



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**(21)(22) Заявка: **2012108877/28, 12.08.2009**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
**12.08.2009**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: **12.08.2009**(43) Дата публикации заявки: **20.09.2013** Бюл. № 26(45) Опубликовано: **27.12.2013** Бюл. № 36(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: **US 2005/119845 A1, 02.06.2005. US**  
**2009/187356 A1, 23.07.2009. US 2004/200259 A1,**  
**14.10.2004. SU 1840667 A1, 20.09.2008.**(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: **12.03.2012**(86) Заявка РСТ:  
**US 2009/053544 (12.08.2009)**(87) Публикация заявки РСТ:  
**WO 2011/019345 (17.02.2011)**

Адрес для переписки:

**129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр.3,  
ООО "Юридическая фирма Городиский и  
Партнеры"**

(72) Автор(ы):

**ХЕЙС Пол Дж. (US),  
ВАЙНШТЕЙН Джоэл (US)**

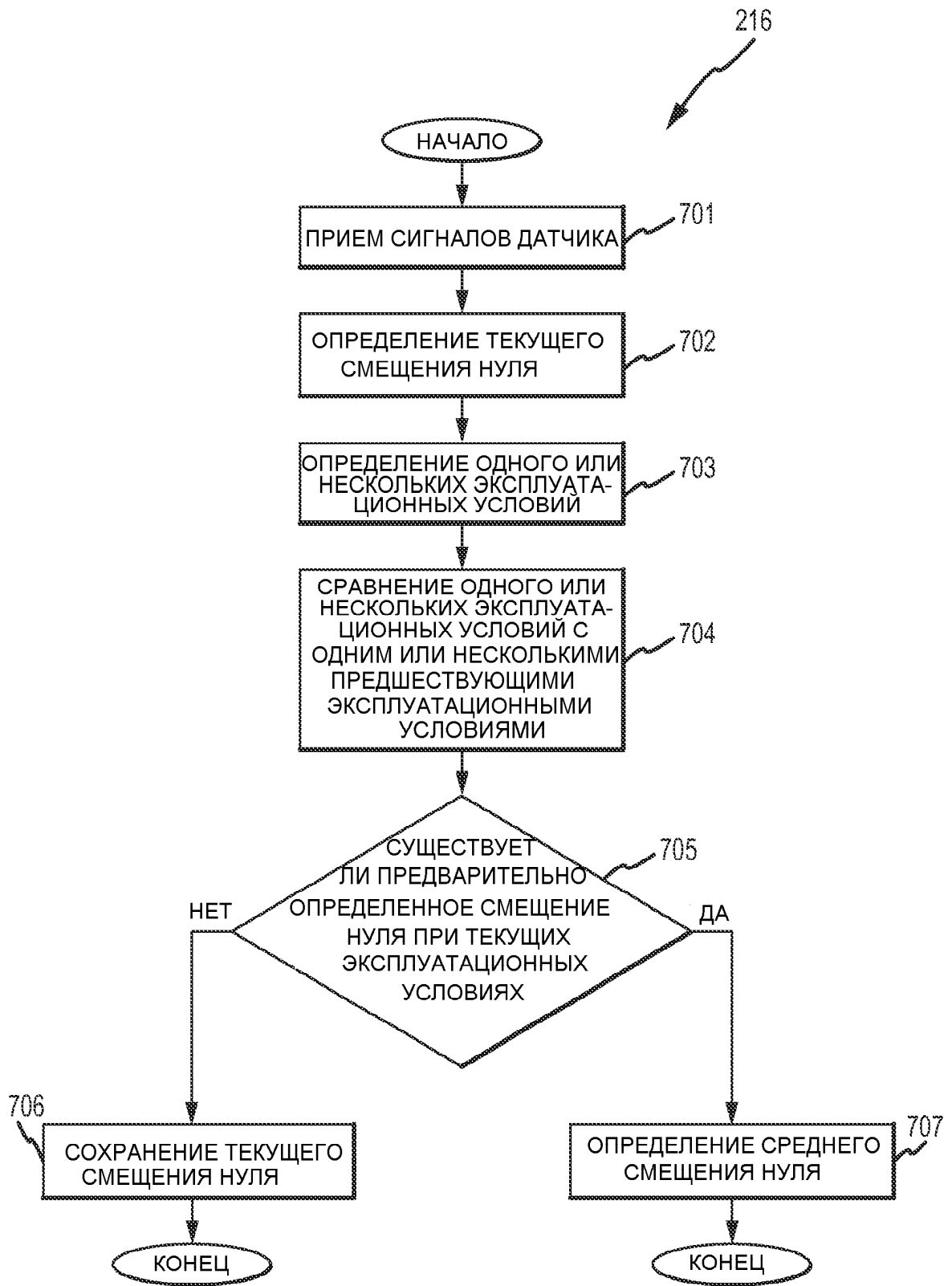
(73) Патентообладатель(и):

**МАЙКРО МОУШН, ИНК. (US)****(54) СПОСОБ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ В  
ВИБРАЦИОННОМ РАСХОДОМЕРЕ**

(57) Реферат:

Способ содержит этапы приема сигналов датчика от вибрационного расходомера и определения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера. Текущее нулевое смещение может быть определено исходя из принятых сигналов датчика. Способ также содержит этап определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий. Одно или несколько текущих эксплуатационных условий могут быть сравнены с эксплуатационными условиями предварительно установленной корреляции

смещения. Способ также включает в себя этап формирования среднего нулевого смещения исходя из текущего нулевого смещения и нулевого смещения предварительно установленной корреляции смещения, если предварительно установленная корреляция смещения включает в себя нулевое смещение, соответствующее текущим эксплуатационным условиям. Технический результат - возможность определения и компенсации дрейфа смещения нуля при работе датчика в течение нормального его использования. 2 н. и 8 з.п. ф-лы, 7 ил., 1 табл.



Фиг.7



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*G01F 1/84* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012108877/28, 12.08.2009**

(24) Effective date for property rights:  
**12.08.2009**

Priority:

(22) Date of filing: **12.08.2009**

(43) Application published: **20.09.2013 Bull. 26**

(45) Date of publication: **27.12.2013 Bull. 36**

(85) Commencement of national phase: **12.03.2012**

(86) PCT application:  
**US 2009/053544 (12.08.2009)**

(87) PCT publication:  
**WO 2011/019345 (17.02.2011)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, str.3, OOO  
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**KhEJS Pol Dzh. (US),  
VAJNShTEJN Dzhochl (US)**

(73) Proprietor(s):

**MAJKRO MOUSHN, INK. (US)**

(54) **METHOD AND DEVICE TO DETERMINE ZERO SHIFT IN VIBRATION FLOW METRE**

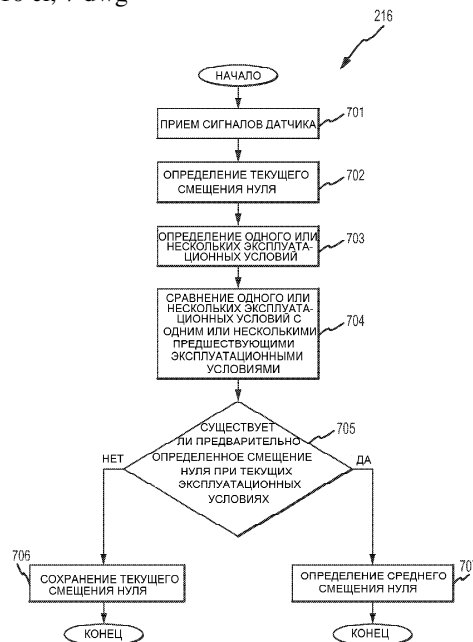
(57) Abstract:

FIELD: measurement equipment.

SUBSTANCE: method includes stages of reception of sensor signals from a vibration flow metre and determination of current zero shift for a vibration flow metre. The current zero shift may be determined based on the received signals of the sensor. The method also comprises a stage of determination of one or several current operational conditions. One or more current operating conditions may be compared with operating conditions of previously determined correlation of shift. The method also includes the stage of formation of the average zero shift based on the current zero shift and zero shift of the previously determined correlation of shift, if the previously determined correlation of shift includes zero shift, which corresponds to current operating conditions.

EFFECT: possibility to determine and compensate drift of zero shift during operation of a sensor in process of its normal usage.

10 cl, 7 dwg



Фиг.7

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Настоящее изобретение относится к вибрационным расходомерам и, более конкретно, к способу и устройству для определения изменения смещения нуля вибрационного расходомера.

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Вибрационные датчики, например, вибрационные денситометры и расходомеры Кориолиса хорошо известны и используются для измерения массового расхода и получения другой информации о материалах, текущих через трубки в расходомере. Примерные расходомеры Кориолиса раскрыты в Патенте США 4,109,524, Патенте США 4,491,025, и Re. 31,450, все от J.E.Smith и др. Эти расходомеры имеют одну или несколько трубок, прямой или изогнутой конфигурации. Каждая конфигурация трубки в массовом расходомере Кориолиса имеет набор собственных колебательных мод, которые могут быть простыми изгибными, крутильными, или модами связанного типа. Каждая трубка может быть возбуждена для колебаний на предпочтительной моде.

Материал втекает в расходомер из присоединенного магистрального трубопровода со стороны впускного отверстия расходомера, направляется через трубку(-и), и выходит из расходомера со стороны выпускного отверстия расходомера. Собственные колебательные моды заполненной материалом системы отчасти определяются объединенной массой трубок и материала, текущего внутри трубок.

Когда поток через расходомер отсутствует, приводная сила, приложенная к трубке(-ам), заставляет все точки вдоль трубки(-ок) осциллировать с одинаковой фазой, или с малым "смещением нуля", которое представляет собой временную задержку, измеренную при нулевом потоке. Как только материал начинает течь через расходомер, силы Кориолиса приводят к тому, что каждая точка вдоль трубки(-ок) имеет отличающуюся фазу. Например, фаза у впускного конца расходомера отстает от фазы в центрированном положении размещения привода, тогда как фаза при выпуске опережает фазу в центрированном положении размещения привода. Измерительные преобразователи на трубке(-ах) формируют синусоидальные сигналы, отображающие движение трубки(-ок). Снимаемые с измерительных преобразователей сигналы обрабатываются для определения временной задержки между измерительными преобразователями. Временная задержка между двумя или несколькими измерительными преобразователями пропорциональна массовому расходу материала, текущего через трубку(-и).

Измерительная электроника, соединенная с приводом, формирует приводной сигнал для управления приводом и определяет массовый расход и другие свойства материала по сигналам, принятым от измерительных преобразователей. Привод может содержать одну из многих известных конструкций; однако, магнит и противостоящая приводная индукционная катушка получили наибольшее распространение в производстве расходомеров. Переменный ток проходит через приводную индукционную катушку, заставляя колебаться расходомерные трубки с желаемой амплитудой и частотой. Обычно, в данной области техники измерительные преобразователи представляют собой конструкцию из магнита и индукционной катушки, очень похожую на конструкцию привода. Однако, если привод принимает ток, который индуцирует перемещение, то измерительные преобразователи могут использовать обеспечиваемое приводом перемещение для индуцирования напряжения. Величина временной задержки, измеряемая измерительными преобразователями, очень мала; и часто измеряется в наносекундах. Поэтому, необходимо иметь очень

точный выходной сигнал преобразователя.

Обычно, расходомер Кориолиса изначально калибруется, и калибровочный коэффициент расхода может быть сформирован вместе со смещением нуля. При работе, для получения массового расхода, калибровочный коэффициент расхода может быть умножен на временную задержку, измеренную измерительными преобразователями, минус смещение нуля. Как правило, расходомер Кориолиса изначально калибруется изготовителем, и предполагается, что он обеспечивает точные измерения без необходимости в дополнительных калибровках. Кроме того, подход в технике предшествующего уровня включает в себя нулевую калибровку расходомера пользователем, после его монтажа, посредством остановки потока, перекрытия клапанов, и, поэтому, для рабочих условий предоставляется опорный нулевой расход измерителя.

