(19) **RU** (11) **2 231 027** (13) **C2**

(51) МПК[7] **G 01 F 1/84**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: **2001102786/28, 28.05.1999**

(24) Дата начала действия патента:
28.05.1999ïï.1-29

(30) Приоритет: **01.07.1998 US 09/108,294**

(43) Дата публикации заявки: **10.04.2003**

(46) Дата публикации: **20.06.2004**

(56) Ссылки: **EP 0849568 A1, 24.06.1998. EP 0831306 A1, 25.03.1998. US 5398554 A, 21.03.1995. SU 1793234 A1, 07.02.1993. EP 0759542 A1, 26.02.1997.**

(85) Дата перевода заявки PCT на национальную фазу: **01.02.2001**

(86) Заявка PCT:
US 99/11774 (28.05.1999)

(87) Публикация PCT:
WO 00/02020 (13.01.2000)

(98) Адрес для переписки:
129010, Москва, ул. Б.Спасская, 25, стр.3, ООО "Юридическая фирма Городисский и Партнеры", пат.пов. Ю.Д. Кузнецову

(72) Изобретатель: **ВАН КЛЕВЕ Крейг Брэйнерд (US), СТЭК Чарльз Пол (US), ЛЭНЭМ Грегори Трит (US)**

(73) Патентообладатель:
МАЙКРО МОУШН, ИНК. (US)

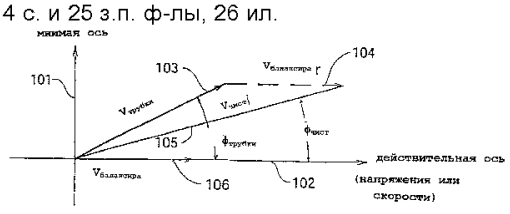
(74) Патентный поверенный:
Егорова Галина Борисовна

RU 2231027 C2

(54) РАСХОДОМЕР КОРИОЛИСА И СПОСОБ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

(57)

В процессе эксплуатации расходомера Кориолиса возбуждают колебания его расходомерной трубки и ориентированного по существу параллельно трубке балансира, связанного с ней стяжками. За счет перераспределения массы и жесткости вдоль длины балансира его резонансная частота в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения колеблющейся расходомерной трубки, ниже частоты возбуждения расходомера. В балансире, колеблющемся в противофазе относительно расходомерной трубки, в ответ на ее Кориолисовы отклонения индуцируются на частоте возбуждения отклонения, подобные Кориолисовым, имеющие то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения указанной трубки. Изобретения имеют повышенную чувствительность за счет повышения амплитуды колебаний балансира. 4 с. и 25 з.п. ф-лы, 26 ил.



Фиг. 1

RU 2231027 C2

(19) **RU** (11) **2 231 027** (13) **C2**

(51) Int. Cl.[7] **G 01 F 1/84**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2001102786/28, 28.05.1999

(24) Effective date for property rights: 28.05.1999cl. 1-29

(30) Priority: 01.07.1998 US 09/108,294

(43) Application published: 10.04.2003

(46) Date of publication: 20.06.2004

(85) Commencement of national phase: 01.02.2001

(86) PCT application:
US 99/11774 (28.05.1999)

(87) PCT publication:
WO 00/02020 (13.01.2000)

(98) Mail address:
129010, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, str.3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery", pat.pov. Ju.D. Kuznetsovu

(72) Inventor: VAN KLEVE Krejg Brehjnerd (US), STEhK Charl'z Pol (US), LEhNEhM Gregori Trit (US)

(73) Proprietor:
MAJKRO MOUShN, INK. (US)

(74) Representative:
Egorova Galina Borisovna

(54) CORIOLIS FLOWMETER AND OPERATING METHOD THEREOF

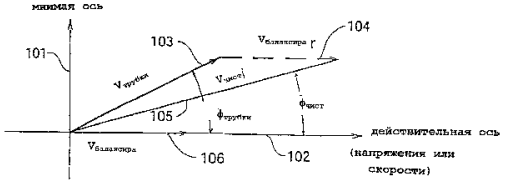
(57) Abstract:

FIELD: devices for measuring mass flow of a fluid or a fluent solid material, particularly flowmeters.

SUBSTANCE: method involves exciting oscillations of flowmeter flow-tube and balancer arranged parallel to flow-tube and connected to flow-tube by ties. Due to redistribution of mass and rigidity along balancer length resonance frequency of balancer in oscillation regime having the same points as periodic Coriolis deflection of oscillating flow-tube is below excitation frequency of flowmeter. Deflections are induced into balancer oscillating in antiphase to flow-tube in response to Coriolis deflection. Deflections into balancer are induced on excitation frequency and are similar to Coriolis deflections and have the same number of points as periodic Coriolis deflection of above flow-tube.

EFFECT: enhanced sensibility due to increased balancer amplitude of oscillation.

29 cl, 26 dwg



Фиг. 1

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

Изобретение относится к расходомеру Кориолиса с одной трубкой и, в частности, к способу и устройству для расходомера Кориолиса, имеющего балансир, который повышает чувствительность расходомера к течению материала.

Расходомеры Кориолиса с одной трубкой необходимы потому, что они исключают затраты и снимают проблемы засорения потокораспределительных коллекторов расходомеров Кориолиса с двумя трубками. Расходомеры Кориолиса с одной трубкой имеют недостаток, заключающийся в том, что их чувствительность к течению была ниже, чем чувствительность к течению у расходомеров Кориолиса с двумя трубками. Эта чувствительность к течению ниже по двум причинам. Первая заключается в том, что для одинакового расхода расходомер с одной трубкой должен иметь расходомерную трубку большего диаметра при заданном расходе. Это делает ее более жесткой при изгибе и хуже реагирующей на силы Кориолиса. Вторая причина, с которой приходится иметь дело, заключается в особенностях определения удельного массового расхода.

В обычных расходомерах Кориолиса с двумя трубками расходомерные трубки колеблются в противофазе друг с другом. Действия двух расходомерных трубок уравновешивают друг друга для создания динамически уравновешенной структуры. В двух местах на расходомерных трубках размещены датчики скорости для измерения относительной скорости между расходомерными трубками.

Датчики скорости обычно размещают на одинаковых расстояниях выше по течению и ниже по течению от средних точек трубок. Каждый датчик скорости состоит из магнита, прикрепленного к одной расходомерной трубке, и катушки, прикрепленной к другой трубке. Относительное перемещение катушки через магнитное поле создает напряжение. Синусоидальное перемещение колеблющихся расходомерных трубок создает синусоидальное напряжение в каждом датчике. Когда материал не течет, напряжения из двух датчиков скорости совпадают по фазе друг с другом. При течении материала колеблющиеся трубки деформируются силой Кориолиса перемещающегося материалом, создавая разность фаз между напряжениями двух датчиков. Удельный массовый расход пропорционален этой разности фаз. Важно отметить, что обе расходомерные трубки деформируются одинаково (для одинакового разделения потока), и каждая расходомерная трубка имеет тот же фазовый сдвиг, что и другая, в соответствующих местах. Скорость, измеряемая с помощью магнита датчика, расположенного выше по течению, имеет ту же фазу, что и скорость, измеряемая с помощью катушки датчика, расположенного выше по течению, и обе они имеют ту же фазу, что и напряжение, создаваемое парой датчиков, состоящих из магнитов и катушек. Датчик, расположенный ниже по течению, имеет фазу, отличающуюся от фазы датчика, расположенного выше по течению.

В расходомерах с одной трубкой колеблющаяся расходомерная трубка уравновешивается балансиром, а не другой расходомерной трубкой. Магниты (или катушки) датчиков скорости устанавливают на балансир таким же образом, как на вторую расходомерную трубку, описанную выше. Однако поскольку материал не течет по балансиру, он не испытывает воздействие какой-либо силы Кориолиса или значительный фазовый сдвиг, вызываемый течением. Датчики скорости измеряют относительную скорость между расходомерной трубкой, в которой фазовый сдвиг есть, и балансиром, в котором фазового сдвига нет.

Скорости в расходомерной трубке и на балансире, измеряемые в каждом датчике скорости, могут быть представлены векторами скорости, имеющими некоторый фазовый угол и амплитуду. Относительную скорость (и напряжение, считываемое с каждого датчика скорости) можно определить путем сложения этих двух векторов скорости. Вектор скорости в расходомерной трубке имеет некоторый фазовый сдвиг из-за течения материала. Вектор скорости на балансире имеет нулевой фазовый сдвиг. Сложение этих векторов дает "чистый" фазовый сдвиг при наличии течения мимо датчика скорости. "Чистый" фазовый сдвиг и выходное напряжение каждого датчика скорости уменьшается из-за балансира, в котором нет фазового сдвига. Это уменьшение "чистого" фазового сдвига равно уменьшению чувствительности расходомера к течению. Уменьшение чувствительности расходомера из-за нулевого фазового сдвига балансира в сочетании с уменьшением чувствительности из-за большего диаметра (единственной) расходомерной трубки приводит к настолько низкой совокупной чувствительности расходомера, что это уменьшает точность и промышленную применимость расходомеров с одной трубкой в некоторых приложениях.

В документе EPO 831306 A1 описан обычный расходомер Кориолиса, имеющий одну расходомерную трубку, окруженную концентрическим балансиром. Балансир представляет собой цилиндрический элемент, имеющий равномерное распределение массы и жесткости, за исключением груза в осевом центре балансира. Единственное назначение груза состоит в том, чтобы снизить резонансную частоту балансира в режиме возбуждения. Груз не оказывает влияние на Кориолисов режим изгибных колебаний второго порядка, поскольку находится в нулевом узле любой возможной реакции Кориолиса, испытываемой балансиром. Вместе с тем, балансир не проявляет колебательной активности на его частоте режима изгибных колебаний второго порядка, которая значительно выше, чем его частота возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка.

Вышеуказанная и другие задачи решаются и преимущество над известными техническими решениями достигаются с помощью настоящего изобретения, в соответствии с которым предложены способ и устройство для расходомера Кориолиса с одной трубкой, имеющего балансир, который повышает и увеличивает чувствительность расходомера к течению материала. И в настоящем изобретении, и в известных расходомерах Кориолиса с одной трубкой балансир возбуждается в противофазе

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

относительно расходомерной трубки в режиме изгибных колебаний первого порядка. Частота возбуждения обычно является резонансной частотой как балансира, так и расходомерной трубки, наполненной материалом, в режиме изгибных колебаний первого порядка каждого из этих конструктивных элементов. В известных расходомерах Кориолиса с одной трубкой балансир не имеет значительной реакции на силы Кориолиса и Кориолисовы отклонения расходомерной трубки. В настоящем изобретении повышение чувствительности достигается за счет конструирования балансира таким образом, что он реагирует на силы Кориолиса, воздействующие на расходомерную трубку, путем изгиба в своем режиме изгибных колебаний второго порядка в противофазе относительно отклонений расходомерной трубки, вызываемых приложенными силами Кориолиса.

Независимые пункты 1, 2, 14 и 15 формулы изобретения характеризуют способ и устройство, воплощающие аспекты изобретения в самом широком смысле.

При течении материала колеблющаяся расходомерная трубка отклоняется в ответ на приложенные силы Кориолиса. Колебания возбуждения расходомерной трубки существенно больше по амплитуде, чем Кориолисовы отклонения, так как они происходят на резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, тогда как Кориолисовы отклонения возбуждаются на частоте, значительно отличающейся от резонансной частоты расходомерной трубки для формы колебаний в виде Кориолисовых отклонений. Силы Кориолиса прикладываются текущим материалом к расходомерной трубке на той же частоте, что и колебания возбуждения. Однако отклонение расходомерной трубки, индуцируемое силой Кориолиса, имеет ту же форму, что и изгибные колебания второго порядка. Резонансная частота режима изгибных колебаний второго порядка расходомерной трубки значительно выше, чем частота приложения силы Кориолиса (частота возбуждения). Таким образом, поскольку сила Кориолиса прикладывается на частоте, весьма отличающейся от резонансной частоты ее формы колебаний (изгибных колебаний второго порядка), отклонения, индуцируемые силами Кориолиса, в расходомерной трубке намного меньше, чем индуцируемые возбудителем отклонения (в режиме изгибных колебаний первого порядка). Малое Кориолисово отклонение в режиме изгибных колебаний второго порядка расходомерной трубки является причиной, по которой создается фазовая задержка между сигналами двух датчиков скорости в ответ на течение материала. Поскольку это отклонение мало, фазовая задержка мала, и чувствительность к течению материала в известных измерительных приборах с прямыми трубками является низкой.

Балансир, соответствующий настоящему изобретению, соединен своими концами с расходомерной трубкой посредством стяжек, которые передают колебательные силы расходомерной трубки на балансир. В известных измерительных приборах балансир, как и расходомерная трубка, имеет свою резонансную частоту режима изгибных колебаний второго порядка значительно выше, чем у режима изгибных колебаний первого порядка или возбуждения. Поскольку Кориолисовы отклонения расходомерной трубки очень малы и возникают на частоте, весьма далекой от резонансной частоты изгибных колебаний второго порядка балансира, силы, передаваемые на балансир с помощью стяжек, приводят к незначительному возбуждению режима изгибных колебаний второго порядка балансира. Таким образом, если в известных измерительных приборах расходомерная трубка обладает малой реакцией на силы Кориолиса, то балансир не имеет ее вообще.

Способ и устройство, соответствующие настоящему изобретению, предусматривают для балансира сдвиг порядка частот различных форм колебаний балансира. Это может вызвать путаницу. Режимы колебаний определяются их формами, а не порядком частот. Одно полезное правило заключается в том, что номер режима равен числу узлов минус единица. Режим первого порядка имеет два узла (на концах). Режим второго порядка имеет три узла (на концах и в центре). Режим изгибных колебаний третьего порядка имеет четыре узла и т.д.

В соответствии со способом и устройством, предложенными в настоящем изобретении, частота изгибных колебаний режима второго порядка балансира понижается таким образом, что она становится близкой к частоте режима изгибных колебаний первого порядка (частоте возбуждения) как расходомерной трубки, так и балансира. Режим (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка, который имеет большое значение амплитуды колебаний как расходомерной трубки, так и балансира, не возбуждает балансир в режиме изгибных колебаний второго порядка ввиду разницы в формах колебаний.

В режиме изгибных колебаний первого порядка отклоненная форма балансира (и расходомерной трубки) такова, что концы не имеют смещения, тогда как отрезок между концами имеет увеличенное смещение, при этом максимальное смещение возникает в центре. В режиме изгибных колебаний второго порядка концы и центр не имеют смещения, при этом максимальные смещения возникают в точках примерно на одной четверти и трех четвертях длины. Однако знак смещения изменяется в центральной точке, так что одна половина балансира (или расходомерной трубки) имеет положительное смещение, тогда как другая половина имеет отрицательное смещение. Результат разницы в формах колебаний заключается в том, что, хотя колебания, соответствующие режиму изгибных колебаний первого порядка, вносят энергию в одну половину балансира в режиме изгибных колебаний второго порядка, они отбирают такое же количество энергии у другой половины балансира. Следовательно, "чистый" эффект заключается в том, что режим изгибных колебаний второго порядка не возбуждается колебаниями, соответствующими режиму изгибных колебаний первого порядка, даже несмотря на то, что резонансные частоты могут быть близки.

Кориолисово отклонение расходомерной

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

трубки имеет ту же форму, что и изгибные колебания второго порядка, при которой смещение расходомерной трубки имеет противоположный знак на любой стороне от центральной точки расходомерной трубки. Таким образом, Кориолисово отклонение расходомерной трубки способно возбуждать режим изгибных колебаний второго порядка балансира посредством сил, передаваемых через стяжки. В настоящем изобретении резонансная частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира сделана близкой к частоте возбуждения. Возбуждение режима изгибных колебаний второго порядка балансира с помощью Кориолисова отклонения расходомерной трубки становится достаточным, чтобы вызвать значительную фазовую задержку в балансире в местах нахождения датчиков скорости. Эта фазовая задержка между такими местами балансира складывается с фазовой задержкой между соответствующими местами расходомерной трубки и повышает чувствительность измерительного прибора к течению.

В соответствии с первым конкретным вариантом осуществления изобретения резонансная частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира ниже частоты возбуждения расходомерной трубки. Хорошо известно, что если резонансная частота генератора механических колебаний ниже частоты возбуждения, то генератор совершает колебания в противофазе с возбуждающим смещением. В результате, балансир допускает отклонение, которое находится в противофазе с индуцируемым Кориолисовым отклонением на расходомерной трубке. Поскольку источником возбуждения балансира для режима изгибных колебаний второго порядка являются Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, амплитуда колебаний отклонений в режиме изгибных колебаний второго порядка балансира увеличивается с увеличением силы Кориолиса на расходомерной трубке. Эти отклонения в противофазе в режиме изгибных колебаний второго порядка расходомерной трубки и балансира позволяют датчику скорости, подсоединенному к расходомерной трубке и балансиру, генерировать выходные сигналы с увеличенной фазовой задержкой (чувствительностью) по сравнению с выходными сигналами известных расходомеров Кориолиса с одной трубкой.

