



(51) МПК
G01F 1/34 (2006.01)
G01F 1/74 (2006.01)
G01F 1/84 (2006.01)
G01F 1/88 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009142815/15, 18.04.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 18.04.2008

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
 20.04.2007 US 60/913,148
 04.10.2007 US 60/977,531
 07.11.2007 US 11/936,519

(43) Дата публикации заявки: 27.05.2011 Бюл. № 15

(45) Опубликовано: 27.10.2013 Бюл. № 30

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 2007/0006744 A1, 11.01.2007. US 5230254 A, 27.07.1993. US 2005/0193832 A1, 08.09.2005. RU 2229102 C2, 20.05.2004. CA 2524512 A1, 18.11.2004.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 20.11.2009

(86) Заявка РСТ:
 US 2008/060863 (18.04.2008)

(87) Публикация заявки РСТ:
 WO 2008/131251 (30.10.2008)

Адрес для переписки:
 129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
 ООО "Юридическая фирма Городиский и
 Партнеры", пат.пов. А.В.Мицу, рег.№ 364

(72) Автор(ы):

ГЕНРИ Манус П. (GB),
 ТУМЗ Майкл С. (GB)

(73) Патентообладатель(и):

ИНВЕНСИС СИСТЕМЗ, ИНК. (US)

(54) ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОГО ГАЗА

(57) Реферат:

Группа изобретений относится к определению свойств многофазной технологической текучей среды. Способ определения свойств многофазной технологической текучей среды содержит этапы, на которых: пропускают многофазную текучую среду по колебательно подвижной расходомерной трубке и расходомеру переменного перепада давления; вызывают движение расходомерной трубки и определяют

первое кажущееся свойство текучей среды; определяют, по меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, которое представляет собой первый критерий Фруда для негазообразной фазы текучей среды и второй критерий Фруда для газообразной фазы текучей среды; определяют степень влажности текучей среды на основе преобразования между первым и вторым критериями Фруда и степенью влажности; определяют второе кажущееся свойство

текучей среды с использованием расходомера переменного перепада давления; определяют фазозависимое свойство текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства. При этом первое кажущееся свойство выбрано из кажущегося массового расхода или плотности. Группа изобретений относится также к расходомеру, содержащему колебательно подвижную расходомерную трубку, соединенные с ней

возбудитель колебаний и датчик для считывания движения трубки, и контроллер, а также к измерительному преобразователю расходомера и системе определения свойств многофазной текучей среды. Группа изобретений обеспечивает повышение точности определения свойств многофазной текучей среды и позволяет оценить точность работы расходомеров. 4 н. и 17 з.п. ф-лы, 7 ил.

RU 2 4 9 7 0 8 4 C 2

RU 2 4 9 7 0 8 4 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01F 1/34 (2006.01)
G01F 1/74 (2006.01)
G01F 1/84 (2006.01)
G01F 1/88 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2009142815/15, 18.04.2008**

(24) Effective date for property rights:
18.04.2008

Priority:

(30) Convention priority:
20.04.2007 US 60/913,148
04.10.2007 US 60/977,531
07.11.2007 US 11/936,519

(43) Application published: **27.05.2011 Bull. 15**

(45) Date of publication: **27.10.2013 Bull. 30**

(85) Commencement of national phase: **20.11.2009**

(86) PCT application:
US 2008/060863 (18.04.2008)

(87) PCT publication:
WO 2008/131251 (30.10.2008)

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spasskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. A.V.Mitsu, reg.№ 364**

(72) Inventor(s):

**GENRI Manus P. (GB),
TUMZ Majkl S. (GB)**

(73) Proprietor(s):

INVENSIS SISTEMZ, INK. (US)

(54) MEASUREMENT OF HUMID GAS

(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method to determine properties of a multi-phase process fluid medium includes stages, when: the multi-phase fluid medium is sent along an oscillating movable flow metering tube and a flow metre of alternating pressure difference; motion of the flow metering tube is caused, and the first apparent property of the fluid medium is determined; at least one apparent intermediate value is determined, which is the first Froude number for the non-gaseous phase of the fluid medium and the second Froude number for the gaseous phase of the fluid medium; the extent of humidity of the fluid medium is determined on the basis of conversion between the first and second Froude numbers and the extent of humidity; the second apparent property of the fluid medium is determined using the flow metre

of alternating pressure difference; the phase-dependent property of the fluid medium is determined on the basis of extent of humidity and the second apparent property. At the same time the first apparent property is selected from the apparent mass flow or density. The group of inventions also relates to a flow metre comprising an oscillating movable flow metering tube, connected oscillation exciter and sensor for reading of tube motion, and a controller, and also to a metering converter of the flow metre and the system for determination of properties of the multi-phase fluid medium.

EFFECT: higher accuracy for determination of properties of a multi-phase fluid medium and makes it possible to assess accuracy of operation of flow metres.

21 cl, 7 dwg

Настоящая заявка испрашивает приоритет по предварительной заявке на патент США № 60/913148, WET GAS CALCULATIONS, поданной 20 апреля 2007 года, предварительной заявке на патент США № 60/977531, WET GAS MEASUREMENT, поданной 4 октября 2007 года, и заявке на патент США № 11/936519, WET GAS MEASUREMENT, поданной 7 ноября 2007 года, которые включены в настоящее описание посредством ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение относится к расходомерам.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Расходомеры обеспечивают информацию о материалах, транспортируемых по трубе. Например, массовые расходомеры обеспечивают измерение массы материала, транспортируемого по трубе. Аналогично, плотномеры обеспечивают измерение плотности материала, протекающего по трубе. Массовые расходомеры также могут обеспечивать измерение плотности материала.

Например, массовые расходомеры Кориолиса действуют на основе эффекта Кориолиса, согласно которому материал, протекающий по трубе, становится радиально движущейся массой, на которую действует сила Кориолиса, и поэтому испытывает ускорение. Многие массовые расходомеры Кориолиса создают силу Кориолиса возбуждением колебаний трубы относительно оси, ортогональной длине трубы. В упомянутых массовых расходомерах противодействующая сила Кориолиса, действующая на движущуюся массу текучей среды, передается на саму трубу и проявляет себя в виде отклонения или смещения трубы в направлении вектора силы Кориолиса в плоскости вращения.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с одним общим аспектом многофазную технологическую текучую среду пропускают по колебательно подвижной расходомерной трубке и расходомеру переменного перепада давления, и вызывают движение колебательно подвижной расходомерной трубки. Первое кажущееся свойство многофазной технологической текучей среды определяют на основе движения колебательно подвижной расходомерной трубки. По меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, соответствующее многофазной технологической текучей среде, определяют на основе первого кажущегося свойства. Степень влажности многофазной технологической текучей среды определяют на основе преобразования связи между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности. Второе кажущееся свойство многофазной технологической текучей среды определяют с использованием расходомера переменного перепада давления. По меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды определяют на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

Варианты осуществления могут содержать, по меньшей мере, один из следующих признаков. Определение, по меньшей мере, одного кажущегося промежуточного значения, соответствующего многофазной технологической текучей среде, на основе первого кажущегося свойства может включать в себя определение первого критерия Фруда, соответствующего негазообразной фазе многофазной технологической текучей среды, и второго критерия Фруда, соответствующего газообразной фазе многофазной технологической текучей среды. Определение степени влажности многофазной технологической текучей среды, основанное на преобразовании связи между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, может включать в себя определение степени влажности многофазной

технологической текучей среды на основе преобразования связи между первым и вторым критериями Фруда и степенью влажности.

Многофазная технологическая текучая среда может быть влажным газом. Первое кажущееся свойство может быть кажущимся массовым расходом. Степень влажности может быть параметром Локхарта-Мартинелли. Расходомер переменного перепада давления может быть измерительной диафрагмой расходомера. Второе кажущееся свойство может быть массовым расходом такой многофазной технологической текучей среды, как сухой газ.

По меньшей мере, одно скорректированное промежуточное значение можно определить на основе преобразования связи между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и скорректированными промежуточными значениями. По меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной текучей среды можно определить на основе скорректированных промежуточных значений. Фазозависимые свойства фазы многофазной текучей среды, определяемые на основе скорректированного промежуточного значения, можно сравнивать с фазозависимыми свойствами многофазной технологической текучей среды, определяемыми на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

Определение, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства может включать в себя определение массового расхода газовой фазы многофазной технологической текучей среды. Преобразование связи является нейронной сетью.

Варианты осуществления любого из вышеописанных методов могут содержать способ или процесс, систему, расходомер или команды, хранящиеся в запоминающем устройстве измерительного преобразователя расходомера. Подробные сведения о конкретных вариантах осуществления представлены ниже на прилагаемых чертежах и в описании. Другие признаки станут очевидными из нижеследующего описания, включающего в себя чертежи, и формулы изобретения.

ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Фиг.1А - изображение расходомера Кориолиса, использующего изогнутую расходомерную трубку.

Фиг.1В - изображение расходомера Кориолиса, использующего прямолинейную расходомерную трубку.

Фиг.2 - блок-схема расходомера Кориолиса.

Фиг.3 - блок-схема, представляющая систему, которая содержит расходомер переменного перепада давления и расходомер Кориолиса.

Фиг.4 - блок-схема цифрового контроллера, реализующего нейронный процессор, который можно применить с цифровым массовым расходомером для многофазных потоков текучих сред.

Фиг.5А и 5В - блок-схемы последовательностей операций, представляющие процесс, который использует расходомер Кориолиса и расходомер переменного перепада давления для многофазных технологических текучих сред.

Фиг.6 - блок-схема последовательности операций, представляющая процесс для применения расходомера Кориолиса и расходомера переменного перепада давления.

Фиг.7 - иллюстрация ограничения.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

Типы расходомеров содержат цифровые расходомеры Кориолиса. Например, в патенте США 6311136, который включен в настоящую заявку посредством ссылки,

предлагается применение цифрового расходомера Кориолиса и сопутствующей технологии, включающей в себя обработку сигналов и методы измерения.

Упомянутые цифровые расходомеры могут производить очень точные измерения, при слабых или несущественных шумах, и могут обладать способностью обеспечения широкого диапазона положительных и отрицательных коэффициентов усиления в задающих схемах для приведения трубы в движение. Таким образом, упомянутые цифровые расходомеры Кориолиса обеспечивают преимущества во множестве разнообразных ситуаций. Например, в принадлежащем тому же владельцу патенте США 6505519, который включен в настоящую заявку посредством ссылки, предлагается использование широкого диапазона коэффициентов усиления и/или отрицательного коэффициента усиления для предотвращения останова и для более точного управления расходомерной трубкой, даже в сложных условиях, например, двухфазного потока (например, потока, содержащего смесь жидкости и газа).

Хотя ниже, со ссылкой, например, на фиг.1А, 1В и 2, конкретно описаны цифровые расходомеры Кориолиса, следует понимать, что существуют также аналоговые расходомеры Кориолиса. Несмотря на то, что таким аналоговым расходомерам Кориолиса могут быть свойственны типичные недостатки аналоговых схем, например, невысокая точность измерений с сильными шумами, по сравнению с цифровыми расходомерами Кориолиса, аналоговые расходомеры Кориолиса также могут быть совместимы с различными методами и вариантами осуществления, описанными в настоящей заявке. Следовательно, в нижеследующем описании термин «расходомер Кориолиса» или «измерительный прибор Кориолиса» служит для обозначения устройства и/или системы любого типа, в которых используется эффект Кориолиса для измерения массового расхода, плотности и/или других параметров материала(ов), движущихся по расходомерной трубке или другой трубе.