Как отмечено выше, во многих вибрационных датчиках, включая в себя расходомеры Кориолиса, может иметь место смещение нуля, которое в технике предшествующего уровня корректируется. Хотя в ограниченных случаях это изначально определенное смещение нуля может адекватно скорректировать измерения, смещение нуля может изменяться во времени вследствие изменения различных эксплуатационных условий, главным образом температуры, из-за чего возможны только частичные коррекции. Вместе с тем, другие эксплуатационные условия также могут влиять на смещение нуля, включая в себя давление, плотность флюида, условия монтажа датчика, и т.д. Кроме того, смещение нуля может в различной степени изменяться в различных измерителях. Это может быть особенно важно в ситуациях, когда несколько измерителей связаны последовательно так, что каждый из измерителей должен считывать то же самое, если измеряется тот же самый поток флюида.

Поэтому, в данной области техники имеется потребность в способе для определения и компенсации изменения смещения нуля вибрационного датчика. Настоящее изобретение преодолевает эти и другие проблемы, и достигается прогресс в данной области техники.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ для эксплуатации вибрационного расходомера, имеющего предварительно установленную корреляцию смещения между нулевым смещением и одним или несколькими эксплуатационными условиями, предложен в соответствии с вариантом реализации изобретения. Способ содержит этапы приема сигналов датчика от вибрационного расходомера и определения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера, исходя из принятых сигналов датчика. Способ также содержит этапы определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий и сравнения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий с одним или несколькими предыдущими эксплуатационными условиями корреляции смещения. В соответствии с вариантом реализации изобретения, если корреляция смещения включает в себя предварительно определенное нулевое смещение, соответствующее текущим эксплуатационным условиям, то способ формирует среднее нулевое смещение, исходя из текущего и предварительно определенного нулевых смещений.

Измерительная электроника для вибрационного расходомера предоставляется в соответствии с вариантом реализации изобретения. Измерительная электроника включает в себя систему обработки, сконфигурированную для приема сигналов датчика от вибрационного расходомера. Система обработки также может быть

сконфигурирована для определения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера, исходя из принятых сигналов датчика, и определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий. В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника также может быть  
5 сконфигурирована для сравнения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий с одним или несколькими предыдущими эксплуатационными условиями корреляции смещения, и если корреляция смещения включает в себя предварительно определенное нулевое смещение, соответствующее одному или нескольким текущим  
10 эксплуатационным условиям, то для формирования среднего нулевого смещения, основанного на текущем и предварительно определенном нулевых смещениях.

#### АСПЕКТЫ

В соответствии с объектом изобретения, способ для эксплуатации вибрационного расходомера, имеющего предварительно установленную корреляцию смещения между  
15 нулевым смещением и одним или несколькими эксплуатационными условиями, содержит этапы:

приема сигналов датчика от вибрационного расходомера;  
определения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера, исходя  
20 из принятых сигналов датчика;  
определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий;  
сравнение одного или нескольких текущих эксплуатационных условий с одним или несколькими предыдущими эксплуатационными условиями корреляции смещения; и  
если корреляция смещения включает в себя предварительно определенное нулевое  
25 смещение, соответствующее текущим эксплуатационным условиям, то формируют среднее нулевое смещение, исходя из текущего и предварительно определенного нулевых смещений.

Предпочтительно, способ дополнительно содержит этап сохранения текущего  
30 нулевого смещения для вибрационного расходомера и одного или нескольких текущих эксплуатационных условий, если корреляция смещения не включает в себя предварительно определенное нулевое смещение, соответствующее одному или нескольким текущим эксплуатационным условиям.

Предпочтительно, этап формирования среднего нулевого смещения содержит  
35 этапы:

применения первого весового коэффициента к текущему нулевому смещению для формирования первого взвешенного нулевого смещения;  
применения второго весового коэффициента к предварительно определенному  
40 нулевому смещению для формирования второго взвешенного нулевого смещения; и  
расчет среднего нулевого смещения, исходя из первого и второго взвешенных нулевых смещений.

Предпочтительно, первый и второй весовые коэффициенты содержат взвешенные по времени коэффициенты.

Предпочтительно, способ дополнительно содержит этапы:  
45 формирования новой корреляции смещения, исходя из среднего нулевого смещения и одного или нескольких эксплуатационных условий.

В соответствии с другим объектом изобретения, измерительная электроника для  
50 вибрационного расходомера включает в себя систему обработки, сконфигурированную для:

приема сигналов датчика от вибрационного расходомера;  
определение текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера, исходя

из принятых сигналов датчика;

определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий;

сравнения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий с одним или несколькими предыдущим эксплуатационным условиям корреляции смещения; и

если корреляция смещения включает в себя предварительно определенное нулевое смещение, соответствующее одному или нескольким текущим эксплуатационным условиям, то формируют среднее нулевое смещение, исходя из текущего и предварительно определенного нулевых смещений.

Предпочтительно, система обработки дополнительно сконфигурирована для: сохранения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера и одного или нескольких текущих эксплуатационных условий, если корреляция смещения не включает в себя предварительно определенное нулевое смещение, соответствующее одному или нескольким текущим эксплуатационным условиям.

Предпочтительно, этап формирования среднего нулевого смещения содержит этапы:

применения первого весового коэффициента к текущему нулевому смещению для формирования первого взвешенного нулевого смещения;

применения второго весового коэффициента к предварительно определенному нулевому смещению для формирования второго взвешенного нулевого смещения; и расчет среднего нулевого смещения, исходя из первого и второго взвешенных нулевых смещений.

Предпочтительно, первый и второй весовые коэффициенты содержат взвешенные по времени коэффициенты.

Предпочтительно, система обработки дополнительно сконфигурирована для: формирование новой корреляции смещения, исходя из среднего нулевого смещения и одного или нескольких эксплуатационных условий.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Фиг.1 изображает сборку вибрационного датчика в соответствии с вариантом реализации изобретения.

Фиг.2 - измерительная электроника для вибрационного датчика в соответствии с вариантом реализации изобретения.

Фиг.3 - блок-схема системы расходомера в соответствии с вариантом реализации изобретения.

Фиг.4 - подпрограмма определения дифференциального смещения в соответствии с вариантом реализации изобретения.

Фиг.5 - график корреляции дифференциального смещения в соответствии с вариантом реализации изобретения.

Фиг.6 - подпрограмма определения дифференциального нуля в соответствии с вариантом реализации изобретения.

Фиг.7 - подпрограмма определения смещения нуля в соответствии с другим вариантом реализации изобретения.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Чертежи на Фиг.1-7 и нижеследующее описание демонстрируют конкретные примеры для пояснения специалистам в данной области техники того, как реализовать и использовать наилучший вариант изобретения. С целью пояснения принципов изобретения, некоторые обычные объекты были упрощены или опущены.

Специалисты в данной области техники увидят возможные вариации этих примеров, которые находятся в пределах объема изобретения. Специалисты в данной области

техники увидят, что описанные ниже признаки могут быть различным образом объединены, образуя множественные вариации изобретения. Таким образом, изобретение не ограничивается описанными ниже конкретными примерами, но только формулой и ее эквивалентами.

5 На Фиг.1 показан пример сборки 5 вибрационного датчика в виде расходомера Кориолиса, содержащего расходомер 10 и одну или более измерительную электронику измерителей 20. Одна или более измерительная электроника 20 соединяется с расходомером 10 для измерения параметров текущего материала, например, 10 плотности, массового расхода, объемного расхода, суммарного массового расхода, температуры, и для получения другой информации.

Расходомер 10 включает в себя пару фланцев 101 и 101', манифольды 102 и 102', и трубки 103А и 103В. Манифольды 102, 102' прикреплены к противоположным концам трубок 103А, 103В. Фланцы 101 и 101' настоящего примера прикреплены к 15 манифольдам 102 и 102'. Манифольды 102 и 102' настоящего примера прикреплены к противоположным концам проставки 106. Проставка 106 поддерживает определенное расстояние между манифольдами 102 и 102', в настоящем примере, чтобы предотвратить нежелательные колебания в трубках 103А и 103В. Трубки вытянуты 20 наружу от манифольдов по существу параллельно друг другу. Когда расходомер 10 вставляется в трубопроводную магистраль (не показана), которая переносит текучий материал, материал входит в расходомер 10 через фланец 101, проходит через впускной манифольд 102, где суммарное количество материала направляется в трубки 103А и 103В, протекает через трубки 103А и 103В, и назад, в выпускной 25 манифольд 102', где материал выходит из расходомера 10 через фланец 101'.

Расходомер 10 включает в себя привод 104. Привод 104 прикреплен к трубкам 103А, 103В в положении, где привод 104 может возбудить колебания трубок 103А, 103В на 30 приводной моде. Более конкретно, привод 104 включает в себя первую составляющую часть привода (не показана), прикрепленную к трубкам 103А, и вторую составляющую часть привода (не показана), прикрепленную к трубкам 103В. Привод 104 может содержать одно из многих известных устройств, например, магнит, установленный на трубке 103А, и противостоящую катушку, установленную на трубке 103В.

35 В настоящем примере, приводная мода представляет собой первую несинфазную изгибную моду, и трубки 103А и 103В предпочтительно выбраны и соответственно смонтированы на впускном манифольде 102 и выпускном манифольде 102' так, чтобы обеспечить сбалансированную систему, имеющую по существу то же самое массовое 40 распределение, моменты инерции, и упругие модули относительно изгибных осей W-W и W'-W', соответственно. В настоящем примере, где приводная мода представляет собой первую несинфазную изгибную моду, трубки 103А и 103В приводятся в движение приводом 104 в противоположных направлениях относительно их соответствующих изгибных осей W-W и W'-W'. Приводной сигнал в виде переменного 45 тока может быть предоставлен одним или несколькими электронными измерителями 20, например, по каналу 110, и пропущен через катушку, чтобы возбудить колебания обоих трубок 103А, 103В. Обычные специалисты в данной области техники увидят, что в рамках настоящего изобретения могут быть 50 использованы и другие приводные моды.

Показанный расходомер 10 включает в себя пару измерительных преобразователей 105, 105', которые прикреплены к трубкам 103А, 103В. Более конкретно, первая составляющая часть измерительного преобразователя (не

показана) расположена на трубке 103А, и вторая составляющая часть измерительного преобразователя (не показана) расположена на трубке 103В. В изображенном варианте реализации, измерительные преобразователи 105, 105' могут быть электромагнитными детекторами, например, тензометрическими магнитами и тензометрическими индукционными катушками, которые производят тензометрические сигналы, отображающие скорость перемещения и положение трубок 103А, 103В. Например, измерительные преобразователи 105, 105' могут подавать тензометрические сигналы на одну или более измерительную электронику 20 по каналам 111, 111'. Обычные специалисты в данной области техники увидят, что перемещение трубок 103А, 103В пропорционально определенным параметрам текущего материала, например, массовому расходу и плотности материала, текущего через трубки 103А, 103В.

Следует отметить, что хотя описанный выше расходомер 10 содержит двойную расходомерную трубку, в рамках настоящего изобретения вполне возможно реализовать расходомер с единственной трубкой. Кроме того, хотя расходомерные трубки 103А, 103В показаны как трубки с изогнутой конфигурацией, настоящее изобретение может быть реализовано с расходомером, содержащим расходомерные трубки прямой конфигурации. Поэтому, описанный выше конкретный вариант реализации расходомера 10 представляет собой просто отдельный пример, и никоим образом не должен ограничивать объем притязаний настоящего изобретения.

