



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2016116272, 04.08.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.08.2014Дата регистрации:  
18.12.2017

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
27.09.2013 US 14/039,006

(43) Дата публикации заявки: 01.11.2017 Бюл. № 31

(45) Опубликовано: 18.12.2017 Бюл. № 35

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 27.04.2016(86) Заявка РСТ:  
US 2014/049556 (04.08.2014)(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2015/047543 (02.04.2015)Адрес для переписки:  
129090, Москва, ул. Б.Спаская, 25, строение 3,  
ООО "Юридическая фирма Городиский и  
Партнеры"(72) Автор(ы):  
УИКЛУНД Дэвид Юджин (US)(73) Патентообладатель(и):  
РОУЗМАУНТ ИНК. (US)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 2009211368 A1, 27.08.2009. WO  
111321 A1, 15.02.2001. US 3765241 A,  
16.10.1973. US 3589185 A, 29.06.1971. US  
2004187598 A1, 30.09.2004.**(54) УСТРОЙСТВО ИЗМЕРЕНИЯ ПОТОКА НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ  
С УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЙ КОНФИГУРАЦИЕЙ ТРУБКИ ПИТО**

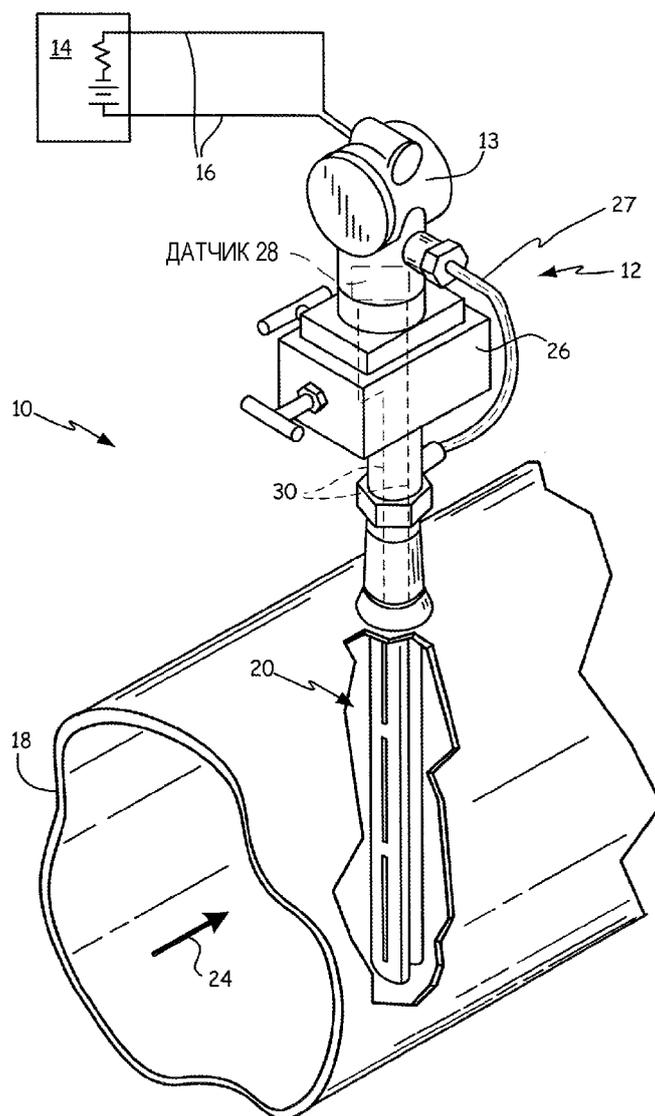
(57) Реферат:

Изобретение относится к измерению потока технологической среды в производственных процессах. Система (12) измерения потока по дифференциальному давлению включает в себя датчик (28) давления, связанный с схемой измерителя (34). Удлиненный зонд (20) выполнен с возможностью вставки в трубопровод (18), который переносит поток технологической текучей среды. Удлиненный зонд, связанный с датчиком давления, имеет поперечное сечение в форме «Т» с расположенной выше по течению частью на верху «Т» и в целом перпендикулярно потоку и с задней частью, которая проходит в направлении в целом параллельно потоку. Система (12) измерения потока также содержит

расположенную выше по течению камеру повышенного давления в расположенной выше по течению части зонда, имеющую по меньшей мере одно расположенное выше по течению отверстие, связанное с датчиком давления, для приложения, тем самым, давления сверху по течению к датчику давления; расположенную ниже по течению камеру повышенного давления в расположенной ниже по течению части зонда, имеющую по меньшей мере одно расположенное ниже по течению отверстие, связанное с датчиком давления, для приложения, тем самым, давления снизу по течению к датчику давления. Датчик (28) давления измеряет разность давлений в потоке текучей среды, создаваемую при протекании

текущей среды мимо зонда (20). Стабилизатор (80, 90) завихрений размещается вблизи удлиненного зонда (20) и в потоке технологической текущей среды. Стабилизатор (80, 90) завихрений выполнен с возможностью стабилизации

завихрений в потоке текущей среды вблизи удлиненного зонда (20). Технический результат – повышение точности измерений путем стабилизации завихрений низкочастотных колебаний. 3 н. и 26 з.п. ф-лы, 6 ил.



ФИГ. 1

RU 2638916 C2

RU 2638916 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01F 1/37* (2006.01)  
*G01F 1/46* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2016116272, 04.08.2014**

(24) Effective date for property rights:  
**04.08.2014**

Registration date:  
**18.12.2017**

Priority:

(30) Convention priority:  
**27.09.2013 US 14/039,006**

(43) Application published: **01.11.2017 Bull. № 31**

(45) Date of publication: **18.12.2017 Bull. № 35**

(85) Commencement of national phase: **27.04.2016**

(86) PCT application:  
**US 2014/049556 (04.08.2014)**

(87) PCT publication:  
**WO 2015/047543 (02.04.2015)**

Mail address:  
**129090, Moskva, ul. B.Spasskaya, 25, stroenie 3,  
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskiji Partnery"**

(72) Inventor(s):  
**UIKLUND Devid Yudzhin (US)**

(73) Proprietor(s):  
**ROUZMAUNT INK. (US)**

(54) **DEVICE FOR FLUX MEASURING ON BASIS OF DIFFERENTIAL PRESSURE WITH PITOT TUBE IMPROVED CONFIGURATION**

(57) Abstract:

FIELD: measuring equipment.

SUBSTANCE: system (12) of the flux measuring on basis of differential pressure comprises the pressure sensor (28), which is linked to the measuring instrument (34) scheme. The extended probing device (20) is capable of the insertion into the pipeline (18), which transfers the flux of the process fluid medium. The extended probing device, which is linked to the pressure sensor, has the cross-section in "T" form with the part, which is located upstream at the top of "T" and is generally perpendicular to the flux, and to the rear part, which lies in the direction, which is generally perpendicular to the flux. The system (12) of the flux measuring also comprises the upstream located compression chamber in the upstream located probing device part. The chamber has at a minimum one

upstream located vent, which is connected to the pressure sensor, for, in so doing, pressure application from above with the stream to the pressure sensor; the downstream located compression chamber in the downstream located probing device part. The chamber has at a minimum one downstream located vent, which is connected to the pressure sensor, for, in so doing, pressure application from the bottom with the stream to the pressure sensor. The pressure sensor (28) measures the pressure difference in the fluid medium flux. The difference is created when fluid medium passing by the probing device (20). The swirling stabiliser (80, 90) is housed nearby the probing device (20) and in the flux of the process fluid medium. The swirling stabiliser (80, 90) is capable of the swirling stabilization in the fluid medium flux nearby the probing