На фиг.1А изображен цифровой расходомер Кориолиса, использующий изогнутую расходомерную трубку 102. В частности, изогнутую расходомерную трубку 102 можно применять для измерения, по меньшей мере, одной физической характеристики, например (перемещающейся или не перемещающейся), текучей среды, упомянутой выше. На фиг.1А цифровой измерительный преобразователь 104 обменивается сигналами датчиков и сигналами возбуждения с изогнутой расходомерной трубкой 102, чтобы одновременно считывать колебания изогнутой расходомерной трубки 102 и возбуждать колебания изогнутой расходомерной трубки 102, соответственно. Благодаря быстрому и точному определению сигналов датчиков и сигналов возбуждения цифровой измерительный преобразователь 104, как упоминалось выше, может обеспечивать быстроедействие и точность работы изогнутой расходомерной трубки 102. Примеры цифрового измерительного преобразователя 104, используемого с изогнутой расходомерной трубкой, приведены, например, в принадлежащем тому же владельцу патенте США 6311136.

На фиг.1В изображен цифровой расходомер Кориолиса, использующий прямолинейную расходомерную трубку 106. В частности, как показано на фиг.1В, прямолинейная расходомерная трубка 106 взаимодействует с цифровым измерительным преобразователем 104. Такая прямолинейная расходомерная трубка действует, в принципе, аналогично изогнутой расходомерной трубке 102 и обладает различными преимуществами/недостатками по сравнению с изогнутой расходомерной трубкой 102. Например, прямолинейную расходомерную трубку 106 можно (полностью) наполнять и опорожнять легче, чем изогнутую расходомерную трубку 102, просто благодаря ее конструктивной геометрии. Во время работы

изогнутая расходомерная трубка 102 может действовать на частоте, например, 50-110 Гц, тогда как прямолинейная расходомерная трубка 106 может действовать на частоте, например, 300-1000 Гц. Изогнутая расходомерная трубка 102 представляет расходомерные трубки, имеющие множество различных диаметров, и применима с несколькими ориентациями, например, с вертикальной или горизонтальной ориентацией. Прямолинейная расходомерная трубка 106 также может иметь множество различных диаметров и применяться с несколькими ориентациями.

Как показано на фиг.2, цифровой массовый расходомер 200 содержит цифровой измерительный преобразователь 104, по меньшей мере, один датчик 205 движения, по меньшей мере, один возбудитель 210, расходомерную трубку 215 (которая может также именоваться трубой и которая может представлять собой либо изогнутую расходомерную трубку 102, либо прямолинейную расходомерную трубку 106, либо расходомерную трубку некоторого другого типа), температурный датчик 220 и датчик 225 давления. Цифровой измерительный преобразователь 104 может быть осуществлен с использованием, по меньшей мере, чего-то одного из, например, цифрового процессора сигналов (DSP), программируемой пользователем вентильной матрицы (FPGA), ASIC (специализированной интегральной схемы), других программируемых логических или вентильных матриц или программируемой логики с процессорным ядром. Следует понимать, что, как изложено в патенте США № 6311136, в состав можно включать соответствующие цифроаналоговые преобразователи для управления возбудителями 210, а аналого-цифровые преобразователи можно использовать для преобразования сигналов датчиков из датчиков 205 для их использования цифровым измерительным преобразователем 104.

Цифровой измерительный преобразователь 104 может содержать систему 240 измерения объемной плотности и систему 250 измерения объемного массового расхода. Объемные свойства обычно относятся к свойствам текучей среды в целом, в противоположность к свойствам составляющей компоненты текучей среды, когда присутствует многофазный поток (как поясняется ниже). Система 240 измерения объемной плотности и система 250 измерения массового расхода могут формировать результаты измерений, соответственно, плотности и/или массового расхода материала, протекающего по расходомерной трубке 215, на основе, по меньшей мере, сигналов, получаемых из датчиков 205 движения. Цифровой измерительный преобразователь 104 управляет также возбудителями 210, чтобы вызывать движение в расходомерной трубке 215. Упомянутое движение определяется датчиками 205 движения.

Результаты измерений плотности материала, протекающего по расходомерной трубке, зависят, например, от частоты движения расходомерной трубки 215, которое вызывается в расходомерной трубке 215 (обычно, резонансной частоты) движущей силой, прилагаемой возбудителями 210, и/или от температуры расходомерной трубки 215. Аналогично, массовый поток через расходомерную трубку 215 зависит от фазы и частоты движения расходомерной трубки 215, а также от температуры расходомерной трубки 215.

Температура в расходомерной трубке 215, которая измеряется с использованием температурного датчика 220, влияет на некоторые свойства расходомерной трубки, например ее жесткость и размеры. Цифровой измерительный преобразователь 104 может компенсировать упомянутые температурные эффекты. Как также показано на фиг.2, датчик 225 давления связан с измерительным преобразователем 104 и подсоединен к расходомерной трубке 215, чтобы выполнять функцию определения

давления материала, протекающего по расходомерной трубке 215.

5 Следует понимать, что как давление текучей среды, поступающей в расходомерную трубку 215, так и перепад давлений между соответствующими точками в расходомерной трубке могут быть показателями некоторого режима потока. Кроме
того, хотя для измерения температуры текучей среды можно применять внешние
температурные датчики, такие датчики можно применять в дополнение к внутреннему
датчику расходомера, выполненному с возможностью измерения характерной
10 температуры для калибровок расходомерной трубки. Кроме того, в некоторых
расходомерных трубках применяют несколько температурных датчиков с целью
коррекции результатов измерений с учетом эффекта влияния разности температур
между технологической текучей средой и окружающей средой (например,
температурой кожуха корпуса расходомерной трубки).

15 Следует понимать, что различные компоненты цифрового измерительного преобразователя 104, показанного на фиг.2, связаны между собой, хотя, для ясности, линии связи не показаны в явном виде. Кроме того, следует понимать, что обычные компоненты цифрового измерительного преобразователя 104 не показаны на фиг.2, но считаются находящимися в составе цифрового измерительного
20 преобразователя 104 или доступными ему. Например, цифровой измерительный преобразователь 104 будет обычно содержать задающие схемы для управления возбудителем 210 и измерительные схемы для измерения частоты колебаний расходомерной трубки 215 на основе сигналов датчиков из датчиков 205 и для измерения фазы между сигналами датчиков из датчиков 205.

25 В некоторых условиях расходомер Кориолиса может точно определять объемную плотность и объемный массовый расход технологической текучей среды в расходомерной трубке 215. То есть, в некоторых условиях возможно определение точной объемной плотности и/или объемного массового расхода технологической
30 текучей среды.

Кроме того, в некоторых ситуациях технологическая текучая среда может
содержать, по меньшей мере, две фазы вследствие того, что представляет собой смесь,
по меньшей мере, двух материалов (например, масла и воды или текучей среды с
увлеченным газом) или один и тот же материал в разных фазах (например, воду в
35 жидкой фазе и водяной пар), или разные материалы в разных фазах (например,
водяной пар и масло). В некоторых режимах многофазного потока расходомер
Кориолиса может точно определять объемную плотность и объемный массовый
расход текучей среды, которые затем можно использовать для точного определения
40 плотности и/или массового расхода составляющих фаз.

Однако в других режимах многофазного потока расходомер Кориолиса не может
удовлетворительно функционировать. Хотя расходомер Кориолиса продолжает
работать в присутствии многофазной технологической текучей среды, но присутствие
многофазной текучей среды влияет на движение расходомерной трубки (или трубы),
45 которая является частью расходомера Кориолиса. Следовательно, выходные данные,
определяемые измерительным прибором, могут быть неточными, так как
измерительный прибор функционирует в предположении, что либо технологическая
текучая среда является однофазной, либо технологическая текучая среда является
50 многофазной с такими свойствами, как высокая вязкость жидкости и/или отсутствие
смещения между фазами. Упомянутые выходные данные можно называть
кажущимися свойствами, так как они не скорректированы с учетом эффектов
многофазного потока. Хотя кажущиеся свойства обычно представляют собой

свойства, которые не скорректированы с учетом эффектов многофазного потока, первоначальные оценки упомянутых свойств могут быть скорректированы с учетом других эффектов для формирования кажущихся свойств. Например, первоначальные оценки таких свойств можно скорректировать с учетом эффектов влияния температуры и/или давления на свойства, чтобы сформировать кажущиеся свойства.

Например, в некоторых режимах многофазного потока расходомер Кориолиса может быть лишен способности измерять объемную плотность, объемный массовый расход, плотность составляющих компонентов многофазного потока или массовые расходы составляющих компонентов многофазного потока в требуемых допустимых отклонениях, необходимых для конкретного применения, так как упомянутые свойства определяют на основе предположения, что поток является однофазным, и результирующие погрешности, вызываемые многофазным потоком, больше, чем требуемые допустимые отклонения. Другими словами, расходомер Кориолиса может быть лишен способности измерять упомянутые свойства со степенью точности, необходимой для упомянутого применения расходомера Кориолиса.

Примеры упомянутых условий включают в себя ситуации, в которых технологическая текучая среда является влажным газом (то есть упомянутая среда содержит, главным образом, газообразную составляющую компоненту, но в какой-то мере содержит жидкую составляющую компоненту). Влажный газ обычно встречается при применениях, связанных с природным газом, когда газообразная составляющая компонента представляет собой природный газ, и жидкая составляющая компонента может быть водой, углеводородами или компрессорным маслом (или какой-нибудь их комбинацией). Другие применения, при которых встречается влажный газ, могут включать в себя применения, связанные с паром в качестве технологической текучей среды.

Влажный газ обычно содержит технологическую текучую среду, которая содержит максимум 5% об. жидкости или, иначе говоря, технологическую текучую среду, которая характеризуется долей пустот, по меньшей мере, 0,95 (95%). Однако, методы, описанные ниже со ссылкой на влажные газы, не ограничены технологическими текучими средами, которые содержат, максимум, 5% об. жидкости. Наоборот, методы ограничены требуемой точностью заданного применения, при этом точность зависит от точности расходомера Кориолиса и других измерительных приборов, описанных ниже, для упомянутой доли пустот.

Как показано на фиг.3, расходомер 304 переменного перепада давления можно применять в комбинации с расходомером 306 Кориолиса, чтобы точнее измерять свойства влажного газа или другой многофазной технологической текучей среды. Как показано, система 300 содержит трубу 302, которая транспортирует технологическую текучую среду (например, влажный газ), расходомер 304 переменного перепада давления, расходомер 306 Кориолиса, который измеряет кажущийся объемный массовый расход и кажущуюся объемную плотность технологической текучей среды, и компьютер 308 потока. В некоторых вариантах осуществления компьютер 308 потока может выполнять функцию вышеописанного измерительного преобразователя 104. В некоторых вариантах осуществления компьютер 308 потока может быть отдельным от расходомера 304 переменного перепада давления и расходомера 306 Кориолиса. В общем, расходомеры переменного перепада давления, например, расходомер 304 переменного перепада давления, направляют поток технологической текучей среды в секцию расходомера 304 переменного перепада давления, которая имеет площадь поперечного сечения, отличающуюся от площади

поперечного сечения трубы, которая транспортирует технологическую текучую среду. В результате, имеют место изменения скорости и давления потока. При измерении изменений давления можно вычислить скорость потока. Объемный массовый расход можно вычислить по скорости потока. Однако, как в случае с расходомером Кориолиса, вычисления объемного массового расхода могут выполняться в предположении однофазного потока, и поэтому измерение может быть неточным, когда присутствует многофазная текучая среда. Следовательно, объемный массовый расход может быть кажущимся объемным массовым расходом, так как он не скорректирован с учетом многофазного потока.

В некоторых вариантах осуществления расходомер 304 переменного перепада давления может быть измерительной диафрагмой расходомера. Измерительная диафрагма расходомера обычно является плоской пластиной, которая содержит диафрагму. Измерительную диафрагму расходомера обычно закрепляют между парой фланцев и устанавливают в прямолинейный участок гидравлически гладкой трубы во избежание возмущения режимов потоков, обусловленного соединительной и вентильной арматурами.