В показанном на Фиг. 1 примере, одна или более измерительная электроника 20 принимает тензометрические сигналы от измерительных преобразователей 105, 105'. Канал 26 предоставляет входное и выходное средство, которое позволяет одной или более измерительной электронике 20 взаимодействовать с оператором. Одна или более измерительная электроника 20 измеряет параметры текущего материала, например, разность фаз, частоту, временную задержку, плотность, массовый расход, объемный расход, суммарный массовый расход, температуру, поправки к измерениям, и позволяет получать другую информацию. Более конкретно, одна или более измерительная электроника 20 принимает один или несколько сигналов, например, от измерительных преобразователей 105, 105', и от одного или нескольких температурных датчиков (не показаны), и использует эту информацию для измерения параметров текущего материала.

Методики, с помощью которых сборки вибрационных датчиков, например, расходомеры Кориолиса или денситометры, измеряют параметры текущего материала, хорошо известны; поэтому, подробное их описание в данном случае для краткости опущено.

Как рассмотрено кратко выше, одна проблема, связанная со сборками вибрационных датчиков, например, с расходомерами Кориолиса, заключается в наличии смещения нуля, которое является измеренной временной задержкой для измерительных преобразователей 105, 105' при нулевом потоке флюида. Если смещение нуля не учитывается при расчете расхода и различных других измерений потока, то измерения потока обычно будут включать в себя ошибку измерения. Типичный подход предшествующего уровня техники при компенсации смещения нуля заключается в том, чтобы измерить начальное смещение нуля ( $\Delta t_0$ ) в течение процесса начальной калибровки, который обычно проходит при закрытых клапанах и при обеспечении условия нулевого опорного потока. Такие процессы калибровки общеизвестны в данной области техники, и их подробное рассмотрение опущено для краткости описания. Как только начальное смещение нуля определено, во время

эксплуатации, измерения расхода корректируются вычитанием начального смещения нуля из измеренной временной разности в соответствии с уравнением (1).

$$\dot{m} = FCF(\Delta t_{measured} - \Delta t_0) \quad (1),$$

где:

$\dot{m}$  - массовый расход

FCF - калибровочный коэффициент расхода

$\Delta t_{measured}$  - измеренная временная задержка

$\Delta t_0$  - начальное смещение нуля

Следует отметить, что уравнение (1) предоставляется исключительно как пример и никоим образом не должно ограничивать объем притязаний настоящего изобретения. Хотя уравнение (1) предоставляется для расчета массового расхода, следует понимать, что на различные другие измерения потока также может влиять смещение нуля и, поэтому, они могут быть скорректированы таким же образом.

Хотя этот подход может предоставить удовлетворительные результаты в ситуациях, когда эксплуатационные условия по существу те же, что и имеющиеся во время начальной калибровки и определения смещения нуля,  $\Delta t_0$ , во многих случаях, эксплуатационные условия в течение эксплуатации существенно отличаются от эксплуатационных условий, имеющихся во время калибровки. В результате изменения условий, вибрационный расходомер может испытывать дрейф смещения нуля. Иначе говоря, смещение нуля может изменяться от первоначально рассчитанного смещения нуля,  $\Delta t_0$ . Дрейф смещения нуля может серьезно воздействовать на рабочие параметры датчика, приводя к неточным измерениям. Это так потому, что в технике предшествующего уровня смещение нуля, используемое для компенсации измеренной временной разности во время эксплуатации, просто содержало изначально рассчитанное смещение нуля, без учета изменения смещения нуля. Другие подходы предшествующего уровня техники требовали ручной повторной калибровки датчика. Как правило, повторная калибровка требует остановки потока через датчик, чтобы повторно обнулить датчик. Это может оказаться дорогостоящим, поскольку должна быть остановлена вся система в целом. Кроме того, когда в технике предшествующего уровня поток останавливается, чтобы выполнить нулевую калибровку, температура измерителя может быстро измениться, если окружающая температура отличается от температуры флюида. Это может привести к недостоверной нулевой калибровке.

В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника 20 может быть сконфигурирована для формирования корреляции между смещением нуля и одним или несколькими эксплуатационными условиями. В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника 20 может быть сконфигурирована для компенсации дрейфа смещения нуля. В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника 20 может скомпенсировать дрейф смещения нуля, исходя из корреляции между смещением нуля и одним или несколькими измеряемыми эксплуатационными условиями. В соответствии с одним вариантом реализации изобретения, смещение нуля содержит абсолютное смещение нуля. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, смещение нуля содержит дифференциальное смещение нуля. Дифференциальное смещение нуля содержит начальное смещение нуля датчика, объединенное с дифференциальной ошибкой между двумя или несколькими датчиками. Дифференциальное смещение нуля может требоваться для формирования по существу равных расходов через анализируемый датчик и опорный датчик. Иначе говоря, обращаясь к вышеприведенному уравнению (1), если флюид с тем же самым

расходом течет через калибруемый датчик и опорный датчик, эти два датчика могут создавать два массовых расхода, используя уравнение (1) для каждого датчика. Если предполагается, что массовый расход опорного датчика равен массовому расходу калибруемого измерителя, то дифференциальное смещение нуля калибруемого датчика может быть рассчитано. Этим способом находится новое смещение нуля для калибруемого датчика, чтобы отобразить опорный расход. Это новое смещение нуля представляет собой по существу дифференциальное смещение. Это показано в уравнениях (2) и (3).

$$\dot{m}_R = \dot{m}_C = FCF_C[\Delta t_c - (\Delta t_{0c} + \Delta t_E)] \quad (2)$$

$$(\Delta t_{0c} + \Delta t_E) = \Delta t_c - \frac{\dot{m}_R}{FCF_C} \quad (3)$$

де:

$\dot{m}_R$  - опорный массовый расход

$\Delta t_{0c}$  - начальное смещение нуля калибруемого датчика

$\Delta t_E$  - дифференциальная ошибка

$\Delta t_c$  - измеренная временная задержка калибруемого датчика

$FCF_C$  - калибровочный коэффициент расхода калибруемого датчика

Уравнение (3) может быть дополнительно упрощено, объединяя смещение нуля калибруемого датчика и дифференциальную ошибку. В результате получается уравнение, которое определяет дифференциальное смещение нуля, а именно - уравнение (4).

$$(\Delta t_D) = \Delta t_c - \frac{\dot{m}_R}{FCF_C} \quad (4)$$

где

$\Delta t_D$  - дифференциальное смещение нуля

Поэтому, дифференциальное смещение нуля анализируемого датчика не является абсолютным смещением нуля в том смысле, что оно не относится к нулевому расходу, а содержит дифференциальное смещение нуля, в котором оно соответствует различию между двумя датчиками. Когда это дифференциальное смещение охарактеризовано и устранено, выполнение дифференциального измерения пары датчиков существенно улучшается. Может оказаться необходимым характеризовать дифференциальное смещение с изменением эксплуатационных условий. Следует отметить, что уравнение (4) может быть дополнительно упрощено посредством множества вариантов, предполагая, что определенные значения остаются постоянными, например, калибровочные коэффициенты расхода, или начальные значения смещения нуля. Поэтому, конкретная форма уравнения (4) не должна ограничивать объем притязаний настоящего изобретения.

В любом варианте реализации, настоящее изобретение может компенсировать дрейф смещения нуля, не останавливая поток через датчик. Преимущественно то, что в соответствии с настоящим изобретением можно определить и компенсировать дрейф смещения нуля при работе датчика в течение нормального его использования.

На Фиг.2 показана измерительная электроника 20 в соответствии с вариантом реализации изобретения. Измерительная электроника 20 может включать в себя интерфейс 201 и систему 203 обработки данных. Система 203 обработки данных может включать в себя систему 204 памяти. Система 204 памяти может содержать внутреннюю память, как это показано, или альтернативно, может содержать внешнюю память. Измерительная электроника 20 может создавать приводной

сигнал 211 и подавать приводной сигнал 211 на привод 104. Кроме того, измерительная электроника 20 может принимать сигналы 210 датчика от расходомера 10 и/или расходомера 305, показанного ниже, например, измерительный/скорости сигналы преобразователя. В некоторых вариантах реализации сигналы 210 датчика могут быть приняты от привода 104. Измерительная электроника 20 может эксплуатироваться как денситометр, или может эксплуатироваться как массовый расходомер, включая в себя работу в качестве расходомера Кориолиса. Следует отметить, что измерительная электроника 20 также может работать как некоторые другие типы сборок вибрационных датчиков, и предоставленные конкретные примеры не должны ограничивать объем притязаний настоящего изобретения. Измерительная электроника 20 может обрабатывать сигналы 210 датчика для получения параметров потока материала, текущего через расходомерные трубки 103А, 103В. В некоторых вариантах реализации, измерительная электроника 20 может принимать температурный сигнал 212 от одного или нескольких датчиков RTD, или от других устройств измерения температуры, например.

Интерфейс 201 может принимать сигналы 210 датчика от привода 104 или от измерительных преобразователей 105, 105' через соединения 110, 111, 111'. Интерфейс 201 может выполнить любое необходимое или желаемое преобразование сигнала, например, любого рода форматирование, усиление, буферизацию, и т.д. Альтернативно, некоторые или все преобразования сигнала могут быть выполнены в системе 203 обработки данных. Кроме того, интерфейс 201 может обеспечить обмен данными между измерительной электроникой 20 и внешними устройствами. Интерфейс 201 может быть приспособлен для любого типа электронной, оптической, или беспроводной связи.

Интерфейс 201 в одном варианте реализации может включать в себя цифровой преобразователь (не показан), причем сигнал датчика содержит аналоговый сигнал датчика. Цифровой преобразователь может осуществлять выборку и оцифровывать аналоговый сигнал датчика и производить цифровой сигнал датчика. Цифровой преобразователь может также выполнить любое необходимое прореживание, причем цифровой сигнал датчика прореживается, чтобы сократить объем необходимой обработки сигнала и сократить время обработки.

Система 203 обработки данных может управлять работой измерительной электроникой 20 и обрабатывать измерения потока расходомером 10. Система 203 обработки данных может выполнять одну или несколько подпрограмм обработки данных, например, подпрограмму 213 определения дифференциального смещения, подпрограмму 215 определения дифференциального нуля, и подпрограмму 216 определения смещения нуля и, тем самым, обрабатывать данные измерений потока, чтобы получить один или несколько параметров потока, которые скомпенсированы относительно дрейфа смещения нуля датчика.

Система 203 обработки данных может содержать универсальный компьютер, микропроцессорную систему, логическую схему, или некоторое другое универсальное или специализированное устройство обработки данных. Система 203 обработки данных может быть распределена по множеству устройств обработки данных. Система 203 обработки данных может включать в себя любого вида составной или независимый электронный носитель данных, например, систему 204 памяти.

Система 203 обработки данных обрабатывает сигнал 210 датчика, в том числе, чтобы сформировать приводной сигнал 211. Приводной сигнал 211 подается на привод 104, заставляя колебаться соответствующую расходомерную трубку(-и), такие

как расходомерные трубки 103А, 103В на Фиг.1.

Следует понимать, что измерительная электроника 20 может включать в себя различные другие компоненты и функции, которые являются общеизвестными в данной области техники. Эти дополнительные признаки для краткости опущены в описании и на чертежах. Поэтому, настоящее изобретение не должно ограничиваться конкретными показанными и обсуждаемыми вариантами реализации.

Поскольку система 203 обработки данных производит различные параметры потока, например, массовый расход или объемный расход, ошибка может быть связана с создаваемым расходом вследствие смещения нуля вибрационного расходомера и, более конкретно, вследствие изменения или дрейфа смещения нуля вибрационного расходомера. Хотя смещение нуля обычно изначально рассчитывается, как описано выше, дрейф смещения нуля может быть большим относительно этого изначально рассчитанного значения из-за множества факторов, включая в себя изменение одного или нескольких эксплуатационных условий, например, температуры вибрационного расходомера. Изменение температуры может быть вызвано изменением температуры флюида, изменением окружающей температуры, или и того, и другого. Изменение температуры может быть изменением опорной или калибровочной температуры  $T_0$  датчика во время определения начального смещения нуля. Изменение температуры может быть связано с изменением температуры датчика, изменением температуры измерительной электроники, или и того, и другого. В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника 20 может осуществить подпрограмму 213 определения дифференциального смещения, как дополнительно описывается ниже.