RU 2 638 916 C2

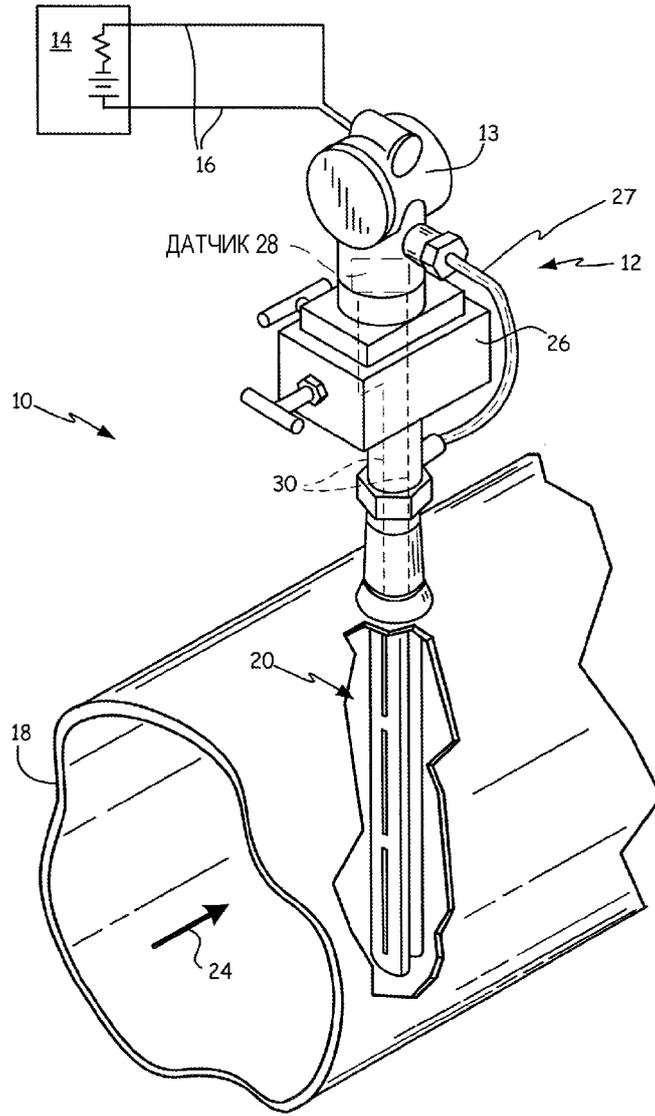
RU 2 638 916 C2

device (20).

EFFECT: measurement accuracy increase by means

of the low-frequency oscillations swirling stabilization.

29 cl, 6 dwg



ФИГ. 1

RU 2638916 C2

RU 2638916 C2

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0001] Настоящее изобретение относится к измерению потока технологической текучей среды в производственных процессах. В частности, настоящее изобретение относится к измерению потока с применением усредняющей трубки Пито, использующей

5 дифференциальное давление.

[0002] Перерабатывающая промышленность использует датчики технологических параметров для контроля этих параметров, связанных с веществами, такими как твердые вещества, шламы, жидкости, пары, и газы на химических, целлюлозно-бумажных, нефтяных, фармацевтических, пищевых, и на других перерабатывающих предприятиях.

10 Технологические параметры включают в себя давление, температуру, поток, уровень, мутность, плотность, концентрацию, химический состав и другие свойства.

Измерительный преобразователь технологического потока предоставляет выходной сигнал, относящийся к измеряемому потоку технологической текучей среды. Выходной сигнал измерительного преобразователя потока может быть передан по контуру

15 технологического контроля на пульт управления, или выходной сигнал может быть передан на другое технологическое устройство, так, чтобы выполнение процесса могло контролироваться и управляться.

[0003] Известна методика измерения расхода текучей среды в ограниченном трубопроводе посредством изменения внутренней геометрии трубопровода и

20 посредством применения определенного алгоритма к измеряемому дифференциальному давлению в текущей текучей среде. Геометрия трубопровода традиционно изменяется посредством реализации переменного сечения трубопровода, так, как в измерителе с трубкой Вентури, или посредством вставки в трубопровод изменяющего поток устройства, такого как диафрагменная пластина, усредняющая трубка Пито, или

25 подобное.

[0004] Усредняющая трубка Пито обычно включает в себя тело обтекания, которое до некоторой степени препятствует потоку текучей среды внутри трубопровода. Разность давлений между расположенной выше по течению стороной и расположенной

ниже по течению стороной трубки Пито измеряется и сопоставляется с расходом.

30 Однако вариации дифференциального давления могут приводить к неточности в определении расхода.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] Система измерения потока по дифференциальному давлению включает в себя датчик давления, связанный с измерительной схемой. Удлиненный зонд выполнен с

35 возможностью вставки в трубопровод, который переносит поток технологической текучей среды. Датчик давления измеряет разность давлений в потоке текучей среды, создаваемую при протекании текучей среды мимо зонда. Стабилизатор завихрений располагается вблизи удлиненного зонда и в потоке технологической текучей среды. Стабилизатор завихрений выполнен с возможностью стабилизации завихрений в потоке

40 текучей среды вблизи удлиненного зонда.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0006] Фиг. 1 изображает систему измерения потока настоящего изобретения и вид в разрезе магистрального технологического трубопровода.

[0007] Фиг. 2 - упрощенная блок-схема системы измерения потока и измерительного преобразователя потока в соответствии с одним примерным вариантом реализации

45 настоящего изобретения.

[0008] Фиг. 3А - перспективный вид усредняющей трубки Пито и образующиеся завихрения при прохождении технологической текучей среды мимо трубки.

[0009] Фиг. 3B, 3D, и 3F - графики зависимости амплитуды давления от времени.

[0010] Фиг. 3C и 3E - графики зависимости амплитуды давления от частоты для различных сценариев завихрений.

[0011] Фиг. 4A - вид спереди усредняющей трубки Пито, показанной на Фиг. 1, и иллюстрация примерных ограничителей пограничного слоя.

[0012] Фиг. 4B - вид сзади усредняющей трубки Пито, показанной на Фиг. 1, и иллюстрация примерных ограничителей пограничного слоя.

[0013] Фиг. 4C - перспективный вид усредняющей трубки Пито, показанной на Фиг. 1, и иллюстрация примерных ограничителей пограничного слоя.

[0014] Фиг. 5A и 5B - виды сверху поперечных сечений усредняющей трубки Пито, включающей в себя стабилизатор завихрений, сконструированный как пластина, установленная ниже по течению относительно усредняющей трубки Пито.

[0015] Фиг. 5C - вид сверху поперечного сечения другой конфигурации усредняющей трубки Пито с расположенной ниже по течению пластиной.

[0016] Фиг. 6 - перспективный вид другого примерного варианта реализации стабилизатора завихрений.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЛЛЮСТРАТИВНЫХ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ

[0017] Как отмечено при описании Уровня техники, датчики потока на основе усредняющей трубки Пито обычно действуют посредством образования дифференциального давления в текущей текучей среде. Датчик дифференциального давления может быть использован для измерения этого дифференциального давления, и измеренное давление может быть сопоставлено с расходом технологической текучей среды. Известно, что могут быть получены более точные измерения потока, если давления сверху по течению и снизу по течению, полученные от трубки Пито, представляют собой средние давления, взятые поперек диаметра расходомерной трубки. Хотя это действительно обеспечивает более точные измерения потока, ошибки в измерениях потока все же могут возникать вследствие неустойчивых колебаний дифференциального давления, которые возникают, когда текучая среда проходит мимо зонда. В частности, низкочастотные колебания могут быть неправильно зарегистрированы как изменения расхода. Настоящее изобретение стабилизирует завихрения низкочастотных колебаний и, тем самым, обеспечивает более точное измерение потока. Это описывается ниже более подробно.