Уменьшение частоты режима изгибных колебаний второго порядка балансира до значения ниже частоты возбуждения достигается за счет физической реконструкции балансира, которая включает в себя перераспределение его массы и жесткости. Из центральной части балансира удаляется масса, что создает тенденцию к увеличению частоты возбуждения, одновременно оказывая малое влияние на частоту изгибных колебаний второго порядка. Это удаление массы оказывает малое влияние на частоту режима изгибных колебаний второго порядка потому, что режим изгибных колебаний второго порядка имеет малую амплитуду около центра. Затем, в балансир добавляется масса около мест нахождения датчиков скорости, что снижает частоту режима изгибных колебаний второго порядка больше, чем частоту возбуждения, поскольку имеются места, где амплитуда режима изгибных колебаний второго порядка имеет наибольшее значение.

Жесткость балансира изменяют за счет его значительного смягчения в областях большого изгиба в режиме изгибных колебаний второго порядка. Эти места несколько отстоят к центру от мест нахождения датчиков скорости. Снятие жесткости в этих зонах значительно снижает частоту режима изгибных колебаний второго порядка, оказывая при этом малое влияние на частоту возбуждения, поскольку в режиме возбуждения изгиб в этих областях невелик. И наконец, увеличивают жесткость на центральном участке балансира, между "мягкими" зонами, для дальнейшего повышения частоты возбуждения, оказывая при этом малое влияние на частоту изгибных колебаний второго порядка.

Эти физические модификации балансира могут снизить его частоту режима изгибных колебаний второго порядка таким образом, что она окажется ниже, чем его частота (возбуждения) режима изгибных колебаний второго порядка. Когда это достигается, Кориолисовы колебания расходомерной трубки передаются от расходомерной трубки через стяжки к концам балансира. Это индуцирует в балансире отклонения, подобные Кориолисовым, которые находятся в противофазе с Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки. Эти отклонения называют "подобными Кориолисовым" потому, что они допускают форму колебаний, которая аналогична форме колебаний расходомерной трубки, отклоняемой силой Кориолиса. Таким образом, расходомерная трубка и балансир, соответствующие настоящему изобретению, работают подобно расходомеру Кориолиса с двумя трубками, в котором каждая из расходомерных трубок допускает колебательную реакцию Кориолиса, которая находится в противофазе относительно другой расходомерной трубки. Результат заключается в том, что измерительный прибор с одной трубкой, соответствующий настоящему изобретению, может иметь чувствительность к течению как у измерительного прибора с двумя трубками.

Фаза колебаний в режиме изгибных колебаний второго порядка балансира по отношению к фазе Кориолисова отклонения расходомерной трубки зависит от взаимосвязи резонансной частоты режима изгибных колебаний второго порядка балансира с частотой (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка. Частота режима изгибных колебаний второго порядка может быть либо меньше, чем частота режима (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка, либо равна ей, либо больше нее. Если частота режима изгибных колебаний второго порядка выше, чем частота возбуждения, изгибные колебания второго порядка совпадают по фазе с колебаниями, индуцируемыми силой Кориолиса, расходомерной трубки. Это приводит к уменьшению фазового сдвига датчиков и чувствительности расходомера. Если частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира ниже частоты возбуждения, как обсуждалось выше,

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

изгибные колебания второго порядка балансира происходят в противофазе с колебаниями расходомерной трубки, индуцируемыми силой Кориолиса, увеличивая фазовый сдвиг датчиков и чувствительность расходомера.

Чувствительность расходомера снижается, когда частота режима изгибных колебаний второго порядка выше частоты возбуждения, т.е. режима изгибных колебаний первого порядка. Причина этого заключается в том, что Кориолисовы колебания и колебания режима изгибных колебаний второго порядка совпадают по фазе. Датчики скорости измеряют относительную скорость между расходомерной трубкой и балансиром, и это означает, что совпадающие по фазе перемещения склонны исключать друг друга. Однако, это может быть полезным конкретным вариантом осуществления в некоторых приложениях. Если частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира достаточно близка к частоте возбуждения, т.е. режима изгибных колебаний первого порядка, их амплитуда и фаза могут быть сделаны настолько большими, что будут подавлять противоположную фазу расходомерной трубки. Эта конфигурация может привести к получению расходомера, имеющего повышенную чувствительность.

Однако конфигурация, при которой частота режима изгибных колебаний второго порядка ниже частоты возбуждения, является предпочтительной, потому что фазы расходомерной трубки и балансира складываются, а также потому, что балансир склонен уравновешивать расходомерную трубку как в режиме возбуждения, так и в режимах изгибных Кориолисовых колебаний и/или изгибных колебаний второго порядка. В обычных измерительных приборах с одной трубкой, балансир уравновешивает силы вибрации расходомерной трубки только в режиме изгибных колебаний первого порядка. Частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира гораздо выше, чем у Кориолисова режима расходомерной трубки. Следовательно, в балансире не возбуждается режим изгибных колебаний второго порядка. Это приводит к силам Кориолиса, которые не уравновешены и вызывают вибрацию балансира. Вибрация расходомера может изменить его чувствительность и вызвать ошибки. Вибрация измерительного прибора является функцией и расхода, и жесткости установки. Поскольку жесткость установки, вообще говоря, неизвестна, это изменение чувствительности нельзя предсказать или компенсировать.

В настоящем изобретении, режим колебаний второго порядка возбуждается Кориолисовым режимом расходомерной трубки. Когда режим изгибных колебаний второго порядка имеет место на частоте ниже частоты возбуждения, расходомерная трубка и расходомер колеблются в противофазе друг с другом и колебательные силы режима изгибных колебаний второго порядка балансира могут исключить эффект вибрации из-за силы Кориолиса на расходомерной трубке. Амплитуда режима колебаний второго порядка увеличивается с увеличением сил Кориолиса. Это поддерживает одинаковую степень равновесия для расходомерной трубки при всех расходах.

Суммируя сказанное, отметим, что расходомер Кориолиса, соответствующий настоящему изобретению, включает в себя балансир, физические характеристики которого позволяют ему иметь частоту режима изгибных колебаний второго порядка, которая ниже, чем его частота режима (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка и близка к ней. Это позволяет балансиру реагировать на Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, создавая свои собственные отклонения, подобные Кориолисовым, которые находятся в противофазе с Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки. Эта "противофазная" взаимосвязь между Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки и отклонениями, подобными Кориолисовым, балансира обеспечивает увеличенный "чистый" фазовый сдвиг каждого датчика скорости и, в свою очередь, чувствительность к течению, сравнимую с чувствительностью к течению расходомера Кориолиса с двумя трубками. Более того, балансир, соответствующий настоящему изобретению, уравновешивает силы Кориолиса, а также силы вибрации режима изгибных колебаний первого порядка.

Одним аспектом изобретения являются способ и устройство для эксплуатации расходомера Кориолиса, имеющего расходомерную трубку, балансир, ориентированный, по существу, параллельно упомянутой расходомерной трубке, и средство стяжек, соединяющее упомянутый балансир с упомянутой расходомерной трубкой, причем способ включает в себя этапы, на которых обеспечивают течение материала через упомянутую расходомерную трубку, обеспечивают колебания упомянутых расходомерной трубки и балансира в противофазе относительно друг друга в режиме возбуждения, имеющем частоту возбуждения, по существу, равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и упомянутого балансира, при этом периодические Кориолисовы отклонения индуцируются на упомянутой частоте возбуждения в упомянутой колеблющейся расходомерной трубке в результате течения материала через колеблющуюся расходомерную трубку, причем периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения, определяют скорость упомянутой расходомерной трубки для генерирования сигналов, отображающих упомянутые периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и получают информацию, касающуюся упомянутого текущего материала, в ответ на генерирование упомянутых сигналов, и отличается тем, что упомянутый балансир имеет неравномерное распределение массы и жесткости вдоль его длины, так что резонансная частота упомянутого балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, ниже частоты периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, индуцируют отклонения, подобные Кориолисовым, в упомянутом балансире на частоте

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

возбуждения в ответ на упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, причем упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и отображают упомянутый режим колебаний, для которого резонансная частота упомянутого балансира ниже частоты упомянутых периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, а упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира находятся в противофазе с упомянутыми периодическими Кориолисовыми отклонениями упомянутой расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса на упомянутой колеблющейся расходомерной трубке при течении материала, и осуществляют генерирование упомянутых сигналов, отображающих упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, в связи с упомянутыми находящимися в противофазе отклонениями, подобными Кориолисовым, упомянутого балансира, вследствие чего увеличивается амплитуда упомянутых сигналов.

Еще одним аспектом являются способ и устройство для эксплуатации расходомера Кориолиса, имеющего расходомерную трубку, балансир, ориентированный, по существу, параллельно упомянутой расходомерной трубке, и средство стяжек, соединяющее упомянутый балансир с упомянутой расходомерной трубкой, причем способ включает в себя этапы, на которых обеспечивают течение материала через упомянутую расходомерную трубку, обеспечивают колебания упомянутых расходомерной трубки и балансира в противофазе относительно друг друга в режиме возбуждения, имеющем частоту возбуждения, по существу, равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и упомянутого балансира, при этом периодические Кориолисовы отклонения индуцируются на упомянутой частоте возбуждения в упомянутой колеблющейся расходомерной трубке в результате течения материала через колеблющуюся расходомерную трубку, причем периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения, определяют скорость упомянутой расходомерной трубки для генерирования сигналов, отображающих упомянутые периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и получают информацию, касающуюся упомянутого текущего материала, в ответ на генерирование упомянутых сигналов, и отличается тем, что упомянутый балансир имеет неравномерное распределение массы и жесткости вдоль его длины, так что резонансная частота упомянутого балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, несколько выше частоты периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, индуцируют отклонения, подобные Кориолисовым, в упомянутом балансире на частоте возбуждения в ответ на упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, причем упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и отображают режим колебаний, для которого резонансная частота упомянутого балансира несколько выше частоты упомянутых периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, а упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира совпадают по фазе с упомянутыми периодическими Кориолисовыми отклонениями упомянутой расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса на упомянутой колеблющейся расходомерной трубке при течении материала, и большую, чем амплитуда Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, и осуществляют генерирование упомянутых сигналов, отображающих упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, в связи с упомянутыми совпадающими по фазе отклонениями, подобными Кориолисовым, упомянутого балансира.

Еще один аспект заключается в том, что индуцируют упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, в упомянутом балансире посредством сил, являющихся показателями упомянутых периодических Кориолисовых отклонений, передаваемых от упомянутой расходомерной трубки через упомянутую стяжку на упомянутый балансир.

Еще один аспект заключается в том, что индуцируют упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, в упомянутом балансире посредством изгиба концов упомянутой расходомерной трубки в ответ на упомянутые периодические Кориолисовы отклонения для изгиба первого конца средства стяжек, и изгиба второго конца упомянутого средства стяжек в ответ на упомянутый изгиб упомянутого первого конца.

Еще один аспект заключается в том, что неравномерное распределение массы и жесткости вдоль длины упомянутого балансира вызывает перенос упругости от упомянутого балансира к упомянутому средству стяжек для уменьшения резонансной частоты упомянутых отклонений, подобных Кориолисовым, упомянутого балансира.

Еще один аспект включает этап, на котором понижают резонансную частоту упомянутого режима колебаний, подобного Кориолисову, упомянутого балансира путем обеспечения, по меньшей мере, одной гибкой части упомянутого балансира наряду с обеспечением увеличенной массы, по меньшей мере, на одной другой части упомянутого балансира.

Еще один аспект включает этап, на котором обеспечивают полость, по меньшей мере, в одной части упомянутого балансира.

Еще один аспект включает этап, на котором понижают резонансную частоту упомянутого режима колебаний, подобного Кориолисову, упомянутого балансира путем

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

обеспечения гибких частей упомянутого балансира в местах большого изгибающего момента упомянутого балансира в упомянутом режиме колебаний, подобном Кориолисову.

Еще один аспект заключается в том, что компоновка такова, что концевые узлы упомянутой колеблющейся расходомерной трубки и упомянутого балансира находятся в упомянутом средстве стяжек.

Еще один аспект включает обеспечение жестких участков упомянутого балансира и гибких участков упомянутого балансира, не содержащих жесткий участок.

Еще один аспект заключается в том, что упомянутый режим возбуждения включает режим изгибных колебаний первого порядка, и при этом упомянутый режим колебаний, подобный Кориолисову, упомянутого балансира включает режим изгибных колебаний второго порядка упомянутого балансира.

Еще один аспект включает обеспечение центральной части упомянутого балансира и гибкой части на каждой стороне упомянутой центральной части упомянутого балансира наряду с обеспечением увеличенной массы на каждой стороне упомянутой центральной части.

Еще один аспект включает обеспечение гибких частей упомянутого балансира в местах большого изгибающего момента упомянутого балансира, а также увеличенной массы в местах большой амплитуды колебаний в упомянутом режиме изгибных колебаний второго порядка.

Еще один аспект включает:

расходомер Кориолиса, имеющий расходомерную трубку, предназначенную для приема потока материала,

балансир, ориентированный, по существу, параллельно упомянутой расходомерной трубке,

средство стяжек, соединяющее упомянутый балансир с упомянутой расходомерной трубкой,

средство возбуждения, предназначенное для обеспечения колебаний упомянутой расходомерной трубки и упомянутого балансира в противофазе в режиме возбуждения, имеющем частоту, по существу равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и упомянутого балансира, так что периодические Кориолисовы отклонения будут индуцироваться на упомянутой частоте возбуждения в упомянутой колеблющейся расходомерной трубке, когда упомянутый материал течет через нее, причем упомянутые периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения,

средство для определения скорости упомянутой расходомерной трубки для генерирования сигналов, отображающих упомянутые периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и

средство для получения информации, касающейся течения материала, в ответ на генерирование упомянутых сигналов,

отличающийся тем, что упомянутый балансир имеет неравномерное распределение массы и жесткости вдоль длины упомянутого балансира, так что резонансная частота упомянутого балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, ниже частоты периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, при этом отклонения, подобные Кориолисовым, будут индуцироваться в упомянутом балансире на частоте возбуждения в ответ на упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, причем упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и отображают упомянутый режим колебаний, для которого резонансная частота упомянутого балансира ниже частоты упомянутых периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира находятся в противофазе с упомянутыми периодическими Кориолисовыми отклонениями упомянутой расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса упомянутой колеблющейся расходомерной трубки при течении материала,

а упомянутое средство для генерирования сигналов генерирует упомянутые сигналы, отображающие упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, в связи с упомянутыми находящимися в противофазе отклонениями, подобными Кориолисовым, упомянутого балансира, вследствие чего увеличивается амплитуда упомянутых генерируемых сигналов.

Еще один аспект включает расходомер Кориолиса, имеющий

расходомерную трубку, предназначенную для приема потока материала,

балансир, ориентированный, по существу, параллельно упомянутой расходомерной трубке,

средство стяжек, соединяющее упомянутый балансир с упомянутой расходомерной трубкой,

средство возбуждения, предназначенное для обеспечения колебаний упомянутой расходомерной трубки и упомянутого балансира в противофазе в режиме возбуждения, имеющем частоту, по существу равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и упомянутого балансира, так что периодические Кориолисовы отклонения будут индуцироваться на упомянутой частоте возбуждения в упомянутой колеблющейся расходомерной трубке, когда упомянутый материал течет через нее, причем упомянутые периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения,

средство для генерирования сигналов, отображающих упомянутые периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и

средство для получения информации, касающейся течения материала, в ответ на генерирование упомянутых сигналов,

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

отличающийся тем, что упомянутый балансир имеет конструкцию, обеспечивающую неравномерное распределение массы и жесткости вдоль длины упомянутого балансира, так что резонансная частота упомянутого балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, несколько выше частоты периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, при этом отклонения, подобные Кориолисовым, будут индуцироваться в упомянутом балансире на частоте возбуждения в ответ на упомянутые Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, причем упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения упомянутой расходомерной трубки, и упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, отображают режим колебаний, для которого резонансная частота упомянутого балансира несколько выше частоты упомянутых периодических Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки, упомянутые отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира совпадают по фазе с упомянутыми периодическими Кориолисовыми отклонениями упомянутой расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса на упомянутой колеблющейся расходомерной трубке при течении материала и большую, чем амплитуда Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки,

а упомянутое средство для генерирования сигналов генерирует упомянутые сигналы, отображающие совокупность Кориолисовых отклонений упомянутой расходомерной трубки и отклонений, подобных Кориолисовым, упомянутого балансира.

Еще один аспект заключается в том, что упомянутое средство для обеспечения колебаний передает силы, являющиеся показателями упомянутых периодических Кориолисовых отклонений, от упомянутой расходомерной трубки через упомянутое средство стяжек к упомянутому балансиру для индуцирования упомянутых отклонений, подобных Кориолисовым, в упомянутом балансире.

Еще один аспект заключается в том, что упомянутые периодические Кориолисовы отклонения в упомянутой расходомерной трубке вызывают изгиб концов упомянутой расходомерной трубки в ответ на упомянутые периодические Кориолисовы отклонения для изгиба первого конца упомянутой стяжки, и изгиб второго конца упомянутой стяжки в ответ на упомянутый изгиб упомянутого первого конца для индуцированная упомянутых отклонений, подобных Кориолисовым, в упомянутом балансире.