Поток через измерительную диафрагму расходомера характеризуется изменением скорости. Когда текучая среда протекает через диафрагму, текучая среда сужается и скорость текучей среды возрастает до максимального значения. В этот момент давление имеет минимальное значение. Когда текучая среда расходится для заполнения всей площади сечения трубы, скорость снова снижается до исходного значения. Давление повышается к исходному входному значению, обычно, с восстановлением 60-80% от максимального перепада давлений. Давления с обеих сторон диафрагмы измеряют и, тем самым, разность давлений, которая пропорциональна скорости потока. На основе скорости и плотности текучей среды можно вычислить кажущийся объемный массовый расход при известной плотности текучей среды.

Таким образом, расходомер 304 переменного перепада давления может быть измерительной диафрагмой расходомера. Измерительная диафрагма расходомера может содержать трубу 302 для транспортировки технологической текучей среды и измерительную диафрагму расходомера, расположенную в трубе 302. Стрелка 310 указывает направление потока. Впереди по потоку от измерительной диафрагмы расходомера находится первый датчик давления, и позади по потоку от измерительной диафрагмы расходомера находится второй датчик давления. Разность между замерах первого датчика и второго датчика обеспечивает разность давлений, которую можно использовать для вычисления скорости потока и кажущегося объемного массового расхода.

Кажущиеся объемные свойства, измеренные расходомером 306 Кориолиса, и расходомером 304 переменного перепада давления, можно использовать для определения скорректированных значений, например массовых расходов составляющих компонентов текучей среды, как дополнительно поясняется ниже.

С этой целью и, как показано на фиг.4, расходомер 306 Кориолиса может использовать цифровой контроллер 400 вместо цифрового измерительного преобразователя 104, описанного выше со ссылкой на фиг.1А, 1В и 2. Цифровой контроллер 400 также можно назвать цифровым измерительным преобразователем. В упомянутом варианте осуществления цифрового измерительного преобразователя 104 датчики 404 для сбора данных о технологическом процессе (далее по тексту, технологические датчики), подсоединенные к расходомерной трубке, формируют

сигналы данных о технологическом процессе (далее по тексту, технологические сигналы), содержащие, по меньшей мере, один сигнал датчика, по меньшей мере, один температурный сигнал и, по меньшей мере, один сигнал давления. Например, технологические датчики 404 могут содержать температурный датчик 220, датчик 225 5 давления и/или датчики 205 движения, описанные со ссылкой на фиг.2. Аналоговые технологические сигналы преобразуются в цифровые данные из сигналов аналого-цифровыми преобразователями (A/D-преобразователями) 406 и сохраняются в буферных запоминающих устройствах 408 для данных сигналов датчиков и 10 возбuditелей с целью использования цифровым контроллером 400. Возбудители 445, соединенные с расходомерной трубкой, формируют сигнал тока возбуждения и могут передавать упомянутый сигнал в A/D-преобразователи 406. Затем сигнал тока возбуждения преобразуется в цифровые данные и сохраняется в буферных 15 запоминающих устройствах 408 для данных сигналов датчиков и возбuditелей. Обычно принято считать, что цифровой сигнал возбуждения, сформированный A/D-преобразователями 406, образует цифровой сигнал возбуждения, соответствующий аналоговому сигналу возбуждения. В некоторых вариантах осуществления цифровой сигнал возбуждения можно контролировать, чтобы обеспечивать подходящую 20 амплитуду, фазу и частотные характеристики цифрового сигнала возбуждения (например, чтобы цифровой сигнал возбуждения был точным представлением аналогового сигнала возбуждения). Напряжение возбуждения также можно контролировать. Контроль можно обеспечивать при посредстве дополнительного аналого-цифрового канала (A/D-канала). Данные, отбираемые дополнительным A/D- 25 каналом, можно анализировать таким же образом, как данные датчиков. Упомянутые выборочные данные можно использовать в целях диагностики, а также для обслуживания. В альтернативном варианте цифровой сигнал усиления возбуждения и цифровой сигнал тока возбуждения могут формироваться в модуле 435 регулировки 30 амплитуды и передаваться в буферные запоминающие устройства 408 для данных сигналов датчиков и возбuditелей с целью хранения и использования цифровым контроллером 400.

Цифровые данные сигналов технологических датчиков и возбuditелей дополнительно анализируются и обрабатываются модулем 410 обработки параметров 35 датчиков и возбuditелей, который формирует физические параметры, включая частоту, фазу, ток, затухание и амплитуду колебаний. Упомянутая информация представляется в модуль 412 исходных результатов измерений объемного массового потока и модуль 414 исходных результатов измерений объемной плотности. Модуль 412 исходных результатов измерений объемного массового потока формирует 40 исходный измерительный сигнал объемного массового расхода, который показывает кажущийся объемный массовый расход текучей среды. Модуль 414 исходных результатов измерений объемной плотности формирует исходный измерительный сигнал объемной плотности, который показывает кажущуюся объемную плотность 45 текучей среды.

Модуль 420 коррекции погрешностей многофазного потока принимает в качестве входных данных физические параметры из модуля 410 обработки параметров датчиков и возбuditелей, исходный измерительный сигнал объемного массового расхода и исходный измерительный сигнал объемной плотности. Когда 50 технологическая текучая среда может иметь режим однофазного или многофазного потока, может определяться состояние режима потока, что предписывает обработку в модуле 420 коррекции погрешностей многофазного потока, когда имеет место

многофазный поток, или пропуск обработки модулем 420 коррекции погрешностей многофазного потока, когда имеет место однофазный поток. Однако, если технологическая текучая среда подразумевает известный двухфазный поток (например, газообразной и жидкой составляющих), трехфазный поток (например, газообразной и двух жидких составляющих) или другой многофазный поток (например, по меньшей мере, одной газообразной и, по меньшей мере, одной жидкой составляющих), то определение состояния режима потока может быть необязательно. В приведенном примере технологическая текучая среда может быть влажным газом, который, как уже известно, содержит объемную долю газа (gvf) и объемную долю жидкости (lvf).

Модуль 420 коррекции погрешностей многофазного потока содержит, по меньшей мере, одну функцию преобразования, например, нейронную сеть, которая применяется для поддержки компенсации с учетом многофазных режимов потока. Функции преобразования могут быть осуществлены в системной подпрограмме или, в альтернативном варианте, могут быть осуществлены в виде программируемого аппаратного процессора.

Входными величинами функций преобразования могут быть кажущиеся промежуточные значения, вычисленные по измерительному сигналу кажущегося объемного массового расхода и измерительному сигналу кажущейся объемной плотности. В упомянутом варианте осуществления модуль 420 коррекции погрешностей многофазного потока определяет кажущиеся промежуточные значения по исходному объемному массовому расходу и кажущейся объемной плотности многофазной технологической текучей среды. Кажущиеся промежуточные значения подаются на вход функции преобразования, которая формирует степень влажности (например, параметр Локхарта-Мартинелли, X_{L-M}) в качестве выходных данных. Затем модуль 420 коррекции погрешностей многофазного потока может выдавать 422 степень влажности X_{L-M} .

Вторая функция преобразования также может вводить кажущиеся промежуточные значения, вычисленные по измерительному сигналу кажущегося объемного массового расхода и измерительному сигналу кажущейся объемной плотности. В этом варианте осуществления модуль 420 коррекции погрешностей многофазного потока определяет кажущиеся промежуточные значения по исходному объемному массовому расходу и кажущейся объемной плотности многофазной технологической текучей среды. Кажущиеся промежуточные значения, подаваемые на вход второй функции преобразования, могут быть такими же или иными, чем кажущиеся промежуточные значения, подаваемые на вход первой функции преобразования. Кажущиеся промежуточные значения подаются на вход второй функции преобразования и корректируются с учетом эффектов многофазного потока. Скорректированные кажущиеся промежуточные значения выдаются в блок 430 вывода результатов измерения массового потока. В других вариантах осуществления результат измерения кажущегося (или исходного) объемного массового потока и кажущаяся объемная плотность могут подаваться на вход одной или обеих функций преобразования.

Когда используют нейронную сеть, модуль 425 коэффициентов нейронной сети и обучения хранит предварительно заданный(е) набор или наборы коэффициентов нейронной сети, которые применяются нейронным процессором для вышеописанной коррекции. Модуль 425 коэффициентов нейронной сети и обучения может также выполнять интерактивную обучающую функцию с использованием обучающих данных, чтобы можно было вычислять обновленный набор коэффициентов для

использования нейронной сетью. Хотя предварительно заданный набор коэффициентов нейронной сети создается посредством обширных лабораторных испытаний и экспериментов на основании известных двухфазных, трехфазных или более многофазных массовых расходов, интерактивная обучающая функция, выполняемая модулем 425, может включаться на стадии первоначального ввода в действие расходомера или может включаться каждый раз, когда выполняется инициализация расходомера.

Как указано выше, модуль 420 коррекции погрешностей многофазного потока может выдавать 422 степень влажности X_{L-M} . Затем степень влажности применяется вместе с результатами измерений, полученными расходомером 304 переменного перепада давления, для определения точных или скорректированных результатов измерений фазозависимых свойств текучей среды, например, массового расхода составляющих фаз, как дополнительно поясняется ниже.

Кроме того, скорректированные промежуточные значения из функции преобразования вводятся в блок 430 вывода результатов измерения массового потока. С использованием скорректированных промежуточных значений блок 430 вывода результатов измерения массового потока определяет оценки фазозависимых свойств текучей среды, например, массовых расходов составляющих фаз многофазной текучей среды. Когда как оценки фазозависимых свойств, так и скорректированные фазозависимые свойства являются массовыми расходами составляющих компонентов многофазной текучей среды, оценки можно сравнивать со скорректированными результатами измерений фазозависимых свойств текучей среды, чтобы определять, правильно ли функционируют расходомер 304 переменного перепада давления и расходомер 306 Кориолиса.

Модуль 410 обработки параметров датчиков вводит также параметр затухания и параметр амплитуды колебаний в модуль 435 регулировки амплитуды. Модуль 435 регулировки амплитуды дополнительно обрабатывает параметр затухания и параметр амплитуды колебаний и формирует цифровые сигналы возбуждения. Цифровые сигналы возбуждения преобразуются в аналоговые сигналы возбуждения цифроаналоговыми преобразователями (D/A-преобразователями) 440 для приведения в действие возбудителей 445, присоединенных к расходомерной трубке цифрового расходомера. В некоторых вариантах осуществления модуль 435 регулировки амплитуды может обрабатывать параметр затухания и параметр амплитуды колебаний и непосредственно формировать аналоговые сигналы возбуждения для приведения в действие возбудителей 445.

Как показано на фиг.5А и 5В, примерные процессы 500А и 500В для определения скорректированного фазозависимого свойства фазы, содержащейся в многофазной технологической текучей среде, могут исполняться системой 300 и контроллером 400. Например, процессы 500А и 500В можно использовать для определения массового расхода каждой фазы многофазной технологической текучей среды. Многофазная технологическая текучая среда может быть, например, трехфазной текучей средой, например, влажным газом, который содержит газообразную фазу и две жидких фазы (например, метан, воду и масло).

Как поясняется ниже, в одном варианте осуществления, по меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение определяется на основании кажущихся или исходных свойств многофазной текучей среды. Например, кажущееся промежуточное значение может определяться на основании кажущегося объемного массового расхода и/или кажущейся объемной плотности многофазной технологической текучей среды,

установленной, например, расходомером 306 Кориолиса. Кажущееся промежуточное значение вводится, например, в нейронную сеть для формирования степени влажности многофазной технологической текучей среды. Использование промежуточного значения вместо кажущегося объемного массового расхода и кажущейся объемной 5 плотности многофазной технологической текучей среды может способствовать повышению точности определения степени влажности. Затем степень влажности применяется вместе с результатами измерений из расходомера переменного перепада давления (например, измерительной диафрагмы расходомера), чтобы определять 10 скорректированные значения фазозависимых свойств многофазной текучей среды, например, массовых расходов фаз многофазной текучей среды.