[0018] На Фиг. 1 показан схематический вид системы 10 технологического контроля, иллюстрирующий один пример общей конструкции вариантов реализации изобретения. Система 12 измерения потока связана с пультом 14 управления (смоделированным в виде источника напряжения и в виде сопротивления) с помощью контура 16 технологического контроля. Контур 16 может использовать соответствующий протокол для передачи информации о потоке между измерительным преобразователем 12 потока и пультом 14 управления. Например, контур 16 технологического контроля действует в соответствии со стандартным протоколом обрабатывающей промышленности, таким как Highway Addressable Remote Transducer (HART®), FOUNDATION™ Fieldbus, или в соответствии с любым другим соответствующим протоколом. Кроме того, контур 16 технологического контроля может содержать беспроводный контур технологического контроля, в котором информация передается беспроводным образом, например, используя протокол связи WirelessHART® в соответствии со Стандартом IEC 62591. Другие методики коммуникации могут быть использованы, включая сеть Ethernet или оптоволоконные подключения.

[0019] На Фиг. 1 дополнительно показан участок контейнера технологической текучей

среды в разрезе, такого как магистральный трубопровод, или замкнутый трубопровод, 18, в который вставлен измеряющий дифференциальное давление зонд 20. Зонд 20 представляет собой усредняющую трубку Пито, которая диаметрально перекрывает внутреннюю часть магистрального трубопровода 18. Стрелка-указатель 24 на Фиг. 1 указывает направление потока текучей среды в магистральном трубопроводе 18. Коллектор 26 текучей среды и корпус 13 измерительного преобразователя потока показаны как установленные на внешнем конце трубки 20 Пито. Корпус 13 измерительного преобразователя может включать в себя датчик 28 дифференциального давления, который связан текучей средой с зондом 20 через соединительные каналы 30. Кроме того, на Фиг. 1 показан дополнительный соединительный разъем 27 вторичных датчиков, который используется для подключения одного или более датчиков технологического параметра, поддерживаемых зондом 20, к схеме в пределах корпуса 13 измерительного преобразователя потока. Например, он может быть использован для присоединения датчика температуры. Стабилизатор завихрений (не показан на Фиг. 1) размещается вблизи зонда 20 для стабилизации колебаний завихрений вблизи зонда 20, как объясняется более подробно ниже.

[0020] На Фиг. 2 показана системная блок-схема измерительного преобразователя 12 потока. Измерительный преобразователь 12 потока включает в себя корпус 13 измерительного преобразователя потока и зонд 20 измерения дифференциального давления. Измерительный преобразователь 12 потока имеет возможность связи с контуром технологического контроля, таким как контур 16, и приспособлен для передачи выходного сигнала технологического параметра, связанного с потоком технологической текучей среды внутри магистрального трубопровода 18.

Измерительный преобразователь 12 потока включает в себя коммуникатор 32 контура, датчик 28 дифференциального давления, измерительную схему 34, и контроллер 36.

[0021] Коммуникатор 32 контура имеет возможность соединения с контуром технологического контроля, с таким как контур 16, и приспособлен для коммуникации по контуру технологического контроля. Такая коммуникация может осуществляться в соответствии с любым подходящим стандартным протоколом обрабатываемой промышленности; например, с такими протоколами, как указано выше.

[0022] Первый и второй порты 38, 40 связаны с соответствующими первой и второй камерами 42, 44 повышенного давления зонда 20 через соединительные каналы 30. Датчик 28 может быть любым устройством, которое имеет электрическую характеристику, изменяемую в ответ на изменения приложенного давления. Например, датчик 28 может быть емкостным датчиком давления, в котором емкость изменяется в ответ на дифференциальное давление, приложенное между портами 38 и 40. Другие методики измерений также могут быть использованы.

[0023] Измерительная схема 34 соединяется с датчиком 28 и выполнена с возможностью обеспечения выходного сигнала датчика, связанного с дифференциальным давлением между портами 38 и 40. Измерительная схема 34 может быть любой схемой, которая может обеспечить подходящий сигнал, связанный с дифференциальным давлением. Например, измерительная схема 34 может быть аналого-цифровым преобразователем, преобразователем емкости в цифровой сигнал, или любой другой соответствующей схемой.

[0024] Контроллер 36 связан с измерительной схемой 34 и коммуникатором 32 контура. Контроллер 36 приспособлен для предоставления выходного сигнала технологического параметра на коммуникатор 32 контура, который связан с выходным сигналом датчика, предоставляемым измерительной схемой 34. Контроллер 36 может

быть микропроцессором, или любым другим соответствующим устройством. Как правило, контроллер 36 преобразует дифференциальное давление в выходной сигнал, который связан с расходом технологической текучей среды. Контроллер 36 может выполнять компенсацию, например, используя методики аппроксимации кривых, или что-либо подобное, для коррекции нелинейностей в соотношении между дифференциальным давлением и расходом. Для компенсации измерений расхода могут быть использованы дополнительные факторы, включающие в себя компенсацию вариаций из-за температуры, свойства измеряемой технологической текучей среды, абсолютное давление, и т.д.

[0025] Хотя коммуникатор 32 контура, измерительная схема 34 и контроллер 36 были описаны в связи с отдельными модулями, предполагается, что они могут быть объединены, например, в Специализированной Прикладной Интегральной схеме (ASIC). Аналогично, различные программные компоненты в системе на основе микропроцессора могут осуществить объекты измерительной схемы 34, контроллера 36 и коммуникатора 32 контура.

[0026] Зонд 20 измерения дифференциального давления связан с корпусом 13 измерительного преобразователя потока посредством соединительных каналов 30. Таким образом, порт 38 датчика 28 связан с первой камерой 42 повышенного давления, тогда как порт 40 датчика 28 связан со второй камерой 44 повышенного давления. "Камера повышенного давления" представляет собой соединительный канал, трубопровод, или нечто подобное, куда текучая среда определенного вида, или давления, направляется, или допускается, и через который давление текучей среды проводится или передается.

[0027] В показанном варианте реализации, первая (выше по течению) камера 42 повышенного давления включает в себя по меньшей мере одно отверстие 48 и располагается для передачи давления от ударной поверхности 46 (или сверху по течению) зонда на порт 38 датчика 28. Отверстие 48 может иметь любую соответствующую конфигурацию. Отверстие 48 включает в себя продольный компонент, который, в некоторых вариантах реализации, может быть достаточно протяженным, чтобы отверстие 48 (такое, как щель) было бы по существу ориентировано по продольной оси зонда 20. Вторая (снизу по течению) камера 44 повышенного давления включает в себя безударную (или снизу по течению) поверхность 50, расположенную с интервалом ниже по течению от ударной поверхности 46. Безударная поверхность 50 включает в себя по меньшей мере одно безударное отверстие 52, располагаемое для передачи давления от безударной поверхности через камеру 44 повышенного давления на порт 40 датчика 28. Местоположения измерения давлений приведены в иллюстративных целях, и изобретение не ограничивается этой конфигурацией.

