

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **037774**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2021.05.20**

(21) Номер заявки  
**201790648**

(22) Дата подачи заявки  
**2015.09.21**

(51) Int. Cl. **G01F 1/84** (2006.01)  
**G01F 15/02** (2006.01)  
**G01F 15/14** (2006.01)  
**E21B 21/08** (2006.01)

---

---

(54) **РАСХОДОМЕР КОРИОЛИСА, ИМЕЮЩИЙ РАСХОДОМЕРНУЮ ТРУБУ С КОМПЕНСИРОВАННЫМ ПЕРЕПАДОМ ДАВЛЕНИЯ**

---

(31) **62/053,015**

(32) **2014.09.19**

(33) **US**

(43) **2017.09.29**

(86) **PCT/US2015/051200**

(87) **WO 2016/044834 2016.03.24**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:  
**ВЕЗЕРФОРД ТЕКНОЛОДЖИ  
ХОЛДИНГЗ, ЭлЭлСи (US)**

(72) Изобретатель:  
**Диллард Уолтер С., Нортэм Пол Р.,  
Джордж Джеральд Дж., Ринг Лев (US)**

(74) Представитель:  
**Медведев В.Н. (RU)**

(56) **US-A-3329019  
US-A-3355944  
FR-A1-2911680  
EP-A1-1744142  
US-B2-7044237  
US-A-4703664**

(57) Расходомер Кориолиса для буровой системы измеряет приток из ствола скважины и/или по меньшей мере от одного насоса в ствол скважины. Расходомер может быть установлен выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера, применяемого для управления противодавлением, и/или расходомер может быть установлен между по меньшей мере одним насосом и стволом скважины. Расходомер имеет по меньшей мере одну расходомерную трубу, выполненную с возможностью колебательного движения и пропуска потока под первым давлением от впускной стороны до выпускной стороны. Корпус включает в себе по меньшей мере одну расходомерную трубу, по меньшей мере, между впускной и выпускной сторонами и поддерживает внутри второе давление вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы. Второе давление может быть равным или почти равным первому давлению для уменьшения или почти исключения перепада давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Например, второе давление может быть поднято выше давления окружающей среды относительно первого давления для уменьшения перепада давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Альтернативно, второе давление может быть меньше первого давления.

**037774 B1**

**037774 B1**

### Перекрестная ссылка на родственные заявки

Данная заявка испрашивает приоритет по заявке U.S. Provisional Appl. 62/053015, выложена 19 сентября 2014 г., включена в данном документе в виде ссылки.

### Предпосылки изобретения

Расходомеры Кориолиса могут иметь ряд вариантов применения. В бурении расходомер Кориолиса может измерять объемные расходы и плотность бурового раствора. Например, в системе бурения под управляемым давлением (MPD) обычно измеряют расход текучей среды, применяя расходомер Кориолиса для определения потери циркуляции, обнаружения притоков текучей среды или проявлений, для измерения плотности бурового раствора, мониторинга возврата текучей среды и т.д.

Как известно, расходомер Кориолиса может измерять массовый расход среды, проходящей через трубную систему. Среда проходит через расходомерную трубу, вставленную в линию в трубной системе, и подвергается вибрации во время эксплуатации, при этом среда подвергается воздействию сил инерции Кориолиса. В результате действия данных сил впускная и выпускная части расходомерной трубы проявляют тенденцию к вибрации со сдвигом фазы по отношению друг к другу, и абсолютная величина разности фаз обеспечивает измерение для выведения массового расхода. В частности, разница в сдвиге фаз между впуском/выпуском определяет массовый расход, а воздействия текучей среды на частоту собственных колебаний трубы применяют для определения плотности текучей среды.

Применение расходомеров Кориолиса в системе бурения обеспечивает ряд преимуществ. Расходомер Кориолиса не ограничен измерением текучей среды только одного вида, и расходомер может проводить измерения для суспензий газа и жидкостей, при этом изменения свойств (температуры, плотности, вязкости и состава) не оказывают отрицательного влияния на показатели работы расходомера. Дополнительно для расходомера Кориолиса применяют простые расходомерные трубы и не требуется механических компонентов для помещения в тяжелые условия потока бурового раствора.

Пример применения расходомера Кориолиса в системе бурения схематично показан на фиг. 1. Расходомер 40 Кориолиса является частью штуцерного манифольда 30, который содержит трубную систему, штуцерные клапаны 32 и связанное оборудование. Поток текучей среды из вращающегося противовыбросового превентора (RCD) 12 скважины проходит через штуцерный манифольд 30 перед пропуском дальше в другую часть системы бурения под управляемым давлением (не показано), такую как дегазатор бурового раствора, лоток буровой установки и т.д.