Многофазная технологическая текучая среда пропускается по колебательно подвижной расходомерной трубке (505), и в колебательно подвижной расходомерной трубке возбуждается движение (510). Колебательно подвижная расходомерная трубка 15 может быть, например, расходомерной трубкой 215, описанной со ссылкой на фиг.2. Многофазная технологическая текучая среда может быть двухфазной текучей средой, трехфазной текучей средой или текучей средой, которая содержит более трех фаз. Например, двухфазная текучая среда может содержать негазообразную фазу, которая 20 может быть жидкостью, например, масло и газообразную фазу, например, метан. Трехфазная текучая среда может содержать газообразную фазу и две негазообразные фазы. Две негазообразные фазы могут быть жидкостями (например, маслом и водой), или две негазообразные фазы могут быть жидкой фазой (например, маслом) и твердой фазой (например, песком). Многофазная текучая среда может быть влажным газом. 25 Хотя влажный газ может быть любой из многофазных текучих сред, описанных выше, в общем, влажный газ состоит более, чем на 95% об. из газовой фазы. В общем, каждую фазу многофазной текучей среды можно именовать составляющими или компонентами многофазной текучей среды. Процессы 500А и 500В можно применять 30 к любой многофазной текучей среде.

Первое кажущееся свойство многофазной текучей среды определяется на основе движения колебательно подвижной расходомерной трубки (515). Первое кажущееся свойство многофазной текучей среды может быть кажущимся объемным массовым расходом и/или кажущейся объемной плотностью текучей среды, протекающей по 35 колебательно подвижной расходомерной трубке. Как пояснялось выше, кажущееся свойство является свойством, которое не скорректировано на эффекты влияния, которое многофазная текучая среда оказывает на движение расходомерной трубки. Однако упомянутые свойства могут быть скорректированы с учетом других 40 эффектов, чтобы формировать кажущиеся свойства. Например, исходные оценки упомянутых свойств можно корректировать на эффекты влияния температуры и/или давления на свойства, чтобы формировать кажущиеся свойства.

В общем, иногда можно использовать дополнительную информацию (например, известные плотности материалов в отдельных фазах) и/или дополнительные 45 измерения (например, давление многофазной текучей среды или влагосодержание многофазной текучей среды). Таким образом, в некоторых вариантах осуществления, в дополнение к свойствам, полученным на основе движения трубы, например первому кажущемуся свойству, описанному выше, могут измеряться дополнительные или 50 «внешние» свойства многофазной текучей среды, например, температура, давление и влагосодержание, и служить, например, дополнительными входными величинами для нижеописанного преобразования, чтобы определять, по меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, как поясняется ниже, или поддерживать

определение расходов отдельных компонентов многофазной текучей среды. Дополнительные свойства могут измеряться другим устройством, а не расходомером. Например, влагосодержание многофазной текучей среды, которое отражает долю многофазной текучей среды, которая приходится на воду, может определяться измерителем влагосодержания. Дополнительное свойство может также содержать давление, соответствующее расходомерной трубке. Давление, соответствующее расходомерной трубке, может быть, например, давлением многофазной технологической текучей среды на впуске расходомерной трубки и/или разностью давлений на расходомерной трубке. Дополнительное свойство может быть температурой многофазной технологической текучей среды.

В некоторых вариантах осуществления более чем одно кажущееся свойство можно определять на основе движения трубы. Например, в таком варианте осуществления, на основе движения трубы можно определять кажущийся объемный массовый расход многофазной текучей среды и кажущуюся объемную плотность многофазной текучей среды, и оба упомянутых кажущихся свойства можно использовать для определения, по меньшей мере, одного кажущегося промежуточного значения (например, нижеописанного критерия Фруда для газа и жидкости). Ниже описаны примеры того, каким образом можно определять кажущийся объемный массовый расход и кажущуюся объемную плотность.

Кажущийся объемный массовый расход можно определять по среднему значению кажущегося объемного массового расхода по расходомеру Кориолиса, где период усреднения выбран так, чтобы отражать баланс между подавлением шумов, обусловленных эффектом двух фаз с одной стороны, и обеспечением динамической характеристики, связанной с истинными изменениями расхода, с другой стороны. Период усреднения может составлять, например, 1 секунду. Нижеприведенное уравнение выражает связь между средним кажущимся массовым расходом и кажущимся объемным массовым расходом:

$$m_m^a = \bar{m}_0.$$

Кажущийся массовый расход по расходомеру Кориолиса можно определять из следующего уравнения, в котором ϕ означает наблюдаемую разность углов сдвига по фазе для расходомерной трубки 215 в градусах, измеренную датчиками 205 (например, разность фаз между сигналами, измеренными датчиками 205), f означает наблюдаемую частоту расходомерной трубки 215 в герцах, T означает температуру расходомерной трубки 215 в градусах Цельсия, A и B являются температурными коэффициентами, характерными для расходомерной трубки, F_2 означает коэффициент калибровки потока, и F_f означает коэффициент потока, настраиваемый в эксплуатационных условиях (который имеет номинальное значение 1,000):

$$T_0 = 20^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T - T_0$$

$$m_0 = F_f \cdot F_2 \cdot \left(1 + A \cdot \Delta T + B \cdot \Delta T^2\right) \cdot \frac{6400}{f} \cdot \text{tg}\left(\frac{\pi}{360} \phi\right)$$

Кажущаяся объемная плотность многофазной технологической текучей среды может определяться по среднему значению кажущейся плотности, определенной по расходомеру Кориолиса:

$$\rho_m^a = \bar{\rho}_p, \text{ где}$$

$$T_0 = 20,0^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T - T_0$$

$$\Delta P = P_i - P_0$$

$$\rho_0 = \frac{256}{f^2} \cdot D_2 \cdot (1 + C \cdot \Delta T) + D_4 \cdot (1 + D \cdot \Delta T)$$

$$\rho_p = \rho_0 + k_{pd} \cdot (P_i - P_0) + k_{dbias}$$

В вышеприведенном уравнении ρ_0 означает исходную плотность в кг/м^3 , ρ_p означает плотность, скорректированную на давление в кг/м^3 , P_i бар_{абс} означает давление на входе расходомерной трубки 215, P_0 бар_{абс} означает настроенное эталонное давление, k_{pd} $\text{кг/м}^3/\text{бар}$ и k_{dbias} кг/м^3 означают калибровочные постоянные, характеризующие расходомерную трубку, действующие для конкретных диапазонов изменения рабочего давления расходомерной трубки и плотности газа, f означает собственную частоту расходомерной трубки 215 в герцах, P_0 означает эталонное давление в бар_{абс}, P_i означает давление на входе в бар_{абс}, и T означает температуру расходомерной трубки в градусах Цельсия, D_2 и D_4 являются калибровочными постоянными, характеризующими расходомерную трубку. C и D являются параметрами температурной компенсации, характеризующими расходомерную трубку. Более общее уравнение для коррекции кажущейся объемной плотности с учетом давления имеет следующий вид, где k_{pd2} и k_{pd4} означают калибровочные постоянные, характеризующие расходомерную трубку:

$$T_0 = 20,0^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = T - T_0$$

$$\Delta P = P_i - P_0$$

$$\rho_p = \frac{256}{f^2} \cdot D_2 \cdot (1 + C \cdot \Delta T) \cdot (1 + k_{pd2} \Delta P) + D_4 \cdot (1 + D \cdot \Delta T) \cdot (1 + k_{pd4} \Delta P)$$

По меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, соответствующее многофазной технологической текучей среде, определяется на основе первого кажущегося свойства (520). В общем, кажущееся промежуточное значение (или кажущиеся промежуточные значения) является значением, связанным с многофазной текучей средой, которая содержит неточности, обусловленные включением, по меньшей мере, двух фаз в многофазную текучую среду. Кажущееся промежуточное значение может быть, например, критерием Фруда газа или негазообразного материала.

В одном варианте осуществления кажущиеся промежуточные значения могут содержать как кажущийся критерий Фруда негазообразного материала, так и кажущийся критерий Фруда газа. Критерии Фруда являются безразмерными величинами, которые могут отражать сопротивление объекта, перемещающегося по текучей среде, и которые можно использовать для описания характеристик многофазных текучих сред. Кажущийся критерий Фруда газа можно вычислить с использованием нижеследующего уравнения, в котором m_g^* означает кажущийся массовый расход газа, ρ_g означает оценку плотности газообразной фазы на основе уравнений состояния идеального газа (или любой модели истинной плотности газа, например, согласно стандартам Американской газовой ассоциации (AGA) или Международной организации по стандартизации (ISO), с использованием знаний о составляющих материалах и наблюдаемых давлении и температуре), ρ_l означает оценку плотности жидкости в негазообразной фазе многофазной текучей среды, A означает площадь поперечного сечения расходомерной трубки, D означает диаметр расходомерной трубки, и g означает ускорение силы тяжести:

$$Fr_g^a = \frac{m_g^a}{\rho_g A \sqrt{g \cdot D}} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}} = K \cdot V_g^a \cdot \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g}}$$

5 где $K = \frac{1}{\sqrt{g \cdot D}}$, кажущаяся скорость газа $V_g^a = \frac{m_g^a}{\rho_g A}$.

Аналогично, критерий Фруда негазообразного материала (который может быть критерием Фруда жидкости) можно вычислить с использованием нижеследующего уравнения, в котором m_i^a означает кажущийся массовый расход жидкости, если
10 присутствует, по меньшей мере, две жидкости):

$$Fr_l^a = \frac{m_i^a}{\rho_l A \sqrt{g \cdot D}} \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g}} = K \cdot V_l^a \cdot \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_l - \rho_g}}$$

15 Оценки плотностей жидкой и газообразной фаз многофазной текучей среды можно определить, как описано ниже. В настоящем примере многофазная текучая среда содержит две жидкие фазы (например, первую жидкость, которой является вода, и вторую жидкость, которой является конденсат) и одну газообразную фазу. Однако аналогичные вычисления можно выполнять для других многофазных текучих сред. В
20 нижеприведенном уравнении, ρ_{10} кг/м³ означает базовую плотность жидкости при известной температуре T_{10} °С, и k_j /°С является коэффициентом, который обеспечивает линейную коррекцию упомянутой плотности в зависимости от отклонения температуры от базовой температуры T_{10} , и соответствующие значения известны из
25 знания конкретных веществ, которые содержатся в многофазной текучей среде. Плотности составляющих жидкостей, ρ_{11} , ρ_{12} кг/м³, при текущей температуре текучей среды можно определять следующим образом:

$$\rho_{11} = \rho_{110} \cdot (1 + k_{11} \cdot (T - T_{110})).$$

$$\rho_{12} = \rho_{120} \cdot (1 + k_{12} \cdot (T - T_{120})).$$

30 В некоторых вариантах осуществления пользователь может вводить объемную долю (x) потока первой жидкости. В других вариантах осуществления объемную долю потока можно принимать известной. В еще одних вариантах осуществления объемную долю потока можно оценивать или получать из устройства, измеряющего
35 влагосодержание, например, измерителя влагосодержания.