[0028] Как отмечено при описании Уровня техники, вариации дифференциального давления могут привести к ошибкам в измерениях потока. Было отмечено, что расходомер на основе трубки Пито, такой как расходомеры с Усредняющей Трубкой Пито (АРТ), может иметь значительные вариации выходного сигнала. Система АРТ создает дифференциальное давление между ее расположенными выше и ниже по течению сторонами. Это может быть использовано в следующих уравнениях для измерения массового или объемного расхода:

$$Q_{\text{mass}} = N \times K \times D^2 \times Y_1 \times \sqrt{DP \times \rho} \quad \text{Уравнение (1)}$$

$$Q_{\text{volumetric}} = N \times K \times D^2 \times Y_1 \times \sqrt{DP / \rho} \quad \text{Уравнение (2)}$$

[0029] В Уравнениях (1) и (2), массовый расход приведен в единицах массы на единицу

времени (кг/час, фунт/секунда, и т.д), и объемный расход приведен в единицах фактического объема на единицу времени (фактические кубические футы/час, фактические кубические метры/минута, и т.д.). Множитель N - это постоянный коэффициент преобразования, значение которого определяется единицами различных других множителей в Уравнениях (1) и (2). Переменные в уравнениях (1) и (2) - это диаметр трубопровода, D, который является функцией температуры, коэффициент расширения газа, Y1, который учитывает изменение плотности текучей среды, когда он изменяет скорость движения через устройство, и является функцией отношения дифференциального давления и статического давления, плотность текучей среды, ρ, которая является функцией статического давления и температуры, и дифференциальное давление (DP), которое измеряется между передней и задней гранями АРТ. Остающийся множитель - это коэффициент расхода, K. Это эмпирический множитель, который количественно задает отношение истинного расхода через расходомер и теоретического расхода через измеритель. Коэффициент расхода может быть простой константой, или он может быть функцией числа Рейнольдса.

[0030] Следует отметить, что K - это эмпирический множитель. Необходимость определения K эмпирически возникает из-за того факта, что область потока вокруг АРТ характеризуется отделением потока от передних краев зонда 20 с образующейся зоной сильной турбулентной рециркуляцией на расположенной ниже по течению стороне. Область давлений в зоне рециркуляции имеет значительные нестабильные вариации, которые приводят к вариациям дифференциального давления (DP). Другой фактор, который вносит свой вклад в вариации DP (или, альтернативно, в K), - это то, что ширина типичной АРТ намного меньше диаметра трубопровода. В конце концов, при этом оказывается, что типичное применение АРТ предполагает длинную, гибкую распорку, перекрывающую по диаметру трубопровод. Другая технология расходомеров, имеющая некоторые подобию с АРТ, - это вихревой расходомер. В расходомере этого типа, тело обтекания перекрывает трубопровод (подобно АРТ) и имеет разделение потока с подобной зоной сильной турбулентной рециркуляции на расположенной ниже по течению стороне. Различие технологий заключается в коэффициенте блокирования. Он задается следующим Уравнением (3):

$$B = \frac{4 \times d}{\pi \times D} \quad \text{Уравнение (3)}$$

[0031] В Уравнении (3), d - ширина АРТ, обращенная к поступающему потоку (для вихревых измерителей это ширина стержневого тела обтекания), и D - диаметр трубопровода. Для вихревых измерителей коэффициент блокирования остается по существу тем же самым для всех размеров измерителей (то есть ширина стержневого тела обтекания изменяется для каждого размера трубопровода), тогда как для измерителей с АРТ данный АРТ может быть использован для широкого диапазона размеров трубопровода. Для АРТ это означает, что коэффициент блокирования уменьшится при увеличении размера трубопровода для данной ширины АРТ. Для вихревых расходомеров блокировка поддерживается постоянной для использования динамического подобию и гарантии того, что все измерители будут иметь те же самые гидродинамические характеристики. Эта стратегия оказывается успешной для вихревых измерителей, прежде всего вследствие того, что завихрения проявляются в значительной степени как двумерные. То есть несмотря на то что стержневое тело обтекания перекрывает трубопровод, эффекты перекрытия оказываются минимальными. Было показано, что явление завихрения остается согласованным вдоль перекрытия, пока

отношение протяженности перекрытия к ширине стержневого тела обтекания составляет приблизительно между 4:1 и 5:1. Фактически, все коммерческие вихревые измерители проектируются с учетом этого. Отделенная область потока вокруг большинства трубок АРТ - это индикация того, что они образуют вихри.

5 [0032] В АРТ, дифференциальное давление получается вычитанием давления снизу по течению (которое измеряется в вихревой зоне) из давления застоя на стороне сверху по течению. Оба из этих давлений обычно измеряются в камерах повышенного давления с множественными портами давления, которые служат для усреднения давления поперек  
10 текущего потока. В большинстве случаев, сигнал дифференциального давления возникает со стороны всасывания или со стороны снизу по течению. Учитывая это, важно минимизировать флуктуации в поле давлений на стороне снизу по течению.

[0033] Вихревая зона АРТ в большой степени обусловлена завихрениями. Для меньших размеров трубопровода, когда блокировка сильнее, завихрения могут быть более  
15 однородными вдоль перекрытия АРТ. Когда размер трубопровода увеличивается, и коэффициент блокирования уменьшается, согласованность завихрений вдоль перекрытия может стать менее выраженной. Это аналогично тому, что происходит при формировании торнадо. Извилистая форма формирующегося торнадо закручивается при его снижении к земле. В случае АРТ, отделение потока не остается фиксированным  
20 вдоль поверхности АРТ. Фактически, ось вихрей искажается, когда некоторая их часть отделяется раньше других. Завихрения не согласованы вдоль размаха ограничителя. Следует отметить, что частоты  $f_{m1}$  и  $f_{m2}$  могут не иметь дискретного и распознаваемого частотного спектра, как показано на Фиг. 3С. Могут быть, или не быть, распознаваемые частоты, имеющиеся в сигнале давления, соответствующем  $f_{m1}$  и  $f_{m2}$ . Однако будет  
25 общее уширение пика завихрений, как показано на Фиг. 3С, в противоположность острому пику, показанному на Фиг. 3Е.

[0034] В системе АРТ, имеются четыре эффекта давления, которые следует рассматривать. Во-первых, давление сверху по течению (давление застоя) будет слабо  
30 варьироваться вдоль перекрытия АРТ. Это обусловлено профилем скорости в трубопроводе. Для полностью развернутого турбулентного потока в трубопроводе давление несколько повышается к центру. Следовательно, давление застоя будет варьироваться вдоль передней грани АРТ. Может быть некоторый вторичный поток, устанавливаемый в расположенной выше по течению камере повышенного давления, но это вряд ли будет динамический эффект и, таким образом, он не будет приводить к  
35 вариациям давления в измеряемом давлении застоя. Во-вторых, имеется давление сверху по течению, которое колеблется поперечным образом сверху по течению относительно зонда, когда поток разделяется и проходит вокруг обеих сторон зонда. Другие два эффекта давления возникают при измерении давления снизу по течению. Во-первых, имеются флуктуации давления непосредственно из-за вихрей. Частоты завихрений  
40 изменяются, например, приблизительно по порядку от 5 Гц до 100 Гц для жидких применений и приблизительно по порядку от 100 до 1000 Гц для газовых применений. Частотная характеристика типичных измерительных преобразователей дифференциального давления обычно такова, что для частот намного больших 10 Гц флуктуации давления затухают до нерегистрируемого уровня. Поэтому флуктуации  
45 давления снизу по течению следует учитывать только для очень низких скоростей потока в применениях жидкого потока. Поскольку интенсивность вихрей (то есть уровень флуктуаций давления) связана с квадратом скорости, флуктуации давления при малых скоростях становятся относительно малыми. Более существенны флуктуации давления в следе за телом, которые обусловлены вихрями и которые не образуются

согласованно вдоль перекрытия АРТ. Это может привести к градиентам давления вдоль задней грани АРТ, что может вызвать вторичные потоки в расположенной ниже по течению камере повышенного давления. Такие флуктуации и/или вторичные потоки могут иметь малую вариацию и/или случайный характер. Такие вариации проявятся как низкочастотное колебание в сигнале дифференциального давления. Фиксированная частота выборки для измерительных преобразователей дифференциального давления сделает выходной сигнал расходомера шумным и менее повторяемым.