Хотя настоящее изобретение было описано выше в связи с единственным вибрационным расходомером, имеется много приложений, в которых используется множество последовательных вибрационных расходомеров. Во многих из этих приложений не представляет интереса абсолютный расход, измеренный каждым отдельным расходомером, а скорее представляет интерес различие в расходах, измеренных различными расходомерами. Два простых примера такой ситуации - это измерение топливной эффективности и измерения при регистрации утечки. Приложение для измерения топливной эффективности показано на Фиг.3; однако, чертеж одинаково применим к другим ситуациям, например, к системам обнаружения утечки, где множественные расходомеры работают последовательно, и анализируется различие в измерениях, по меньшей мере, между двумя расходомерами.

На Фиг.3 показана блок-схема расходомерной системы 300 в соответствии с вариантом реализации изобретения. Хотя система 300 расходомера показана как типичная система измерения топливной эффективности, следует отметить, что топливо является исключительно примером, и система 300 одинаково применима к другим флюидам. Поэтому, использование топлива не должно ограничивать объем притязаний настоящего изобретения. Система 300 расходомера включает в себя резервуар 301 подачи топлива, трубку 302 подачи топлива, первый вибрационный расходомер 10, установленный в топливоподающую трубку 302, выпуск 304 топлива, трубку 306 возврата топлива, и второй вибрационный расходомер 305, установленный в трубку 306 возврата топлива. Как правило, двигатель, или другое потребляющее топливо устройство, устанавливаются между первым и вторым расходомерами 10, 305; однако, это устройство для простоты не приводится на чертеже. Хотя это и не показано, следует отметить, что расходомеры 10, 305 обычно присоединяются с одной или более измерительной электроникой, как указано выше. В некоторых вариантах

реализации, первый и второй расходомеры 10, 305 могут быть присоединены к тому же самому электронному измерителю. В соответствии с вариантом реализации изобретения, первый и второй расходомеры 10, 305 содержат расходомеры Кориолиса. Однако, расходомеры могут содержать другие типы вибрационных датчиков, у которых отсутствуют измерительные возможности расходомеров Кориолиса. Поэтому, настоящее изобретение не должно быть ограничено расходомерами Кориолиса.

При использовании, флюид, например, топливо, может быть подан на первый расходомер 10 через трубку 302 подачи флюида. Первый расходомер 10 может рассчитать различные параметры флюида, включая в себя расход флюида, как рассмотрено выше. Топливо затем выходит из первого расходомера 10 и протекает через потребляющее топливо устройство и, или к топливному выпуску 304, или на второй расходомер 305. Если топливо отбирается от топливного выпуска 304, например, если двигатель работает и потребляет топливо, то только часть топлива, выходящего из первого вибрационного расходомера 10, будет течь ко второму вибрационному расходомеру 305. Поэтому, расходы, измеренные первым и вторым вибрационными расходомерами 10, 305, будут различаться. Неиспользованное топливо течет через второй вибрационный расходомер 305 и может возвратиться к резервуару 301 подачи топлива, как это показано. Следует отметить, что хотя система 300 измерения топливной эффективности имеет только один топливный выпуск 304 и два вибрационных расходомера 10, 305, в некоторых вариантах реализации могут быть множественные топливные выпуски и, поэтому, больше двух вибрационных расходомеров.

В соответствии с вариантом реализации изобретения, различие в расходах, измеренных первым и вторым расходомерами 10, 305, по существу равно расходу топлива, выходящего из выпуска 304 флюида, то есть равно потреблению двигателя. Поэтому, различие в измеренных расходах между этими двумя расходомерами 10, 305 дает представляющее интерес значение для большинства приложений с конфигурацией, подобной показанной на Фиг.3. В результате один измеритель может быть установлен как опорный измеритель, и другой измеритель может быть откалиброван, чтобы согласовываться с опорным измерителем, когда предполагается одинаковый расход, то есть, когда флюид не выходит из топливного выпуска 304. Для большинства вариантов реализации не имеет значения, какой измеритель установлен как опорный измеритель.

Расход топлива, выходящего из топливного выпуска 304 (потребление флюида) обычно намного меньше, чем расход в трубках 302, 306 подачи и возврата, приводя к завышению размеров датчиков. Для этих конфигураций желательно также, чтобы габариты расходомеров были бы таковы, чтобы был очень небольшой перепад давления, что означает относительно низкие расходы на габарит измерителя. С такими низкими расходами при данном габарите измерителя, временная задержка между измерительными преобразователями также будет относительно малой. С измеренной временной задержкой, столь близкой к смещению нуля, смещение нуля расходомера может существенно влиять на точность измерителя. Можно легко заметить, что из-за увеличенной чувствительности к смещению нуля в системе 300, даже малый дрейф смещения нуля может неблагоприятно влиять на всю систему. Однако, поскольку различие в измерениях является представляющим интерес значением, абсолютное смещение нуля отдельных расходомеров 10, 305 не является необходимым, чтобы скорректировать измерение. Вместо этого, может быть

использовано изначально откалиброванное смещение нуля одного измерителя, и дифференциальное смещение нуля, как указано выше, может быть рассчитано для второго измерителя. В качестве примера, второй расходомер 305 может быть опорным относительно первого расходомера 10. Поэтому, в вариантах реализации, где смещение нуля содержит дифференциальное смещение нуля, один из расходомеров рассматривается как опорный расходомер со смещением нуля другого расходомера, откалиброванного так, чтобы согласовываться с опорным измерителем. Поэтому, дифференциальное смещение нуля может быть рассчитано с использованием уравнения (4).

Преимущественно то, что компенсация дифференциального смещения нуля между двумя или несколькими измерителями не только компенсирует нулевые различия эксплуатационных условий, но также и удаляет абсолютные различия смещения нуля между измерителями вследствие установочных эффектов, например. Кроме того, дифференциальное смещение нуля не обязательно должно быть определено, когда расход через расходомер является нулевым, пока флюид, текущий через данный анализируемый расходомер, и опорный расходомер, имеют по существу одинаковый расход флюида. Поэтому, дифференциальное смещение нуля может быть определено независимо от выключения двигателя, например. Однако, это предполагает, что любое различие между измеренными расходами вызвано изменением смещения нуля, и не связано с другими факторами, например, с изменением калибровочного коэффициента расхода. Во многих приложениях относительно просто определить, если двигатель работает, что потребление топлива обычно больше чем в 5 раз превышает дифференциальное смещение нуля. Поэтому, маловероятно, что различие между измерениями первого и второго расходомеров 10, 305 вследствие потребления топлива может быть принято за дифференциальное смещение нуля. В соответствии с вариантом реализации изобретения, подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть осуществлена для определения корреляции 214 смещения нуля. Хотя приведенное ниже рассмотрение относится к корреляции 214 смещения нуля, как содержащей корреляцию для дифференциального смещения нуля, следует отметить, что подобная подпрограмма может быть выполнена для формирования корреляции абсолютного смещения нуля. Однако, такая корреляция требовала бы, чтобы расход через вибрационный расходомер был нулевым, чтобы получить различные значения смещения нуля.

На Фиг.4 показана подпрограмма 213 определения дифференциального смещения в соответствии с вариантом реализации изобретения. В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника 20 может быть сконфигурирована для выполнения подпрограммы 213 определения дифференциального смещения, например. Подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть выполнена изготовителем или пользователем после того, как датчик установлен.

В соответствии с вариантом реализации, когда подпрограмма 213 определения дифференциального смещения выполняется с множественными расходомерами, например, как показано на Фиг.3, подпрограмма 213 может быть выполнена, когда расход через два или несколько расходомеров по существу одинаков, включая в себя нулевой расход флюида. Подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть выполнена для калибровки дифференциального смещения нуля между двумя или несколькими расходомерами. Поэтому, подпрограмма 213 определения дифференциального смещения не обязательно должна калибровать

расходомеры для считывания точного абсолютного массового расхода; вместо этого, расходомеры могут быть откалиброваны так, что дифференциальное считывание между ними будет точным. В качестве примера, если истинный расход через первый расходомер 10, как определяется средством контроля, или подобным устройством, составляет 2000 кг/час, и расход флюида, выходящего через выпуск 304, составляет 1000 кг/час, то желательно иметь разность между вторым расходомером 305 и первым расходомером 10, составляющую 1000 кг/час. Однако, во многих вариантах реализации может быть допустимо, что первый расходомер 10 измеряет расход 2020 кг/час, если только второй расходомер 305 откалиброван для считывания 1020 кг/час. Поэтому, хотя абсолютный расход через каждый измеритель может не быть точным, дифференциальное считывание оказывается точным или, по меньшей мере, находится в пределах допустимой ошибки. Следует отметить, что вышеупомянутые значения представляют собой исключительно примеры и никоим образом не должны ограничивать объем притязаний настоящего изобретения.

Подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть выполнена, когда потребляющее флюид устройство, например, двигатель, выключено. В других вариантах реализации подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть выполнена, когда предполагается, что расходы, измеренные первым расходомером 10 и вторым расходомером 305, одинаковы, например, если определено, что система обнаружения утечки не свидетельствует об утечке. Поэтому, следует отметить, что поток через расходомеры 10, 305 не обязательно содержит нулевой поток, и во многих вариантах реализации не будет содержать нулевой поток во время выполнения подпрограммы 213 определения дифференциального смещения.

В соответствии с вариантом реализации изобретения, подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть выполнена после начальной калибровки вибрационного расходомера или может содержать часть начальной калибровки вибрационного расходомера. Подпрограмма 213 определения дифференциального смещения может быть использована для формирования корреляции между смещением нуля вибрационного расходомера и одним или несколькими эксплуатационными условиями вибрационного расходомера. Смещение нуля может содержать абсолютное смещение нуля или дифференциальное смещение нуля, как указано выше.

Подпрограмма 213 определения дифференциального смещения начинается на этапе 401, где один или несколько сигналов датчика могут быть приняты от первого вибрационного расходомера 10 и второго вибрационного расходомера 305. Сигналы датчика могут быть приняты измерительными преобразователями, например, измерительными преобразователями 105, 105' первого вибрационного расходомера 10. Поскольку имеется множество вибрационных расходомеров, например, на Фиг.3, сигналы датчика могут быть приняты от обоих расходомеров, когда имеется флюид, текущий через расходомеры.

На этапе 402, принятые сигналы датчика могут быть обработаны для определения первого расхода, определяемого первым вибрационным расходомером 10, и второго расхода, определяемого вторым вибрационным расходомером 305. Первый и второй расходы могут быть определены, используя уравнение (1), например.

На этапе 403 может быть определено дифференциальное смещение нуля первого вибрационного расходомера 10. В соответствии с вариантом реализации изобретения, дифференциальное смещение нуля может быть определено, используя уравнение (3), например. В соответствии с вариантом реализации изобретения, определенное

смещение нуля может содержать изначально определенное смещение нуля. Это может быть так, если подпрограмма 213 определения смещения нуля осуществляется как часть начальной калибровки вибрационного расходомера, например. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, определенное смещение нуля может  
5 содержать впоследствии определенное смещение нуля. Впоследствии определенное смещение нуля может быть отличным от изначально определенного смещения нуля. Это может быть особенно справедливо для ситуаций, когда эксплуатационные условия отличаются от тех эксплуатационных условий, при которых определялось  
10 начальное смещение нуля, например. В некоторых вариантах реализации, подпрограмма 213 может закончиться после этапа 403. В соответствии с другим вариантом реализации, подпрограмма 213 может продолжаться на этапе 404 или этапе 406.