В предположении отсутствия сдвига между жидкими фазами, объемная доля потока первой жидкости, x_1 % может определяться выражением:

$$40 \quad x_1 = \left(\frac{\rho_l - \rho_{12}}{\rho_{11} - \rho_{12}} \right) \cdot 100\%$$

С использованием x_1 %, и в предположении отсутствия сдвига между жидкими фазами, комбинированную плотность жидкости (т.е. плотность жидкости жидкой смеси) можно вычислить из выражений:

$$45 \quad \rho_l = \rho_{12} + \frac{x_1}{100} \cdot (\rho_{11} - \rho_{12})$$

или

$$\rho_l = \frac{x_1}{100} \cdot \rho_{11} + \left(1 - \frac{x_1}{100} \right) \rho_{12}$$

50 Кроме того, оценку плотности ρ_g кг/м³ газа в условиях магистрали с давлением P_l бар_{абс} и T_1 °С на входе в расходомерную трубку Кориолиса можно определять, если дана эталонная плотность газа, ρ_{g0} кг/м³, при эталонном давлении P_{g0} бар_{абс} и эталонной температуре T_{g0} °С. Хотя существует несколько уравнений состояния,

которые учитывают сжимаемость и другие отклонения от идеального состояния, оценка фактической плотности газа с использованием уравнений состояния идеального газа предполагается достаточной, и плотность газовой фазы можно оценить на основе выражения:

$$\rho_g = \rho_{g0} \cdot \frac{P_l}{P_{g0}} \cdot \left(\frac{T_{g0} + 273,15}{T_l + 273,15} \right) \cdot \left(\frac{1}{Z_f} \right).$$

В вышеописанном уравнении Z_f означает сжимаемость газа в газообразной фазе, и для некоторых газов (например, природного газа) сжимаемость изменяется с изменением давления в соответствии со следующим уравнением:

$$Z_f = Z_{f0} + k_{zp} \cdot (P - P_0).$$

Кажущиеся массовые расходы жидкой и газообразной фаз многофазной текучей среды можно определить поясняемым ниже способом. Следуя вышеприведенному примеру, многофазная текучая среда содержит две жидкие фазы (например, первую жидкость, которая является водой, и вторую жидкость, которая является конденсатом) и газообразную фазу. Однако аналогичные вычисления могут выполняться для других многофазных текучих сред. Кажущиеся массовые расходы для жидкой смеси и составляющие жидкие компоненты можно вычислять следующим образом:

$$m_l^a = \rho_l v_l^a$$

$$m_{l1}^a = \rho_l v_{l1}^a$$

$$m_{l2}^a = \rho_l v_{l2}^a$$

где v_l^a означает кажущийся объемный расход жидкой смеси, v_{l1}^a означает кажущийся объемный расход первой жидкости, и v_{l2}^a означает кажущийся объемный расход второй жидкости, из которых все можно вычислить следующим образом:

$$v_l^a = \frac{LVF^a}{100} \cdot v_m^a$$

$$v_{l1}^a = \frac{x_1}{100} \cdot v_l^a$$

$$v_{l2}^a = \left(1 - \frac{x_1}{100} \right) \cdot v_l^a = v_l^a - v_{l1}^a$$

Кажущийся объемный расход многофазной текучей среды, v_m^a , можно вычислить следующим образом:

$$v_m^a = \frac{m_m^a}{\rho_m^a}$$

Кажущуюся объемную долю LVF^a жидкости можно вычислить следующим образом:

$$LVF^a = \frac{\rho_m^a - \rho_g}{\rho_l - \rho_g} \cdot 100\% = 100 - GVF^a,$$

при этом кажущаяся доля GVF^a газовых пустот вычисляется на основе следующего выражения:

$$GVF^a = \frac{\rho_l - \rho_m^a}{\rho_l - \rho_g} \cdot 100\%.$$

Кажущийся массовый расход для газовой фазы можно вычислить с использованием следующего выражения:

$$m_g^a = \rho_g \cdot v_g^a = \rho_{g0} \cdot S v_g^a,$$

где кажущийся объемный расход газа, v_g^a , вычисляется с использованием выражения:

$$v_g^a = \frac{GV F^a}{100} \cdot v_m^a.$$

5 Степень влажности (например, параметр Локхарта-Мартинелли) определяется на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности (525). В одном варианте осуществления, по меньшей мере, одно промежуточное значение является описанными выше критерием Фруда для негазообразного материала и критерием Фруда для газа.

10 Преобразование может быть нейронной сетью, статистической моделью, полиномом, функцией или преобразованием любого другого типа. Нейронную сеть или другое преобразование можно обучать с использованием данных, полученных от многофазной текучей среды, для которой значения составляющих фаз известны.

15 В одном варианте осуществления перед вводом кажущегося промежуточного значения в преобразование кажущееся промежуточное значение можно фильтровать или предварительно обрабатывать для подавления шумов измерения и процесса. Например, к кажущемуся промежуточному значению можно применять линейные фильтры для подавления шумов измерения. Постоянная времени линейного фильтра
20 может быть настроена на значение, которое отражает время реакции измерительной аппаратуры (например, 1 секунда), чтобы фильтр оставался чувствительным к фактическим изменениям текучей среды, протекающей по расходомерной трубке (например, сжиженным массам негазообразной текучей среды), и был способен также
25 подавлять шумы измерения.

Разработка преобразования для коррекции или совершенствования многофазного измерения может включать в себя сбор данных в экспериментальных условиях, при которых истинные или эталонные измерения обеспечивают дополнительной калиброванной контрольно-измерительной аппаратурой. Обычно, нецелесообразно
30 выполнять эксперименты, охватывающие все мыслимые многофазные условия из-за ограничений испытательного оборудования и/или стоимости и времени, связанных с выполнением, возможно, тысяч экспериментов. Кроме того, редко удается поддерживать в точности постоянный режим многофазного потока в течение сколько-нибудь длительного периода времени из-за, по существу, нестабильного режима
35 потока, который возникает в условиях с несколькими фазами. Соответственно, обычно необходимо вычислять средние значения всех соответствующих параметров, включая кажущиеся и истинные или эталонные значения параметров в течение каждого эксперимента, который обычно может продолжаться от 30 с до 120 с. Таким
40 образом, преобразование можно составить по экспериментальным данным, в которых каждое частное значение выводится из среднего по, например, данным за период от 30 с до 120 с.

Осложнения могут возникать при применении полученного преобразования в
45 измерительном приборе при многофазном потоке в реальном времени, когда конкретные значения параметров, наблюдаемые в измерительном приборе, не включаются в преобразование, обеспеченное на основе ранее собранных экспериментальных данных. Существует два основных пути возникновения упомянутых осложнений. В первом случае, хотя условия, влияющие на измерительный
50 прибор и усредненные по временной последовательности за приблизительно 15-120 с, соответствуют условиям, охваченным преобразованием, мгновенные значения параметров могут выпадать за пределы области вследствие шумов измерения и/или мгновенных изменений фактических условий, обусловленных нестабильностями,

свойственными многофазному потоку. Как пояснялось выше, данный эффект можно, в какой-то степени, ослабить усреднением по времени или фильтрацией параметров, используемых в качестве входных величин функции преобразования, хотя существует оптимальное соотношение между эффектами подавления шумов упомянутой
5 фильтрацией и способностью измерительного прибора реагировать на фактические изменения условий в многофазном потоке. В альтернативном варианте усредненные значения параметров могут выходить за пределы преобразования, так как, например, на экспериментальной стадии экономически нецелесообразно охватывать все
10 возможные многофазные условия.

Возможно, было бы бесполезно применять функцию преобразования (либо нейронную сеть, либо полином, либо другую функцию) к данным, которые выходят за пределы области, для которой предназначено преобразование. Применение преобразования к таким данным может приводить к формированию
15 низкокачественных результатов измерений. Соответственно можно применить процедуры ограничения, обеспечивающие, чтобы ход процедуры преобразования подходил для значений параметров, выходящих за пределы области преобразования, независимо от причин, по которым параметры выходят за пределы области преобразования. Данные, которые заключены в этой области, можно именовать
20 подходящими данными.

Следовательно, кажущееся промежуточное значение можно «ограничивать» прежде, чем вводить кажущееся промежуточное значение в преобразование. Что касается вариантов осуществления, которые содержат одну величину для ввода в преобразование, область подходящих данных можно задавать, по меньшей мере,
25 одним пределом, диапазоном или порогом. В других вариантах осуществления могут существовать, по меньшей мере, две величины для ввода в преобразование. В таких вариантах осуществления область подходящих данных можно задавать группой линий или плоскостей. Соответственно, когда число величин для ввода в преобразование увеличивается, определение области подходящих данных усложняется. Таким образом, возможно, было бы целесообразно использовать меньше величин для ввода в преобразование. Вышеописанные критерии Фруда для газа и негазообразного материала являются примерами кажущихся промежуточных значений, которые можно вводить в преобразование без дополнительных входных
35 величин. Таким образом, использование критериев Фруда для газа и негазообразного материала может способствовать уменьшению числа величин для ввода в преобразование, что может также способствовать уменьшению сложности процесса ограничения. Кроме того, использование меньшего числа величин для ввода в преобразование может приводить к упрощению преобразования, что может способствовать сокращению вычислительных ресурсов, используемых преобразованием, и способствовать повышению скорости определения скорректированных промежуточных значений, основанных на преобразовании.

На фиг.7 ограничение показано упрощенно. В настоящем примере кажущееся промежуточное значение 710 является значением, которое выходит за пределы заданной области 715 и может определяться как непригодное для ввода в преобразование. В настоящем примере область 715 ограничивают две линии,
45 линия 720 и линия 725. Для коррекции кажущегося промежуточного значения, которое, как установлено, выходит за пределы заданной области обычно, задают правила. Например, кажущееся промежуточное значение, которое выходит за пределы заданной области (например, кажущееся промежуточное значение 710), может
50

отклоняться преобразованием (например, кажущееся промежуточное значение не корректируется преобразованием), кажущееся промежуточное значение может вообще не вводиться в преобразование, к кажущемуся промежуточному значению можно применить постоянную коррекцию вместо коррекции, задаваемой преобразованием, или можно применить коррекцию, соответствующую коррекции, которая применялась бы к значению, ближайшему к кажущемуся промежуточному значению. Можно реализовать другие правила коррекции кажущегося промежуточного значения, которое выходит за пределы заданной области. В общем, ограничение является особым для конкретного преобразования и задается для каждого преобразования.

Как показано на фиг.5А, выходной величиной преобразования является степень влажности в расходомерной трубке. Степень влажности обычно обеспечивает показание количества жидкости, присутствующей в многофазной текучей среде. Следовательно, в примерном процессе 500А расходомер Кориолиса может действовать как прибор, который обеспечивает упомянутую степень влажности для многофазной текучей среды, даже несмотря на то, что расходомер Кориолиса обычно калибруют для измерения свойств однофазной текучей среды. Как изложено выше, степень влажности может быть параметром Локхарта-Мартинелли.

Как показано на фиг.5В, примерный процесс 500В может использовать степень влажности и результаты измерений из расходомера 304 переменного перепада давления для определения, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной технологической текучей среды. Например, процесс 500В можно использовать для определения массового расхода каждой фазы многофазной технологической текучей среды. В общем, примерный процесс 500В использует степень влажности многофазной технологической текучей среды, определяемую в расходомерной трубке, как изложено выше (525), вместе со вторым кажущимся свойством многофазной технологической текучей среды, измеренным расходомером 304 переменного перепада давления.

Многофазную технологическую текучую среду пропускают через расходомер 304 переменного перепада давления (560), и второе кажущееся свойство определяется с использованием расходомера 304 переменного перепада давления (565). Расходомер переменного перепада давления может быть измерительной диафрагмой расходомера, как изложено выше со ссылкой на фиг.3. В других вариантах осуществления расходомер переменного перепада давления может быть расходомером Вентури или V-образным расходомером. В еще одних вариантах осуществления можно использовать любое препятствие потоку, характеристики которого можно определять. Дополнительно или в качестве альтернативы, можно применять расходомеры других типов. Например, возможно применение расходомеров на основе вихревых, турбинных, электромагнитных или ультразвуковых явлений.

Второе кажущееся свойство является кажущимся свойством многофазной технологической текучей среды, определяемым расходомером переменного перепада давления. В одном варианте осуществления второе кажущееся свойство является массовым расходом многофазной текучей среды, определяемым измерительной диафрагмой расходомера, как если бы текучая среда представляла собой сухой газ. Подобно расходомеру Кориолиса, расходомер переменного перепада давления также будет давать неточные результаты, когда присутствует многофазная технологическая текучая среда. В частности, измерительный преобразователь или другое устройство для обработки данных, применяемое для выполнения определений на основе информации, получаемой из расходомера, который содержит измерительную

диафрагму расходомера, может выполнять определения в предположении, что многофазная текучая среда является сухим газом. Таким образом, показания, полученные измерительной диафрагмой расходомера, для многофазной текучей среды, являются неточными и в основном отражают массовый расход многофазной текучей среды, как если бы такая среда являлась сухим газом.