[0035] Вихри, которые формируются на стороне объекта в потоке снизу по течению, имеют очень сложную конфигурацию, которая варьируется и с положением, и со временем. На Фиг. 3А показана сильно упрощенная диаграмма, иллюстрирующая следовые вихри 33-1, 33-2, и 33-3, которые формируются на сбегавшем краю (неударная сторона) 50 зонда 20. Вихри 33-1, 33-2, и 33-3 формируются в различных положениях вдоль длины зонда 20. Они могут рассматриваться как отдельные срезы по технологической текучей среде, и фактические вихри непрерывно формируются вдоль длины зонда 20, когда они также двигаются вниз по течению (в правую сторону) на Фиг. 3А. Отдельные вихри формируются быстро и колеблются между любой стороной зонда 20. Кроме того, позиционирование, форма и временная цикличность вихрей изменяются вдоль длины зонда 20. На Фиг. 3В приведен график, показывающий амплитуду давления в зависимости от времени для вихрей 33-1, показанных на Фиг. 3А. Как показано на Фиг. 3В, имеется первичное колебание вихря с частотой  $f_V$ , которая содержится в пределах более низкочастотной огибающей, показанной как  $f_{m1-2}$ . Эти частоты приведены на графике зависимости амплитуды от частоты, который показан на Фиг. 3С. На Фиг. 3С показаны низкие частоты  $f_{m1}$  и  $f_{m2}$ , а также частота  $f_V$  первичных завихрений. Как правило,  $f_V$  - это достаточно высокая частота, так что она не мешает измерениям давления, используемым для определения расхода. Однако более низкочастотная огибающая, сформированная частотами  $f_{m1}$  и  $f_{m2}$ , может быть измерена датчиком давления, используемым для измерения дифференциального давления, и может приводить к ошибкам в измерениях потока. Как обсуждается ниже более подробно, расположенный ниже по течению элемент может быть использован для ослабления низкочастотной огибающей, которая модулирует частоту  $f_V$  завихрений и, тем самым, уменьшить ошибки в измерениях потока. На Фиг. 3Е представлен график амплитуды давления в зависимости от времени, показывающий воздействия на завихрения, когда используется расположенный ниже по течению элемент. Аналогично, Фиг. 3Е - график амплитуды в зависимости от частоты. Как показано на Фиг. 3D и 3Е, низкочастотная огибающая, сформированная частотами  $f_{m1}$  и  $f_{m2}$ , устранена. Таким образом, ошибки в измерениях давления оказываются сниженными.

[0036] В дополнение к низкочастотным колебаниям отдельных вихрей имеются также временные вариации вихрей, если рассматривать их вдоль длины зонда. На Фиг. 3F показаны графики амплитуды в зависимости от времени для вихрей 33-1 и 33-2. Как показано на Фиг. 3F, между этими вихрями имеется временное смещение. Временной сдвиг, показанный на Фиг. 3F, может привести к вариации давления в камерах повышенного давления зонда 20, которые приводят к ошибкам в измерениях потока. Как обсуждается более подробно ниже, ограничители пограничного слоя могут быть установлены вблизи зонда 20 для снижения этих временных вариаций и, тем самым, увеличения точности измерения потока. Фиг. 4А, 4В, и 4С иллюстрируют один из примерных вариантов реализации таких ограничителей пограничного слоя.

[0037] На Фиг. 4А приведен вид спереди, показывающий передний край зонда 20, и

Фиг. 4В - вид сзади, показывающий задний край зонда 20. На Фиг. 4А расположенные выше по течению отверстия 48 распределены вдоль размаха обращенной выше по течению стороны зонда 20. Аналогично, на Фиг. 4В, отверстия 52 распределены вдоль размаха обращенной ниже по течению стороны зонда 20 с обеих сторон

5 дополнительного расположенного ниже по течению элемента 54 зонда 20. На Фиг. 4А и 4В показано множество стабилизирующих завихрения ограничителей 80 пограничного слоя, действие которых описано ниже более подробно. На Фиг. 4С приведен перспективный вид зонда 20 и показана одна примерная конфигурация ограничителей 80 пограничного слоя, которые проходят вокруг внешней окружности зонда 20.

10 [0038] Ограничители 80 пограничного слоя, показанные на Фиг. 4А-С, действуют для прерывания передачи внешнего давления вдоль размаха зонда 20. Это обуславливает такое поведение текучей среды, как будто она ограничена геометрией, которая находится в пределах длины когерентности. Это служит для упорядочения завихрений. Соответствующий выбор размеров ограничителей и местоположений отверстий приведет

15 тогда к тому, что завихрения будут более однородными вдоль размаха зонда 20, приводя к более повторяемому дифференциальному давлению. Кроме того, в дополнение к установлению размеров ограничителей 80 пограничного слоя и местоположения отверстий 48, 52, ширина зонда 20 может быть откорректирована в различных точках, чтобы повысить регулярность завихрений. Это более важно вблизи стенок трубопровода,

20 где скорость несколько меньше. Ограничители 80 пограничного слоя, которые ближе к стенкам трубопровода, могут способствовать минимизации этих эффектов. В одном объекте размер и/или конфигурация ограничителей 80 пограничного слоя варьируются вдоль размаха зонда 20. Хотя ограничители 80 пограничного слоя показаны как плоские элементы, любая соответствующая конфигурация может быть использована. Кроме

25 того, интервал, местоположение, размер и форма ограничителей 80 пограничного слоя могут быть изменены так, как это желательно.

[0039] На Фиг. 5А и 5В показан примерный расположенный ниже по течению элемент для улучшения согласованности завихрений и, тем самым, для уменьшения вариаций в измерении дифференциального давления из-за низкочастотных компонентов,

30 показанных на Фиг. 3В и 3С. На Фиг. 5А и 5В приведены виды сверху сечений одной конфигурации зонда 20, показывающие расположенную выше по течению камеру 42 повышенного давления и расположенную ниже по течению камеру 44 повышенного давления. Показан трапециевидный АРТ, однако форма может варьироваться так, как это желательно. Снизу по течению относительно АРТ имеется стабилизатор завихрений,

35 выполненный как пластина 90, прикрепленная к АРТ в нескольких точках, но позволяющий потоку пройти между пластиной 90 и зондом 20. Следует отметить, что расположенная ниже по течению камера 44 повышенного давления может поддерживаться пластиной 90. В такой конфигурации порты давления, которые открыты из камеры повышенного давления в технологическую текучую среду, могут быть

40 расположены на расположенной ниже по течению стороне пластины 90. Такая конфигурация показана на Фиг. 5С, в которой пластина 90 расположена ниже по течению от камеры 42 повышенного давления и образует камеру 44 повышенного давления. Изначально, когда поток приближается к зонду 20, возникает колебание 93 сверху по течению, поскольку поток поперечно колеблется поперек грани зонда. Поток первоначально отделяется от передних краев 92 АРТ, формируя вихри. Прежде, чем они полностью будут сформированы, поток снова отделяется от углов 94 расположенной

45 ниже по течению пластины 90. Эксперименты по визуализации потока и моделирование потока показали, что такие конфигурации производят чрезвычайно регулярные (то

есть меньшее среднеквадратичное отклонение частоты вихря при данном расходе) и интенсивные вихри с интенсивным поперечным потоком (то есть в вертикальном направлении на Фиг. 5А и 5В) между АРТ 20 и пластиной 90. Как показано на Фиг. 5А и 5В, расположенная выше по течению камера 42 повышенного давления и  
5 расположенная ниже по течению камера 44 повышенного давления измеряют давление застоя на соответствующей расположенной выше по течению грани и давление между АРТ и пластиной на расположенной ниже по течению стороне. Образование вихрей колеблется между противоположными сторонами зонда 20. На Фиг. 5А вихрь сформирован в направлении кверху страницы, что заставляет текучую среду течь между  
10 зондом 20 и пластиной 90 в направлении от низа страницы кверху страницы. И, напротив, на Фиг. 5В, вихри сформированы в направлении книзу страницы, приводя к тому, что текучая среда между зондом 20 и пластиной 90 течет в направлении книзу страницы. Этот поток между зондом 20 и пластиной 90 колеблется устойчивым образом, тем самым устраняя ошибки в измерениях потока, рассмотренные выше, обусловленные  
15 нестабильными низкочастотными колебаниями давления на частотах  $f_{m1}$  и  $f_{m2}$ .