Один частный пример расходомера Кориолиса, раскрытого в патенте US 6513393, показан на фиг. 2. Датчик 40 массового расхода расходомера массового расхода/плотности Кориолиса, показанный здесь, имеет одну прямую расходомерную трубу 41, которая имеет впускную сторону и выпускную сторону. Устройства иные, чем одна прямая расходомерная труба 41, уже известны в технике. Впускная сторона расходомерной трубы 41 снабжена первым фланцем 48a, и выпускная сторона снабжена вторым фланцем 48b, так что датчик 40 массового расхода может быть установлен с герметизацией для работы под давлением в трубе, через которую проходит среда во время эксплуатации.

Датчик 40 массового расхода дополнительно включает в себя поддерживающее средство 42 с первой концевой плитой 44a, прикрепленной к впускной стороне расходомерной трубы 41, второй концевой плитой 44b, прикрепленной к выпускной стороне расходомерной трубы 41, и поддерживающей трубой 43, вставленной между первой и второй концевыми плитами 44a-b. Концевые плиты 44a-b соединены с расходомерной трубой 41 и поддерживающей трубой 43 жестким креплением и имеют герметизацию для работы под давлением, в частности герметизацию для работы под отрицательным давлением. Расходомерная труба 41, таким образом, установлена в канале поддерживающей трубы 43 между концевыми плитами 44a-b свободно опирающейся, так что может приводиться в колебательное движение.

Вибратор 50 установлен в поддерживающем средстве 42 между расходомерной трубой 41 и поддерживающей трубой 43 предпочтительно посередине между первой и второй концевыми плитами 44a-b. В работе данный вибратор 50 приводит расходомерную трубу 41 в колебательное движение с частотой механического резонанса, что, в свою очередь, дает возможность измерения мгновенной плотности среды.

Вибратор 50 может представлять собой блок соленоидов, управляемый меняющимся во времени током возбуждения, таким образом приводящим в колебательное движение расходомерную трубу 41, где впускная сторона и выпускная сторона колеблются со сдвигом фазы по отношению друг к другу, когда среда проходит через расходомерную трубу 41. В поддерживающем средстве 42 первое измерительное средство 52a и второе измерительное средство 52b установлены на заданном расстоянии друг от друга по длине расходомерной трубы 41 для измерения вибраций. Измерительные средства 52a-b предпочтительно установлены на равном расстоянии от середины расходомерной трубы 41 и обеспечивают первый и второй сигналы измерения, которые представляют колебательное движение.

Естественно, датчик 40 массового расхода имеет защиту некоторого вида, такую как защитный кожух или корпус. Такой защитный корпус предохраняет датчик 40 от вредных воздействий, наружных повреждений и т.п. Дополнительно такой защитный корпус может обеспечивать для работы под давлением герметичную окружающую среду, что обеспечивает датчику 40 применение со взрывоопасными и огнеопасными материалами и при значительных давлениях в случае выхода из строя расходомерной

трубы 41 от усталостного износа или прорыва.

Как показано здесь, например, датчик 40 массового расхода защищен от воздействий окружающей среды кожухом 45 датчика. Как поддерживающее средство 42, так и все электрические подводы, соединенные с датчиком 40 массового расхода, размещены в кожухе 45. Переход 46 на кожухе 45 датчика имеет прикрепленный кожух 60 электронной аппаратуры. Обычно для защиты компонентов расходомера 40 кожух 45 и поддержка 42 могут быть непроницаемыми для текучей среды для предотвращения попадания влаги и загрязняющих веществ, которые могут нарушать работу и вызывать коррозию и повреждение.

В кожухе 60 электронной аппаратуры размещены электронный блок вибратора и электронный вычислительный блок, а также другие цепи, применяемые для работы расходомера массового расхода/плотности Кориолиса. Данные цепи могут включать в себя электронный блок подачи электропитания с внешнего источника и/или электронный блок связи для передачи данных между измерителем массового расхода/плотности Кориолиса и внешним блоком обработки сигналов.

С пониманием принципов применения расходомера Кориолиса в системе бурения и состава компонентов обычного расходомера Кориолиса теперь рассматриваем некоторые ограничения, с которыми встречаются, когда применяют обычный расходомер Кориолиса в системе бурения.