По меньшей мере, одно скорректированное фазозависимое свойство многофазной текучей среды определяют на основе второго кажущегося свойства и степени влажности (570). В общем, многофазная технологическая текучая среда является многофазной технологической текучей средой, которую пропускают через расходомерную трубку, описанную выше на фиг.5А, хотя, многофазная технологическая текучая среда может претерпевать физические изменения, когда текучая среда протекает между расходомерной трубкой и расходомером переменного перепада давления. Например, температура или давление многофазной технологической текучей среды может различаться на расходомере Кориолиса и расходомере переменного перепада давления, и плотность многофазной текучей среды может различаться на расходомерной трубке и расходомере Кориолиса. Например, изменения давления и температуры могут оказывать одинаковое влияние на любые газообразные фазы, содержащиеся в многофазной текучей среде. Соответственно, степень влажности, определяемая в расходомерной трубке, преобразуется в степень влажности в расходомере переменного перепада давления, чтобы учитывать изменения условий.

Например, если степень влажности является параметром Локхарта-Мартинелли, как поясняется со ссылкой на фиг.5А, и расходомер переменного перепада давления является измерительной диафрагмой расходомера, то параметр Локхарта-Мартинелли на измерительной диафрагме расходомера можно выразить нижеследующим образом, где $X_{L-M}(OP)$ означает параметр Локхарта-Мартинелли на измерительной диафрагме расходомера, $X_{L-M}(FT)$ означает параметр Локхарта-Мартинелли в расходомерной трубке, $\rho_g(OP)$ означает плотность газообразной фазы многофазной технологической текучей среды на измерительной диафрагме расходомера, $\rho_l(OP)$ означает плотность жидкой фазы многофазной технологической текучей среды на измерительной диафрагме расходомера, $\rho_g(FT)$ означает плотность газообразной фазы многофазной технологической текучей среды на расходомерной трубке, и $\rho_l(FT)$ означает плотность жидкой фазы многофазной технологической текучей среды на расходомерной трубке:

$$X_{L-M}(OP) = \frac{m_l}{m_g} \sqrt{\frac{\rho_g(OP)}{\rho_l(OP)}} = X_{L-M}(FT) \cdot \sqrt{\frac{\rho_l(FT)}{\rho_g(FT)}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_g(OP)}{\rho_l(OP)}}.$$

Оценки плотностей газообразной и жидкой фаз можно определять методом, аналогичным методу, описанному со ссылкой на операцию 520 процесса 500А, за исключением использования температурных условий и условий давления в расходомере 304 переменного перепада давления вместо условий в расходомере 306 Кориолиса.

В продолжение настоящего примера, по меньшей мере, одно скорректированное фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды определяют на основе массового расхода многофазной текучей среды как сухого газа и параметра Локхарта-Мартинелли на измерительной диафрагме 304 расходомера (который базируется на параметре Локхарта-Мартинелли в расходомере 306 Кориолиса, как пояснялось выше). В настоящем примере фазозависимое свойство является массовым расходом газообразной и жидкой фаз многофазной технологической текучей среды.

Однако аналогичный процесс можно использовать, чтобы определять другие фазозависимые свойства для газообразной, жидкой и/или твердой фаз, содержащихся в многофазной технологической текучей среде.

5 В частности, скорректированный массовый расход газообразной фазы многофазной технологической текучей среды определяется на основе параметра Локхарта-Мартинелли на измерительной диафрагме расходомера (или другого расходомера переменного перепада давления) в соответствии с поправочным уравнением Мердока или другим подходящим уравнением (например, для
10 расходомеров Вентури можно использовать уравнения Де Лю), где $m_{гТР}$ означает массовый расход многофазной технологической текучей среды как сухого газа, измеренный расходомером переменного перепада давления, и X_{L-M} означает параметр Локхарта-Мартинелли на измерительной диафрагме расходомера:

$$15 \quad m_g^c = \frac{m_{гТР}}{1 + 1,26 X_{L-M}}.$$

Массовый расход жидкой фазы многофазной технологической текучей среды можно оценить на основе следующего уравнения:

$$20 \quad m_i^c = X_{L-M}^c \cdot m_g^c \cdot \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_g}}.$$

Когда в жидкой фазе содержатся, по меньшей мере, две жидкости, массовые расходы конкретных жидких компонентов можно определить с использованием
25 следующих выражений:

$$m_{i1}^c = \rho_{i1} v_{i1}^c$$

$$m_{i2}^c = \rho_{i2} v_{i2}^c$$

где v_{i1}^c является скорректированным объемным расходом первой жидкости, и v_{i2}^c
30 является скорректированным объемным расходом второй жидкости, которые можно вычислить следующим образом:

$$v_i^c = \frac{m_i^c}{\rho_i}$$

$$35 \quad v_{i1}^c = \frac{x_1}{100} \cdot v_i^c$$

$$v_{i2}^c = \left(1 - \frac{x_1}{100}\right) \cdot v_i^c$$

где x_1 означает измеренную или принятую объемную долю потока компоненты 1 текучей среды, как упоминалось выше.

40 Способ коррекции по Мердоку дополнительно описан в работе Murdock, J.W., «Two-phase flow with orifices», Journal of Basic Engineering, ASME Transactions 84(4), pp.419-433, December 1962.

В качестве альтернативы, в частности, когда текучая среда является влажным газом, скорректированный массовый расход газообразной фазы можно определять из
45 нижеприведенных уравнений коррекции Чизхолма:

$$m_g = \frac{m_{гТР}}{\sqrt{1 + C \cdot X_{L-M} + X_{L-M}^2}} = \frac{m_{гТР}}{\sqrt{1 + X_{L-M} \cdot (C + X_{L-M})}}$$

50 где

$$C = \left(\frac{\rho_l}{\rho_g}\right)^{0,25} + \left(\frac{\rho_g}{\rho_l}\right)^{0,25} \quad (\text{для } X_{L-M} < 1).$$

Кроме того, скорректированный массовый расход жидких фаз можно определять на основе следующих уравнений, которые описаны выше:

$$m_{i1}^c = \rho_{i1} v_{i1}^c$$

$$5 \quad m_{i2}^c = \rho_{i2} v_{i2}^c$$

$$v_i^c = \frac{m_i^c}{\rho_i}$$

$$v_{i1}^c = \frac{x_1}{100} \cdot v_i^c$$

$$10 \quad v_{i2}^c = \left(1 - \frac{x_1}{100}\right) \cdot v_i^c$$

Коррекция по Чизхолму дополнительно описана в работах Chisholm, D., «Flow of incompressible two-phase mixtures through sharp-edged orifices», IMechE Journal of Mechanical Engineering Science, Volume 9, No. 1, pp.72-78, February 1967, и Chisholm, D., «Research Note: Two-phase flow through sharp-edged orifices», IMechE Journal of Mechanical Engineering Science, Volume 19, No. 3, pp.128-130, June 1977.

В других вариантах осуществления можно применять другие методы коррекции, при необходимости, в зависимости от типа применяемого расходомера переменного перепада давления. Например, если применяется расходомер Вентури, то можно воспользоваться методом коррекции по Де Лю. Такая коррекция аналогична по форме коррекции по Чизхолму с модифицированными коэффициентами. См., например, работы De Leeuw, H., «Wet Gas Flow Measurement using a combination of Venturi meter and a tracer technique», North Sea Flow Measurement Workshop, Peebles, Scotland, Oct. 1994, и De Leeuw, H., «Liquid Correction of Venturi Meter Readings in Wet Gas Flow», North Sea Flow Measurement Workshop, Norway, Oct. 1997.

Соответственно, степень влажности многофазной технологической текучей среды, пропускаемой по расходомерной трубке, можно использовать вместе с кажущимся свойством многофазной технологической текучей среды, определяемым путем пропускания текучей среды через расходомер переменного перепада давления, чтобы определять фазозависимые свойства многофазной технологической текучей среды.

На фиг.6 показан примерный процесс 600, который можно применить для проверки на наличие погрешностей или неисправностей путем сравнения оценок фазозависимых свойств, определяемых расходомером Кориолиса, со скорректированными фазозависимыми свойствами, определяемыми в процессе 500В. Согласованность фазозависимых свойств, определяемых двумя разными способами, может обеспечивать показание, что расходомер Кориолиса и расходомер переменного перепада давления работают надлежащим образом.

Как изложено в связи с фиг.5А и 5В, расходомер Кориолиса и расходомер переменного перепада давления можно использовать для определения фазозависимых свойств, например, массового расхода, для составляющих фаз многофазной технологической текучей среды. При применении такого процесса, как процесс 600, фазозависимые свойства многофазной технологической текучей среды можно также определять одним расходомером Кориолиса, и упомянутые фазозависимые свойства можно сравнивать с фазозависимыми свойствами, определяемыми с помощью расходомера переменного перепада давления. В общем, если как расходомер Кориолиса, так и расходомер переменного перепада давления работают надлежащим образом, то фазозависимые свойства являются одинаковыми, независимо от приборов, применяемых для определения свойств.

По меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, связанное с

многофазной технологической текучей средой, определяется на основе первого кажущегося свойства (605). Первое кажущееся свойство является первым кажущимся свойством, описанным выше со ссылкой на фиг.5А. Кажущееся промежуточное значение может быть, например, объемной долей многофазной технологической текучей среды. Объемная доля может быть объемной долей жидкости, которая характеризует часть многофазной технологической текучей среды, которая не является газом. Объемная доля может быть также объемной долей газа, которая характеризует часть многофазной технологической текучей среды, которая является газом. Объемная доля обычно является безразмерным количественным параметром, который можно выражать как процентное содержание. Объемную долю газа можно также называть долей пустот. Если многофазная технологическая текучая среда содержит жидкости и газы, то объемные доли жидкостей и газов составляют в сумме 100%. В других вариантах осуществления кажущиеся промежуточные значения могут быть объемным расходом многофазной текучей среды.

В одном варианте осуществления кажущиеся промежуточные значения являются кажущимся объемным расходом и кажущейся объемной долей жидкости и определяются на основе кажущегося объемного массового расхода и кажущейся объемной плотности. Кажущийся объемный расход в м³/с можно определять из следующего уравнения:

$$v_m^a = \frac{m_m^a}{\rho_m^a}$$

Кажущуюся объемную долю жидкости, которая выражается как процентное содержание, можно определять из следующего уравнения, в котором ρ_l является оценкой плотности жидкой фазы многофазной технологической текучей среды и ρ_g является оценкой плотности газообразной фазы многофазной технологической текучей среды:

$$LVF^a = \frac{\rho_m^a - \rho_g}{\rho_l - \rho_g} \cdot 100\% = 100 - GVF^a$$

Оценки плотностей жидкости и газа можно получить так, как описано выше относительно операции 520.

По меньшей мере, одно скорректированное промежуточное значение определяется на основе преобразования между, по меньшей мере, одним кажущимся промежуточным значением и скорректированными промежуточными значениями (610). Например, скорректированные промежуточные значения могут быть скорректированной объемной долей жидкости, LVF^c (%), и/или скорректированным объемным расходом, v_m^c , м³/с. В одном конкретном варианте осуществления скорректированные промежуточные значения являются скорректированной объемной долей жидкости и скорректированным объемным расходом, которые скорректированы, исходя из кажущейся объемной доли жидкости и кажущегося объемного расхода.

Преобразование может представлять собой нейронную сеть, полином, функцию или преобразование любого другого типа, которое связывает кажущиеся промежуточные значения и скорректированные промежуточные значения. В общем, преобразование между, по меньшей мере, одним кажущимся промежуточным значением и скорректированными промежуточными значениями является преобразованием, отличающимся от преобразования между, по меньшей мере, одним кажущимся промежуточным значением и степенью влажности, описанной выше в отношении

фиг.5А. Как изложено выше, величины для ввода в преобразование можно ограничивать и/или фильтровать. Однако, в некоторых вариантах осуществления преобразования могут быть одинаковыми.