На этапе 404 может быть определено одно или несколько текущих  
15 эксплуатационных условий. Одно или несколько текущих эксплуатационных условий могут быть определены посредством обработки сигналов датчика, полученных на этапе 401. Альтернативно, одно или несколько эксплуатационных условий могут быть определены от внешних входных сигналов, например, от внешних температурных датчиков, вискозиметра, и т.д. Эксплуатационные условия могут содержать один или  
20 несколько параметров - температуру, давление, плотность флюида, условие установки датчика, усиление привода, и т.д. В соответствии с одним вариантом реализации, усиление привода может быть сравнено с пороговым значением, и если усиление привода превышает пороговое значение, смещение нуля, определенное на этапе 402,  
25 можно рассматривать как ошибку и не сохранять. Ошибка может быть связана с вовлеченным газом, например. Если одно из эксплуатационных условий содержит температуру, то температура может быть определена с использованием датчика RTD, например. Температура может соответствовать температуре расходомера или  
30 температуре измерительной электроники, например. В соответствии с вариантом реализации изобретения предполагается, что температура для первого расходомера 10 и второго расходомера 305 по существу одинаковы. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, предполагается, что различие температуры между первым расходомером 10 и вторым расходомером 305 по существу постоянно.

На этапе 405, корреляция 214 смещения может быть сформирована между дифференциальным смещением нуля и одним или несколькими эксплуатационными условиями. Следует отметить, что хотя корреляция может быть улучшена повторением подпрограммы 213 определения дифференциального смещения  
40 множество раз при различных эксплуатационных условиях, корреляция 214 может быть сформирована по единственному определенному дифференциальному смещению нуля для соответствующих эксплуатационных условий. Это особенно справедливо для ситуаций, когда изначально рассчитанное смещение нуля доступно из начальной калибровки, например. Однако, легко можно видеть, что, чем больше нулевых  
45 смещений определено в различных дополнительных эксплуатационных условиях, тем более полной становится корреляция 214 смещения. В качестве примера, температура может быть отрегулирована до нового значения, которое отличается от температуры, измеренной на этапе 403, и может быть определено другое смещение нуля.  
50 Альтернативно, подпрограмма 213 определения смещения нуля может выполняться всякий раз, когда расход через вибрационный расходомер по существу нулевой, или когда расходы через первый расходомер 10 и второй расходомер 305 по существу равны. Новое смещение нуля может быть сохранено вместе с новой температурой,

чтобы добавить дополнительные значения к корреляции 214 смещения.

Корреляция 214 смещения может быть сохранена для будущего использования измерительной электроникой 20. Корреляция 214 смещения может быть сохранена в различных форматах, включая в себя, например, справочные таблицы, графики, уравнения, и т.д. Хотя приведенное выше рассмотрение ограничено температурой, как составляющей эксплуатационное условие, другие эксплуатационные условия, кроме температуры, также могут быть учтены. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, корреляция 214 смещения может содержать многомерную корреляцию. Например, корреляция 214 смещения может учитывать не только температуру, но также и плотность флюида. Поэтому, смещение нуля может изменяться и с температурой, и с плотностью флюида, приводя к трехмерной корреляции. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, отдельные корреляции смещения нуля могут быть сформированы для каждой плотности флюида. Например, если ожидается, что два флюида могут течь через систему, то отдельная корреляция может быть сформирована для каждого из этих двух флюидов. Если впоследствии измеряется третий флюид, имеющий другую плотность, то может быть получено скорректированное смещение нуля посредством интерполяции или экстраполяции от имеющихся корреляций.

Как только определена корреляция 214 смещения между дифференциальным смещением нуля и одним или несколькими эксплуатационными условиями, измеренное эксплуатационное условие может быть сравнено с предыдущим эксплуатационным условием, сохраняемым в корреляции 214, для определения соответственного смещения нуля при конкретном эксплуатационном условии. В соответствии с вариантом реализации изобретения, скорректированное смещение нуля может обеспечить более точное определение различных параметров потока. Например, может быть сформирован компенсированный расход, исходя из дифференциального смещения нуля. Компенсированный расход может учитывать вариации смещения нуля вследствие изменений одного или нескольких эксплуатационных условий, например, температуры. Как упомянуто выше, корреляция 214 смещения может быть сохранена в разнообразных форматах. Пример справочной таблицы показан ниже как таблица 1, с соответствующим графиком, показанным на Фиг.5.

ТАБЛИЦА 1

Температура (°C)	Дифференциальное смещение нуля (нс)
0	0
10	20
20	80
30	144

В соответствии с вариантом реализации изобретения, используемом в таблице 1, начальная калибровка была выполнена при 0°C. Поэтому нет дифференциального смещения нуля между первым и вторым расходомерами 10, 305 при 0°C. Однако, если температура увеличивается, дифференциальное смещение нуля между изначально рассчитанным смещением нуля и смещением нуля, определенным при новом эксплуатационном условии, также увеличивается. Справочная таблица 1 может быть сохранена в системе 204 памяти измерительной электроники 20 или некоторой другой системе памяти для дальнейшего использования.

На Фиг.5 показан график корреляции дифференциального смещения нуля в соответствии с вариантом реализации изобретения. Поэтому, температура содержит измеренное эксплуатационное условие; однако, следует отметить, что любое число

других эксплуатационных условий может быть использовано для формирования подобных графиков. Как можно видеть из Фиг.5, корреляция дифференциального смещения нуля приблизительно линейна. Следует отметить, что это может не всегда быть именно так. Конкретная корреляция может зависеть от данного конкретного расходомера, а также от плотности флюида, наряду с другими факторами. Кроме того, следует отметить, что конкретные значения, показанные на Фиг.5, представляют собой просто примеры, и никоим образом не должны ограничивать объем притязаний настоящего изобретения.

В соответствии с вариантом реализации изобретения, корреляция 214 смещения нуля, определенная подпрограммой 213, может быть использована при нормальной эксплуатации для определения дифференциального смещения нуля. Более конкретно, корреляция 214 смещения нуля может быть использована для определения дифференциального смещения нуля между первым расходомером 10 и, по меньшей мере, вторым расходомером 305, исходя из одного или нескольких измеренных эксплуатационных условий. Такое определение показано в подпрограмме 215 определения дифференциального нуля, показанной на Фиг.6.

На Фиг.6 показана подпрограмма 215 определения дифференциального нуля в соответствии с вариантом реализации изобретения. Подпрограмма 215 определения дифференциального нуля может быть выполнена при нормальной эксплуатации. Подпрограмма 215 определения дифференциального нуля может быть выполнена измерительной электроникой 20, например. Подпрограмма 215 определения дифференциального нуля может быть осуществлена с системой вибрационного расходомера, как показано на Фиг.3. Подпрограмма 215 определения дифференциального нуля может быть использована, чтобы компенсировать изменение смещения нуля вибрационного расходомера. Подпрограмма 215 определения дифференциального нуля стартует на этапе 601, когда принимаются сигналы датчика от вибрационного расходомера, например, вибрационного расходомера 10. Вибрационный расходомер, от которого приняты сигналы датчика, содержит вибрационный расходомер, имеющий предварительно определенную корреляцию смещения, например, корреляцию 214 смещения. Сигналы датчика, принятые на этапе 601, могут быть приняты в течение нормальной эксплуатации, например, когда через вибрационный расходомер течет флюид. Сигналы датчика могут содержать временную задержку, разность фаз, частоту, температуру, и т.д. Сигналы датчика могут быть обработаны на этапе 602 для определения одного или нескольких эксплуатационных условий. Одно или несколько текущих эксплуатационных условий могут содержать температуру, плотность флюида, давление, усиление привода, и т.д.

На этапе 603, одно или несколько эксплуатационных условий могут быть сравнены с предварительно определенными эксплуатационными условиями корреляции смещения. Предварительно определенные эксплуатационные условия могут содержать те же самые эксплуатационные условия, что и текущие эксплуатационные условия. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, текущие эксплуатационные условия могут быть сравнены с двумя или несколькими предварительно определенными эксплуатационными условиями.

На этапе 604, дифференциальное смещение нуля может быть определено, исходя из корреляции смещения, например. Дифференциальное смещение нуля содержит смещение нуля, которое учитывает изменение смещения нуля вдали от изначально определенного смещения нуля, обусловленного отклонением одного или нескольких

эксплуатационных условий от тех эксплуатационных условий, для которых было определено начальное смещение нуля. Дифференциальное смещение нуля может затем быть использовано для формирования компенсированного расхода, решая уравнение (1), с использованием дифференциального смещения нуля вместо того, чтобы использовать абсолютное смещение нуля.

Следует отметить, что во многих ситуациях точно измеренное эксплуатационное условие может не сохраняться как коррелированное значение. Однако, соответствующее смещение нуля может быть интерполировано или экстраполировано от известных значений в корреляции 214 смещения. Например, если измеренное эксплуатационное условие содержало температуру 20°C, и сохраненная корреляция 214 смещения имела соответствующие значения смещения нуля для температур 10°C и 30°C, соответствующее значение дифференциального смещения нуля может быть интерполировано от двух имеющихся температур. Преимущественно то, что дифференциальное смещение нуля может быть сформировано, используя корреляцию 214 смещения и измеренные эксплуатационные условия. Дифференциальное смещение нуля может быть определено без обнуления вибрационного расходомера. Дифференциальное смещение нуля может быть определено без остановки вибрационного расходомера. Вместо этого, дифференциальное смещение нуля может быть определено просто посредством сравнения измеренных эксплуатационных условий с корреляцией 214 смещения. Поэтому, дифференциальное смещение нуля содержит смещение нуля, которое учитывает дрейф смещения нуля вследствие изменений одного или нескольких эксплуатационных условий.

В некоторых вариантах реализации, определенные эксплуатационные условия могут быть теми же самыми или находиться в пределах порогового различия с эксплуатационными условиями, которые имелись в течение начальной калибровки. Поэтому, в некоторых вариантах реализации, измеренные эксплуатационные условия могут быть сравнены с эксплуатационными условиями начальной калибровки. Если различие оказывается меньше порогового различия, то подпрограмма 215 определения дифференциального нуля может не пытаться отыскать дифференциальное смещение нуля, а вместо этого может использовать изначально откалиброванное смещение нуля.

В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, может оказаться желательным компенсировать изменение смещения нуля вибрационного расходомера, без формирования корреляции смещения или сохранения предварительно сформированной корреляции смещения. Кроме того, в некоторых вариантах реализации, хотя смещение нуля вибрационных расходомеров 10, 305 может значительно измениться от изначально откалиброванного значения, смещения нуля могут значительно не изменяться между периодами потребления топлива. В этих вариантах реализации, вместо формирования корреляции для коррекции изменения смещения нуля вибрационных расходомеров, новое дифференциальное смещение может быть определено каждый раз, когда расходы через первый и второй вибрационный расходомеры 10, 305 по существу равны. Вновь определенное дифференциальное смещение может быть использовано, пока не определено другое дифференциальное смещение. Это показано в подпрограмме 213 определения дифференциального смещения, которая переходит от этапа 403 на этап 406, а не на этап 404.

На этапе 406, последующие сигналы первого датчика принимаются от первого

вибрационного расходомера 10. Последующие сигналы первого датчика могут быть приняты после начальных сигналов первого и второго датчиков. Например, сигналы первого и второго датчиков могут быть приняты, когда расход через первый и второй вибрационные расходомеры 10, 305 оказываются по существу такими же, и  
5 последующие сигналы первого датчика могут быть приняты, когда расход через первый и второй расходомеры не те же самые, например, когда двигатель работает и потребляет топливо.

На этапе 407 компенсированный расход может быть определен, исходя из  
10 впоследствии принятых сигналов первого датчика и дифференциального смещения нуля, определенного на этапе 403. Следует отметить, что дифференциальное смещение нуля, определенное на этапе 403, может быть использовано пока расход через первый и второй вибрационный расходомер 10, 304 снова по существу тот же самый, и может  
15 быть определено новое дифференциальное смещение нуля.

