



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
E21B 47/103 (2021.02); *G01F 1/74* (2021.02)

(21)(22) Заявка: 2020128754, 31.08.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
 31.08.2020

Дата регистрации:
 01.06.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 31.08.2020

(45) Опубликовано: 01.06.2021 Бюл. № 16

Адрес для переписки:
 117997, Москва, ГСП-7, ул. Профсоюзная, 65,
 ИПУ РАН, патентный отдел

(72) Автор(ы):

Попов Александр Иванович (RU),
 Беляев Михаил Михайлович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
 учреждение науки Институт проблем
 управления им. В.А. Трапезникова
 Российской академии наук (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
 о поиске: RU 2445582 C1, 20.03.2012. RU
 2244266 C1, 10.01.2005. RU 2249181 C1,
 27.03.2005. RU 2521282 C1, 27.06.2014. RU
 2611439 C1, 22.02.2017. US 3204460 A, 07.09.1965.
 JP 2008107298 A, 08.05.2008.

(54) УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ДОЛЕЙ КОМПОНЕНТОВ В ПОТОКЕ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ

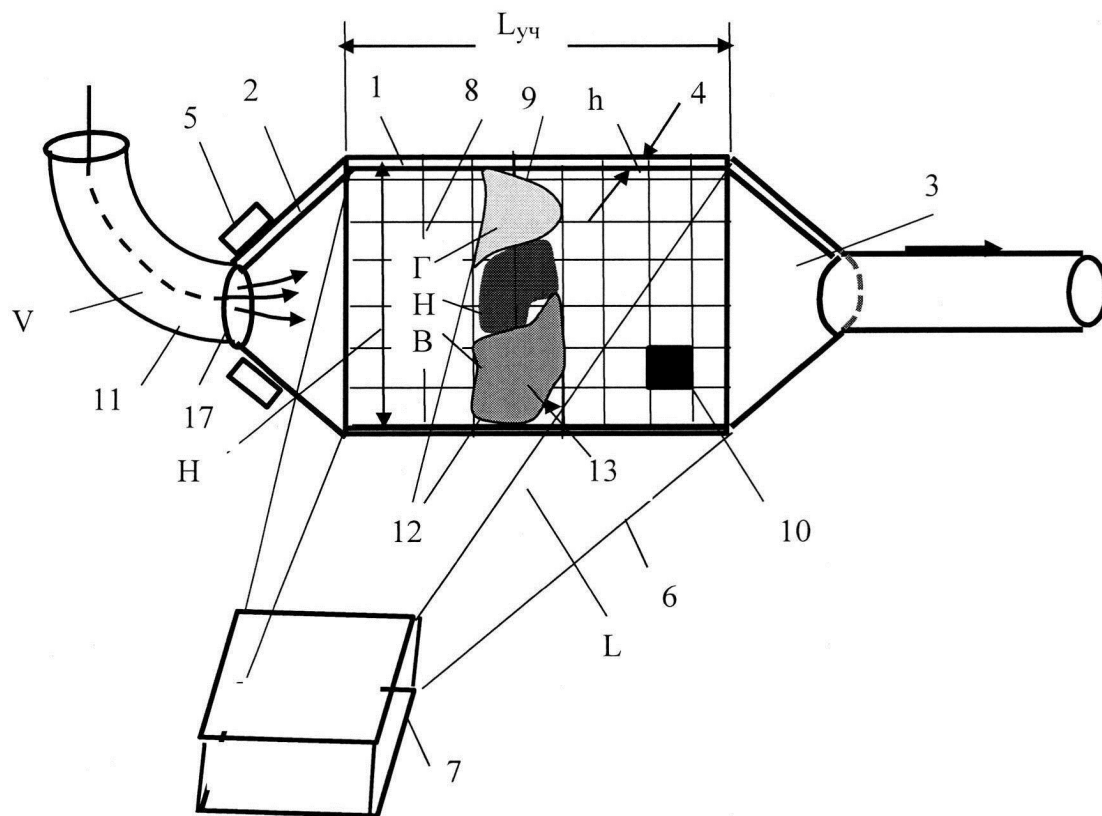
(57) Реферат:

Полезная модель относится к области измерения расхода многокомпонентных газожидкостных потоков. Устройство измерения долей компонентов в потоке двухфазной среды содержит по потоку поворотное колено с импульсным нагревателем, входной в щелевой корпус патрубков с расширяющимся по потоку сечением, с расположенной на внешнем радиусе

колена плоской стенкой, к которой посредством сужающегося конуса прикреплен тепловизор с вычислительным комплексом обработки информации, и выходной из щелевого корпуса патрубков с сужающимся по потоку сечением. Обеспечивается упрощенное измерение долей компонентов в потоке двухфазной среды при визуализации термограммы тепловизором. 2 ил.