В настоящее время манифольд 30 для системы бурения под управляемым давлением, такой как показан на фиг. 1, может иметь расчетное давление до 10000 фунт/кв.дюйм (69 МПа). Вместе с тем, даже хотя расчетное давление расходомера зависит от его размера и материалов, расчетное давление расходомера 40 Кориолиса обычно ограничено величиной меньше 3000 фунт/кв.дюйм (21 МПа) и обычно составляет около 1500-2855 фунт/кв.дюйм (10-20 МПа). Как следствие, счетчик 40 Кориолиса должен располагаться ниже по потоку от штуцеров 32 вследствие данного ограничения давления. Дополнительно расходомер 40 Кориолиса может быть установлен с байпасным клапаном (не показано) и датчиком давления. Если предел давления превышен, байпасный клапан приводится в действие для пропуска потока в обход расходомера 40, при этом бурение может продолжаться при показателях, которые могут превышать расчетные величины для расходомера 40. Считается, что при этом дополнительно усложняется система.

Одним путем увеличения расчетного давления расходомера 40 Кориолиса является увеличение толщины стенки расходомерной трубы (труб), применяемой для расходомера 40. Увеличенная толщина стенки приводит, как считается, к тому, что расходомер 40 может работать при более высоком давлении текучей среды. Вместе с тем, увеличение толщины стенки может снижать или исключать функциональные возможности реагирования расходомера 40. Другими словами, повышение функциональных возможностей по работе при повышенном давлении расходомера 40 посредством придания расходомерной трубе (трубам) большей прочности или толщины обычно получают за счет функциональной точности расходомера 40. Данное может сделать расходомер, приспособленный для работы под высоким давлением, функционально практически непригодным для применения в бурении под управляемым давлением.

Для вариантов применения под высоким давлением можно применять турбинный расходомер вместо расходомера 40 Кориолиса для выполнения требуемых измерений, но точность турбинного расходомера при измерении полного диапазона расходов уступает расходомеру Кориолиса. Фактически, бурение под управляемым давлением требует высокого уровня точности измерения расхода, так что применение турбинного расходомера является неприемлемым.

Кроме того, поскольку ограничение давления расходомера 40 Кориолиса требует расположения последнего ниже по потоку от штуцеров 32, любой газ в буровом растворе может выйти из раствора во время падения давления, возникающего на штуцерах 32. Когда такое происходит, расходомер 40 Кориолиса может функционировать ненадлежащим образом.

Сохранение газа в растворе для расходомера 40 Кориолиса получают после установления частично-го управления штуцерами 32 посредством добавления клапана (не показано), диафрагмы или т.п. ниже по потоку от расходомера Кориолиса. Расположенный ниже по потоку клапан или т.п. может создавать адекватное обратное давление на измерителе 40, при этом сохраняя газ в растворе и обеспечивая измерителю 40 считывание расхода текучей среды с улучшенной точностью. Хотя данное устройство может предложить лучшее управление давлением для сохранения газа в растворе, позиционирование такого клапана ниже по потоку от расходомера 40 не обеспечивает функционирование расходомера 40 Кориолиса при повышенных давлениях, и такой клапан ниже по потоку от расходомера 40 дополнительно усложняет буровую систему.

Объект настоящего изобретения служит для преодоления или, по меньшей мере, ослабления одной или нескольких проблем, изложенных выше.

### **Сущность изобретения**

Устройства согласно настоящему изобретению включают в себя расходомер Кориолиса для измерения расхода текучей среды, т.е. измерения нескольких параметров текучей среды (например, расхода, плотности, температуры). Расходомер имеет впускную сторону и выпускную сторону. По меньшей мере одна расходомерная труба выполнена с возможностью колебательного движения и пропускает поток текучей среды под первым давлением от впускной стороны до выпускной стороны. Корпус содержит в

себе по меньшей мере одну расходомерную трубу в камере и поддерживает второе давление в камере вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы. Например, корпус может удерживать внутреннюю текучую среду в камере, такую как жидкость, газ, гелий, аргон, воздух, азот, электрически инертная текучая среда, технологическая текучая среда, рабочая текучая среда гидросистемы, трансформаторное масло, силиконовое масло, минеральное масло, текучая среда на фторуглеродной основе и касторовое масло.

Второе давление регулируется относительно первого давления и управляет перепадом давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. В одном устройстве второе давление поднимается выше давления окружающей среды (например, внешнего, атмосферного и т.д.) относительно первого давления и уменьшает перепад давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Второе давление может быть поднято до уровня, близкого, выше или ниже первого давления. Например, второе давление может быть поднято до уровня выше первого давления для получения положительного перепада давления между камерой и по меньшей мере одной расходомерной трубой. Альтернативно, второе давление может быть поднято до уровня ниже первого давления для получения отрицательного перепада давления между камерой и по меньшей мере одной расходомерной трубой.