Еще один аспект включает дополнительную массу в областях большой амплитуды колебаний при упомянутых отклонениях, подобных Кориолисовым, и гибкие части балансира в местах большого изгибающего момента упомянутых отклонений, подобных Кориолисовым.

Еще один аспект заключается в том, что упомянутый режим возбуждения включает режим изгибных колебаний первого порядка, в том, что упомянутый индуцированный режим колебаний упомянутого балансира включает режим изгибных колебаний второго порядка.

Еще один аспект включает жесткую центральную часть и дополнительную массу на каждой стороне упомянутой жесткой центральной части.

Еще один аспект включает гибкие части упомянутого балансира в местах на любой стороне упомянутой жесткой центральной части.

Еще один аспект включает полость в упомянутой центральной части для повышения упомянутой частоты возбуждения.

Еще один аспект заключается в том, что упомянутая гибкая часть содержит сильфон.

Еще один аспект заключается в том, что неравномерное распределение массы и жесткости вдоль длины упомянутого балансира уменьшает упругость упомянутого балансира и частоту упомянутого режима изгибных колебаний второго порядка упомянутого балансира.

Еще один аспект включает жесткие элементы на упомянутом балансире и гибкие элементы в каждой части упомянутого балансира, не содержащей жесткий элемент.

Еще один аспект заключается в том, что конструкция такова, что концевой узел колебаний, по меньшей мере, одного из расходомерной трубки и балансира находится в упомянутой стяжке.

Еще один аспект включает, по существу, прямолинейную расходомерную трубку и, по существу, прямолинейный балансир.

Еще один аспект включает расходомерную трубку, имеющую криволинейную часть, и балансир, имеющий криволинейную часть.

Еще один аспект заключается в том, что индуцируемый режим колебаний включает режим изгибных колебаний второго порядка упомянутого балансира.

Вышеуказанные и другие преимущества признаков изобретения можно лучше понять по прочтении нижеследующего подробного описания изобретения, приводимого со ссылками на чертежи, где

фиг.1 представляет векторную диаграмму известного расходомера Кориолиса с одной трубкой,

фиг.2 раскрывает сущность вращающейся расходомерной трубки,

фиг.3 раскрывает сущность колеблющейся расходомерной трубки,

фиг.4 раскрывает сущность сил Кориолиса, прикладываемых к расходомерной трубке, показанной на фиг.3,

фиг.5 раскрывает сущность реакции Кориолиса расходомерной трубки, показанной на фиг.3,

фиг.6 раскрывает сущность расходомера Кориолиса с прямолинейной трубкой,

фиг.7 и 8 раскрывают сущность характеристик Кориолисовых колебаний расходомера Кориолиса с одной трубкой, соответствующего настоящему изобретению,

фиг.9 и 10 раскрывают сущность кривых частотной характеристики расходомера, соответствующего настоящему изобретению,

фиг.11 и 12 представляют векторные диаграммы расходомера Кориолиса с одной трубкой, соответствующего настоящему изобретению,

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

фиг.13 раскрывает сущность формы колебаний и изгибающих моментов режима колебаний первого порядка балансира, соответствующего настоящему изобретению,

фиг.14 раскрывает сущность формы колебаний и изгибающих моментов режима колебаний второго порядка балансира, соответствующего настоящему изобретению,

фиг.15 раскрывает сущность конкретного варианта осуществления настоящего изобретения,

фиг.16 и 17 раскрывают сущность кривых частотной характеристики расходомера Кориолиса, показанного на фиг.15,

фиг.18 раскрывает сущность альтернативного конкретного варианта осуществления расходомера Кориолиса с одной трубкой, соответствующего настоящему изобретению,

фиг.19, 20 и 21 раскрывает сущность характеристик колебаний концептуального расходомера Кориолиса с одной трубкой,

фиг.22, 23 и 24 раскрывает сущность характеристик колебаний одного возможного расходомера Кориолиса с одной трубкой,

фиг.25 раскрывает сущность альтернативного конкретного варианта осуществления расходомера Кориолиса с прямолинейной трубкой, соответствующего настоящему изобретению,

фиг.26 раскрывает сущность расходомера Кориолиса, являющегося конкретным вариантом осуществления настоящего изобретения и имеющего криволинейную расходомерную трубку и окружающий балансир.

Способ и устройство, соответствующие настоящему изобретению, снимают проблему низкой чувствительности в расходомерах с одной трубкой за счет обеспечения балансира, который увеличивает чувствительность расходомера. Чтобы понять, как это делается, необходимо понять природу силы Кориолиса на расходомерной трубке, деформации, которую создает эта сила в расходомерной трубке, а также то, как деформация приводит к фазовому сдвигу вдоль расходомерной трубки.

Фиг.1 будет описана позже и представляет векторную диаграмму скоростей колебаний расходомера, показанного на фиг.6.

Фиг.2 изображает трубку 202, через которую течет материал, когда она вращается против часовой стрелки вокруг своего конца 201. Силу Кориолиса, приходящуюся на единицу длины трубки 202, можно вывести из уравнения для Кориолисова ускорения A_K и закона Ньютона.

Кориолисово ускорение можно выразить в виде:

$$A_K = 2\ (\bar{\omega} \times \bar{v}) \quad ,$$

где ω угловая скорость, v - скорость текучей среды.

Силу Кориолиса, F_K, можно выразить в виде

$$F_K = MA_K = 2M\ (\bar{\omega} \times \bar{v}) \quad ,$$

где M - масса текучей среды, а поскольку для текучей среды

$M=\rho A_{трубки} l$,

где ρ - плотность текучей среды; $A_{трубки}$ - площадь сечения расходомерной трубки; l - длина трубки, то

$$F_K = 2\rho A_{трубки} l(\bar{\omega} \times \bar{v}) \quad ,$$

$$F_K / l = 2\rho A_{трубки}(\bar{\omega} \times \bar{v}) \quad ,$$

но

$$\rho A_{трубки} \bar{v} = \dot{M} \quad ,$$

где $\dot{M}$ - удельный массовый расход, тогда

$$F_K/l = 2\dot{M} \times \bar{\omega}.$$

Сила Кориолиса, F_K, одинакова вдоль длины трубки 202, потому что каждая часть трубки 200 вращается с одной и той же скоростью, а удельный массовый расход одинаков по всей расходомерной трубке.

Фиг.3 изображает прямолинейную расходомерную трубку 300, выполненную с возможностью поворота вокруг каждого конца 301 и 302, но без возможности поступательного движения на концах 301 и 302. Подобно струне гитары расходомерная трубка 300 колеблется под воздействием возбудителя B в режиме изгибных колебаний первого порядка на ее резонансной частоте, когда через трубку течет материал. Когда расходомерная трубка проходит через свое положение 303 (нулевого смещения) на прямой вниз, ее левая половина поворачивается по часовой стрелке, тогда как ее правая половина поворачивается против часовой стрелки. Величины поворота уменьшаются по мере приближения к центру трубки. Центр не поворачивается, а движется лишь поступательно. Пространственное распределение сил Кориолиса по расходомерной трубке 300, когда она проходит через нулевое смещение 303, показано на фиг.4. Сила Кориолиса проходит в противоположных направлениях на двух половинах, поскольку направления поворота трубки противоположны. Сила Кориолиса уменьшается до нуля в центре, потому что поворот трубки уменьшается до нуля в центре.

Другое важное различие между колеблющейся трубкой 300, показанной на фиг.3, и вращающейся трубкой 202, показанной на фиг.2, заключается в том, что колеблющаяся трубка 300 не поворачивается непрерывно, а останавливается и меняет направление на противоположное. Когда направление колебаний меняется на противоположное, повороты становятся нулевыми, и сила Кориолиса по всей расходомерной трубке равна нулю. В результате, величина сил Кориолиса, показанных на фиг.4, изменяется во времени по синусоидальному закону, а ее максимум возникает тогда, когда колебания расходомерной трубки проходят через нулевую амплитуду и максимальную скорость, как показано на фиг.4. Нулевая сила Кориолиса возникает по всей расходомерной трубке, когда эта расходомерная трубка достигает максимальной амплитуды колебаний и нулевой скорости колебаний в режиме (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка. Частота синусоидального приложения силы Кориолиса к расходомерной трубке такая же, как частота, с которой эта трубка колеблется, а именно, равна частоте колебаний в режиме (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка.

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

Расходомерная трубка 300 изгибается в ответ на периодическую силу Кориолиса, как показано на фиг.5. Сплошная линия показывает форму (в значительно увеличенном масштабе), которую трубка принимает в ответ на силу Кориолиса, когда эта трубка проходит вниз через нулевое смещение в режиме возбуждения. Отметим, что только точка на расходомерной трубке, которая на самом деле проходит через нуль в этот момент, является средней точкой трубки. Форма, показанная на фиг.5, аналогична форме изгибных колебаний второго порядка. Однако это просто совпадение. Частота режима изгибных колебаний второго порядка расходомерной трубки гораздо выше, чем частота, с которой прикладывается сила Кориолиса, показанная на фиг.4 (частота режима изгибных колебаний первого порядка). Поскольку расходомерная трубка возбуждается силами Кориолиса на частоте, которая точно ниже ее частоты режима изгибных колебаний второго порядка, эта деформация, вызванная силами Кориолиса, показанная на фиг.5, и сила Кориолиса, показанная на фиг.4, возникают в фазе (совпадают по фазе) друг с другом. Поэтому расходомерная трубка 300 предположительно имеет форму, показанную на фиг.5, когда она проходит ось 303 нулевого смещения в своем режиме возбуждаемых (изгибных) колебаний (первого порядка).

Течение материала вызывает наложение колебаний, индуцируемых силами Кориолиса и показанных на фиг.5, на возбуждаемые колебания, показанные на фиг.3. Это показано на фиг.6. Оба типа колебаний возникают на частоте возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка, но они сдвинуты по фазе друг относительно друга на девяносто градусов. Максимум смещения (сплошные линии), индуцируемого силами Кориолиса, возникает, когда режим изгибных колебаний первого порядка имеет место при нулевом смещении вдоль оси 303. Смещение, вызываемое силами Кориолиса, становится нулевым, когда режим изгибных колебаний первого порядка имеет место при максимальном смещении (пунктирные линии). Фиг.6 аналогична фиг.4 в том, что она отображает состояние расходомерной трубки, поскольку Кориолисовы отклонения связаны с моментом, когда расходомерная трубка 300 пересекает нулевую ось 303. В этот момент и только в этот момент силы Кориолиса и отклонения, индуцируемые силами Кориолиса, имеют максимальную амплитуду.

Как уже пояснялось применительно к фиг.4, силы Кориолиса уменьшаются и в конечном счете становятся равными нулю, когда отклонение расходомерной трубки 300 достигает своего максимума либо в направлении вверх, либо в направлении вниз. В этот момент, скорость расходомерной трубки равна нулю, то же самое относится к приложенным силам Кориолиса и результирующему Кориолисову отклонению. Таким образом, синусоидальная реакция Кориолиса, показанная на фиг.5, имеет синусоидальное изменение амплитуды на частоте возбуждения, когда расходомерная трубка 300 совершает синусоидальные колебания в своем режиме изгибных колебаний первого порядка между ее максимальным положительным и максимальным отрицательным отклонением под действием сигнала возбуждения. Для ясности, амплитуда смещения, индуцируемого силами Кориолиса и показанного на фиг.5 и 6, изображена в значительно увеличенном масштабе. Эта амплитуда на самом деле значительно меньше, чем амплитуда режима изгибных колебаний первого порядка расходомерной трубки 300, потому что режим изгибных колебаний первого порядка возбуждается на резонансной частоте расходомерной трубки, а Кориолисов режим - нет. Таким образом, Кориолисовы деформации, показанные на всех чертежах, изображены в значительно увеличенном масштабе.

Фазовая задержка, связанная с течением материала, в известных измерительных приборах возникает в результате наложения режима (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка и Кориолисова отклонения расходомерной трубки. На фиг.5 можно увидеть, что правый датчик ПД скорости проходит через нулевое смещение раньше левого датчика ЛД скорости. Иными словами, также можно сказать, что правый датчик ПД опережает по фазе левый датчик ЛД. Разность фаз (или временная задержка) пропорциональна амплитуде смещения, индуцируемого силами Кориолиса, которое, в свою очередь, пропорционально удельному массовому расходу.

Настоящее изобретение предусматривает сдвиг порядка частоты различных форм колебаний балансира. Режимы колебаний определяются согласно их формам, а не их порядку частоты. Поэтому режимом изгибных колебаний первого порядка будет в дальнейшем именоваться тот, который изображен на фиг.3. Режим изгибных колебаний второго порядка будет иметь форму, показанную на фиг.5. Полезное правило заключается в том, что порядковый номер режима равен числу узлов минус один. Режим первого порядка имеет два узла (на концах). Режим второго порядка имеет три узла (на концах и в центре). Режим изгибных колебаний третьего порядка имеет четыре узла, и т.д.

В обычных расходомерах Кориолиса с одной трубкой балансир колеблется только в режиме изгибных колебаний первого порядка и никак не реагирует на силу Кориолиса на расходомерной трубке. Фиг.6 изображает расходомер 600 Кориолиса с одной трубкой, имеющий расходомерную трубку 601 и балансир 602, соединенные стяжками 603 и 604 на концах балансира 602. Сплошные линии на фиг.6 изображают расходомерную трубку 601 и балансир 602, когда они пересекают ось 303 нулевого смещения в режиме (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка при течении материала. На балансире 602, показанном на фиг.6, не возникают Кориолисовы отклонения. Пунктирные линии изображают расходомерную трубку и балансир выпученными наружу в положении, когда их колебания обуславливают выпуклость наружу в режиме (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка.

Фиг.1 представляет векторную диаграмму скоростей колебаний, генерируемых обычным расходомером Кориолиса с одной трубкой, изображенным на фиг.6. Реакцией

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

расходомерной трубки в правом датчике ПД скорости является вектор 103, который имеет опережающую фазу $\phi_{трубки}$, отображенную в виде угла между вектором 103 и действительной осью 102. Скорость колебаний балансира не сдвинута по фазе от оси 102, потому что балансир не подвергается воздействию сил Кориолиса, генерируемых на расходомерной трубке. Вектор (106) балансира изображен вдоль действительной оси 102 и получил обозначение $V_{балансира}$. Суммой векторов скоростей расходомерной трубки и балансира является вектор 105. Вектор 105 имеет фазовый угол $\phi_{чист}$, отображающий суммарные векторные скорости и фазы расходомерной трубки и балансира. Отметим, что "чистый" фазовый угол, выдаваемый из правого датчика ПД, меньше, чем фазовый угол самой трубки. Уменьшение фазового угла (и чувствительности) происходит из-за отсутствия фазового сдвига в балансире в обычных измерительных приборах с одной трубкой.

Один конкретный вариант осуществления настоящего изобретения, показанный на фиг.7, предусматривает балансир, резонансная частота режима изгибных колебаний второго порядка которого несколько ниже частоты возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка. Отклонение, индуцируемое силами Кориолиса, расходомерной трубки 601 возбуждает режим изгибных колебаний второго порядка в балансире 602 с помощью стяжек 603 и 604. Амплитуда колебаний балансира 602 в режиме изгибных колебаний второго порядка пропорциональна амплитуде Кориолисова отклонения расходомерной трубки 601 и поэтому пропорциональна расходу материала. Амплитуда колебаний балансира 602 в режиме его изгибных колебаний второго порядка, показанная на фиг.7, также зависит от промежутка между частотой (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка и резонансной частотой режима изгибных колебаний второго порядка балансира. Чем ближе частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира к частоте (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, тем больше будет амплитуда колебаний балансира в его режиме изгибных колебаний второго порядка.

Эта взаимосвязь подробно показана на фиг.9, которая представляет собой график зависимости амплитуды колебаний балансира в его режиме изгибных колебаний второго порядка от отношения между частотой (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка и резонансной частотой режима изгибных колебаний второго порядка балансира 602. По оси x 902 отложено соотношение частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка и резонансной частотой режима изгибных колебаний второго порядка балансира. По оси y 901 отложен коэффициент усиления реакции Кориолиса балансира 602. Как можно заметить, реакция Кориолиса, индуцируемая в балансире 602, имеет максимум, когда отношение между частотой возбуждения и резонансной частотой изгибных колебаний второго порядка балансира составляет 1,0. Реакция 904 Кориолиса балансира уменьшается до нуля от своего максимума, когда отношение этих двух частот, изображенное на фиг.9, становится больше 1,0. Реакция Кориолиса балансира также уменьшается от своего максимума, когда отношение этих двух частот становится меньше единицы. Фиг.9 показывает, что когда эти две частоты относительно близки, амплитуда $A_{балансира}$ балансира в его режиме изгибных колебаний второго порядка может быть гораздо больше, чем амплитуда, индуцируемая силами Кориолиса, расходомерной трубки 601. Как описано ниже, в предпочтительном конкретном варианте осуществления изобретения расходомер Кориолиса эксплуатируется в условиях, при которых резонансная частота режима изгибных колебаний второго порядка несколько ниже, чем частота (возбуждения) режима изгибных колебаний второго порядка. При таких условиях, отношение частот несколько больше единицы. В случае другого конкретного варианта осуществления, отношение между этими двумя частотами может быть несколько меньше единицы. В этом случае расходомер Кориолиса эксплуатируется таким образом, что его реакция 904, показанная на фиг.9, немного смещена влево от абсциссы 903, отображающей отношение 1,0.