RU 204591 U1

RU 204591 U1



Фиг. 1

Предложенная полезная модель измерения долей компонентов в потоке двухфазной среды относится к области измерения расхода многокомпонентных газожидкостных потоков и может быть использован в нефтяной промышленности.

Известны устройства измерения расхода газожидкостного потока, в которых
5 используются различные методы покомпонентного измерения газожидкостной среды (ГЖС). В известных решениях определение и измерение текущих долей компонентов смеси основываются на идентификации компонентов путем использования различных их физических свойств. Например, таких физических свойств, как различный отклик на пропускаемую через измеряемый поток электромагнитную энергию СВЧ-диапазона
10 (патент RU 2269765 С1); или различный отклик компонентов на пропускаемые вдоль потока ультразвуковые акустические волны с использованием эффекта (Кокуев А.Г., Сорин А.В. Устройство для измерения расхода многофазного потока, Вестник Астраханского государственного технологического университета, сер. Управление, вычисл. техн. информ. 2015, №1, стр. 7-14); или неодинаковый отклик на проходящий
15 поперек потока лазерный луч на основе оптико-акустического эффекта (Васильев Т.Р., Кокуев А.Г. Прибор для измерения расхода многофазного потока на основе оптико-акустического эффекта, Вестник Дагестанского технического университета 2016, том 43, выпуск 4, стр. 34-41).

Примененные в них идентифицирующие параметры оптический эффект, акустическая
20 плотность, длинные волны, испускаемые из разных источников, отклик на ядерно-магнитный резонанс требуют сложную аппаратную оснастку и тонкую избирательность. Это усложняет устройство системы измерения.

Известное тепловое меточное устройство измерения текущих долей компонентов в потоке двухфазной среды, реализованное в расходомере и принятое нами за прототип
25 (Д.Д. Булкин, Г.А. Соколов. Бесконтактный тепловой расходомер для измерения газожидкостных потоков/ж. Датчики и системы. Sensors & Systems • №12.2008), состоит в последовательном измерении теплового пограничного слоя и измерении меточным методом скорости потока. Известным устройством измеряются разность температур термопреобразователей до и после нагревателя и время прихода тепловой метки к
30 термопреобразователю после нагревателя, по которой определяются доли компонентов жидкости и газа.

Недостатком известного устройства является двухступенчатый непрерывный нагреватель потока двухфазной среды с завышенной затратой энергии для измерения данных разности температур.

35 Техническим результатом является обеспечение упрощенного измерения долей компонентов в потоке двухфазной среды при визуализации термограммы тепловизором.

Технический результат достигается тем, что устройство измерения долей компонентов в потоке двухфазной среды, характеризующееся тем, что содержит по потоку среды поворотное колено с импульсным нагревателем, входной в щелевой корпус патрубков
40 с расширяющимся по потоку сечением с расположенной на внешнем радиусе колена плоской стенкой, к которой посредством сужающегося конуса прикреплен тепловизор с вычислительным комплексом обработки информации, и выходной из щелевого корпуса патрубков с сужающимся по потоку сечением.

На фиг. 1 представлена конструктивная схема устройства измерения долей
45 компонентов в потоке двухфазной среды и величины излучения компонентами по термограмме на стенке щелевого корпуса.

На фиг. 2 показано на поворотном колене изменение профиля эпюры скоростей потока до поворота 14 и после 15 (влияние центробежных сил).

По устройству (фиг. 1) измерения текущих долей компонентов в потоке двухкомпонентной среды (или их отношения), характеризующегося тем, что поток среды со скоростью V проходит через поворотное колено 11 с импульсным нагревателем 5 на входном патрубке 2 с расширяющимся по потоку сечением в щелевой корпус 1 с расположенной на внешнем радиусе колена 1 плоской стенкой 4, к которой посредством сужающегося конуса 6 прикреплен тепловизор 7 с вычислительным комплексом обработки информации, и выходной патрубком 3 с сужающимся по потоку сечением из щелевого корпуса 1.