Подпрограмма 213 определения дифференциального смещения преимущественно не должна требовать определения эксплуатационных условий и сравнения  
эксплуатационных условий с предыдущими эксплуатационными условиями  
корреляции смещения. Вместо этого, подпрограмма 216 определения  
20 дифференциального нуля предполагает, что эксплуатационные условия по существу те же самые, что и эксплуатационные условия при последнем определении  
дифференциального смещения нуля.

Вышеприведенное рассмотрение было ограничено рассмотрением различных  
25 способов для определения и коррекции изменения смещения нуля или для одного, или для нескольких вибрационных расходомеров. Обычно, в приложениях с малым потоком, например, в приложениях с эффективным использованием топлива, где датчики имеют завышенные размеры, изменение смещения нуля из-за изменения  
эксплуатационных условий учитывает одну из самых больших потенциальных ошибок  
30 измерения. Однако, в соответствии с вариантом реализации изобретения, изменение или различие калибровочного коэффициента расхода вибрационного расходомера также может быть учтено. Хотя калибровочный коэффициент расхода обычно более устойчив к изменению эксплуатационных условий, чем смещение нуля, все же полезно  
удалить любое систематическое ошибочное смещение между двумя расходомерами,  
35 чтобы оптимизировать дифференциальные измерения. Обычно, в ситуациях с техникой предшествующего уровня, определяется калибровочный коэффициент расхода и предполагается, что он остается по существу постоянным в широких пределах  
изменения расходов и состояний флюидов, например. Однако, в ситуациях, где  
40 анализируемое значение является разностью между измерениями двух или нескольких расходомеров, даже малое изменение или различие калибровочного коэффициента расхода может неблагоприятно влиять на результаты измерений. Например,  
изменение или различие калибровочного коэффициента расхода может быть  
воспринято как систематическое ошибочное смещение между первым  
45 расходомером 10 и вторым расходомером 305. В качестве примера, первый расходомер 10 может измерить массовый расход в 100 кг/час, тогда как второй расходомер 305 измеряет массовый расход в 101 кг/час, то есть между двумя  
измерителями имеется 1%-ое систематическое смещение. Это смещение может быть  
50 компенсировано калибровочным коэффициентом расхода. Если бы это 1%-ое смещение сохранялось независимо от расхода, то можно было бы предполагать, что если первый расходомер 10 измеряет массовый расход в 1000 кг/час, то второй массовый расходомер измерит массовый расход в 1010 кг/час. Однако, отклонение за

пределы этого 1%-ого смещения может произойти из-за изменения калибровочного коэффициента расхода, предполагая, что другие эксплуатационные условия остаются теми же самыми.

5 В соответствии с вариантом реализации изобретения, могут быть выполнены два отдельных теста при различных расходах, но при том, что другие эксплуатационные условия сохраняются такими же. Значения и для калибровочного коэффициента расхода, и для смещения нуля датчика могут быть определены. Это может быть достигнуто, используя уравнение (1), например.

10 Например, если настоящее изобретение осуществляется с системой 300 эффективного использования топлива или с подобной системой с множественными последовательными расходомерами, один расходомер может быть выбран как опорный расходомер, например, второй расходомер 305. С выключенным двигателем, чтобы сформировать по существу равные расходы через первый и второй  
15 расходомеры 10, 305, сигналы датчика могут быть приняты и от первого, и от второго расходомеров 10, 305. В соответствии с вариантом реализации изобретения, массовый расход может быть получен от второго расходомера 305 (опорный расходомер), как это общеизвестно в данной области техники. Этот рассчитанный расход может быть  
20 введен в уравнение (1) для первого расходомера 10. Поэтому, в соответствии с уравнением (1), имеется два неизвестных, а именно, калибровочный коэффициент расхода первого расходомера 10 и смещение нуля (в этом случае дифференциальное смещение). В рассмотренных выше вариантах реализации предполагалось, что калибровочный коэффициент расхода не изменился относительно начальной  
25 калибровки и, поэтому, это значение было также известно. Однако, если это предположение не сделано, то имеется два неизвестных для одного уравнения. Чтобы разрешить его для обоих неизвестных, эксплуатационные условия сохраняются теми же самыми, за исключением массового расхода, который регулируется до другого значения. С отличающимся массовым расходом сигналы датчика еще раз  
30 принимаются с массовым расходом, создаваемым вторым расходомером 305. При этом получают два уравнения с двумя неизвестными. И калибровочный коэффициент расхода, и дифференциальное смещение нуля для первого расходомера 10, могут быть рассчитаны. Если это определение сделано для более, чем  
35 одного эксплуатационного условия, корреляции могут быть определены между одним или несколькими эксплуатационными условиями и калибровочным коэффициентом расхода и дифференциальным смещением нуля. Следует отметить, что в некоторых вариантах реализации, корреляция, включающая в себя калибровочный коэффициент расхода, может требоваться только, если расход флюида превышает пороговое  
40 значение. В соответствии с вариантом реализации изобретения можно предполагать, что калибровочный коэффициент расхода остается постоянным, если расход флюида остается ниже порогового значения, например.

45 В соответствии с описанными выше различными вариантами реализации, только единственное смещение нуля было определено при каждом измеренном эксплуатационном условии. В соответствии с вариантом реализации изобретения, впоследствии рассчитанные значения смещения нуля могут быть определены для уже сохраненных эксплуатационных условий, чтобы учесть изменения компенсированного  
50 смещения нуля, которые могут происходить с течением времени. Вышеупомянутая корреляция 214 обычно определяется в течение одной или нескольких подпрограмм калибровки. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, калибровка может быть выполнена автоматически и может непрерывно обновлять

корреляцию 214 смещения, чтобы учесть изменения, которые могут произойти при эксплуатации вибрационного расходомера. Это позволяет настоящее изобретение непрерывно адаптировать к изменяющимся условиям. Рассматриваемая ниже подпрограмма 216 определения смещения нуля может быть использована с  
5 единственным расходомером, например, показанным на Фиг.1, или, альтернативно, с множественными расходомерами, как показано на Фиг.3. Поэтому, хотя рассмотренная выше корреляция 214 смещения в первую очередь относилась к дифференциальному смещению нуля, подпрограмма 216 определения смещения нуля  
10 может быть использована для обновления абсолютного смещения нуля.

На Фиг.7 показана подпрограмма 216 определения смещения нуля в соответствии с вариантом реализации изобретения. Измерительная электроника 20 может автоматически обновлять смещение нуля конкретного вибрационного расходомера, используя подпрограмму 216 определения смещения нуля.

15 На этапе 701 могут быть приняты сигналы датчика. Сигналы датчика могут быть приняты так, как описано выше. Сигналы датчика могут быть приняты только от одного вибрационного расходомера, например, вибрационного расходомера 10. В других вариантах реализации, когда подпрограмма 216 определения смещения нуля осуществляется с множественными вибрационными расходомерами, сигналы датчика  
20 могут быть приняты более, чем от одного вибрационного расходомера. В соответствии с вариантом реализации изобретения, сигналы датчика могут быть приняты от вибрационного расходомера, имеющего предварительно определенную корреляцию смещения. Предварительно определенная корреляция смещения может  
25 соответствовать дифференциальному смещению нуля, например, корреляции 214 смещения. В соответствии с другим вариантом реализации, предварительно определенная корреляция смещения может соответствовать абсолютному смещению нуля, например, для единственного вибрационного расходомера. Корреляция  
30 абсолютного смещения нуля может быть определена подобным же образом, что и в подпрограмме 213 определения дифференциального смещения, за исключением того, что абсолютное смещение нуля должно быть определено тогда, когда расход по существу нулевой. Однако, эксплуатационные условия, например, температура, могут  
35 быть определены, и корреляция может быть сформирована так, как рассмотрено выше.

На этапе 702 может быть сформировано текущее смещение нуля. Текущее смещение нуля может быть сформировано, используя сигналы датчика, принятые на этапе 701, например. Текущее смещение нуля может содержать абсолютное смещение нуля, или,  
40 альтернативно, дифференциальное смещение нуля.

На этапе 703 может быть определено одно или несколько текущих эксплуатационных условий.

На этапе 704 одно или несколько текущих эксплуатационных условий могут быть сравнены с одним или несколькими предыдущими эксплуатационными условиями  
45 ранее определенной корреляции смещения между смещением нуля и эксплуатационными условиями, например, корреляции 214 смещения.

На этапе 705 подпрограмма 216 определения смещения нуля определяет, существует ли предварительно определенное смещение нуля для текущих эксплуатационных  
50 условий. В соответствии с вариантом реализации изобретения, если корреляция смещения не включает в себя смещение нуля для одного или нескольких определенных эксплуатационных условий, подпрограмма 216 переходит на этап 706, где текущее смещение нуля, сформированное на этапе 702, может быть сохранено как новое

значение корреляции 214 смещения нуля наряду с соответствующими определенными эксплуатационными условиями. В соответствии с другим вариантом реализации изобретения, если корреляция смещения включает в себя предварительно определенное смещение нуля, соответствующее одному или нескольким определенным эксплуатационным условиям, подпрограмма 216 определения смещения нуля может перейти на этап 707. Предварительно определенное смещение нуля может содержать смещение нуля типа "наилучший гость", которое может быть запрограммировано изготовителем, например.

На этапе 707 может быть определено среднее смещение нуля. В соответствии с вариантом реализации изобретения, текущему смещению нуля и предварительно определенному смещению нуля может быть назначен весовой коэффициент, и взвешенное смещение нуля может содержать взвешенное среднее текущее и предварительно определенное смещения нуля. Весовые коэффициенты, назначенные текущему и предварительно определенному смещениям нуля, могут быть хронологическими, например. В соответствии с вариантом реализации изобретения, более новым определенным смещениям нуля дается больший вес, чем более давним определенным смещениям нуля. Поэтому, текущему смещению нуля придается больший вес, чем предварительно определенному смещению нуля. Например, текущему смещению нуля можно придать вдвое больший вес относительно предварительно определенного смещения нуля, определяя среднее смещение нуля. Аналогично, конкретный вес, приданный текущему смещению нуля может быть основанным на относительной ошибке во времени между текущим и предварительно определенным смещениями нуля. Весовой коэффициент может быть использован для формирования компенсированного смещения нуля в течение нормальной эксплуатации, например, в течение выполнения подпрограммы 215 определения дифференциального нуля, например. Взвешенное смещение нуля может быть сохранено с корреляцией 214 смещения, например. Поэтому, в течение выполнения подпрограммы 215 определения дифференциального нуля, значения смещения нуля, сохраняемые с корреляцией 214 смещения, могут содержать значения взвешенного смещения нуля.

Используя взвешенное среднее, чтобы обновлять смещение нуля, настоящее изобретение может не только непрерывно адаптироваться к изменяющимся условиям, но также и уменьшить существенные ошибки, произведенные экстремальными изменениями единственного смещения нуля, которые могут быть связаны с факторами, отличными от измеренных эксплуатационных условий.

В соответствии с вариантом реализации изобретения, измерительная электроника 20 может использовать обновленные значения для смещения нуля, сравнивая одно или несколько измеренных эксплуатационных условий с корреляцией 214 смещения. В соответствии с вариантом реализации изобретения, каждый раз, когда выполняется подпрограмма определения смещения нуля, например, подпрограмма 213 определения дифференциального смещения, или подпрограмма 216 определения смещения нуля, корреляция 214 смещения может быть сохранена в базе данных. С каждой получаемой последовательной корреляцией смещения база данных растет.

Следует также отметить, что компенсированное смещение нуля может быть определено автоматически измерительной электроникой 20, например. Это позволяет избежать необходимости в пользователе/операторе для ручного введения компенсированного смещения нуля, исходя из предварительно полученной корреляции.