Фаза колебаний в режиме изгибных колебаний второго порядка балансира относительно фазы Кориолисова отклонения расходомерной трубки зависит от взаимосвязи его резонансной частоты режима изгибных колебаний второго порядка с частотой (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, как показано на фиг.10. Напомним, что не режим возбуждения вызывает возбуждение изгибных колебаний второго порядка в балансире, а Кориолисово отклонение расходомерной трубки, которое возникает на частоте возбуждения. Если резонансная частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира выше, чем частота (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка (отношение меньше 1,0), то колебания балансира в режиме второго порядка происходят с совпадением по фазе с Кориолисовыми колебаниями расходомерной трубки, как показано на фиг.8. Если частота режима второго порядка балансира ниже, чем частота возбуждения (отношение больше 1,0), то колебания балансира в режиме второго порядка происходят в противофазе с Кориолисовыми колебаниями расходомерной трубки, как показано на фиг.7.

Когда режим изгибных колебаний второго порядка балансира находится в противофазе с Кориолисовым отклонением расходомерной трубки, как показано на фиг.7, магнит и катушка левого датчика ЛД скорости оба отстают по фазе от средней точки расходомерной трубки, тогда как магнит и катушка правого датчика ПД скорости оба опережают по фазе среднюю точку расходомерной трубки. Сигнал, выходящий из каждого датчика, больше не имеет фазу, уменьшенную за счет нулевого фазового сдвига балансира (фиг.1), как в известных расходомерах. Более того, амплитуда колебаний в режиме изгибных колебаний второго порядка балансира 602 (а значит - и фазовый сдвиг датчиков скорости) можно

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

значительно увеличить за счет конструирования таким образом, что резонансная частота балансира близка к частоте возбуждения. Это приводит к большому увеличению чувствительности расходомера.

Векторная диаграмма для расходомера Кориолиса, имеющего частоту режима изгибных колебаний второго порядка своего балансира несколько ниже частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, изображена на фиг.11. По оси x 1102 отложена действительная составляющая скорости вектора. По оси y 1103 отложена мнимая составляющая вектора. Вектор скорости балансира обозначен позицией 1103. Вектор скорости расходомерной трубки обозначен позицией 1104 и, как можно увидеть, фазовый сдвиг $\phi_{трубки}$ вектора 1104 расходомерной трубки меньше, чем фазовый сдвиг $\phi_{балансира}$ вектора 1103 балансира. "Чистый" сигнал, выходящий из датчика ПД скорости, является векторной суммой (по фазе и амплитуде) вектора 1103 балансира и вектора 1104 расходомерной трубки. Вектор 1105 отображает "чистый" выходной сигнал датчика ПД скорости, и он имеет разность $\phi_{чист}$ фаз относительно оси x. Поскольку "чистая" фаза датчика ПД больше, чем фаза расходомерной трубки, видно, что при этой геометрии чувствительность больше, чем у известных измерительных приборов типа того, который изображен на фиг.6 и векторная диаграмма которого изображена на фиг.1.

Фиг.8 изображает конкретный вариант осуществления, в котором частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира несколько выше частоты возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка. Расходомерная трубка 601 и балансир 602 возбуждаются в противофазе друг с другом в режиме изгибных колебаний первого порядка, что приводит к совпадению их фаз в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка. Это заставляет обе части каждого датчика скорости (магнит и катушку) работать со взаимным подавлением фазы. На фиг.8 элемент правого датчика ПД скорости на расходомерной трубке уже пересек нуль (опережающая фаза), тогда как элемент ПД на балансире еще не пересек нуль (отстающая фаза). При сложении этих двух векторов скорости, поскольку они нужны для выдачи напряжений датчиков, опережение и отставание фаз приводят к тому, что они подавляют друг друга. То же самое справедливо для левого датчика ЛД. Результатом является понижение чувствительности расходомера.

Фиг.12 изображает сложение векторов в случае балансира, имеющего частоту своего режима изгибных колебаний второго порядка несколько выше частоты возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка. Вектор 1204 скорости элемента правого датчика на расходомерной трубке смещен от оси x 1202 на угол $\phi_{трубки}$. Вектор 1203 скорости элемента правого датчика на балансире показан в четвертом квадранте и смещен от оси x на угол $\phi_{балансира}$. Векторной суммой вектора 1204 расходомерной трубки и вектора 1203 балансира является вектор 1205, и он смещен от оси x 1202 на угол $\phi_{трубки}$ вектора 1104 расходомерной трубки, который меньше, чем фазовый сдвиг $\phi_{чист}$. Как можно заметить, "чистая" фаза вектора 1205 теперь находится в отрицательном четвертом квадранте. Отрицательная фаза балансира, прибавленная к положительной фазе расходомерной трубки, была достаточной, чтобы уменьшить фазу (и чувствительность) с переводом ее в отрицательную область. На самом деле это означает, что положительное течение материала приведет к указанному течению в отрицательном направлении. Это можно осуществить путем изменения знака указанного расхода, но существует еще одна причина, по которой менее предпочтительно иметь частоту изгибных колебаний второго порядка балансира несколько выше частоты возбуждения.

Конфигурация, изображенная на фиг.7, при которой частота режима изгибных колебаний второго порядка ниже частоты режима возбуждения, также является предпочтительной для улучшения уравновешивания расходомера. При этой конфигурации силу Кориолиса на расходомерной трубке 601 можно уравновесить реакцией режима изгибных колебаний второго порядка балансира. В обычных расходомерах Кориолиса с одной трубкой балансир динамически уравновешивает силы инерции на расходомерной трубке только в режиме (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка. Режим изгибных колебаний второго порядка в балансире имеет место на гораздо более высокой частоте, чем Кориолисова деформация расходомерной трубки (которая возникает на частоте возбуждения). Следовательно, режим изгибных колебаний второго порядка не возбуждается в балансире известных расходомеров Кориолиса с одной трубкой. Это приводит к тому, что силы Кориолиса не уравновешиваются, как показано на фиг.6, и возникает вибрация расходомера. Амплитуда вибрации, которая зависит как от расхода, так и от жесткости установки, может вызывать уход чувствительности расходомера из-за ухода расстояния между датчиками скорости и концевыми узлами колебаний. Поскольку жесткость установки, вообще говоря, неизвестна, уход чувствительности нельзя предсказать или компенсировать.

В расходомере Кориолиса, соответствующем настоящему изобретению, режим изгибных колебаний второго порядка балансира возбуждается Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки. Когда частота режима изгибных колебаний второго порядка расходомера ниже частоты возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка, колебания в этих двух режимах находятся в противофазе друг с другом, и силы инерционных колебаний режима изгибных колебаний второго порядка балансира в значительной степени подавляют эффект вибрации, создаваемый силой Кориолиса на расходомерной трубке, как показано на фиг.7. Поскольку источником возбуждения балансира для режима изгибных колебаний второго порядка является Кориолисово отклонение расходомерной трубки, амплитуда колебаний режима изгибных колебаний второго порядка

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

балансира увеличивается, когда увеличивается сила Кориолиса на расходомерной трубке. Это обеспечивает одинаковую степень динамического равновесия при всех расходах.

Таким образом, рассмотрены два конкретных варианта осуществления: конкретный вариант осуществления, имеющий частоту режима изгибных колебаний второго порядка балансира выше частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, и предпочтительный конкретный вариант осуществления, который имеет частоту режима изгибных колебаний второго порядка балансира ниже частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка. Третьей возможностью является равенство обеих частот. Это возможно, и это дает наиболее чувствительный и лучше всего уравновешиваемый конкретный вариант осуществления. Вместе с тем, есть одна важная проблема. И расходомерная трубка, и балансир возбуждаются в режиме изгибных колебаний первого порядка (частота которого теперь равна частоте изгибных колебаний второго порядка балансира). Частота колебаний режима изгибных колебаний первого порядка изменяется с плотностью текущего материала, поскольку масса, связанная с расходомерной трубкой, изменяется с плотностью текущего материала. Однако частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира не изменяется значительно с плотностью текучей среды, поскольку он не содержит текучую среду. Это создает ситуацию, в которой обе частоты (возбуждения и изгибных колебаний второго порядка) совпадают только для плотности одного материала. Для более легких материалов, частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира ниже частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, а для более тяжелых материалов она выше частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка. Тогда, в случае легкого материала, расходомерная трубка и балансир колеблются в противофазе в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка, а в случае тяжелого материала они колеблются с совпадением фазе в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка. Кроме того, увеличение чувствительности расходомера значительно изменяется с плотностью материала, когда частота режима изгибных колебаний второго порядка балансира находится в непосредственной близости от частоты возбуждения (фиг.9). Эту "уходящую" чувствительность расходомера можно компенсировать электронным способом, исходя из частоты. Однако для большой устойчивости расходомера, наилучшая конструкция имеет частоту режима изгибных колебаний второго порядка балансира, которая ниже частоты режима возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка настолько, что никакая плотность противодействующей жидкости, содержащейся в трубке, не сможет вызвать совпадение частот. Наилучшая конструкция также имеет частоты, достаточно близкие для возбуждения балансира в режиме изгибных колебаний второго порядка.

Особенности конструкции. В вышеизложенном описании речь шла о требуемой взаимосвязи частоты изгибных колебаний второго порядка балансира с частотой возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка. Предпочтительный конкретный вариант осуществления имеет частоту режима изгибных колебаний второго порядка, которая ниже частоты возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка настолько, что материалы большой плотности не смогут вызвать совпадение частот. Наличие частоты режима изгибных колебаний второго порядка, которая ниже частоты возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка, является особой ситуацией, которую некоторые могут назвать невозможной. Ниже описаны особенности конструкции, с помощью которых это достигается.

Двумя факторами, которые определяют резонансную частоту колеблющейся конструкции, являются масса и жесткость пружины. Уравнение для резонансной частоты имеет вид:

$$\omega = \sqrt{k / M},$$

где k - жесткость пружины; M - масса.

Чтобы сделать частоту режима изгибных колебаний второго порядка ниже частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, нужно внести изменения в обычный балансир, которые как повысят его частоту (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка, так и понизят его частоту режима изгибных колебаний второго порядка. Как увеличение массы, так и уменьшение коэффициента пружины (жесткости) служат для понижения частоты. Для понижения резонансной частоты режима изгибных колебаний второго порядка таким образом, чтобы она была ниже, чем частота возбуждения режима изгибных колебаний первого порядка, необходимо изменить массу и жесткость балансира в зонах, где они важнее в одном режиме, чем в другом. Изменение массы в зонах малой амплитуды колебаний имеет малое влияние. Точно так же, изменение жесткости k в зонах малого изгибающего момента имеет малое влияние.

Фиг.13 и 14 изображают формы колебаний и диаграммы изгибающих моментов режимов изгибных колебаний первого и второго порядка балансира 1301. Чтобы "смягчить" (уменьшить) k в режиме изгибных колебаний второго порядка без "смягчения" k в режиме изгибных колебаний первого порядка, можно уменьшить жесткость балансира 1301 в тех зонах, где изгибающий момент близок к нулю в режиме изгибных колебаний первого порядка и велик в режиме изгибных колебаний второго порядка. Пунктирные линии i и ii на фиг.13 и 14 показывают, что двумя такими местами могут быть места, обозначенные позициями 1306 и 1308. Уменьшение жесткости k балансира 1301 в местах 1306 и 1308 оказывает малое влияние на частоту режима изгибных колебаний первого порядка, показанного на фиг.13, так как расходомерная трубка является относительно прямолинейной и имеет малый изгибающий момент в этих местах в режиме изгибных колебаний первого порядка. Таким образом, уменьшение жесткости в местах 1306 и 1308 не оказывает влияние на частоту (возбуждения) режима изгибных колебаний

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

первого порядка. Однако, как показано на фиг.14, места 1306 и 1308 имеют большой изгибающий момент для режима изгибных колебаний второго порядка. Таким образом, уменьшение жесткости или коэффициента пружины балансира в его местах 1306 и 1308 понижает частоту режима изгибных колебаний второго порядка.

Частоту режима изгибных колебаний первого порядка балансира 1301 можно повысить путем увеличения его жесткости в тех зонах, где он имеет большой изгибающий момент в режиме изгибных колебаний первого порядка и где режим изгибных колебаний второго порядка имеет изгибающий момент, близкий к нулю. Линия iii на фиг.14 показывает, что таким местом может быть место 1307. Рассмотрение фиг.13 и 14 показывает, что в месте 1307 балансир 1301 имеет большой изгибающий момент в своем режиме изгибных колебаний первого порядка, показанном на фиг.13, и малый изгибающий момент в своем режиме изгибных колебаний второго порядка, показанном на фиг.14. Таким образом, балансир, который имеет увеличенную жесткость в зоне 1307, будет иметь повышенную частоту возбуждения, тогда как частота режима изгибных колебаний второго порядка, показанного на фиг.14, останется неизменной.

Для дополнительного понижения частоты режима изгибных колебаний второго порядка относительно частоты режима изгибных колебаний первого порядка можно увеличить массу балансира 1301 в тех зонах, которые имеют большую амплитуду в режиме изгибных колебаний второго порядка и малую амплитуду в режиме изгибных колебаний первого порядка. Это места i и ii на фиг.13-17. Кроме того, уменьшение массы в части с линией iii балансира 1301, показанной на фиг.13 и 14, повышает частоту возбуждения, не оказывая влияние на частоту режима изгибных колебаний второго порядка. Поэтому, как видно на фиг.13 и 14, амплитуда колебаний для режима изгибных колебаний первого порядка велика в месте 1307, тогда как амплитуда колебаний для режима изгибных колебаний второго порядка мала, как видно на фиг.14. Таким образом, удаление некоторой массы из места 1307 балансира повышает частоту возбуждения, но не влияет на частоту режима изгибных колебаний второго порядка.

Фиг.15 изображает конкретный вариант осуществления этой конструкции. Жесткость балансира 1503 уменьшена за счет удаления материала из частей 1508 и 1509 на любой стороне его элемента 1506 центральной области. Это лишь немного повышает частоту возбуждения и при этом значительно понижает частоту изгибных колебаний второго порядка. Кроме того, в балансир 1503 также добавлена масса 1504 и 1505 снаружи области 1508 и 1509 уменьшенной жесткости. Это дополнительно снижает частоту режима изгибных колебаний второго порядка. Из центральной части 1506 балансира 1503 масса удалена с оставлением полости 1507. Фиг.16 изображает получающуюся при этом форму колебаний возбуждения, а фиг.17 изображает получающуюся при этом форму Кориолисовых изгибных колебаний второго порядка для расходомера, показанного на фиг.15.

Фиг.18 изображает еще один конкретный вариант осуществления настоящего изобретения, в котором для уменьшения жесткости балансира используются сильфоны 1808 и 1809. Конкретный вариант осуществления, изображенный на фиг.18, похож на конкретный вариант осуществления, изображенный на фиг.15, 16 и 17 тем, что имеет центральный элемент 1806, сравнимый с элементом 1506, изображенным на фиг.15. Конкретный вариант осуществления, изображенный на фиг.18, также имеет зону 1807 уменьшенной массы, сравнимую с элементом 1507, изображенным на фиг.15. Он также имеет дополнительные массы 1504 и 1505, сравнимые с дополнительными массами, изображенными на фиг.15. Гибкие сильфоны 1808 и 1809, изображенными на фиг.18, имеют уменьшенную жесткость по сравнению с элементами 1508 и 1509, изображенными на фиг.15. Эти характеристики конкретного варианта осуществления, изображенного на фиг.18, служат для повышения частоты возбуждения и понижения частоты режима изгибных колебаний второго порядка таким же образом, как и в случае конкретного варианта осуществления, изображенного на фиг.15.

Эти конструктивные признаки, описанные для фиг.15-18, могут наилучшим образом снизить частоту режима изгибных колебаний второго порядка балансира до частоты (возбуждения) режима изгибных колебаний первого порядка. Это можно проиллюстрировать, предположив, что центральный участок балансира 1503 не имеет массы, а зоны уменьшенной жесткости балансира не имеют жесткости. В этом самом крайнем случае, центральным участком балансира можно полностью пренебречь, и балансир 1503 ведет себя подобно двум независимым консольным балкам 1511 (фиг.19). Тогда форма колебаний в режиме (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка подобна той, которая показана на фиг.20, а форма колебаний в режиме Кориолисовых изгибных колебаний второго порядка подобна той, которая изображена на фиг.21. Между режимом возбуждения и режимом изгибных колебаний второго порядка нет разницы в форме балансира, за тем исключением, что в режиме возбуждения, соответствующем фиг.20, оба конца балок 1511 балансира находятся в одинаковой фазе, а в режиме изгибных колебаний второго порядка, соответствующем фиг.21, они находятся в противофазе друг с другом. Поскольку концы балансира не соединены, взаимосвязь их фаз друг с другом не вносит различие в их резонансные частоты. Таким образом, режим изгибных колебаний второго порядка (в противофазе), соответствующий фиг.21, имеет такую же частоту, как режим изгибных колебаний первого порядка (в одинаковой фазе), соответствующий фиг.20.