В изогнутых трубах и каналах (коленах, отводах) 11, вследствие искривления течения потока, появляются центробежные силы, направленные от центра кривизны к внешней стенке 4 трубы. Этим обуславливается повышение давления у внешней стенки с понижением скорости (эпюра 14, фиг. 2) и понижение его у внутренней с повышением скорости. Переход потока из изогнутой части в прямолинейную (после поворота) сопровождается обратными явлениями: диффузорным эффектом с уменьшением скорости течения вблизи внутренней стенки (эпюра 15, рис. 2) и конфузорным (увеличения скорости) вблизи внешней. На изогнутом участке образуется замкнутая вихревая зона 16, которая с дальнейшим увеличением числа $Re=(2-2,5) \cdot 10^5$ окончательно рассасывается и на выходе отсутствует (Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/М. Машиностроение. 1992). Кроме того, расширение величины сечения входного патрубка 2 с диффузорным эффектом приводит к дополнительному сглаживанию потока и замедлению общей скорости, выравниванию эпюры скоростей без отрыва потока от стенок щелевого корпуса 1. Такое сочетание конструктивных приемов позволяет стабилизировать поток перед его проходом в щелевой корпус 1 для последующей идентификации состава компонентов потока двухфазной среды по излучательной способности ϵ .

Подробный анализ течения при гидравлическом повороте позволяет обосновать некоторые дополнительные свойства этого механизма. Можно считать, что инерционные силы уменьшают слой компонентов, прижатых к продольной плоской стенке 5, через которую извлекается необходимые параметры температуры и излучательной способности ϵ компонентов, не оставляя за измеряемым в поперечном слое компонентов другого свойства. При этом уменьшаются связи перемешивания между компонентами, уменьшается передача взаимного теплообмена компонентов излучением внутри потока, увеличивается адгезия компонентов к продольной стенке с увеличением теплопроводности, повышается достоверность ИК-изображения, предотвращая передачу тепловой энергии по самой стенке от компонента к компоненту.

Кроме того, положительное влияние инерционных сил проявляется в том, что происходит выравнивание поля скоростей компонентов жидкой В и газовой Г фаз. Если рассматривать поворотное колено как элемент «циклона», то газовая фаза, расположенная между продольной стенкой и жидкой фазой практически исчезает, перемещаясь согласно плотности выше жидкой фазы. Происходит увеличенное расслоение фаз, нефть Н со своей плотностью также перемещается. Искривление потока проводится в двух плоскостях - в плоскости чертежа и перпендикулярной к нему, показанным эллипсом 17 выходного отверстия колена 1 трубы.

Текущие доли компонентов в потоке среды определяются с помощью передачи ИК-изображения температурных областей компонентов на термограмме, а по величинам излучательной способности ϵ каждого компонента на экране тепловизора идентифицируется сам компонент.

Процесс работы устройства по ПМ начинается от теплоотдачи компонентам

определенного теплового заряда Q_k от импульсного источника заряда Q и формирования тепловой метки 13 размером $L \times H$ компонентов в потоке двухфазной среды, далее следует передача теплового заряда (потока) от заряженных компонентов тепловой метки к плоской стенке щелевого корпуса измерительного участка (от нагретых ИК компонентов менее нагретым областям продольной стенки измерительного участка) по зависимости

$$Q_k = \beta_k F_k \tau \Delta T_k \text{ [Дж]},$$

где β_k - коэффициент теплоотдачи, $[\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})]$;

F_k - площадь поверхности, через которую происходит теплоотдача, $[\text{м}^2, \text{пикселях}]$;

τ - продолжительность процесса теплоотдачи, $[\text{с}]$;

ΔT_k - разность температур поверхности плоской стенки и компонента, $[\text{К}, ^\circ\text{C}]$.

В предложенной модели импульсный источник тепла излучает тепло внутрь трубы потоку смеси, поэтому тепловой заряд Q_k поглощается только компонентами и этим определяется коэффициент поглощения α_k . По закону Кирхгофа поглощательная способность α_k равна излучательной способности компонента $\epsilon_k = \alpha_k$, и, следовательно, $T_k = Q_k / \epsilon_k F_k \tau$.

