую через участок проточного канала текучей среды, определяемый стенкой иной секции трубы для текучей среды.

3. Устройство по п.1 или 2, в котором электрически непроводящий материал стенки составляет по меньшей мере часть стенки трубы для текучей среды.

4. Устройство по любому из пп.1-3, в котором стенка трубы для текучей среды сформирована из электрически непроводящего материала.

5. Устройство по любому из пп.1-4, в котором стенка трубы для текучей среды содержит полимерный материал или сформирована из него, предпочтительно материал простого полиэфирэфиркетона (PEEK).

6. Устройство по любому из пп.1-5, в котором резонаторная полость включает электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды.

7. Способ работы устройства для применения в измерении состава многофазной текучей среды по п.1, причем способ включает стадии, в которых

пропускают многофазную текучую среду через проточный канал текучей среды, образованный стенкой трубы для текучей среды, причем стенка содержит электрически непроводящий материал;

создают электромагнитное поле RF, которое распространяется через электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды в текучую среду;

измеряют характеристику электромагнитного поля RF на протяжении периода времени измерения для получения измеренного изменения во времени характеристики электромагнитного поля RF;

передают лучистую энергию через текучую среду на протяжении периода времени измерения независимо от электромагнитного поля RF, причем лучистая энергия содержит по меньшей мере одно из  $\gamma$ -излучения и рентгеновского излучения; и

измеряют лучистую энергию, переданную через текучую среду, на протяжении периода времени измерения; и

включающий стадию, в которой локализуют электромагнитное поле RF в резонаторной полости, через которую проходит проточный канал текучей среды,

причем труба для текучей среды имеет поперечное сечение в плоскости, пересекающей проточный канал текучей среды, причем это поперечное сечение является симметричным относительно одной или более осей симметрии, и способ дополнительно включает стадию, в которой пропускают лучистую энергию поперек трубы для текучей среды из источника, размещенного на одной стороне трубы для текучей среды, до датчика, размещенного на другой стороне трубы для текучей среды, таким образом, что только область в поперечной плоскости внутри стенки, которая подвергается воздействию лучистой энергии, главным образом определяется одной из одной или более осей симметрии и стенкой, и причем область, подвергшаяся воздействию, составляет между 40 и 60% общей площади, определяемой стенкой в поперечной плоскости.

8. Способ по п.7, включающий создание электромагнитного поля RF поперек проточного канала текучей среды.

9. Способ по п.7 или 8, в котором резонаторная полость включает электрически непроводящий материал стенки трубы для текучей среды.

10. Способ по любому из пп.7-9, в котором измерение лучистой энергии, передаваемой через текучую среду на протяжении периода времени измерения, включает измерение лучистой энергии, передаваемой в текучую среду, и измерение лучистой энергии, принимаемой из текучей среды на протяжении периода времени измерения.

11. Способ по любому из пп.7-10, в котором область, подвергшаяся воздействию, составляет между 45 и 55%, между 49 и 51%, по существу, равна 50% или составляет 50% общей площади.

12. Способ по любому из пп.7-11, включающий пропускание пучка лучистой энергии от источника к датчику вдоль оси пучка, которая параллельна одной из одной или многих осей симметрии в поперечной плоскости, но смещена относительно нее.

13. Способ по любому из пп.7-12, включающий стадии, на которых используют измеренное изменение во времени характеристики электромагнитного поля RF и калибровочные данные для оценки изменения во времени состава текучей среды; и

используют расчетное изменение во времени состава текучей среды для оценки среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

14. Способ по п.13, в котором характеристика текучей среды включает свойство текучей среды, предпочтительно плотность текучей среды.

15. Способ по любому из пп.13 или 14, в котором характеристика текучей среды включает объемную долю газа в текучей среде.

16. Способ по любому из пп.13-15, включающий применение измеренной лучистой энергии, передаваемой через текучую среду на протяжении периода времени измерения, для определения независимо измеренного среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения.

17. Способ по п.16, включающий определение значения целевой функции из расчетного среднего значения характеристики текучей среды и независимо измеренного среднего значения характеристики текучей среды.

18. Способ по п.17, в котором значение целевой функции включает разность между расчетным средним значением характеристики текучей среды и независимо измеренным средним значением характеристики текучей среды.

19. Способ по п.17 или 18, включающий сравнение величины значения целевой функции с предварительно заданным пороговым значением.

20. Способ по п.19, включающий по выбору вывод данных расчетного изменения во времени состава текучей среды на протяжении периода времени измерения согласно результату сравнения между величиной значения целевой функции и предварительно заданным пороговым значением.