5 Нейронную сеть или другое преобразование можно обучать с использованием данных, полученных от многофазной текучей среды, для которой известны значения составляющих фаз. В одном варианте осуществления преобразование является
 10 нейронной сетью, которая получает в качестве входных величин кажущуюся объемную долю жидкости, кажущийся объемный расход, давление на входе колебательно подвижной расходомерной трубки и разность давлений на колебательно
 подвижной расходомерной трубке. Нейронная сеть формирует скорректированную
 объемную долю жидкости и скорректированный объемный расход смеси.

По меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической
 15 текучей среды определяют на основе скорректированного промежуточного значения (615). Фазозависимое свойство может быть, например, массовым расходом и/или плотностью негазообразной и газообразной фаз многофазной текучей среды. Нижеприведенные уравнения поясняют определение оценок фазозависимых массовых
 20 расходов составляющих фаз многофазной технологической текучей среды на основе скорректированного объемного расхода смеси и скорректированной объемной доли жидкости.

Скорректированную объемную долю газообразной фазы, GVF^c , выражаемую как процентное содержание, можно определить из

$$25 \quad GVF^c = 100 - LVF^c \% .$$

Фазозависимый объемный расход газообразной фазы в m^3/c можно определить из нижеприведенного выражения, в котором v_m^c является скорректированным объемным
 30 расходом смеси, как описано выше в отношении этапа (525):

$$30 \quad v_g^c = GVF^c \cdot v_m^c .$$

Фазозависимый массовый расход газообразной фазы многофазной технологической текучей среды можно определять из следующего уравнения:

$$35 \quad m_g^c = \rho_g \cdot v_g^c = \rho_{g0} \cdot sv_g^c ,$$

где скорректированный стандартный объемный расход sv_g^c газа при заданных
 40 стандартных условиях температуры и давления, когда газ имеет плотность ρ_{g0} , задается уравнением

$$40 \quad sv_g^c = \frac{\rho_g}{\rho_{g0}} v_g^c .$$

Фазозависимый массовый расход можно определять также для негазообразных фаз
 многофазной технологической текучей среды (как для жидкой смеси, так и для
 45 конкретных жидких компонент). В продолжение вышеприведенного примера, многофазная технологическая текучая среда содержит газообразную фазу и две жидкие фазы. Скорректированные объемные расходы (m^3/c) жидкой смеси и
 конкретных жидких фаз можно определять из нижеприведенного уравнения, в
 котором v_m^c является скорректированным объемным расходом, описанным выше:

$$50 \quad v_l^a = \frac{LVF^c}{100} \cdot v_m^c$$

$$v_{li}^c = \frac{x_i}{100} \cdot v_l^a$$

$$v_{i2}^c = \left(1 - \frac{x_1}{100}\right) \cdot v_i^c = v_i^c - v_{i1}^c$$

Затем фазозависимый массовый расход первой и второй жидких фаз (и массовый расход жидкости) можно определить из следующих уравнений:

$$m_i^c = \rho_i v_i^c$$

$$m_{i1}^c = \rho_{i1} v_{i1}^c$$

$$m_{i2}^c = \rho_{i2} v_{i2}^c$$

Оценки фазозависимых свойств, определяемых на основе скорректированного промежуточного значения на этапе (615), сравниваются со скорректированным фазозависимым свойством, основанным на степени влажности и втором кажущемся свойстве (620). Сравнение оценок фазозависимых свойств, которые определяются на основе данных из расходомера Кориолиса, со скорректированными фазозависимыми свойствами, которые определяются на основе данных из расходомера Кориолиса и расходомера переменного перепада давления, позволяет оценить, надлежащим ли образом работают приборы. Например, если фазозависимые свойства сравнивают и определяют аналогичными, то такой результат обычно показывает, что расходомер Кориолиса и расходомер переменного перепада давления работают надлежащим образом.

Вычисления, описанные для различных вариантов осуществления, могут выполняться измерительным преобразователем расходомера Кориолиса, вычислительным устройством, связанным с расходомером Кориолиса и/или расходомером переменного перепада давления, или потоковым компьютером или вычислительным устройством, связанным с расходомером Кориолиса и/или расходомером переменного перепада давления.

Выше приведено описание нескольких вариантов осуществления. Тем не менее, следует понимать, что возможно исполнение различных модификаций.

Соответственно, другие варианты осуществления находятся в пределах объема притязаний нижеприведенной формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Способ определения свойств многофазной технологической текучей среды, содержащий следующие этапы:

пропускают многофазную технологическую текучую среду по колебательно подвижной расходомерной трубке и расходомеру переменного перепада давления; вызывают движение колебательно подвижной расходомерной трубки;

определяют первое кажущееся свойство многофазной технологической текучей среды на основе движения колебательно подвижной расходомерной трубки, причем первое кажущееся свойство представляет собой одно, выбранное из кажущегося массового расхода или плотности;

определяют, по меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, соответствующее многофазной технологической текучей среде, на основе первого кажущегося свойства, причем этот этап включает в себя определение первого критерия Фруда, соответствующего негазообразной фазе многофазной технологической текучей среды, и второго критерия Фруда, соответствующего газообразной фазе многофазной технологической текучей среды; и

определяют степень влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, причем этот этап включает в себя

определение степени влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между первым и вторым критериями Фруда и степенью влажности;

5 определяют второе кажущееся свойство многофазной технологической текучей среды с использованием расходомера переменного перепада давления, причем второе кажущееся свойство является массовым расходом такой многофазной технологической текучей среды, как сухой газ;

10 определяют, по меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

2. Способ по п.1, в котором многофазная технологическая текучая среда является влажным газом.

15 3. Способ по п.1, в котором степень влажности является параметром Локхарта-Мартинелли.

4. Способ по п.1, в котором расходомер переменного перепада давления является измерительной диафрагмой расходомера.

20 5. Способ по п.1, дополнительно содержащий следующие этапы:
используют преобразование для определения, по меньшей мере, одного скорректированного промежуточного значения из кажущихся промежуточных значений;

25 определяют, по меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной текучей среды на основе скорректированных промежуточных значений; и сравнивают фазозависимые свойства фазы многофазной текучей среды, определяемые на основе скорректированного промежуточного значения, с фазозависимыми свойствами многофазной технологической текучей среды, определяемыми на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

30 6. Способ по п.1, в котором этап определения, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства заключается в том, что определяют массовый расход газовой фазы многофазной технологической текучей среды.

35 7. Способ по п.1, в котором преобразование является нейронной сетью.

8. Расходомер, содержащий
колебательно подвижную расходомерную трубку, при этом расходомерная трубка выполнена с возможностью вмещения многофазной текучей среды;

40 возбудитель, соединенный с расходомерной трубкой и выполненный с возможностью вызова движения расходомерной трубки таким образом, чтобы расходомерная трубка совершала колебания;

датчик, соединенный с расходомерной трубкой и выполненный с возможностью считывания движения расходомерной трубки и формирования сигнала датчика; и

45 контроллер для получения сигнала датчика и выполненный с возможностью определения первого кажущегося свойства многофазной технологической текучей среды на основе движения колебательно подвижной расходомерной трубки, причем первое кажущееся свойство представляет собой одно, выбранное из кажущегося
50 массового расхода или плотности;

определения, по меньшей мере, одного кажущегося промежуточного значения, соответствующего многофазной технологической текучей среде, на основе первого кажущегося свойства, причем для определения, по меньшей мере, одного кажущегося

промежуточного значения, соответствующего многофазной технологической текучей среде, на основе первого кажущегося свойства, контроллер выполнен с возможностью определения первого критерия Фруда, соответствующего негазообразной фазе многофазной технологической текучей среды, и второго критерия Фруда, соответствующего газообразной фазе многофазной технологической текучей среды; и определения степени влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, причем чтобы определить степень влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, контроллер выполнен с возможностью определения степени влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между первым и вторым критериями Фруда и степенью влажности, получения второго кажущегося свойства многофазной технологической текучей среды, при этом второе кажущееся свойство определяют с использованием расходомера переменного перепада давления, причем второе кажущееся свойство является массовым расходом такой многофазной технологической текучей среды, как сухой газ; определения, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

9. Расходомер по п.8, в котором многофазная технологическая текучая среда является влажным газом.

10. Расходомер по п.8, в котором степень влажности является параметром Локхарта-Мартинелли.

11. Расходомер по п.8, в котором расходомер переменного перепада давления является измерительной диафрагмой расходомера.

12. Расходомер по п.8, в котором контроллер дополнительно выполнен с возможностью

использования преобразования для определения, по меньшей мере, одного скорректированного промежуточного значения из кажущихся промежуточных значений;

определения, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной текучей среды на основе скорректированных промежуточных значений; и сравнения фазозависимых свойств фазы многофазной текучей среды, определяемых на основе скорректированного промежуточного значения, с фазозависимыми свойствами многофазной технологической текучей среды, определяемыми на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

13. Расходомер по п.8, в котором, чтобы определять, по меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства, контроллер выполнен с возможностью определения массового расхода газообразной фазы многофазной технологической текучей среды.

14. Измерительный преобразователь расходомера для применения с колебательно подвижной расходомерной трубкой, связанной с расходомером переменного перепада давления таким образом, что многофазная технологическая текучая среда проходит по колебательно подвижной расходомерной трубке и расходомеру переменного перепада давления, при этом измерительный преобразователь расходомера содержит,

по меньшей мере, одно устройство для обработки данных и запоминающее устройство, причем запоминающее устройство хранит команды для предписания, по меньшей мере, одному устройству для обработки данных:

5 вызывать движение колебательно подвижной расходомерной трубки, причем колебательно подвижная расходомерная трубка выполнена с возможностью вмещения многофазной технологической текучей среды;

определять первое кажущееся свойство многофазной технологической текучей среды на основе движения колебательно подвижной расходомерной трубки, причем
10 первое кажущееся свойство представляет собой одно, выбранное из кажущегося массового расхода или плотности;

определять, по меньшей мере, одно кажущееся промежуточное значение, соответствующее многофазной технологической текучей среде, на основе первого
15 кажущегося свойства, причем для определения, по меньшей мере, одного кажущегося промежуточного значения, соответствующего многофазной технологической текучей среде, на основе первого кажущегося свойства, команды содержат команды для предписания устройству для обработки данных определять первый критерий Фруда, соответствующий негазообразной фазе многофазной технологической текучей среды,
20 и второй критерий Фруда, соответствующий газообразной фазе многофазной технологической текучей среды; и

определять степень влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся
25 промежуточных значений и степенью влажности, причем для определения степени влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, команды содержат команды для предписания устройству для обработки данных определять степень влажности многофазной технологической текучей среды
30 на основе преобразования между первым и вторым критериями Фруда и степенью влажности;

получать второе кажущееся свойство многофазной технологической текучей среды, причем второе кажущееся свойство определяется с использованием расходомера переменного перепада давления, причем второе кажущееся свойство является
35 массовым расходом такой многофазной технологической текучей среды, как сухой газ;

определять, по меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

40 15. Измерительный преобразователь по п.14, в котором многофазная технологическая текучая среда является влажным газом.

16. Измерительный преобразователь по п.14, в котором степень влажности является параметром Локхарта-Мартинелли.

45 17. Измерительный преобразователь по п.14, в котором, чтобы определять, по меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства, команды содержат команды для предписания устройству для обработки данных определять массовый расход газовой фазы многофазной технологической текучей среды.