Настоящее изобретение, как описано выше, предоставляет различные способы для определения и компенсации изменений, которые могут произойти в смещении нуля вибрационного расходомера, например, расходомера Кориолиса. Кроме того, настоящее изобретение предоставляет способ для компенсации изменения калибровочного коэффициента расхода, которое может происходить со временем, или, еще проще, удалить постоянное различие калибровочных коэффициентов расхода между двумя или несколькими измерителями так, чтобы максимизировать параметры дифференциальных измерений. Хотя рассмотренные выше различные варианты реализации относятся к расходомерам, конкретно - к расходомерам Кориолиса, следует отметить, что настоящее изобретение не должно быть ограничено расходомерами Кориолиса, но рассмотренные здесь способы могут быть использованы с другими типами расходомеров, или другими вибрационными датчиками, у которых отсутствуют некоторые из возможностей измерения расходомеров Кориолиса.

Подробные описания вышеупомянутых вариантов реализации не являются исчерпывающими описаниями всех вариантов реализации, рассматриваемых авторами как находящиеся в пределах объема притязаний изобретения. Действительно, специалисты в данной области техники увидят, что некоторые элементы вышеописанных вариантов реализации могут быть различным образом объединены, или устранены, чтобы сформировать дополнительные варианты реализации, и такие дополнительные варианты реализации находятся в пределах объема притязаний и принципов изобретения. Специалистам в данной области техники также будет очевидно, что вышеописанные варианты реализации могут быть объединены полностью или частично, чтобы сформировать дополнительные варианты реализации в пределах объема притязаний и принципов изобретения.

Таким образом, хотя конкретные варианты реализации и примеры изобретения описаны здесь в иллюстративных целях, различные эквивалентные модификации возможны в рамках изобретения, как это будет видно специалистам в данной области техники. Представленные здесь принципы могут быть применены к другим вибрационным датчикам, а не только к описанным выше и показанным на сопровождающих чертежах вариантам реализации. Соответственно, объем притязаний изобретения должен быть определен из нижеследующей формулы.

#### Формула изобретения

1. Способ эксплуатации вибрационного расходомера, имеющего предварительно установленную корреляцию смещения между нулевым смещением и одним или несколькими эксплуатационными условиями, содержащий этапы:

- приема сигналов датчика от вибрационного расходомера;
- определения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера, исходя из принятых сигналов датчика;
- определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий;
- сравнения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий с одним или несколькими эксплуатационными условиями предварительно установленной корреляции смещения; и

если предварительно установленная корреляция смещения включает в себя нулевое смещение, соответствующее текущим эксплуатационным условиям, то формируют среднее нулевое смещение, исходя из текущего нулевого смещения и нулевого смещения предварительно установленной корреляции смещения.

2. Способ по п.1, дополнительно содержащий этап сохранения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера и одного или нескольких текущих эксплуатационных условий, если корреляция смещения не включает в себя предварительно определенное нулевое смещение, соответствующее одному или  
5 нескольким текущим эксплуатационным условиям.

3. Способ по п.1, в котором этап формирования среднего нулевого смещения содержит этапы:

применения первого весового коэффициента к текущему нулевому смещению для  
10 формирования первого взвешенного нулевого смещения;

применения второго весового коэффициента к предварительно определенному нулевому смещению для формирования второго взвешенного нулевого смещения; и  
расчета среднего нулевого смещения, исходя из первого и второго взвешенных  
15 нулевых смещений.

4. Способ по п.3, в котором первый и второй весовые коэффициенты содержат  
15 взвешенные по времени коэффициенты.

5. Способ по п.1, дополнительно содержащий этапы:

формирования новой корреляции смещения, исходя из среднего нулевого смещения  
20 и одного или нескольких эксплуатационных условий.

6. Измерительная электроника (20) для вибрационного расходомера (10),  
включающая в себя систему (203) обработки, сконфигурированную для: приема  
25 сигналов (210) датчика от первого вибрационного расходомера (10);

определения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера (10),  
25 исходя из принятых сигналов (210) датчика;

определения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий;

сравнения одного или нескольких текущих эксплуатационных условий с одним или  
несколькими эксплуатационными условиями предварительно установленной  
30 корреляции смещения; и

если предварительно установленная корреляция смещения включает в себя нулевое  
смещение, соответствующее одному или нескольким текущим эксплуатационным  
условиям, то формируют среднее нулевое смещение, исходя из текущего нулевого  
смещения и предварительно установленной корреляции смещения.

7. Измерительная электроника (20) по п.6, в которой система (203) обработки  
35 дополнительно сконфигурирована для:

сохранения текущего нулевого смещения для вибрационного расходомера (10) и  
одного или нескольких текущих эксплуатационных условий, если корреляция  
40 смещения не включает в себя предварительно определенное нулевое смещение,  
соответствующее одному или нескольким текущим эксплуатационным условиям.

8. Измерительная электроника (20) по п.6, в которой этап формирования среднего  
нулевого смещения содержит этапы:

применения первого весового коэффициента к текущему нулевому смещению для  
45 формирования первого взвешенного нулевого смещения;

применения второго весового коэффициента к предварительно определенному  
нулевому смещению для формирования второго взвешенного нулевого смещения; и  
расчета среднего нулевого смещения, исходя из первого и второго взвешенных  
50 нулевых смещений.

9. Измерительная электроника (20) по п.8, в которой первый и второй весовые  
коэффициенты содержат взвешенные по времени коэффициенты.

10. Измерительная электроника (20) по п.6, в которой система (203) обработки

дополнительно сконфигурирована для:

формирования новой корреляции смещения, исходя из среднего нулевого смещения и одного или нескольких эксплуатационных условий.