Заключительный конструктивный признак, необходимый для понижения частоты режима изгибных колебаний второго порядка до величины ниже частоты возбуждения может быть реализован путем изменения жесткости балансира таким образом, чтобы она имела меньшую жесткость в режиме изгибных колебаний второго порядка, чем в режиме изгибных колебаний первого порядка. Сущность этого конструктивного признака

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

состоит в том, что балансир делают исключительно жестким (кроме двух зон 1508 и 1509 уменьшенной жесткости, показанных на фиг.22), так что значительная доля изгиба возникает в стяжке 1502. Тогда "чистая" жесткость балансира 1503 становится функцией отношения амплитуд колебаний балансира 1503 и расходомерной трубки 1501. Балансир сделан жестким в элементах 1511. Это имеет эффект удаления эффективной пружины из балансира 1503 и сосредоточения пружины в стяжке 1502, так что пружина примыкает к концевым узлам. Тогда перемещение узловых мест может иметь значительное влияние на коэффициент эффективной пружины балансира.

Показанные на фиг.22 расходомерная трубка 1501 и балансир 1503 имеют одинаковые амплитуды колебаний в режиме возбуждения. Фиг.23 изображает теже колебания в режиме возбуждения балансира в сочетании с почти нулевой амплитудой колебаний расходомерной трубки. На обоих чертежах балансир 1502 имеет плоскость 2201 стационарных узлов между расходомерной трубкой 1501 и балансиром 1503. Плоскость 2201 стационарных узлов - это плоскость нулевых колебаний, и она не колеблется ни с расходомерной трубкой, ни с балансиром. Вследствие одинаковых амплитуд колебаний, на фиг.22 плоскость 2201 стационарных узлов находится примерно на полпути между расходомерной трубкой 1501 и балансиром 1503.

На фиг.23 расходомерная трубка 1501 имеет гораздо меньшую амплитуду колебаний (и большую массу), и поэтому плоскость 2201 стационарных узлов расположена очень близко от расходомерной трубки 1501. Будучи связанной с динамикой системы, плоскость стационарных узлов отмечает конец области пружины балансира 1503 в каждой стяжке 1502. Более короткая эффективная пружина балансира 1503, изображенная на фиг.22, придает ему большую эффективную жесткость, чем более длинная эффективная пружина балансира 1503, изображенная на фиг.23. Когда большинство функций упругости балансира 1503 сосредоточено в стяжках 1502, большее отношение амплитуд расходомерной трубки и балансира приводит к более короткой и жесткой области упругости балансира, чем меньшее отношение амплитуд. Следовательно, конструирование измерительного прибора таким образом, чтобы он имел большее отношение амплитуд расходомерной трубки и балансира в режиме (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка, чем в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка, может привести к Кориолисову режиму изгибных колебаний второго порядка, имеющему более низкую резонансную частоту, чем режим (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка. Объяснение этого приведено ниже.

Отношение амплитуд колебаний в режиме возбуждения определяется массой и жесткостью обоих колеблющихся элементов. Если расходомерная трубка 1501 и балансир 1503 имеют равные резонансные частоты (а они должны быть такими для динамически уравновешенного расходомера), то справедливо следующее соотношение:

$$\sqrt{k_{\text{трубки}} / M_{\text{трубки}}} = \sqrt{k_{\text{балансира}} / M_{\text{балансира}}}.$$

Кроме того, по закону сохранения количества движения:

$M_{\text{трубки}}V_{\text{трубки}}=M_{\text{балансира}}V_{\text{балансира}}$.

Исходя из этих двух законов можно показать, что отношение амплитуд колебаний является величиной, обратной отношению масс, а также что отношение масс и отношение жесткостей должны быть равны:

$A_{\text{трубки}}/A_{\text{балансира}}=M_{\text{балансира}}/M_{\text{трубки}}=k_{\text{балансира}}/k_{\text{трубки}}$.

Следовательно, чтобы балансир 1503 имел меньшую амплитуду колебаний, чем расходомерная трубка, балансир должен иметь большую массу и жесткость, чем расходомерная трубка.

Частоту возбуждения повышают до величины, большей, чем частота Кориолисова режима изгибных колебаний второго порядка, следующим образом. Отношение амплитуд колебаний в режиме изгибных колебаний первого порядка между расходомерной трубкой 1501 и балансиром 1502 делают большим. Этого достигают, делая балансир 1503 и его элементы 1511 тяжелыми и жесткими по сравнению с расходомерной трубкой 1501. Результат заключается в том, что плоскость 2201 стационарных узлов в стяжке 1502 близка к балансиру 1503. Это делает жесткость пружины балансира (в режиме возбуждения) большой. Однако в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка отношение амплитуд изменяется на обратное. Амплитуда Кориолисова отклонения расходомерной трубки мала, потому что она не возбуждается на резонансной частоте силой Кориолиса. Амплитуда балансира в режиме изгибных колебаний второго порядка велика, потому что он возбуждается Кориолисовым отклонением расходомерной трубки 1501 на ее резонансной частоте режима изгибных колебаний второго порядка или около этой частоты.

Таким образом, отношение амплитуд колебаний расходомерной трубки и балансира в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка мало, и это приводит к расположению плоскостей стационарных узлов близко к расходомерной трубке 1501. Это делает пружины балансира относительно длинными, а жесткость балансира - малой в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка. Это снижает частоту режима изгибных колебаний второго порядка. Кориолисов режим изгибных колебаний второго порядка с малым отношением амплитуд показан на фиг.24. Поскольку отношение амплитуд колебаний велико в режиме возбуждения и мало в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка, пружины балансира (которые сосредоточены в стяжке 1502) оказываются жестче в режиме возбуждения, чем в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка. Это позволяет режиму изгибных колебаний второго порядка на самом деле иметь более низкую частоту, чем режим изгибных колебаний первого порядка.

В заключение отметим, что существуют четыре признака, которые отличают настоящее изобретение. Во-первых, жесткость балансира 1503 уменьшена на обеих сторонах его центральной части 1506. Это снижает резонансную частоту изгибных

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

колебаний второго порядка балансира. Это осуществляется элементами 1508 и 1509, которые являются гибкими и имеют малую жесткость пружины. Во-вторых, масса балансира 1503 уменьшена в его центральной части 1506 и увеличена непосредственно снаружи областей 1508 и 1509 уменьшенной жесткости. Это повышает частоту возбуждения и снижает частоту изгибных колебаний второго порядка балансира. В-третьих, балансир 1502 сделан жестким в его балочных элементах 1511, так что основная часть пружины колеблющейся конструкции возникает в стяжке 1502. Это заставляет жесткость пружины балансира становиться функцией отношения амплитуд колебаний между расходомерной трубкой и балансиром. В-четвертых, относительная масса и жесткость расходомерной трубки 1501 и балансира 1503 такова, что отношение амплитуд колебаний (расходомерной трубки и балансира) больше в режиме возбуждения, чем в Кориолисовом режиме изгибных колебаний второго порядка. Это позволяет режиму изгибных колебаний второго порядка балансира иметь резонансную частоту несколько меньшую, чем у режима (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка. Использование всех этих конструктивных признаков для осуществления повышения чувствительности расходомера Кориолиса, являющегося конкретным воплощением настоящего изобретения, может оказаться необязательным. Необходимо использовать лишь достаточное количество этих признаков для уменьшения частоты режима изгибных колебаний второго порядка балансира 1503, чтобы она оказалась ниже частоты возбуждения.

Вышеописанные конкретные варианты осуществления изобретения принимают форму одной прямолинейной трубки с параллельным балансиром сбоку от расходомерной трубки. Такое описание приведено только для ясного изложения изобретательских замыслов. Принципы и конструктивные признаки изобретения одинаково применимы также к расходомеру Кориолиса с одной прямолинейной трубкой и концентрическим балансиром (фиг.25), а также к расходомером с одной криволинейной трубкой (фиг.26) с концентрическими балансирами. Предпочтительный вариант - одна прямолинейная трубка с концентрическим балансиром, как показано на фиг.25. Для ясности, на фиг.25 и 26 удалена передняя половина балансира, чтобы можно было видеть расходомерную трубку. Фиг.25 представляет простейший и наиболее компактный конкретный вариант осуществления. Балансир 2503, повышающий чувствительность, повышает чувствительность расходомера до такой степени, при которой его точность сможет соперничать с аналогичным параметром расходомеров Кориолиса с криволинейной трубкой.

Конкретный вариант осуществления, изображенный на фиг.25, аналогичен конкретному варианту осуществления, изображенному на фиг.22-24, за исключением того, что балансир 2503 концентричен с расходомерной трубкой 2501 и окружает ее. Центральная часть балансира 2503 имеет малую массу благодаря полости 2507. Участки 2508 и 2509 имеют уменьшенную жесткость. Балансир 2503 также имеет элементы 2504 и 2505 с дополнительной массой, соответствующие элементам 1504 и 1505, показанным на фиг.22-24. Эта конструкция конкретного варианта осуществления, изображенного на фиг.25, позволяет частоте режима изгибных колебаний второго порядка балансира 2503 быть несколько ниже, чем частота режима (возбуждения) изгибных колебаний первого порядка, и обеспечивает такие же преимущества, как описанные ранее для конкретного варианта осуществления, изображенного на фиг.22-24.

Фиг.26 раскрывает сущность конкретного варианта осуществления, который в большинстве особенностей аналогичен конкретному варианту осуществления, изображенному на фиг.25, за исключением того, что расходомерная трубка 2601 и окружающий ее концентрический балансир 2603 не прямолинейные, а криволинейные, с изгибом вверх от горизонтали в частях 2615 и 2616, от которых они простираются вверх до тех пор, пока не образуют переход от вертикали к горизонтали в зонах 2617 и 2618. Центральная часть 2606 стяжки 2603 имеет зону 2607 малой массы, содержащую полость, и удлиненные элементы 2608 и 2609, которые дополнительно имеют малую жесткость пружины. Элементы 2604 и 2605 обеспечивают дополнительную массу таким же образом, как это делают элементы 2504 и 2505 конкретного варианта осуществления, изображенного на фиг.25, и таким же образом, как это делают элементы 1504 и 1505 конкретного варианта осуществления, изображенного на фиг.22-24.

На фиг.25 измерительный электронный элемент 2420 подает сигналы возбуждения через шину 2423 в возбудитель В, который взаимодействует с соседним магнитом М для обеспечения колебаний расходомерной трубки 2501 и балансира 2503 в противофазе друг с другом на резонансной частоте возбуждения. При течении материала в колеблющейся расходомерной трубке к этой расходомерной трубке прикладываются силы Кориолиса, отклоняя ее левую часть в противофазе относительно ее правой части, как известно в данной области техники. Эти Кориолисовы отклонения определяют левый датчик ЛД и правый датчиком ПД. Сигналы, отображающие Кориолисовы отклонения, подаются по шинам 2421 и 2422 в измерительное электронное средство 2420, которое обычным способом обрабатывает сигналы для генерирования выходной информации, касающейся текущего материала. Эта информация подается на шину 2424 и может включать в себя плотность материала, расход материала, и т.д. На фиг.25 возбудитель В, левый датчик ЛД и правый датчик ПД содержат каждый пару катушка-магнит, причем магниты обозначены буквой М и прикреплены к расходомерной трубке вблизи катушки каждой пары катушка-магнит ЛД, В и ПД.

Конкретный вариант осуществления, изображенный на фиг.26, аналогично связан с электронным элементом (не показан), сравнимым с измерительным электронным средством 2420. Конкретный вариант осуществления, изображенный на фиг.26,

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

аналогично имеет возбудитель В, левый датчик ЛД и правый датчик ПД (все они не показаны на чертеже фиг.26, поскольку расходомерная трубка колеблется в плоскости, проходящей поперечно плоскости чертежа фиг.26). При таком изображении, на фиг.26 можно увидеть только левый магнит М, связанный с датчиком ЛД (не показан), и центральный магнит М, связанный с возбудителем В (не показан), и правый магнит М, связанный с датчиком ПД (не показан).

Следует иметь в виду, что заявляемое изобретение не сводится к описанию предпочтительного конкретного варианта осуществления, а охватывает другие модификации и изменения в рамках изобретательского замысла.

Формула изобретения:

1. Способ эксплуатации расходомера Кориолиса, имеющего расходомерную трубку (2501; 2601), балансир (2503; 2603), ориентированный, по существу, параллельно расходомерной трубке, и стяжки (2502; 2603), соединяющие балансир с расходомерной трубкой, включающий в себя этапы, на которых обеспечивают течение материала через расходомерную трубку, обеспечивают колебания расходомерной трубки и балансира в противофазе относительно друг друга в режиме возбуждения, имеющем частоту возбуждения, по существу, равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, балансира, при этом периодические Кориолисовы отклонения индуцируются на частоте возбуждения в колеблющейся расходомерной трубке в результате течения материала через колеблющуюся расходомерную трубку, причем периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения, определяют скорость расходомерной трубки для генерирования сигналов, отображающих периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и получают информацию, касающуюся текущего материала, в ответ на генерирование сигналов, отличающийся тем, что балансир имеет перераспределение массы и жесткости вдоль его длины, так что резонансная частота балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, ниже упомянутой частоты возбуждения, посредством чего отклонения, подобные Кориолисовым, индуцируются в балансире на частоте возбуждения в ответ на Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, причем отклонения, подобные Кориолисовым, балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и отображают режим колебаний, для которого резонансная частота балансира ниже частоты периодических Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, а отклонения, подобные Кориолисовым, балансира находятся в противофазе с периодическими Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса на колеблющейся расходомерной трубке при течении материала, и осуществляют генерирование сигналов, отображающих Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, в связи с находящимися в противофазе отклонениями, подобными Кориолисовым, балансира, вследствие чего увеличивается амплитуда сигналов.

2. Способ эксплуатации расходомера Кориолиса, имеющего расходомерную трубку (2501; 2601), балансир (1503; 2503; 2603), ориентированный, по существу, параллельно расходомерной трубке, и стяжки (1502; 2502; 2603), соединяющие упомянутый балансир с расходомерной трубкой, включающий в себя этапы, на которых обеспечивают течение материала через расходомерную трубку, обеспечивают колебания расходомерной трубки и балансира в противофазе относительно друг друга в режиме возбуждения, имеющем частоту возбуждения, по существу, равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и балансира, при этом периодические Кориолисовы отклонения индуцируются на частоте возбуждения в колеблющейся расходомерной трубке в результате течения материала через колеблющуюся расходомерную трубку, причем периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения, определяют скорость расходомерной трубки для генерирования сигналов, отображающих периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и получают информацию, касающуюся текущего материала, в ответ на генерирование сигналов, отличающийся тем, что балансир имеет перераспределение массы и жесткости вдоль его длины, так что резонансная частота балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, несколько выше частоты периодических Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, посредством чего отклонения, подобные Кориолисовым, индуцируются в балансире на частоте возбуждения в ответ на Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, причем отклонения, подобные Кориолисовым, балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и отображают режим колебаний, для которого резонансная частота балансира несколько выше упомянутой частоты возбуждения, а отклонения, подобные Кориолисовым, балансира совпадают по фазе с периодическими Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса на колеблющейся расходомерной трубке при течении материала, и большую, чем амплитуда Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, и осуществляют генерирование сигналов, отображающих Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, в связи с совпадающими по фазе отклонениями, подобными Кориолисовым, балансира.

3. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что индуцируют отклонения, подобные Кориолисовым, в балансире (2503; 2603) в зависимости от сил, генерируемых периодическими

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

Кориолисовыми отклонениями, передаваемыми от расходомерной трубки через стяжку на балансир.

4. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что перераспределение массы и жесткости в балансире приводит к индуцированию отклонений, подобных Кориолисовым, посредством изгиба концов расходомерной трубки в ответ на периодические Кориолисовы отклонения для изгиба первого конца стяжек (2502; 2602), и изгиба второго конца стяжек в ответ на изгиб первого конца.

5. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что перераспределение массы и жесткости вдоль длины балансира (2503; 2603) вызывает перенос упругости от балансира к стяжке (2502) для понижения резонансной частоты отклонений, подобных Кориолисовым, балансира.

6. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что включает этап понижения резонансной частоты в режиме колебаний, подобном Кориолисову, балансира путем обеспечения колебаний, по меньшей мере, на одной гибкой части упомянутого балансира и колебаний увеличенной массы (2504, 2604), по меньшей мере, на одной другой части балансира.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что также включает этап, на котором обеспечивают полость (2507), по меньшей мере, в одной части балансира.

8. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что включает этап понижения резонансной частоты в режиме колебаний, подобном Кориолисову, балансира путем вибрации гибких частей (2508; 2509; 2608; 2609) балансира в местах большого изгибающего момента балансира в режиме колебаний, подобном Кориолисову.

9. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что включает этапы вибрации расходомерной трубки и балансира таким образом, что концевые узлы колеблющейся расходомерной трубки (2501; 2601) и балансира (2503) находятся в стяжках (2502; 2602).

10. Способ по п.9, отличающийся тем, что включает обеспечение жестких участков (2511; 2506; 2611; 2606) балансира (2503; 2603) и гибких участков (2508; 2509; 2608; 2609) балансира, не содержащих жесткий участок.