50 18. Система определения свойств многофазной технологической текучей среды, содержащая

колебательно подвижную расходомерную трубку, выполненную с возможностью вмещения многофазной технологической текучей среды;

расходомер переменного перепада давления, связанный с колебательно подвижной расходомерной трубкой; и по меньшей мере, одно устройство для обработки данных, выполненное с возможностью

5 вызова движения колебательно подвижной расходомерной трубки; определения первого кажущегося свойства многофазной технологической текучей среды на основе движения колебательно подвижной расходомерной трубки, причем первое кажущееся свойство представляет собой одно, выбранное из кажущегося
10 массового расхода или плотности;

определения, по меньшей мере, одного кажущегося промежуточного значения, соответствующего многофазной технологической текучей среде, на основе первого кажущегося свойства, причем для определения, по меньшей мере, одного кажущегося промежуточного значения, соответствующего многофазной технологической текучей
15 среде, на основе первого кажущегося свойства, по меньшей мере, одно устройство для обработки данных выполнено с возможностью определения первого критерия Фруда, соответствующего негазообразной фазе многофазной технологической текучей среды, и второго критерия Фруда, соответствующего газообразной фазе многофазной
20 технологической текучей среды; и

определения степени влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, чтобы определять степень
25 влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между, по меньшей мере, одним из кажущихся промежуточных значений и степенью влажности, по меньшей мере, одно устройство для обработки данных выполнено с возможностью определения степени влажности многофазной технологической текучей среды на основе преобразования между первым и вторым критериями Фруда и
30 степенью влажности;

получения второго кажущегося свойства многофазной технологической текучей среды, определяемого с использованием расходомера переменного перепада давления, причем второе кажущееся свойство является массовым расходом такой многофазной технологической текучей среды, как сухой газ;

35 определения, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства.

19. Система по п.18, в которой, по меньшей мере, одно устройство для обработки
40 данных дополнительно выполнено с возможностью

использования преобразования для определения, по меньшей мере, одного скорректированного промежуточного значения из кажущихся промежуточных значений;

45 определения, по меньшей мере, одного фазозависимого свойства многофазной текучей среды на основе скорректированных промежуточных значений; и

сравнения фазозависимых свойств фазы многофазной текучей среды, определяемых на основе скорректированного промежуточного значения, с фазозависимыми свойствами многофазной технологической текучей среды, определяемыми на основе
50 степени влажности и второго кажущегося свойства.

20. Система по п.18, в которой первое кажущееся свойство содержит кажущийся массовый расход и второе кажущееся свойство содержит массовый расход многофазной технологической текучей среды как сухого газа.

21. Система по п.18, в которой, чтобы определять, по меньшей мере, одно фазозависимое свойство многофазной технологической текучей среды на основе степени влажности и второго кажущегося свойства, по меньшей мере, одно устройство для обработки данных выполнено с возможностью определения массового расхода газообразной фазы многофазной технологической текучей среды.

10

15

20

25

30

35

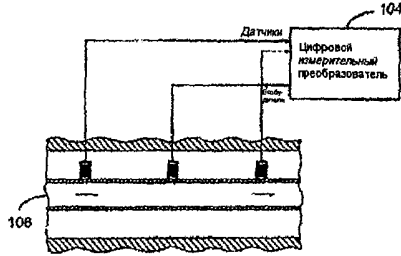
40

45

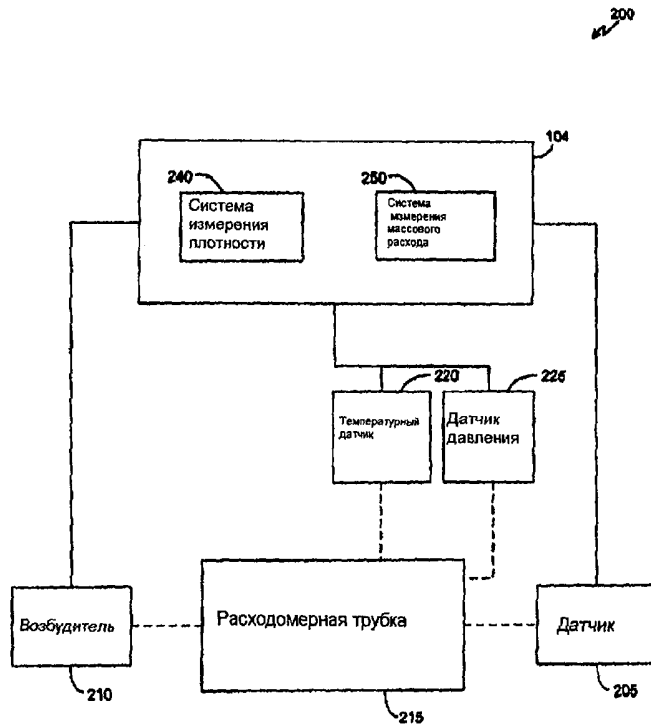
50



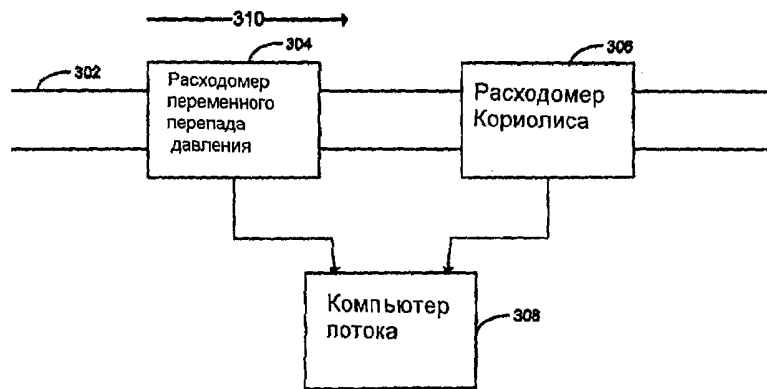
ФИГ. 1А



ФИГ. 1В

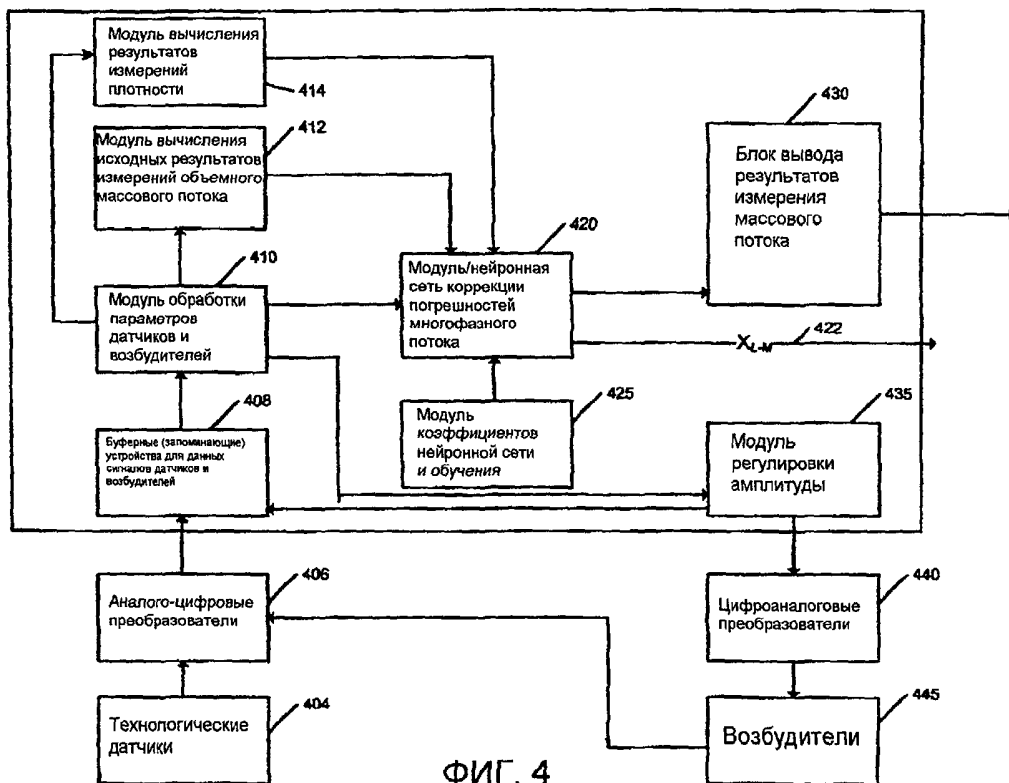


ФИГ. 2



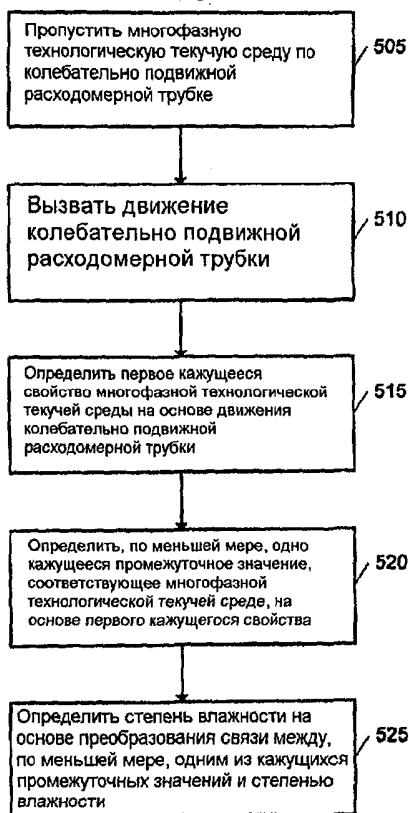
ФИГ. 3

400



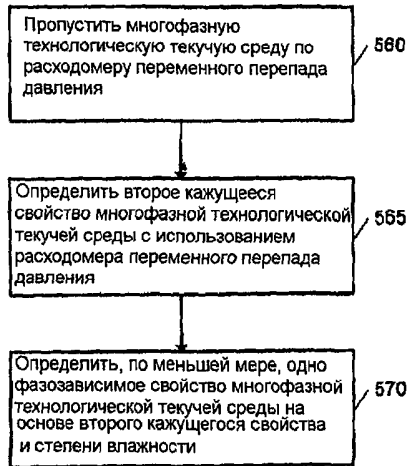
ФИГ. 4

500A



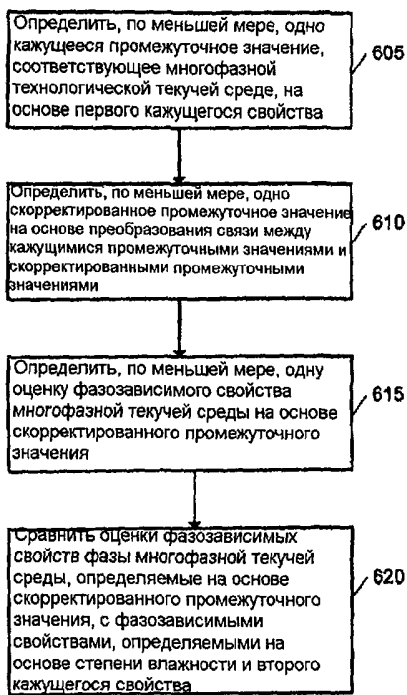
ФИГ. 5А

500B

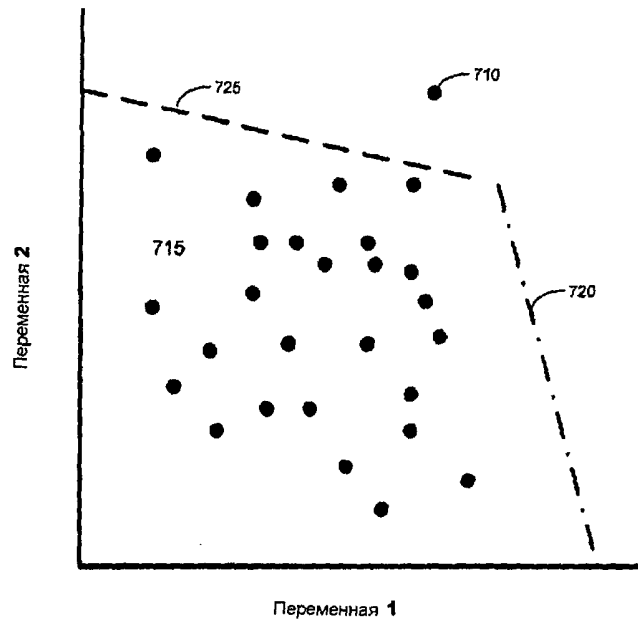


ФИГ. 5B

600



ФИГ. 6



ФИГ. 7