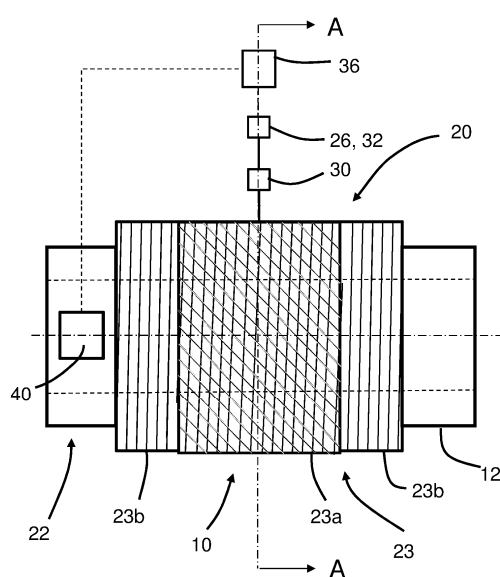
21. Способ по п.19 или 20, включающий:

- (i) применение измеренного изменения во времени характеристики электромагнитного поля RF и калибровочных данных для перерасчета изменения во времени состава текучей среды;
- (ii) применение пересчитанного изменения во времени состава текучей среды для перерасчета среднего значения характеристики текучей среды на протяжении периода времени измерения;
- (iii) повторное определение значения целевой функции из расчетного среднего значения характеристики текучей среды и независимо измеренного среднего значения характеристики текучей среды;
- (iv) сравнение величины значения целевой функции с предварительно заданным пороговым значением; и
- (v) повторение стадий от (i) до (iv), пока величина значения целевой функции не станет меньше, чем предварительно определенное пороговое значение.

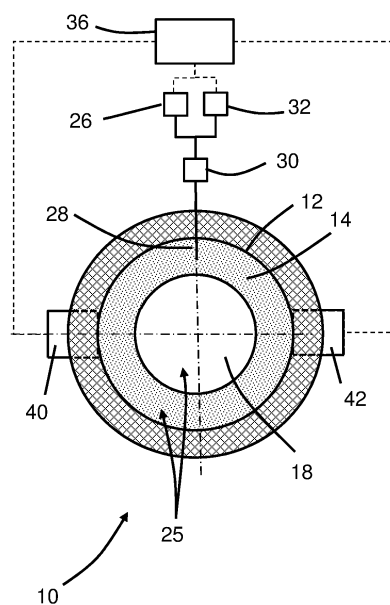
22. Способ по любому из пп.17-21, в котором текучая среда включает воду и другую жидкость в дополнение к воде.

23. Способ по п.22, в котором другая жидкость включает нефть.

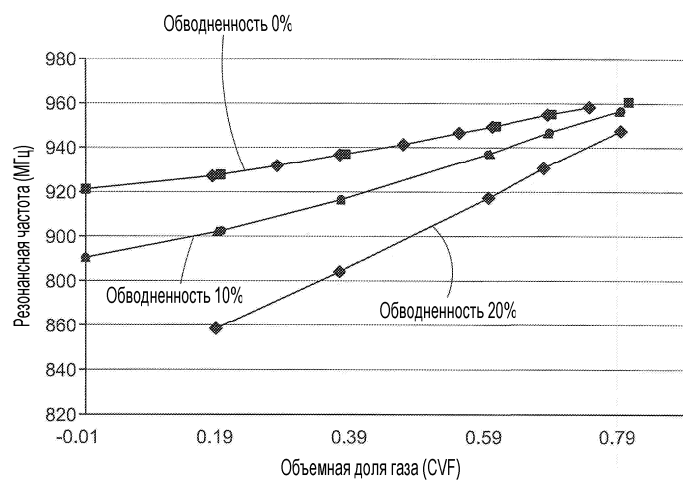
24. Способ по п.22 или 23, в котором в качестве характеристики состава жидкости используют обводненность.