[0040] На Фиг. 6 приведен перспективный вид зонда 20 усредняющей трубки Пито, показывающий другой примерный вариант реализации конфигурации, показанной на Фиг. 5. На Фиг. 6 множество отверстий 96 размещено вдоль размаха расположенного  
20 ниже по течению элемента 54. Как показано на Фиг. 6, расположенный ниже по течению элемент 54 образует удлиненное ребро Т-формы зонда 20. Отверстие 96 проходит между противоположными сторонами расположенного ниже по течению элемента 54 и позволяет сообщение по текучей среде между ними. Это действует подобно действию зазора между зондом 20 и пластиной 90, показанного на Фиг. 5А и 5В.

[0041] В одной конфигурации, для уменьшения флуктуаций давления из-за усиленных вихрей от такой конфигурации, которая показана на Фиг. 5А и 5В, может быть помещено  
25 ограничение между камерами 42, 44 повышенного давления и датчиком 28 давления. Такое ограничение должно быть выбрано так, чтобы не ухудшить временной отклик АРТ/DP системы датчика и не снизить возможность АРТ регистрировать фактические изменения потока.

[0042] Хотя настоящее изобретение было описано в отношении предпочтительных вариантов реализации, специалисты в данной области техники увидят, что в форме и  
30 деталях могут быть выполнены изменения, не отступая от существа и объема притязаний изобретения. Используемый здесь термин "трубка Пито" относится в целом к зонду, вставляемому в поток текучей среды. "Трубка Пито" не требует соединительных каналов  
35 для передачи давлений из потока технологической текучей среды на внешний датчик давления. В соответствии с настоящим изобретением, стабилизатор завихрений помещается в поток технологической текучей среды вблизи удлиненного зонда. Стабилизатор завихрений может иметь любую конфигурацию и включает в себя ограничители 80, 82 пограничного слоя (Фиг. 4А-С), а также внешнюю пластину  
40 (расположенный ниже по течению элемент) 90 (Фиг. 5А-С и 6). Однако настоящее изобретение включает в себя любую конфигурацию стабилизатора завихрений и не ограничено показанными здесь стабилизаторами. В одной конфигурации, комбинация ограничителя 80 пограничного слоя и внешней пластины 90 может быть использована  
45 для дополнительного улучшения измерения дифференциального давления. Усредняющая трубка Пито, показанная здесь, имеет форму "Т". На Фиг. 6 отверстия 96 показаны как проходящие через основание формы "Т", в соответствии с чем элемент 54 обеспечивает расположенный ниже по течению элемент. Датчик дифференциального давления может быть сформирован из единственного датчика давления или может использовать

множественные датчики давления.

(57) Формула изобретения

1. Система измерения потока на основе дифференциального давления, содержащая:  
5 датчик дифференциального давления, имеющий выходной сигнал датчика давления, связанный с потоком технологической текучей среды;

удлиненный зонд, связанный с датчиком давления, выполненный с возможностью вставки в трубопровод, который переносит поток технологической текучей среды, и имеющий поперечное сечение в форме «Т» с расположенной выше по течению частью  
10 на верху «Т» и в целом перпендикулярно потоку и с задней частью, которая проходит в направлении в целом параллельно потоку;

расположенную выше по течению камеру повышенного давления в расположенной выше по течению части зонда, имеющую по меньшей мере одно расположенное выше по течению отверстие, связанное с датчиком давления, для приложения, тем самым,  
15 давления сверху по течению к датчику давления;

расположенную ниже по течению камеру повышенного давления в расположенной ниже по течению части зонда, имеющую по меньшей мере одно расположенное ниже по течению отверстие, связанное с датчиком давления для приложения тем самым  
20 давления снизу по течению к датчику давления;

стабилизатор завихрений, расположенный вблизи удлиненного зонда и в потоке технологической текучей среды, стабилизатор завихрений, выполненный с  
возможностью стабилизации завихрений вблизи удлиненного зонда, и  
измерительную схему, связанную с датчиком дифференциального давления,  
выполненную с возможностью измерения потока технологической текучей среды на  
25 основе выходного сигнала датчика давления от датчика дифференциального давления.

2. Система по п. 1, причем стабилизатор завихрений содержит по меньшей мере один ограничитель пограничного слоя.

3. Система по п. 2, причем ограничитель пограничного слоя содержит плоскую поверхность, расположенную в целом параллельно направлению потока  
30 технологической текучей среды.

4. Система по п. 2, включающая в себя множество ограничителей пограничного слоя, расположенных по длине удлиненного зонда.

5. Система по п. 4, причем расположенная выше по течению камера повышенного давления включает в себя множество расположенных выше по течению отверстий и  
35 причем множество ограничителей пограничного слоя размещены между расположенными выше по течению отверстиями.

6. Система по п. 2, причем ограничитель пограничного слоя содержит плоскую пластину, которая проходит от расположенной выше по течению грани удлиненного зонда к расположенной ниже по течению грани удлиненного зонда и расположена  
40 перпендикулярно к продольной оси удлиненного зонда.

7. Система по п. 1, причем стабилизатор завихрений содержит расположенный ниже по течению элемент.

8. Система по п. 7, причем расположенный ниже по течению элемент содержит пластину, соединенную смежно с расположенной ниже по течению камерой  
45 повышенного давления.

9. Система по п. 7, причем расположенный ниже по течению элемент проходит в направлении, перпендикулярном потоку технологической текучей среды.

10. Система по п. 9, причем расположенный ниже по течению элемент проходит в

направлении, в целом параллельном удлинённому зонду.

11. Система по п. 7, причем расположенная ниже по течению камера повышенного давления заключена в расположенном ниже по течению элементе.

12. Система по п. 7, причем отверстие между удлинённым зондом и расположенным  
5 ниже по течению элементом позволяет сообщение по текучей среде между ними.

13. Система по п. 1, причем удлинённый зонд содержит усредняющую трубку Пито.

14. Способ измерения потока технологической текучей среды на основании  
дифференциального давления, содержащий этапы, на которых:

10 помещают удлинённый зонд в трубопровод, который переносит поток  
технологической текучей среды, при этом зонд имеет расположенную выше по течению  
грань и расположенную ниже по течению грань и имеет поперечное сечение в форме  
«Т» с расположенной выше по течению частью на вершине «Т» и в целом перпендикулярно  
потоку и с задней частью, которая проходит в направлении в целом параллельно потоку;  
связывают датчик дифференциального давления с давлением сверху по течению  
15 относительно удлинённого зонда и давлением снизу по течению относительно  
удлинённого зонда для измерения дифференциального давления;

измеряют поток технологической текучей среды на основании давления сверху по  
течению и давления снизу по течению на основе измеренного дифференциального  
давления; и

20 стабилизируют колебания завихрений, которые формируются в технологической  
текучей среде, когда технологическая текучая среда движется после удлинённого зонда,  
посредством стабилизатора завихрений, расположенного вблизи удлинённого зонда.

15. Способ по п. 14, причем стабилизация колебаний завихрений содержит помещение  
по меньшей мере одного ограничителя пограничного слоя вблизи удлинённого зонда.