5

10

15

20

25

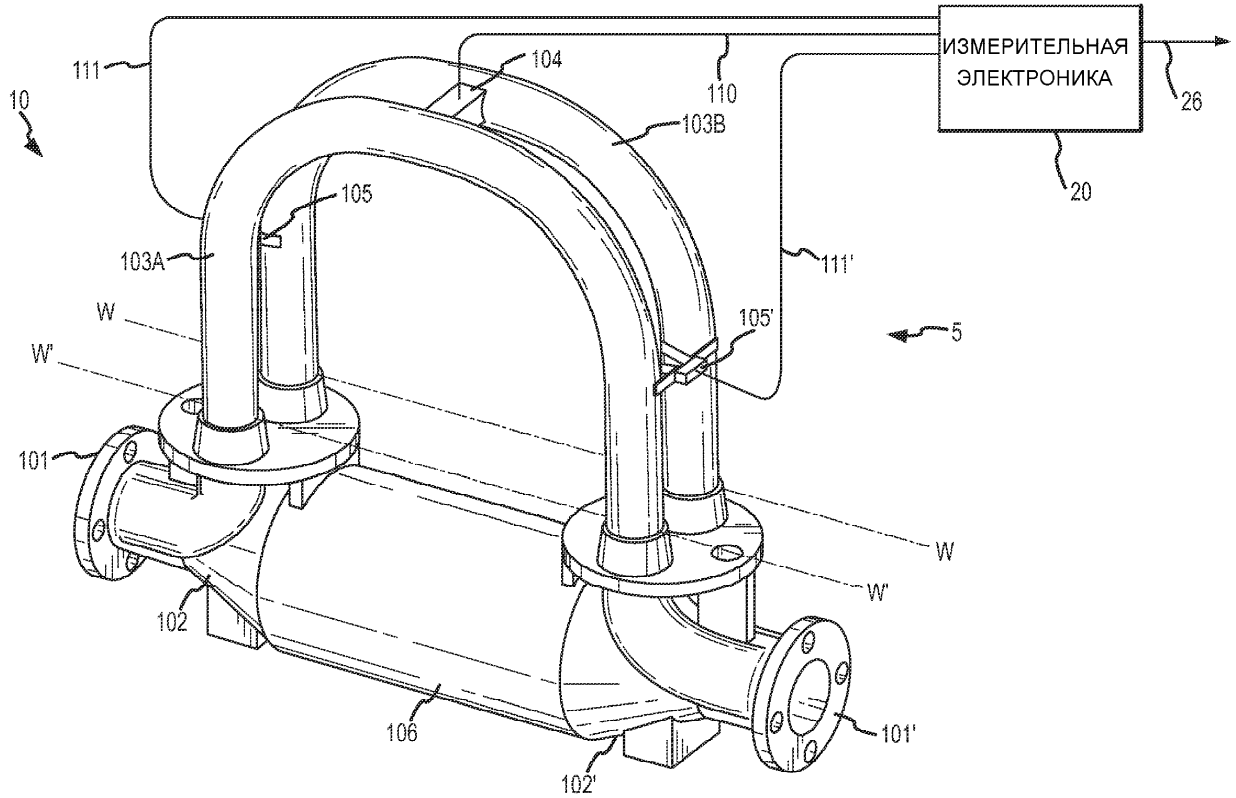
30

35

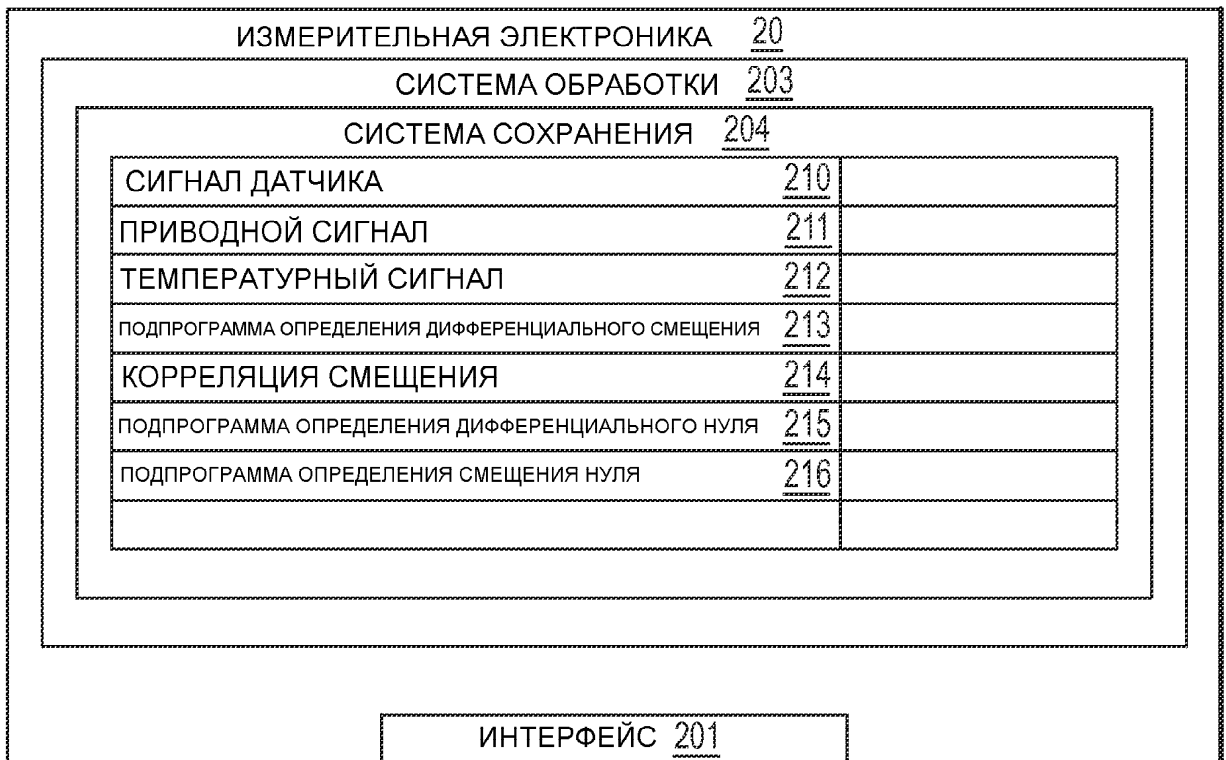
40

45

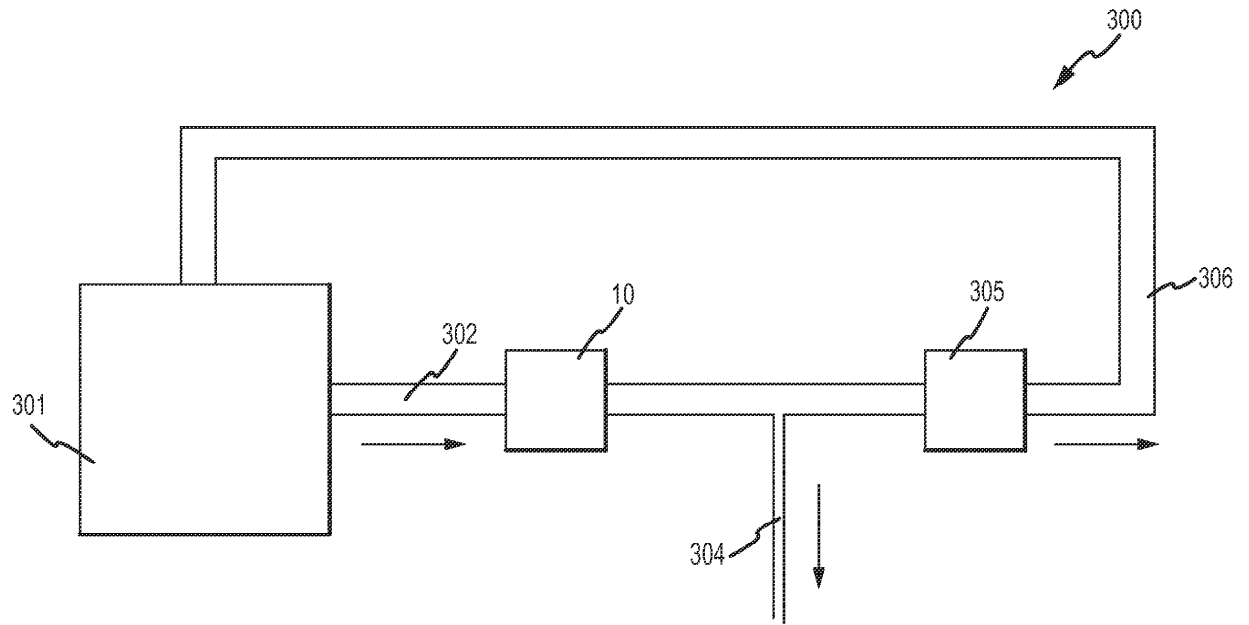
50



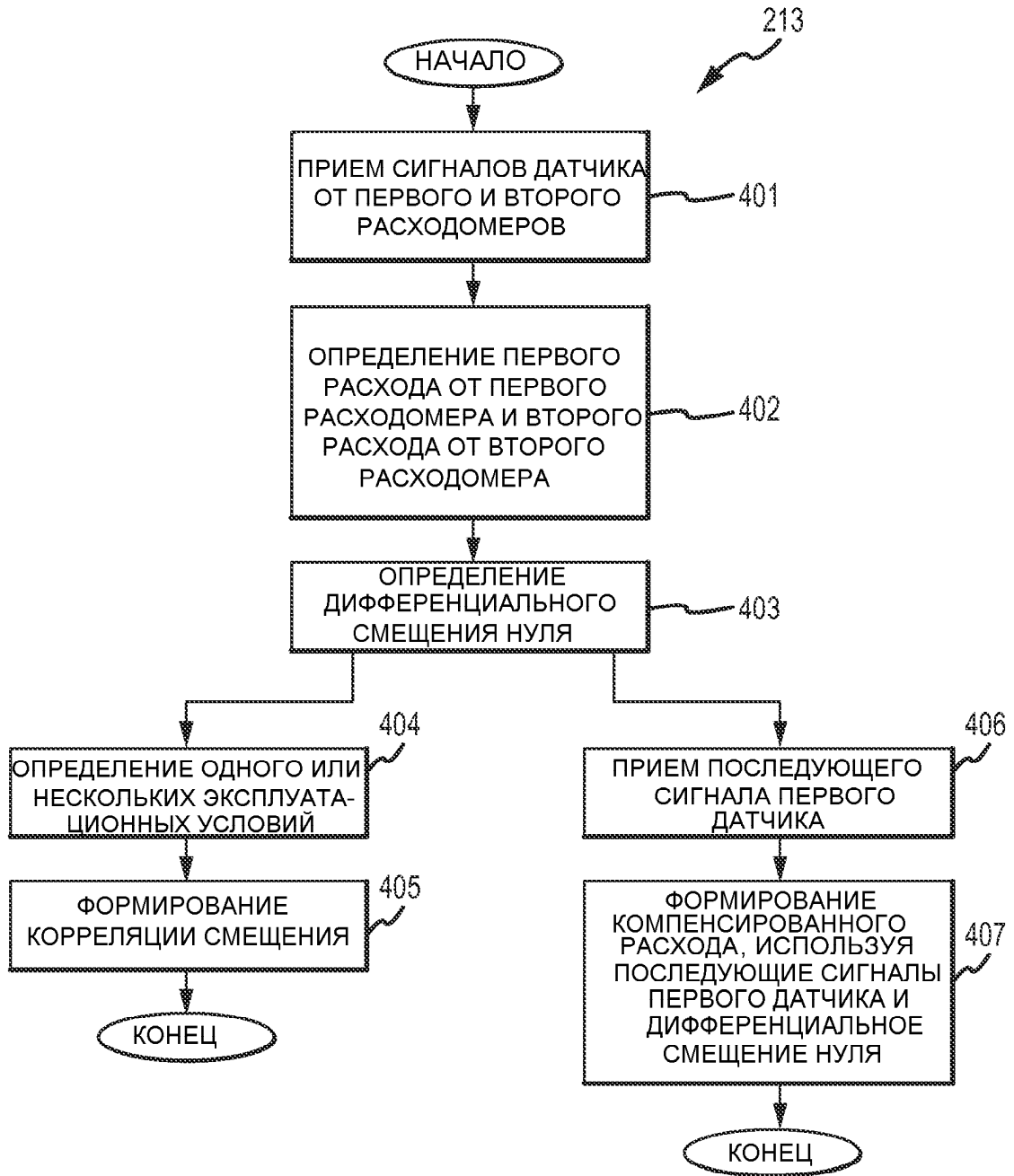
Фиг. 1



Фиг. 2

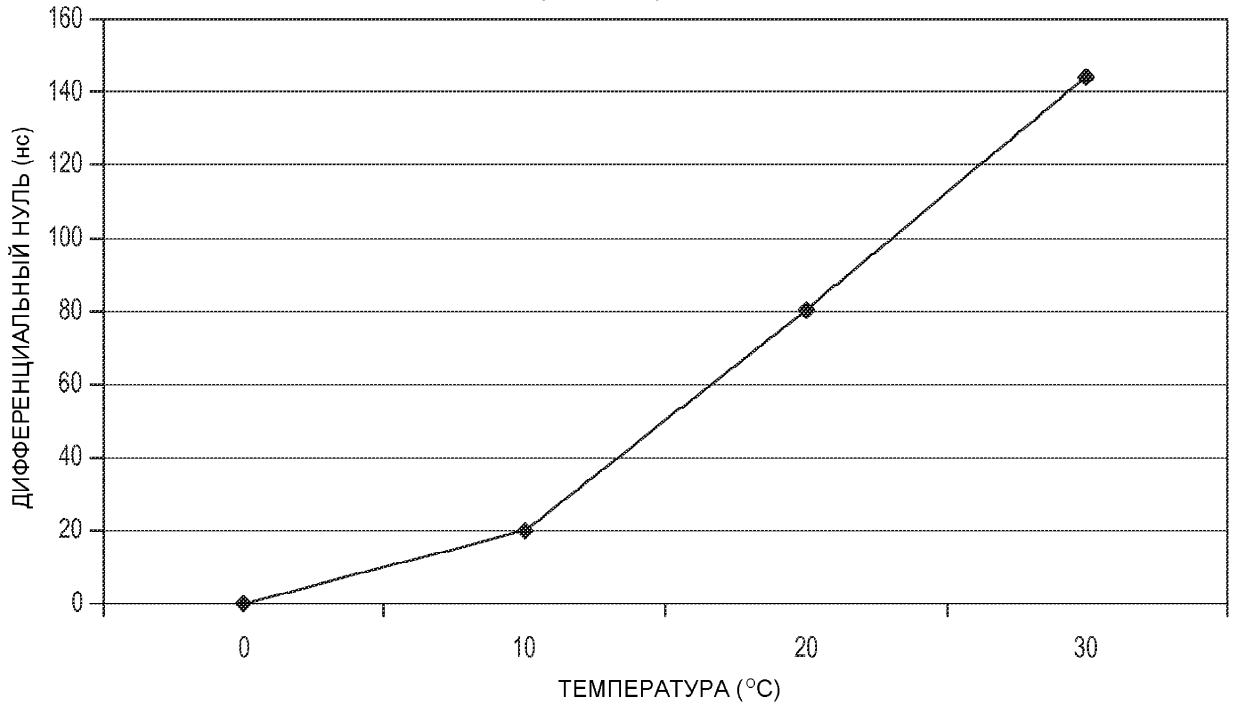


Фиг.3

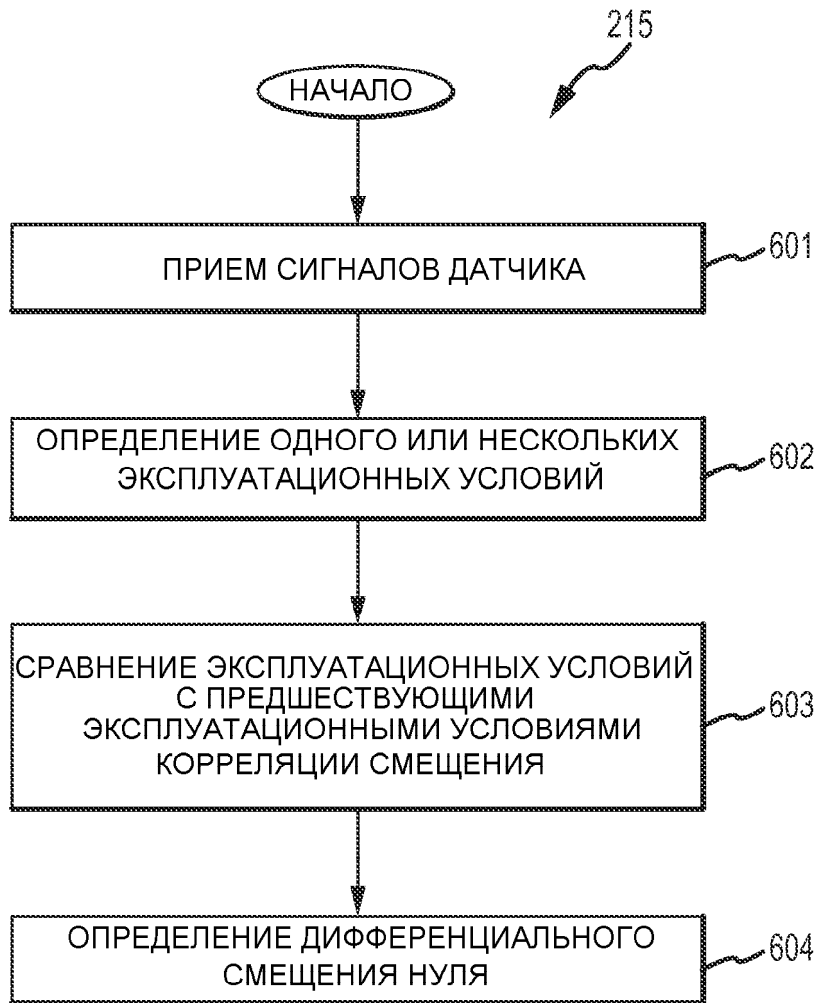


Фиг.4

КОРРЕЛЯЦИЯ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ



Фиг.5



Фиг.6