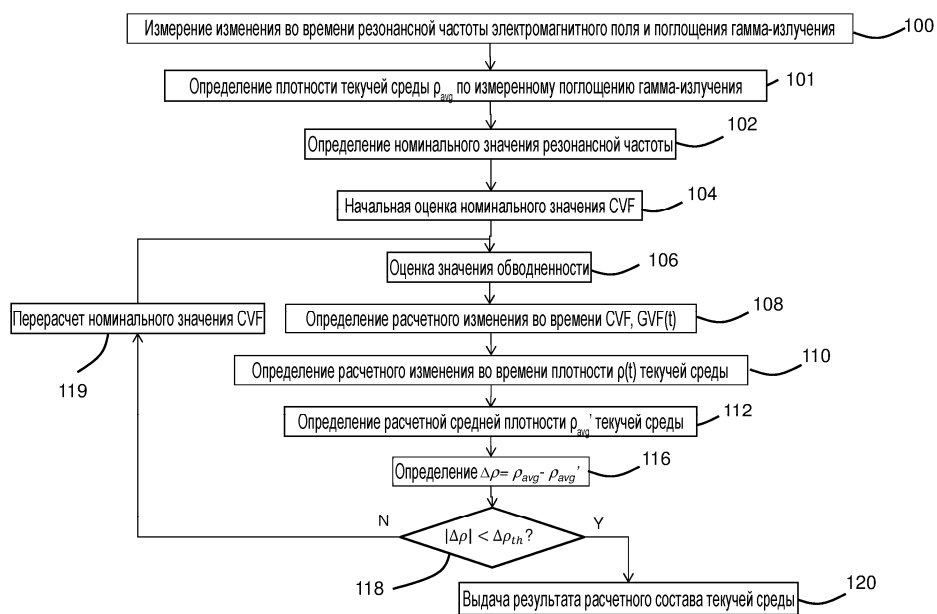
Фиг. 1А



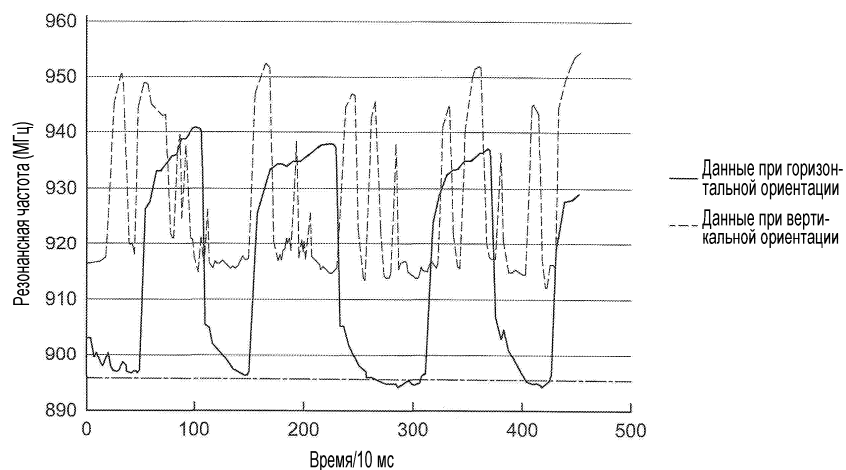
Фиг. 1В



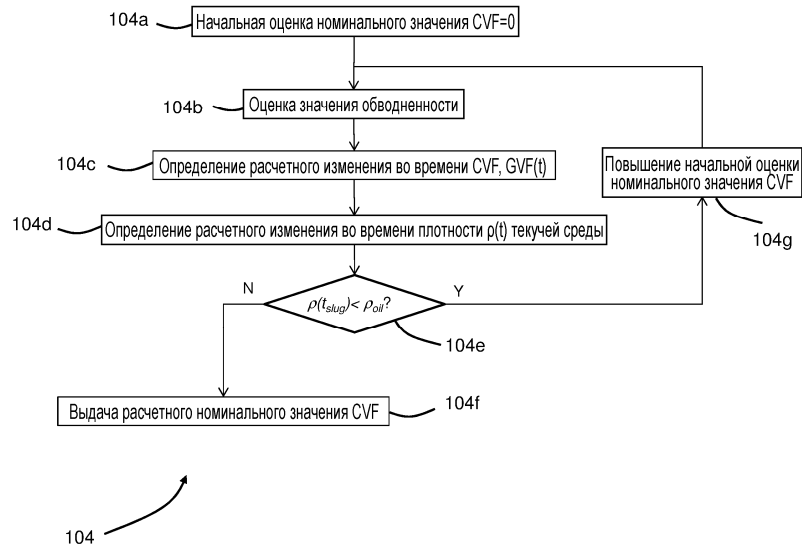
Фиг. 2



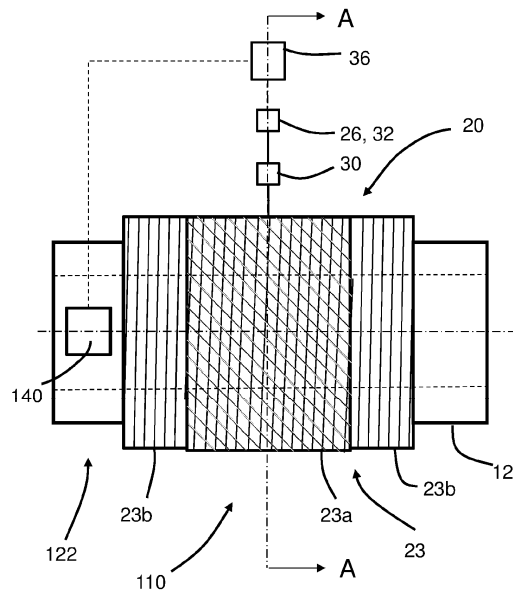
Фиг. 3



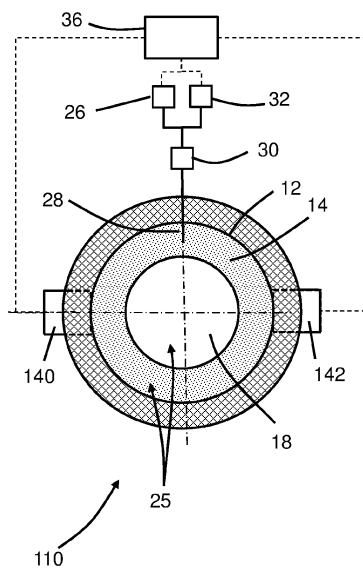