По процедуре измерения тепловизор объединен с плоским измерительным участком щелевого корпуса 1 трубопровода закрытым кожухом 6, внутри которого имеется атмосфера с температурой $T_{\text{окр}}$. Одновременно плоская излучающая стенка 4 измерительного участка щелевого корпуса 1 поглощает излучение, испускаемое окружающей средой внутри кожуха 6, величиной теплового потока $Q_{k4} = 5,7 \epsilon_k$

$\Delta_k \tau (T_{\text{окр}}/100)^4$. При температуре компонента T_k тепловой метки 13, преобразованной в температуру T_{ky} на термограмме, и величине большей окружающей температуры $T_{\text{окр}}$, и при одинаковой площади $F_k = A_k$, то количество теплоты, действующего на матрицу тепловизора будет иметь вид $Q_{k \text{ матр}} = 5,7 \epsilon_k A_k \tau [(T_{ky}/100)^4 - (T_{\text{окр}}/100)^4]$. Далее для анализа программным обеспечением (ПО) тепловизора ведется построение областей 14 изотермами 15 и идентификация областей 14 в принадлежности конкретному компоненту по излучательной способности ϵ_k областей, образованных изотермами 12 компонентов. После этого следует вычисление суммарных площадей разделенных различными изотермами 12 однотипной температуры и пропорциональных отношений к общей площади тепловой метки 13 термограммы, и далее суммирование всех площадей для определения общих текущих долей компонентов в потоке двухфазной среды.

Поток проходит через гидравлическое поворотное колено 11 во входной патрубок 2 с расширяющимся по потоку сечением, по корпусу 1, содержащему измерительный участок 4, к выходному патрубку 3 с сужающимся по потоку сечением (фиг. 1). Такое выполнение входного патрубка позволяет стабилизировать поток перед его проходом в щелевой корпус для последующей идентификации состава компонентов потока двухфазной среды по излучательной способности, т.е. обеспечивает упрощение измерения долей компонентов в потоке двухфазной среды при визуализации термограммы тепловизором. Во входном патрубке 2 поток импульсным инфракрасным нагревателем 5 равномерно по всему сечению нагревается в течение некоторого времени Δt . Поскольку скорости зарядов компонентов различны из-за различных величин их общих теплоемкостей C (различны и сами скорости течения компонентов), то за

заданное время Δt заряда каждый компонент нагревается до различной температуры T_k в зависимости от его удельной теплоемкости «с», массы «m». Поступившие в измерительный участок 4 щелевого корпуса 1 компоненты, например: вода В, нефть Н и газ Г, нагретые до своих разных температур T_B , T_H и T_G , распределяются под действием инерционных сил после поворота в колене 11 по стенке измерительного участка 4 щелевого корпуса 1, контактируют с ней и создают в ней местные нагретые области в виде термограммы, отображаемой с клеткой 10 в пикселях, соответствующей матрице тепловизора 8. Детектор тепловизора 7 получает инфракрасное излучение и преобразовывает его в электрический сигнал согласно свойствам коэффициента излучательной способности ϵ_k каждого компонента.

Далее строятся изотермы - линии 9, 13, связывающие точки с одинаковой температурой, и выводятся на дисплей эти изотермы с помощью программного обеспечения ПО для анализа (например, Testo IR Soft 2.0) для образования областей Г, Н, В. В процессе отображения изотерм, все точки на ИК-изображении со значениями температуры в заданном диапазоне выделяются одним цветом. Т.е по количеству клеток (пикселей) с равными температурами (цветом) вычисляются области (площади) каждого компонента. По соотношениям этих равнотемпературных площадей определяются текущие доли α масс M_k компонентов в общей массе M потока ($\alpha_k = M_k/M$). Например, суммарные площади с температурой Воды определяют долю воды α_B в общей площади тепловой метки $L \cdot h$ при сохранении закона постоянной массы по сечению измерительного участка (тепловой метке) в виде формулы $1 = \alpha_B + \alpha_H + \alpha_G$ и тогда текущая доля воды определится так $\alpha_B = M_B/M$. Аналогично определяется текущая доля с коэффициентом α_k других компонентов в потоке двухфазной среды.

При изменении скорости V потока двухфазной среды изменяется при неизменном заданном времени Δt импульса теплового заряда длина L , заряженной импульсом зоны потока, длина тепловой метки (фиг. 1). Вычислительный комплекс тепловизора 7 определяет общую текущую массу M всех компонентов и отдельно массы M_k компонентов по их долям α в соответствии с площадями на термограмме 13 измерительного участка 4 щелевого корпуса 1.