25 16. Способ по п. 15, причем ограничитель пограничного слоя содержит плоскую  
поверхность, расположенную в целом параллельно направлению потока  
технологической текучей среды.

17. Способ по п. 15, включающий в себя предоставление множества ограничителей  
пограничного слоя по длине удлинённого зонда.

30 18. Способ по п. 17, причем удлинённый зонд включает в себя расположенную выше  
по течению камеру повышенного давления, имеющую множество расположенных выше  
по течению отверстий и причем множество ограничителей пограничного слоя размещают  
между расположенными выше по течению отверстиями.

35 19. Способ по п. 17, причем ограничитель пограничного слоя содержит плоскую  
пластину, которая проходит от расположенной выше по течению грани удлинённого  
зонда к расположенной ниже по течению грани удлинённого зонда и расположена  
перпендикулярно к продольной оси удлинённого зонда.

20. Способ по п. 14, причем стабилизация колебаний завихрений содержит помещение  
расположенного ниже по течению элемента вблизи удлинённого зонда.

40 21. Способ по п. 20, причем расположенный ниже по течению элемент содержит  
пластину, соединённую смежно с расположенной ниже по течению камерой  
повышенного давления.

22. Способ по п. 20, причем расположенный ниже по течению элемент проходит в  
направлении, перпендикулярном потоку технологической текучей среды.

45 23. Способ по п. 20, причем расположенный ниже по течению элемент проходит в  
направлении, в целом параллельном удлинённому зонду.

24. Способ по п. 20, причем расположенный ниже по течению элемент включает в  
себя камеру повышенного давления, которая связывает давление снизу по течению с

датчиком давления.

25. Способ по п. 20, причем отверстие между удлиненным зондом и расположенным ниже по течению элементом позволяет сообщение по текучей среде между ними.

26. Способ по п. 14, причем удлиненный зонд содержит усредняющую трубку Пито.

5 27. Усредняющая трубка Пито, выполненная с возможностью вставки в трубопровод для использования при измерении потока технологической текучей среды в трубопроводе и имеющая поперечное сечение в форме «Т» с расположенной выше по течению частью на верху «Т» и в целом перпендикулярно потоку и с задней частью, которая проходит в направлении в целом параллельно потоку, содержащая:

10 расположенную выше по течению камеру повышенного давления в расположенной выше по течению части усредняющей трубки Пито, имеющую по меньшей мере одно расположенное выше по течению отверстие, выполненное с возможностью связывания с датчиком давления, чтобы, тем самым, приложить давление сверху по течению к датчику давления; и

15 расположенную ниже по течению камеру повышенного давления в расположенной ниже по течению части усредняющей трубки Пито, имеющую по меньшей мере одно расположенное ниже по течению отверстие, выполненное с возможностью связывания с датчиком давления, чтобы тем самым приложить давление снизу по течению к датчику давления; и

20 стабилизатор завихрений, помещаемый в поток технологической текучей среды, выполненный с возможностью стабилизации завихрений и содержащий отверстие, которое проходит через заднюю часть «Т» в направлении, которое перпендикулярно потоку.

25 28. Трубка Пито по п. 27, причем стабилизатор завихрений дополнительно включает в себя по меньшей мере ограничитель пограничного слоя.

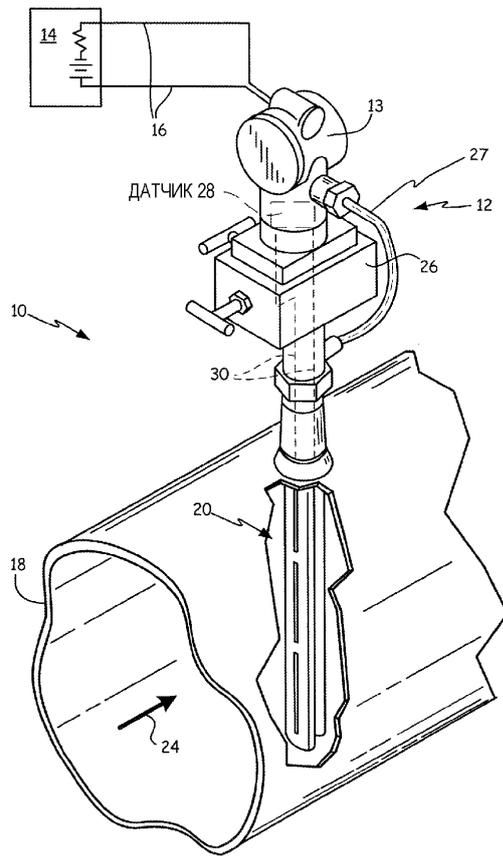
29. Трубка Пито по п. 28, причем стабилизатор завихрений дополнительно включает в себя расположенный ниже по течению элемент.

30

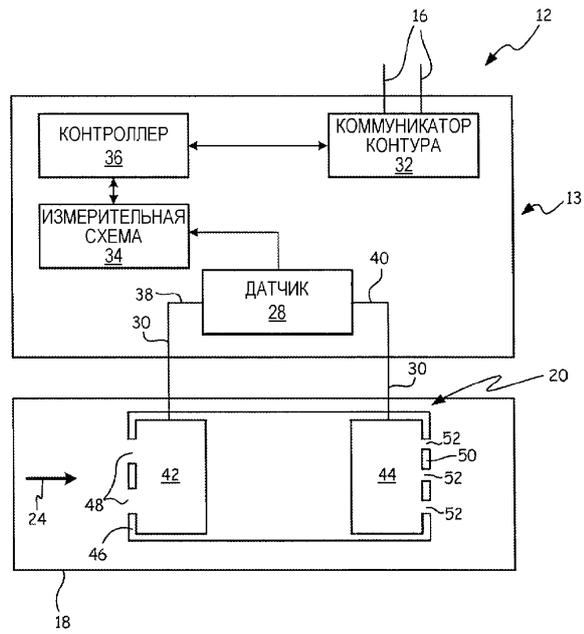
35

40

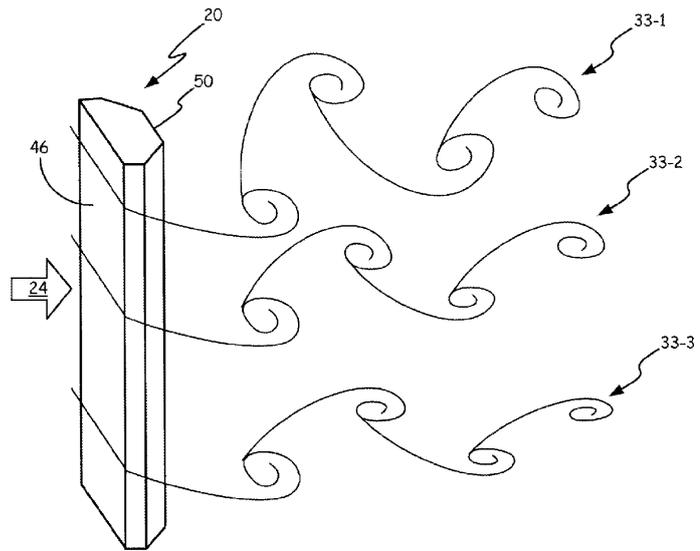
45



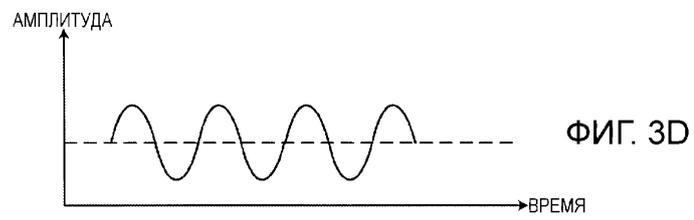
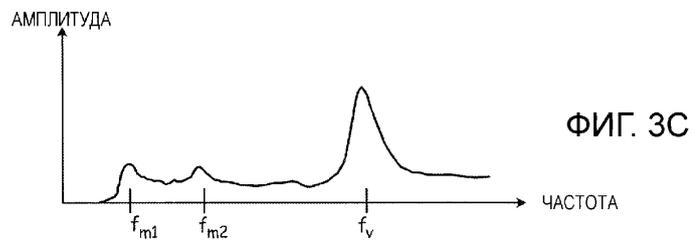
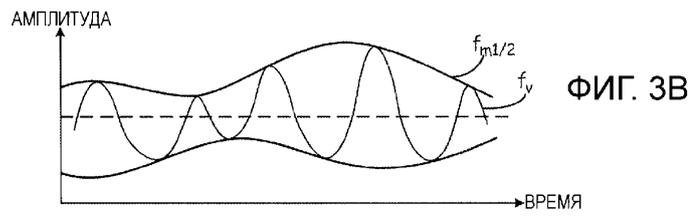
ФИГ. 1