Фиг. 4



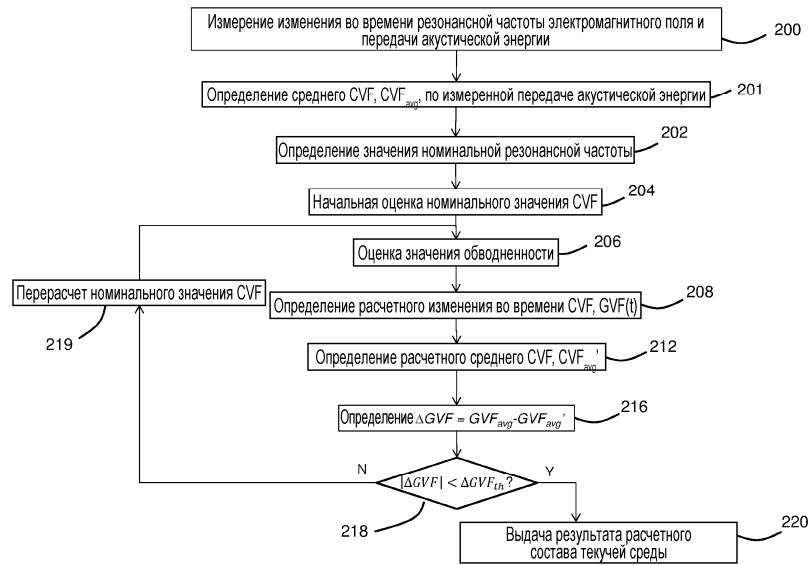
Фиг. 5



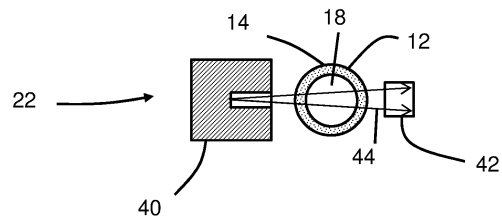
Фиг. 6А



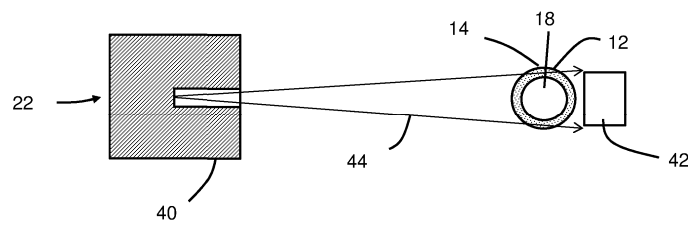
Фиг. 6В



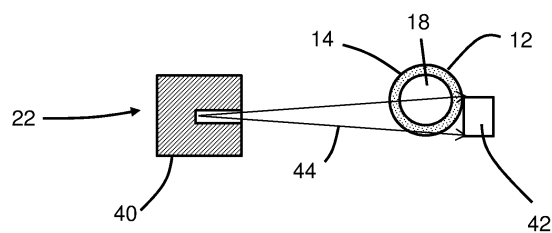
Фиг. 7



Фиг. 8А



Фиг. 8В



Фиг. 8С