11. Способ по любому из п.1 или 2, отличающийся тем, что режим возбуждения включает режим изгибных колебаний первого порядка, и режим колебаний, подобный Кориолисову, балансира включает режим изгибных колебаний второго порядка.

12. Способ по п.11, отличающийся тем, что содержит этап обеспечения колебаний центральной части (2506; 2606) балансира и гибкой части (2508; 2509) на каждой стороне центральной части балансира наряду с обеспечением колебаний увеличенной массы на каждой стороне центральной части.

13. Способ по п.11, отличающийся тем, что содержит этап обеспечения колебаний гибких частей (2508; 2509; 2608; 2609) балансира в местах большого изгибающего момента балансира, а также увеличенной массы (2504; 2505; 2604; 2605) в местах большой амплитуды колебаний в режиме изгибных колебаний второго порядка.

14. Расходомер Кориолиса, содержащий расходомерную трубку (2501; 2601), предназначенную для приема потока материала, балансир (2503; 2603), ориентированный, по существу, параллельно расходомерной трубке, стяжки (2502; 2602), соединяющие балансир с расходомерной трубкой, возбудитель (В), предназначенный для обеспечения колебаний расходомерной трубки и балансира в противофазе в режиме возбуждения, имеющем частоту, по существу равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и балансира, так что периодические Кориолисовы отклонения будут индуцироваться на частоте возбуждения в колеблющейся расходомерной трубке, когда материал течет через нее, причем периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения, датчики (ЛД, ПД) скорости для генерирования сигналов, отображающих периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и средство (2420) для получения информации, касающейся течения материала, в ответ на генерирование сигналов, отличающийся тем, что балансир (2503; 2603) имеет перераспределение массы и жесткости вдоль его длины, так что резонансная частота балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, ниже частоты периодических Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, при этом отклонения, подобные Кориолисовым, будут индуцироваться в балансире на частоте возбуждения в ответ на Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, причем отклонения, подобные Кориолисовым, упомянутого балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и отображают режим колебаний, для которого резонансная частота балансира ниже частоты периодических Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, отклонения, подобные Кориолисовым, балансира находятся в противофазе с периодическими Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса колеблющейся расходомерной трубки при течении материала, а датчики (ЛД, ПД) генерируют сигналы, отображающие Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, в связи с находящимися в противофазе отклонениями, подобными Кориолисовым, балансира, вследствие чего увеличивается амплитуда генерируемых сигналов.

15. Расходомер Кориолиса, содержащий расходомерную трубку (2501; 2601), предназначенную для приема потока материала, балансир (2503; 2603), ориентированный, по существу, параллельно расходомерной трубке, стяжки (2502; 2603), соединяющие балансир с расходомерной трубкой, возбудитель (В), предназначенный для обеспечения колебаний расходомерной трубки и балансира в противофазе в режиме возбуждения, имеющем частоту, по существу равную резонансной частоте расходомерной трубки, наполненной материалом, и

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2

балансира, так что периодические Кориолисовы отклонения будут индуцироваться на частоте возбуждения в колеблющейся расходомерной трубке, когда материал течет через нее, причем периодические Кориолисовы отклонения характеризуются областями отклонения, а также узлами, не имеющими отклонения, датчики (ЛД, ПД) скорости для генерирования сигналов, отображающих периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и средство (2420) для получения информации, касающейся течения материала, в ответ на генерирование сигналов, отличающийся тем, что балансир (2503; 2603) имеет конструкцию, обеспечивающую перераспределение массы и жесткости вдоль его длины, так, что резонансная частота балансира в режиме колебаний, имеющем то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, несколько выше частоты периодических Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, при этом отклонения, подобные Кориолисовым, будут индуцироваться в балансире на частоте возбуждения в ответ на Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, причем отклонения, подобные Кориолисовым, балансира имеют то же число узлов, что и периодические Кориолисовы отклонения расходомерной трубки, и отклонения, подобные Кориолисовым, отображают режим колебаний, для которого резонансная частота балансира несколько выше частоты периодических Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, отклонения, подобные Кориолисовым, балансира совпадают по фазе с периодическими Кориолисовыми отклонениями расходомерной трубки и имеют амплитуду, пропорциональную величине периодических сил Кориолиса на колеблющейся расходомерной трубке при течении материала и большую, чем амплитуда Кориолисовых отклонений расходомерной трубки, а датчики (ЛД, ПД) скорости генерируют сигналы, отображающие совокупность Кориолисовых отклонений расходомерной трубки и отклонений, подобных Кориолисовым, балансира.

16. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что возбудитель (В) генерирует силы, в зависимости от периодических Кориолисовых отклонений, от расходомерной трубки через стяжки к балансиру для индуцирования отклонений, подобных Кориолисовым, в балансире.

17. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что перераспределение массы и жесткости в балансире приводит к индуцированию отклонений подобных Кориолисовым, в ответ на периодические Кориолисовы отклонения в расходомерной трубке, которые вызываются изгибом концов расходомерной трубки в ответ на периодические Кориолисовы отклонения для изгиба первого конца стяжки, и изгибом второго конца стяжки в ответ на изгиб первого конца.

18. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что балансир содержит дополнительную массу (2504; 2505; 2604; 2605) в областях большой амплитуды колебаний при отклонениях, подобных Кориолисовым, и гибкие части (2505; 2508; 2605; 2608) в местах большого изгибающего момента отклонений, подобных Кориолисовым.

19. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что режим возбуждения включает режим изгибных колебаний первого порядка, и тем, что индуцированный режим колебаний балансира включает режим изгибных колебаний второго порядка.

20. Расходомер Кориолиса по п.19, отличающийся тем, что балансир содержит жесткую центральную часть (2506; 2606) и дополнительную массу (2504; 2505; 2604; 2605) на каждой стороне жесткой центральной части.

21. Расходомер Кориолиса по п.20, отличающийся тем, что балансир содержит гибкие части (2508; 2509; 2608; 2609) в местах на любой стороне жесткой центральной части.

22. Расходомер Кориолиса по п.20, отличающийся тем, что балансир содержит полость (2507; 2607) в центральной части для повышения частоты возбуждения.

23. Расходомер Кориолиса по п.21, отличающийся тем, что гибкая часть балансира содержит сильфон (1808; 1809).

24. Расходомер Кориолиса по п.22, отличающийся тем, что перераспределение массы и жесткости вдоль длины балансира уменьшает упругость балансира и частоту режима изгибных колебаний второго порядка балансира.

25. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что содержит жесткие элементы (2511; 2506; 2611; 2606) на балансире и гибкие элементы (2508; 2509; 2608; 2609) в каждой части балансира, не содержащей жесткий элемент.

26. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что при колебании расходомерной трубки и балансира, концевой узел колебаний, по меньшей мере, одного из расходомерной трубки и балансира находится в стяжке.

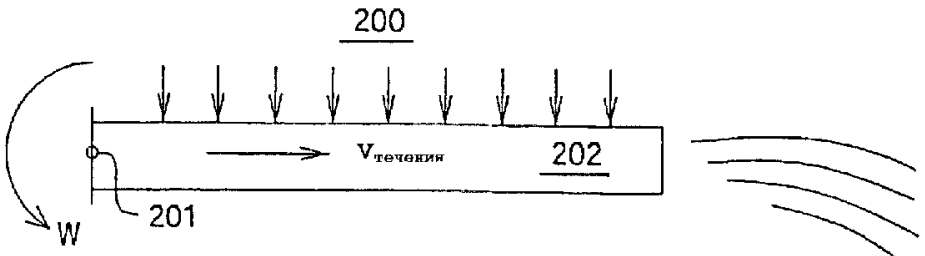
27. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что содержит, по существу, прямолинейную расходомерную трубку (2501) и, по существу, прямолинейный балансир (2503).

28. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что содержит расходомерную трубку (2601), имеющую криволинейную часть (2615), и балансир (2603), имеющий криволинейную часть (2611).

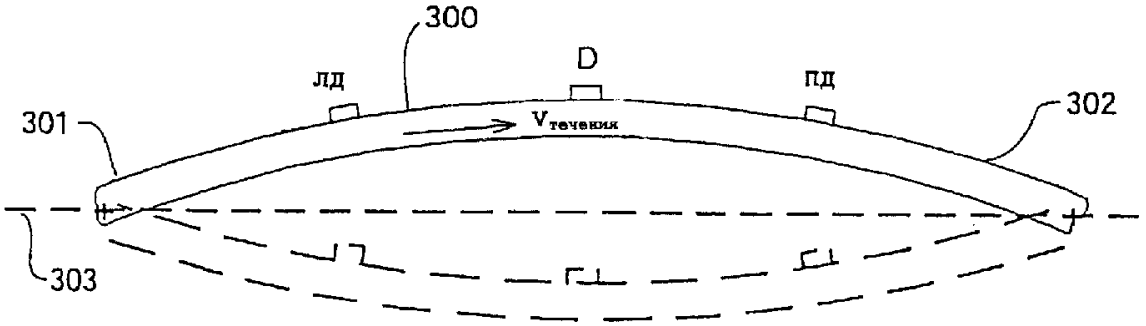
29. Расходомер Кориолиса по любому из п.14 или 15, отличающийся тем, что индуцируемый режим колебаний включает режим изгибных колебаний второго порядка балансира.