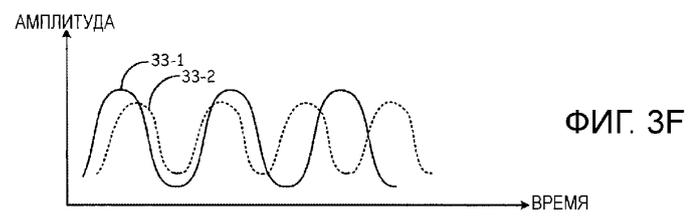
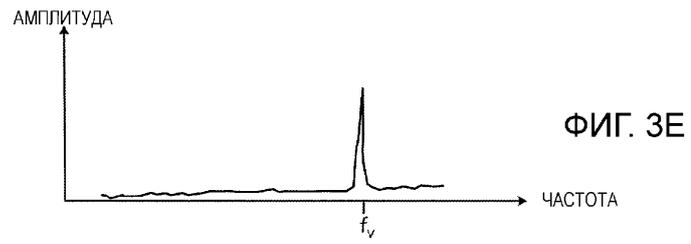
ФИГ. 2

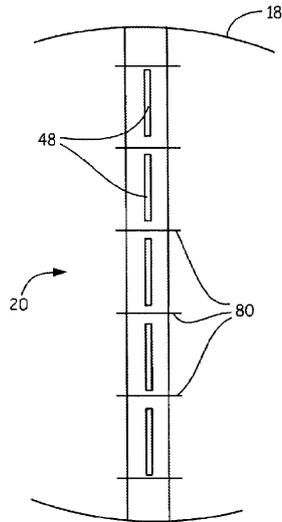


ФИГ. 3А

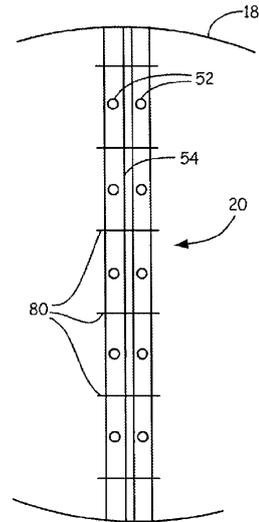


5/9



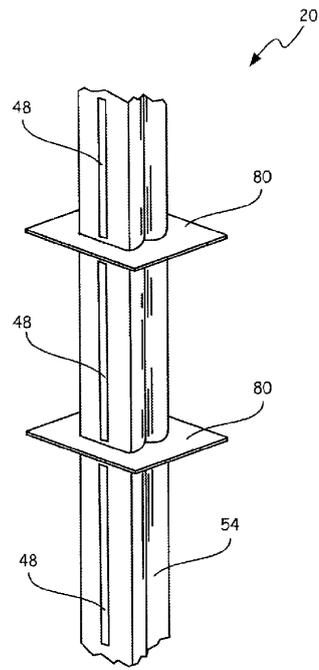


ФИГ. 4А



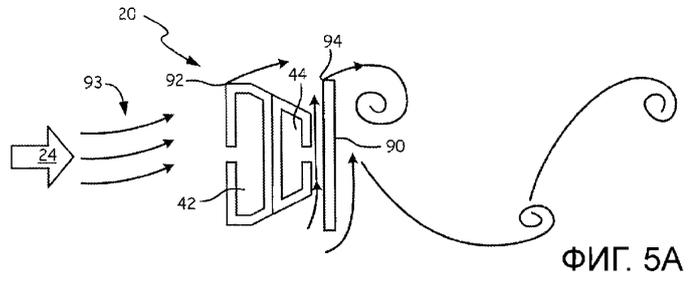
ФИГ. 4В

7/9

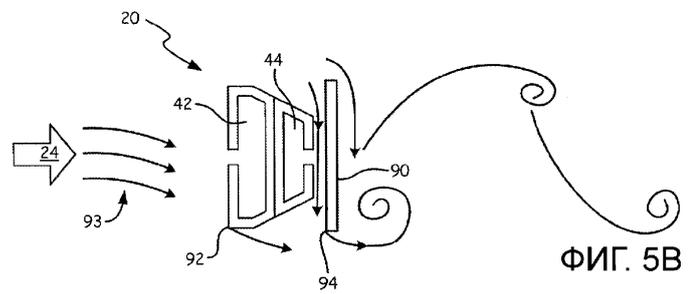


ФИГ. 4С

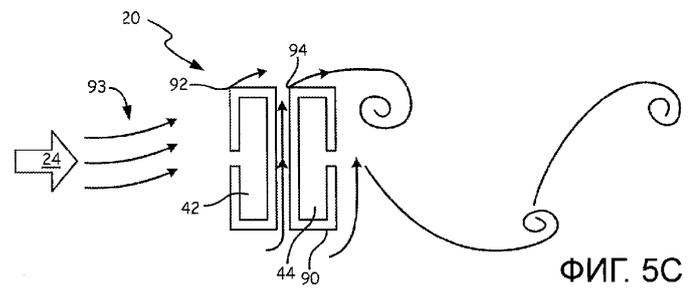
8/9



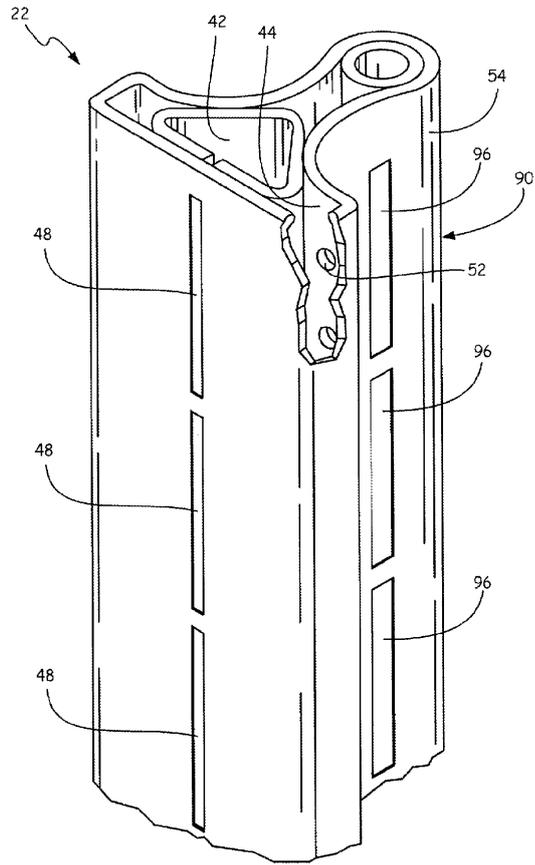
ФИГ. 5А



ФИГ. 5В



ФИГ. 5С



ФИГ. 6