Идентификация компонента выполняется сравнением величин излучательной способности ϵ на областях термограммы измерительного участка с известными ϵ из различных источников. Например для воды $\epsilon_B = 0,67$ при $t = 38^\circ\text{C}$ (ws.studylib.ru; также incoll.ru; также En.ppt-online.Org); для нефти (oil) $\epsilon_H = 0,94$, $\epsilon_H = 0,82$ (слой масла) (instanko.ru, также En.ppt-online. Org); для сырой нефти $\epsilon_H = 0,2$; для газа (метан, метанол) $\epsilon_G = 0,07$ (С.А. Бобков, А.В. Бабури, П.В. Комраков \ Физико-химические основы развития и тушения пожаров. Уч. Пособие. МЧС России. М. 2014).

Скорость течения компонентов не влияет на величину областей, определяющих массовую текущую составляющую долей компонентов в общем массовом подсчете текущих долей двухфазной среды. При большей скорости потока будут большие области по пикселям компонентов при прежнем соотношении областей.

Раздельно текущие доли компонентов в потоке подсчитываются как $M_k = \alpha_k M$.

Например, для газожидкостного потока воды, нефти и газа: $M_B = \alpha_B M$, $M_H = \alpha_H M$, $M_G = \alpha_G M$.

Предложенное устройство обеспечивает бесконтактное измерение долей компонентов в потоке двухфазной среды по температуре и за счет использования единого параметра - излучательной способности идентифицировать компоненты, что позволяет упростить

процедуру измерения с пониженной тратой энергии.

(57) Формула полезной модели

Устройство измерения долей компонентов в потоке двухфазной среды,
5 характеризующееся тем, что содержит по потоку поворотное колено с импульсным
нагревателем, входной в щелевой корпус патрубок с расширяющимся по потоку
сечением, с расположенной на внешнем радиусе колена плоской стенкой, к которой
10 посредством сужающегося конуса прикреплен тепловизор с вычислительным
комплексом обработки информации, и выходной из щелевого корпуса патрубок с
сужающимся по потоку сечением.

15

20

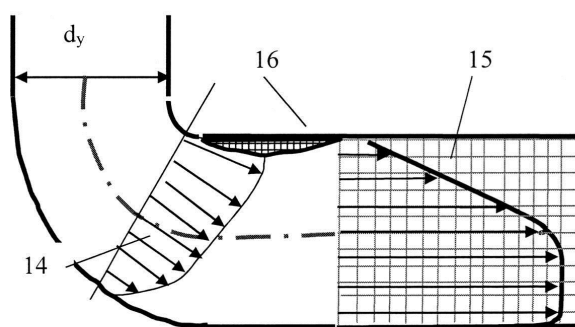
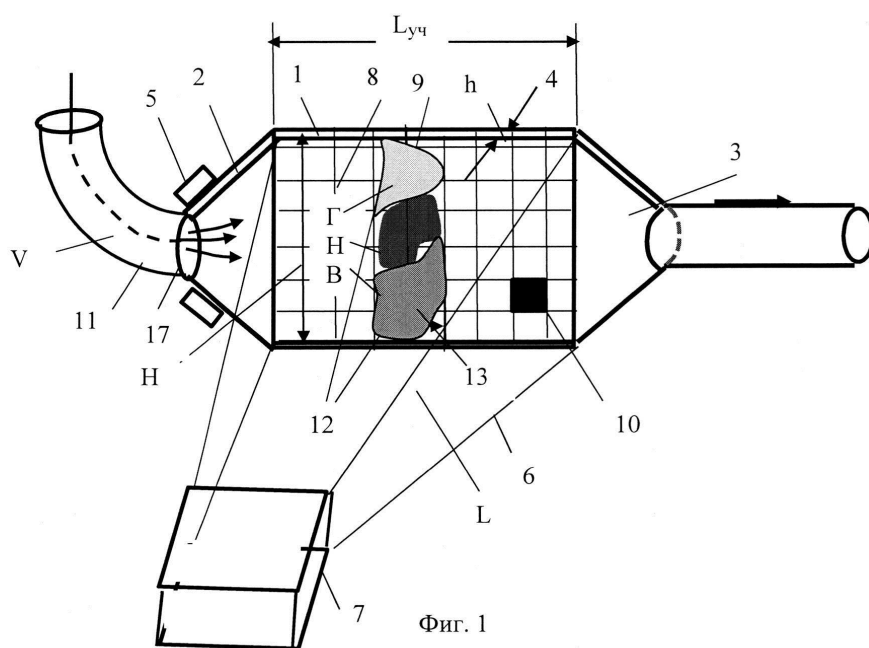
25

30

35

40

45



Фиг. 2