RU 2231027 C2

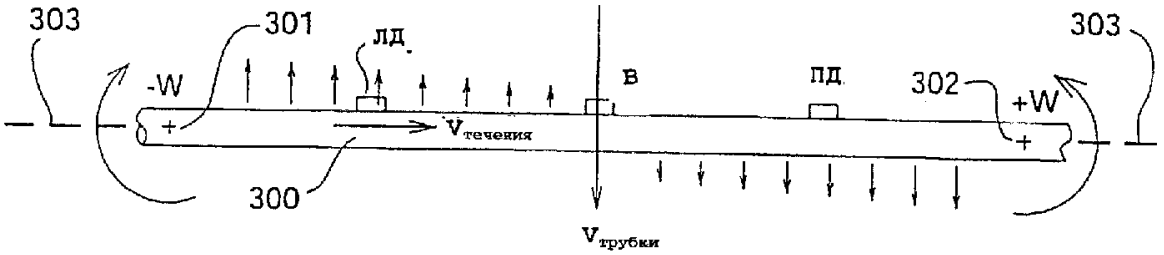
RU 2231027 C2



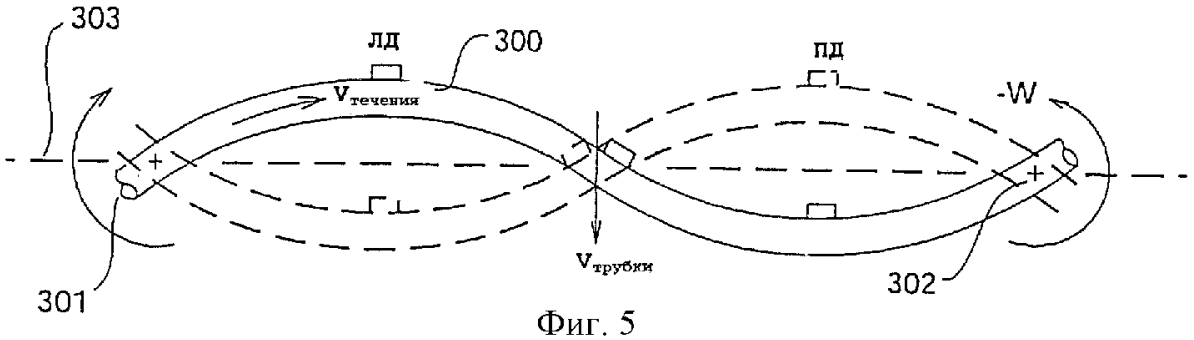
Фиг. 2



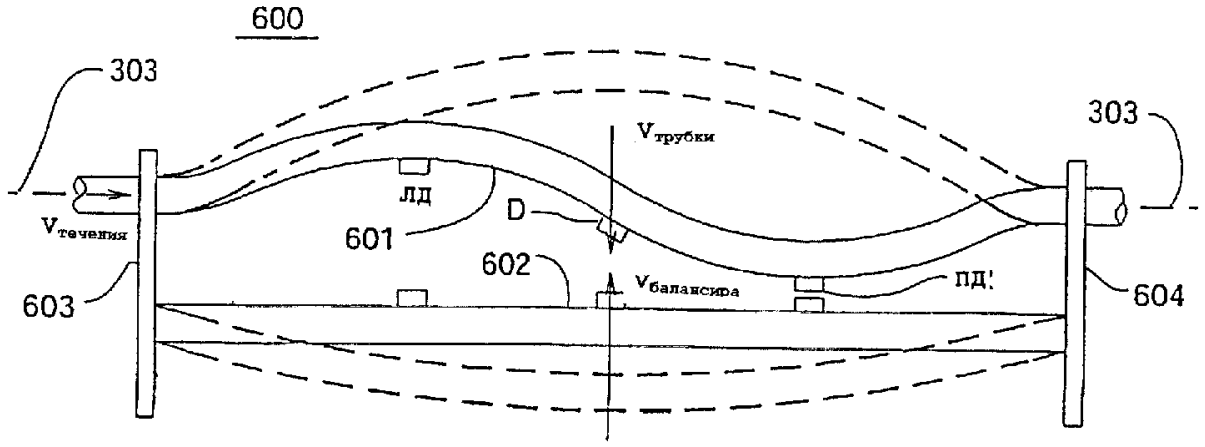
Фиг. 3



Фиг. 4

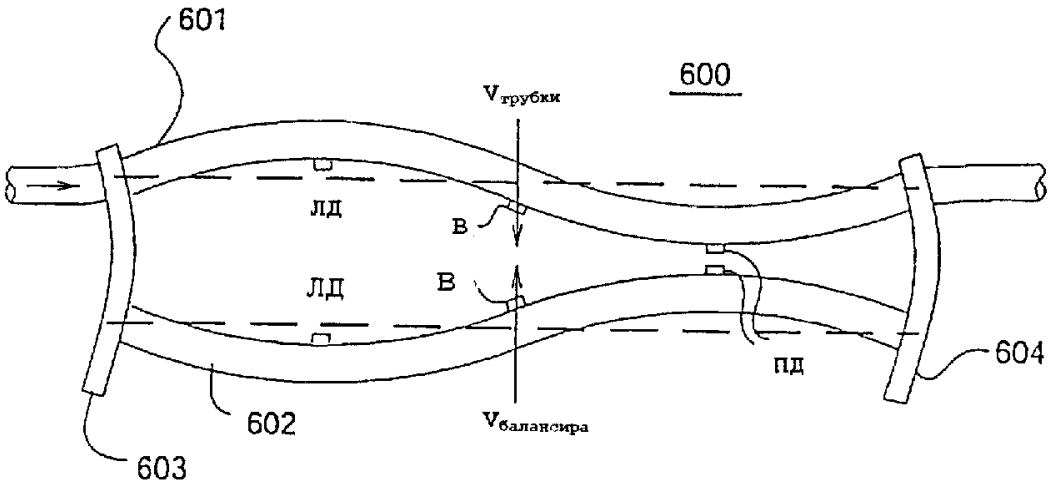


Фиг. 5

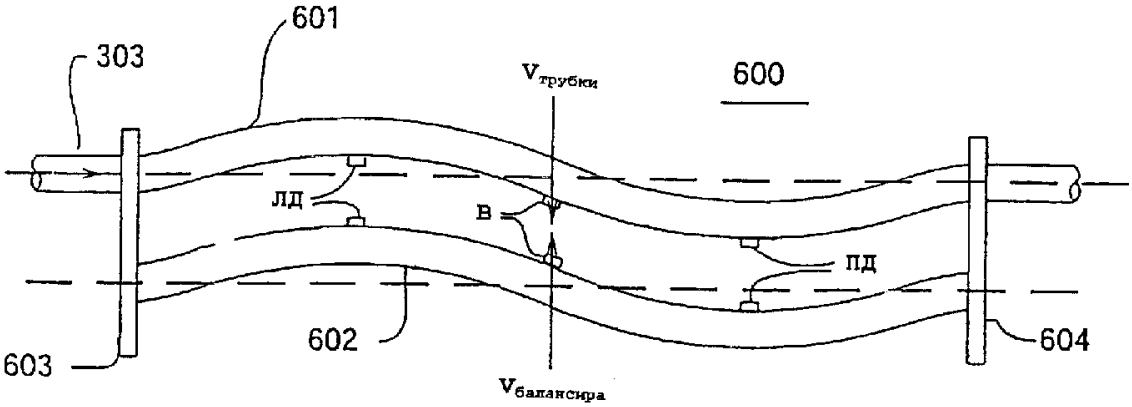


Фиг. 6

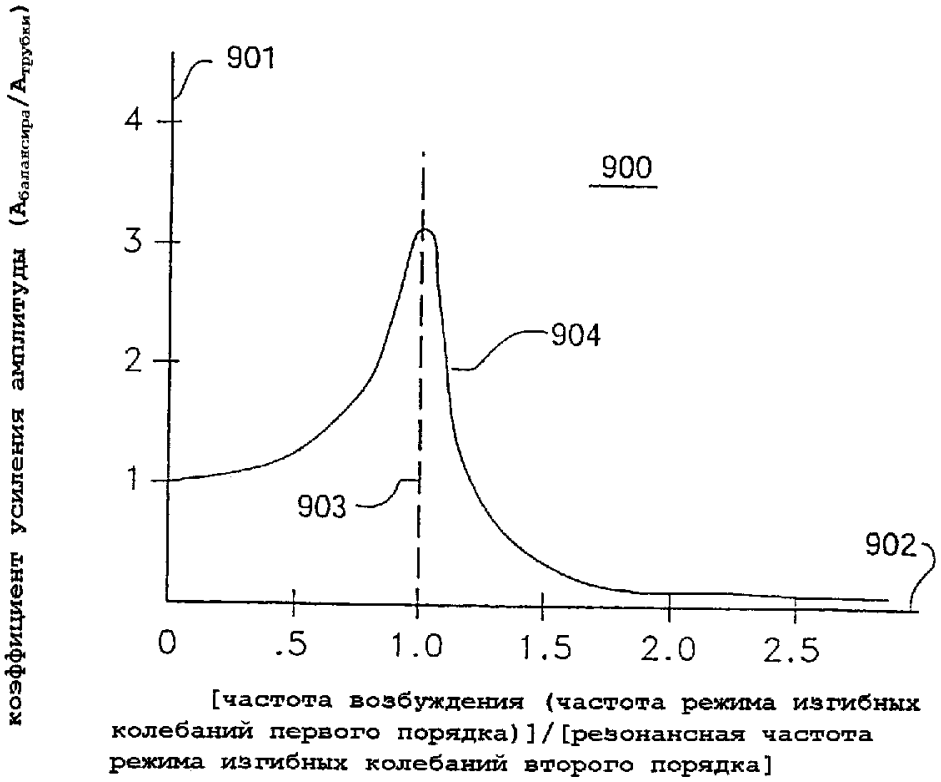
RU 2231027 C2



Фиг. 7



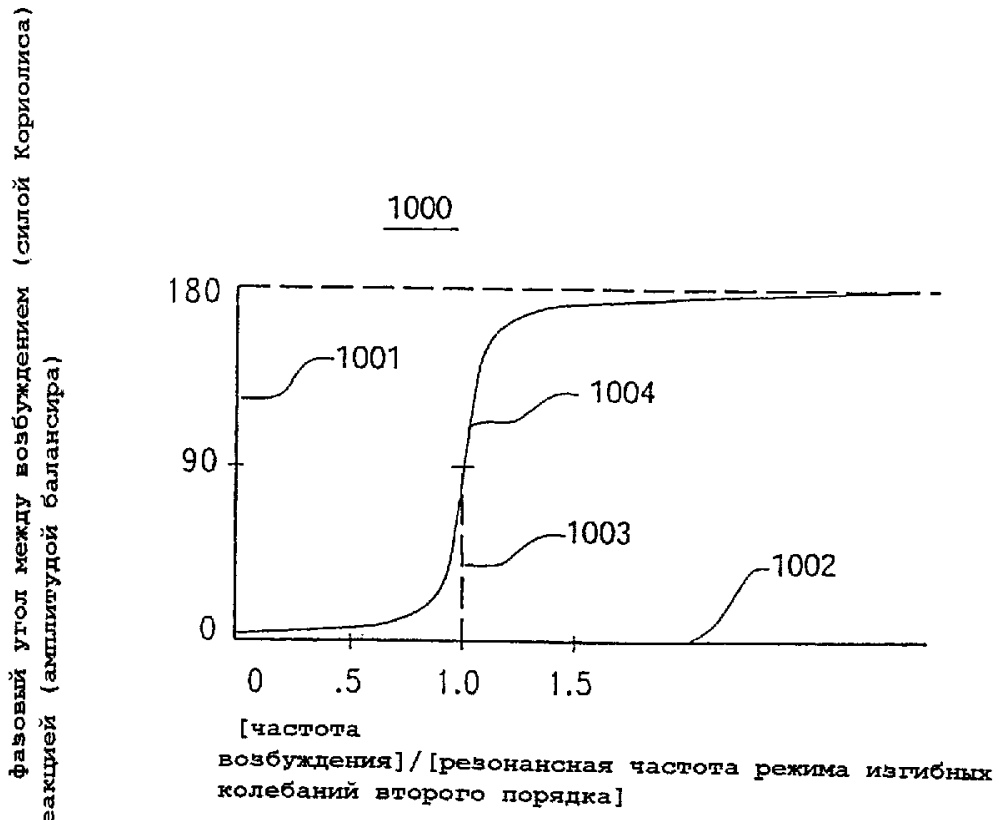
Фиг. 8



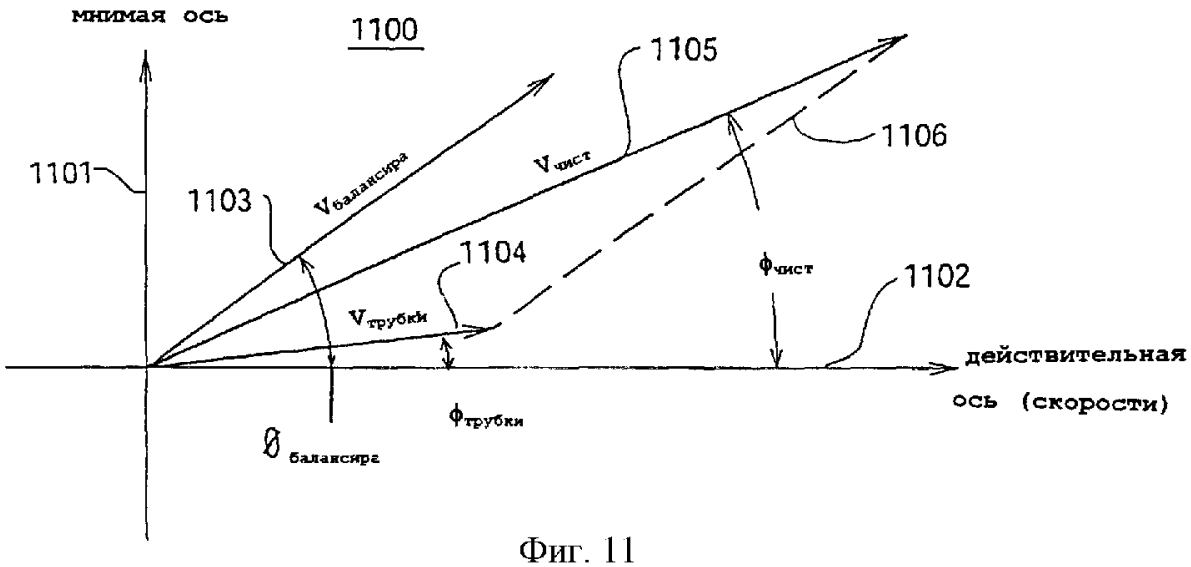
Фиг. 9

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2



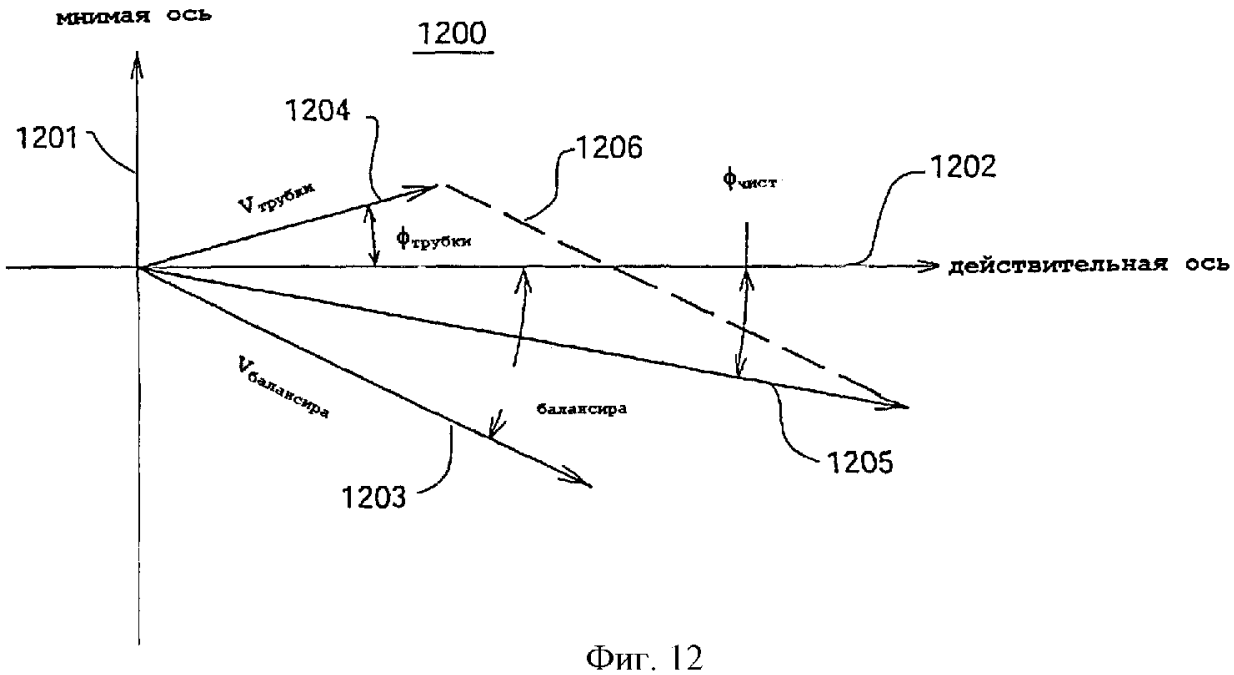
Фиг. 10



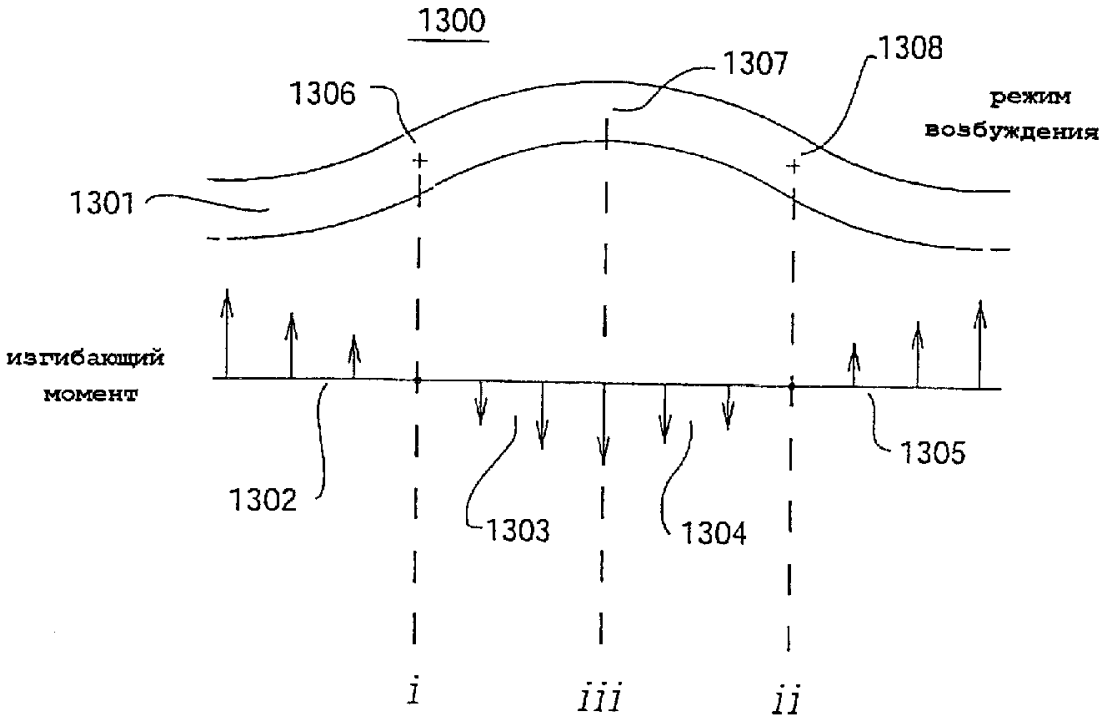
Фиг. 11

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2



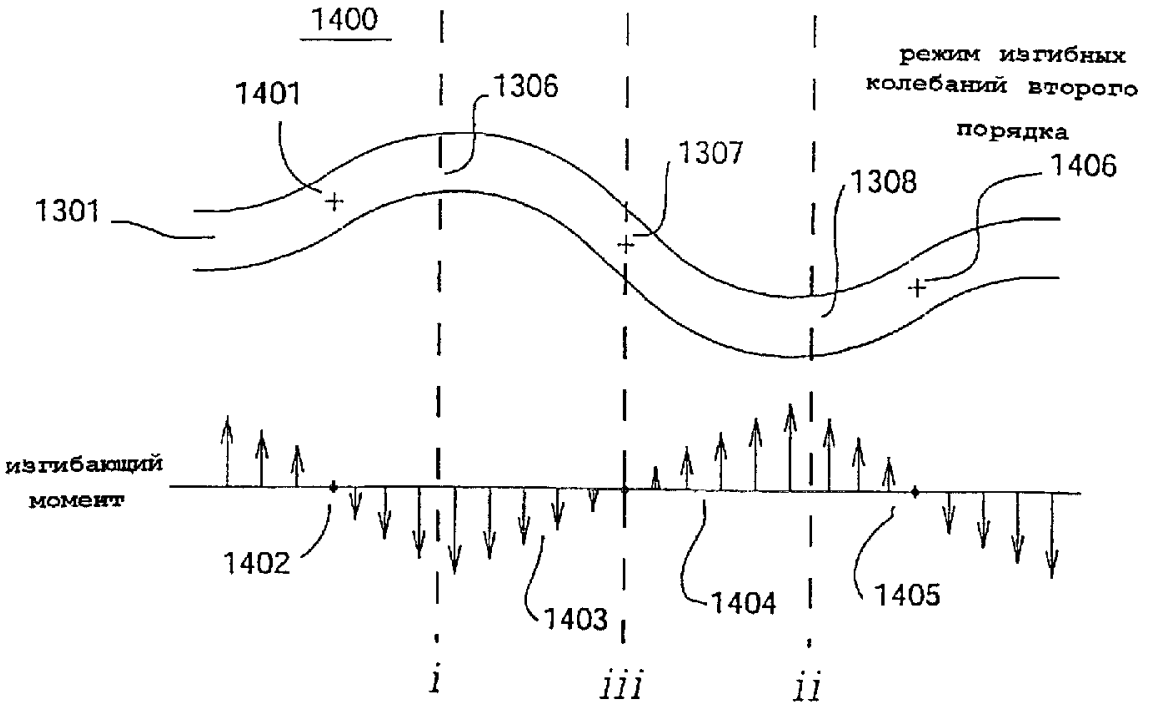
Фиг. 12



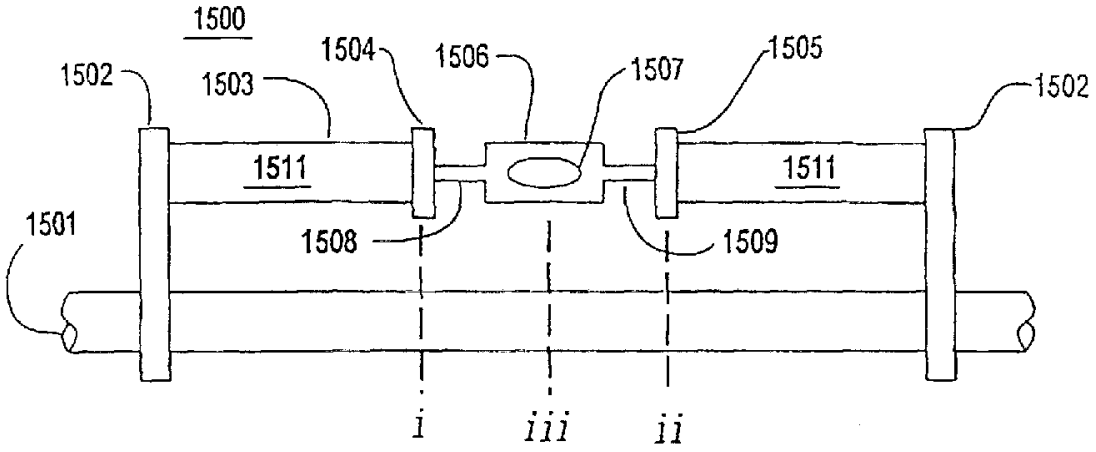
Фиг. 13

RU 2231027 C2

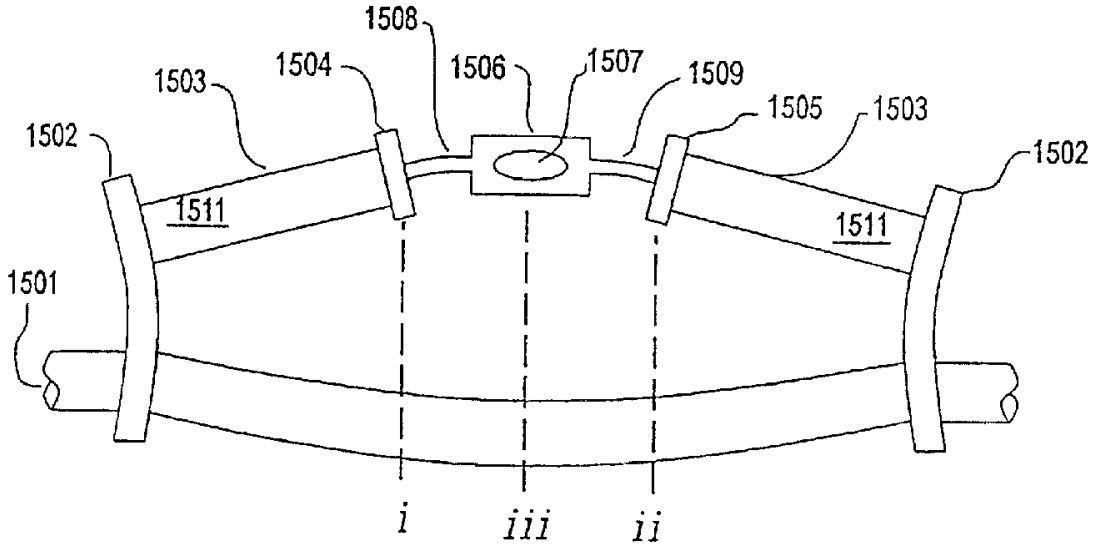
RU 2231027 C2



Фиг. 14



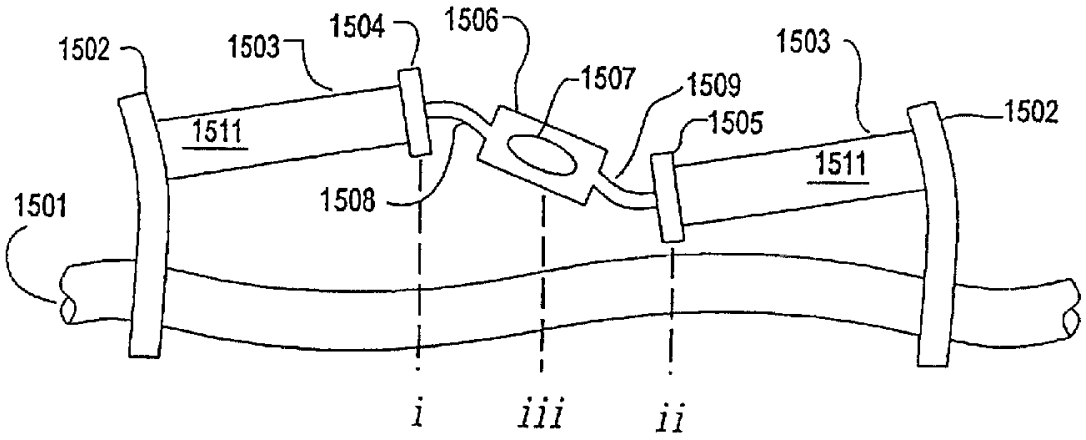
Фиг. 15



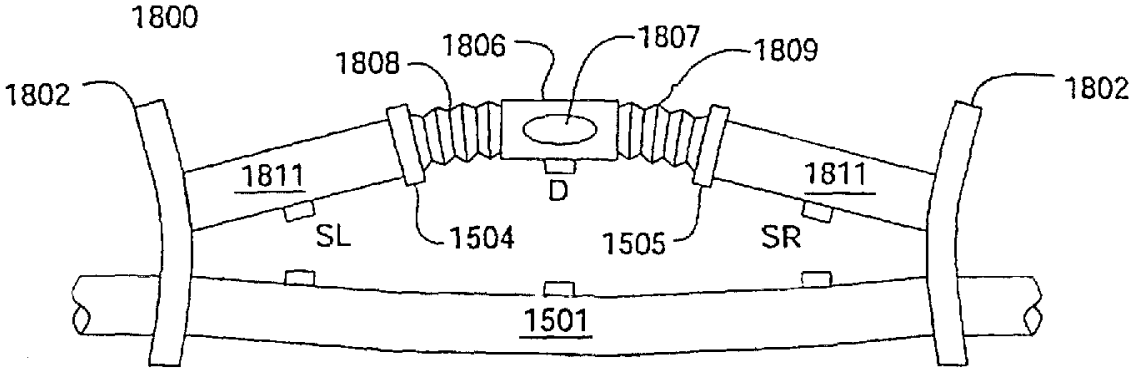
Фиг. 16

RU 2231027 C2

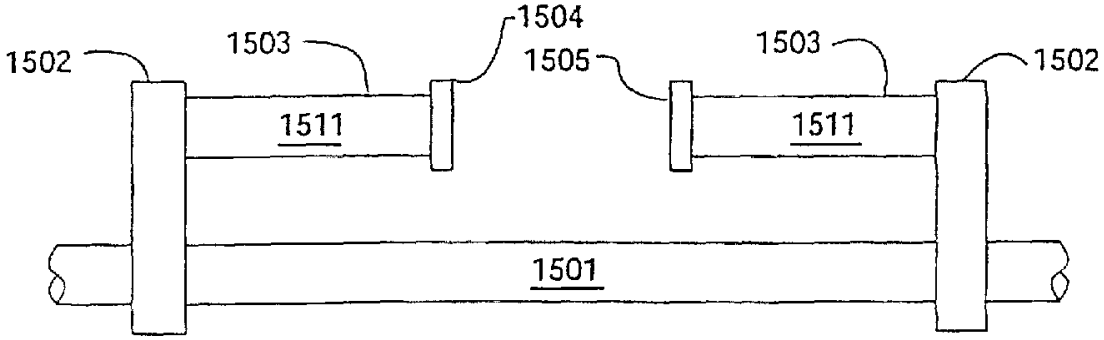
RU 2231027 C2



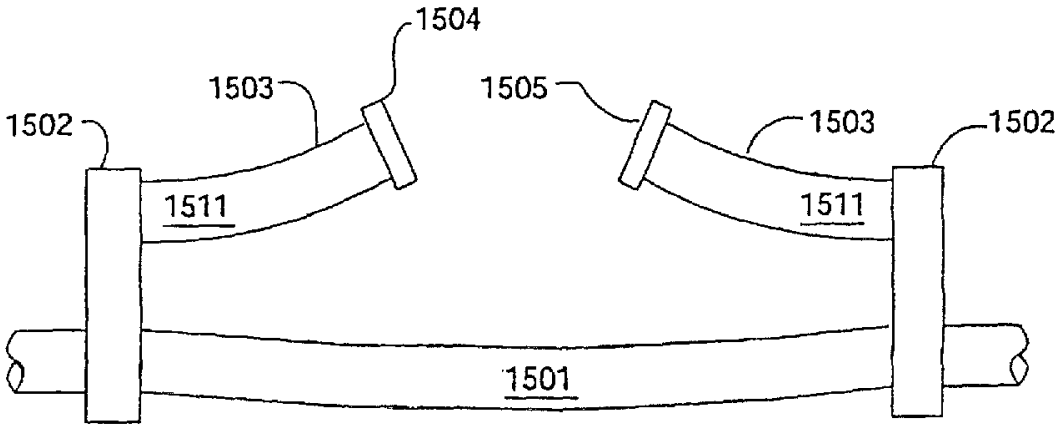
Фиг. 17



Фиг. 18



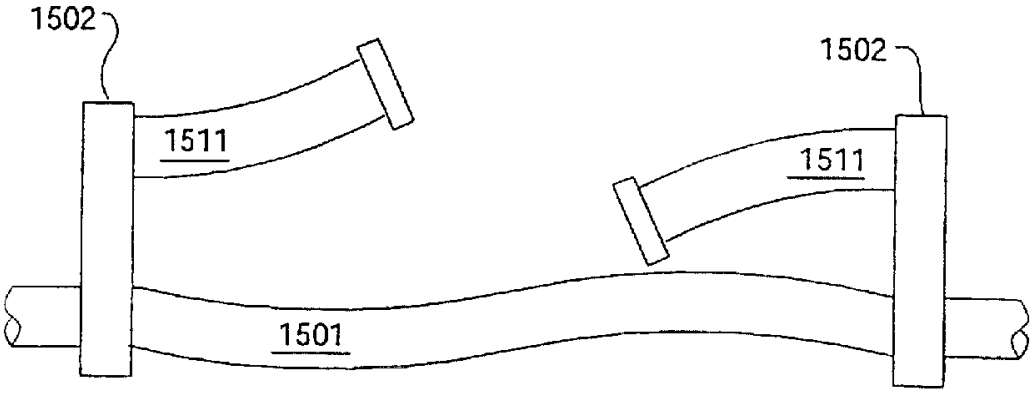
Фиг. 19



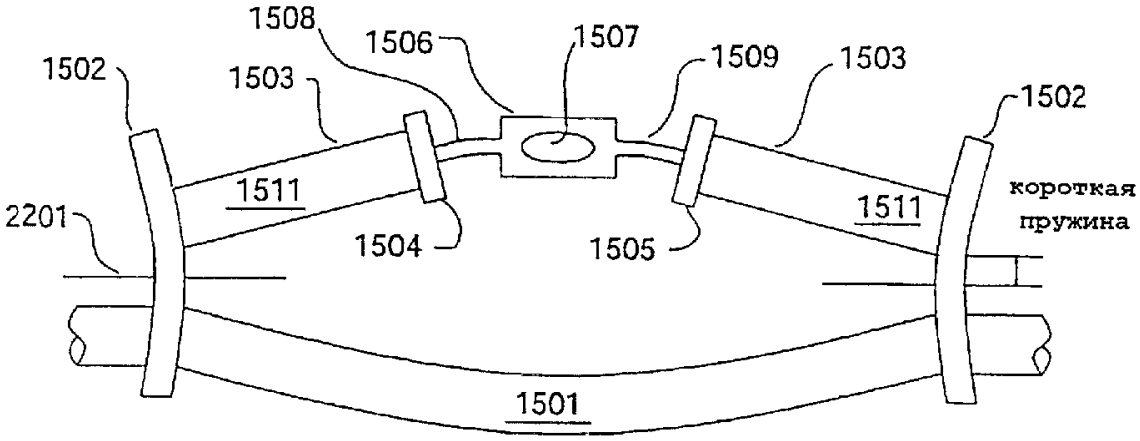
Фиг. 20

RU 2231027 C2

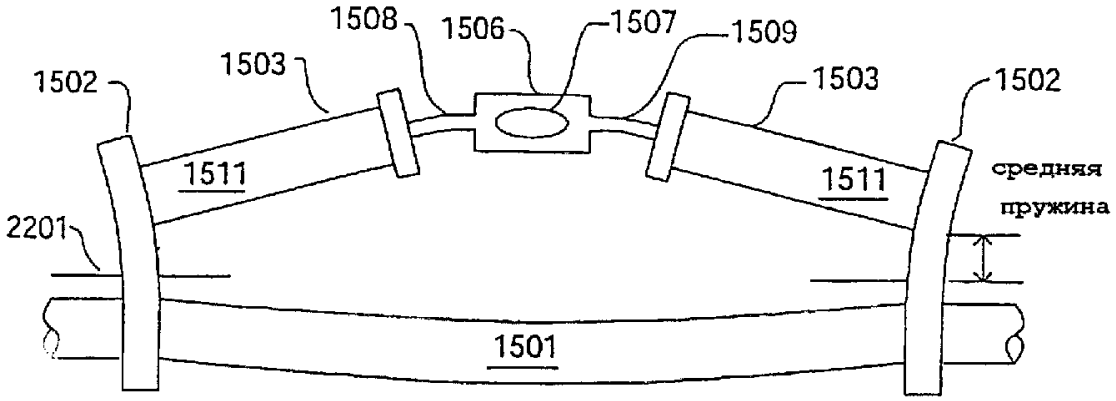
RU 2231027 C2



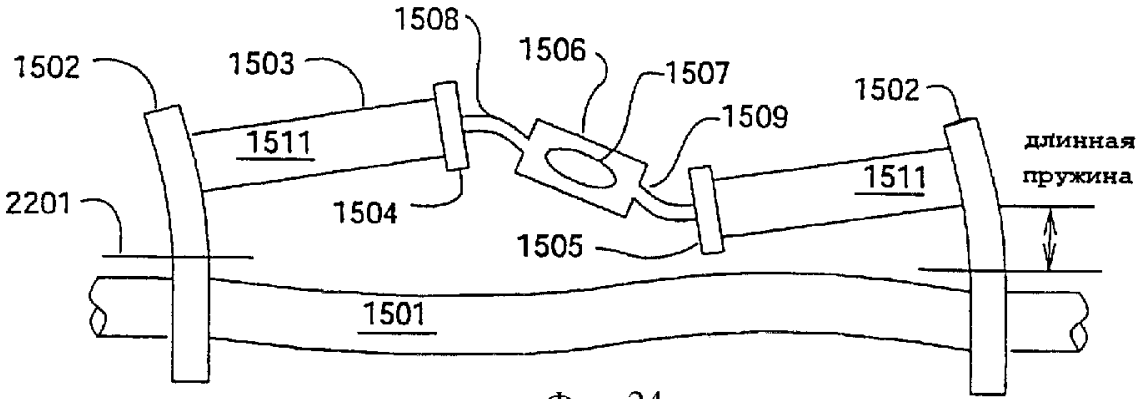
Фиг. 21



Фиг. 22



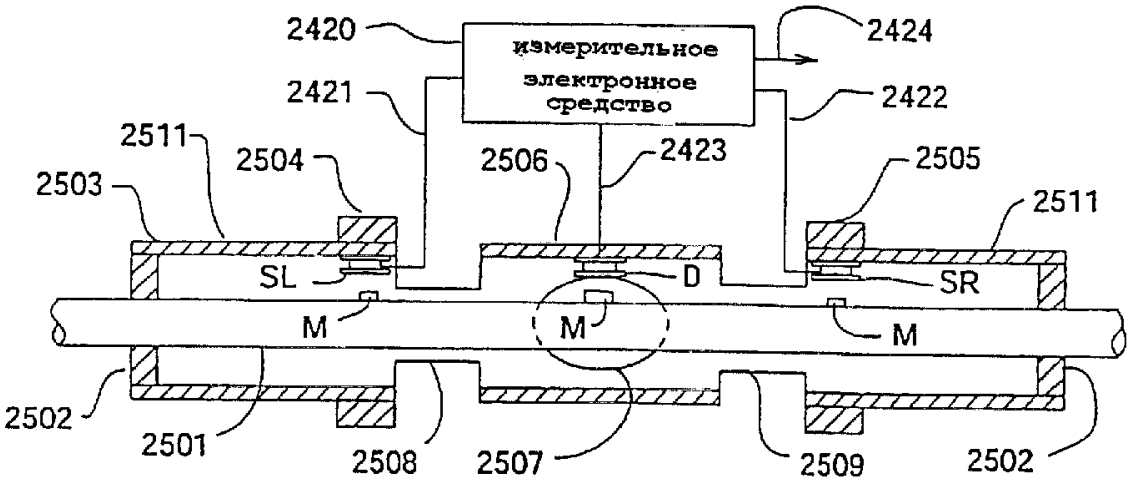
Фиг. 23



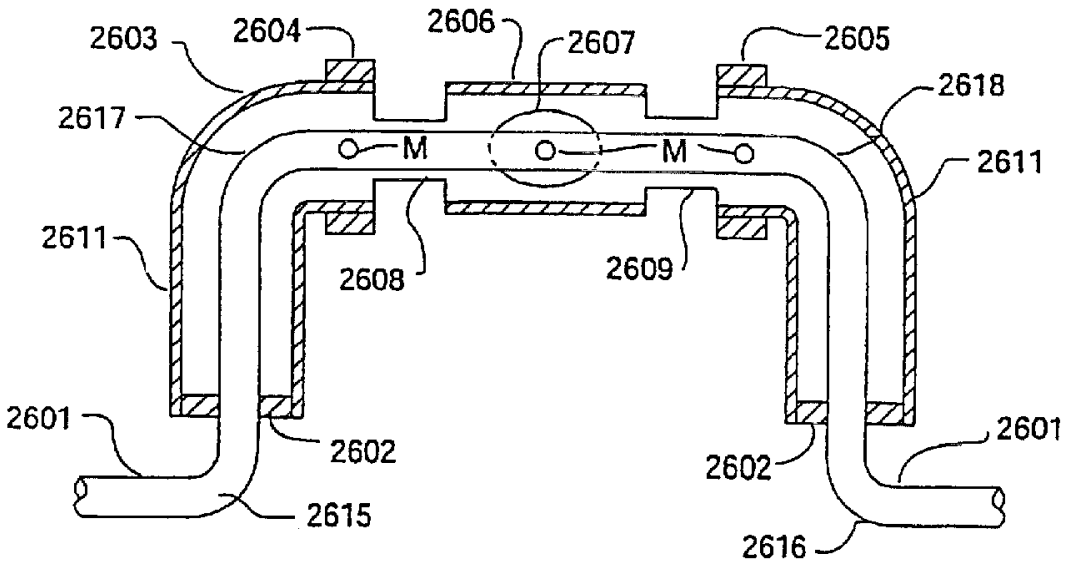
Фиг. 24

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2



Фиг. 25



Фиг. 26

RU 2231027 C2

RU 2231027 C2