В устройстве расходомер может быть установлен в системе бурения выше по потоку от штуцера, между по меньшей мере одним насосом и скважиной, ниже по потоку от по меньшей мере одного подпорного насоса, соединенного с емкостью бурового раствора, и/или ниже по потоку по меньшей мере от одного бурового насоса, соединенного со скважиной.

Для расходомера по меньшей мере одна расходомерная труба может включать в себя первую и вторую расходомерные трубы, установленные параллельно друг другу, и по меньшей мере одна расходомерная труба может образовывать изгиб. Расходомер может иметь по меньшей мере один вибратор и по меньшей мере первый и второй датчики. По меньшей мере один вибратор расположен смежно по меньшей мере с одной расходомерной трубой и передает колебания на нее. Первый и второй датчики установлены соответственно смежно с впускной и выпускной сторонами и измеряют реагирование на передаваемое колебательное движение.

Контроллер устройства может осуществлять мониторинг изменений первого давления и может регулировать второе давление согласно ему. Устройство может иметь датчик давления, связанный с корпусом, для измерения второго давления для сравнения с первым давлением. Указанное можно выполнять для активного управления вторым давлением от источника относительно первого давления.

Например, устройство может включать в себя источник второго давления, поддерживающий связь с корпусом. В одной реализации источник может включать в себя аккумулятор, преобразующий давление, связанное с первым давлением, во второе давление корпуса. Дополнительно или альтернативно источник может включать в себя насос, нагнетающий второе давление корпуса.

Буровая система согласно настоящему изобретению для скважины включает в себя по меньшей мере один штуцер, расходомер Кориолиса и корпус. По меньшей мере один штуцер сообщается текучей средой со стволом скважины и управляет притоком текучей среды из ствола скважины. Расходомер расположен в сообщении текучей средой выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера и измеряет приток из ствола скважины. Расходомер имеет по меньшей мере одну расходомерную трубу, выполненную с возможностью колебательного движения и пропуска потока под первым давлением от впускной стороны до выпускной стороны. Корпус содержит в себе по меньшей мере одну расходомерную трубу в камере и поддерживает второе давление в камере вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы. Данное второе давление регулируется относительно первого давления и управляет перепадом давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Например, второе давление поднимается выше давления окружающей среды относительно первого давления и уменьшает перепад давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе.

В системе один или несколько контроллеров могут быть функционально соединены по меньшей мере с одним штуцером и/или расходомером. Например, один или несколько контроллеров могут осуществлять мониторинг одного или нескольких параметров потока и могут управлять работой по меньшей мере от одного штуцера, реагируя на один или несколько параметров, мониторинг которых осуществляется. Один или несколько контроллеров могут определять массовый расход текучей среды, по меньшей мере, частично на основе измерений расходомера и могут определять плотность текучей среды, по меньшей мере, частично на основе измерений расходомера.

В свою очередь, по меньшей мере один штуцер в системе может сообщаться текучей средой с вращающимся противовыбросовым превентором ствола скважины. Расходомер Кориолиса может быть установлен в сообщении текучей средой между по меньшей мере одним штуцером и вращающимся противовыбросовым превентором. Наконец, система может иметь другой расходомер Кориолиса, установленный в сообщении текучей средой ниже по потоку по меньшей мере от одного штуцера и выполненный с возможностью работы в соединении с расходомером Кориолиса, установленным в сообщении текучей средой выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера.

В одном варианте осуществления способ бурения скважины под регулируемым давлением включает в себя управление противодавлением на поверхности в стволе скважины с помощью регулирования

расхода текучей среды под первым давлением из ствола скважины по меньшей мере одним штуцером. Способ включает в себя измерение притока из ствола скважины выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера, применяя расходомер Кориолиса, имеющий по меньшей мере одну расходомерную трубу, пропускающую поток. В способе перепад давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе регулируется относительно первого давления для управления перепадом давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Например, второе давление уменьшают, при этом поднимая второе давление выше давления окружающей среды в камере, установленной вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы, относительно первого давления.

Буровая система скважины согласно настоящему изобретению включает в себя по меньшей мере один насос, расходомер Кориолиса и корпус. По меньшей мере один насос сообщается текучей средой со стволом скважины и подает поток текучей среды в ствол скважины. Расходомер Кориолиса расположен в сообщении текучей средой между по меньшей мере одним насосом и стволом скважины и измеряет расход текучей среды, проходящей в ствол скважины. Расходомер включает в себя по меньшей мере одну расходомерную трубу, выполненную с возможностью колебательного движения и пропуска потока под первым давлением от впускной стороны до выпускной стороны. Корпус содержит в себе по меньшей мере одну расходомерную трубу в камере и поддерживает второе давление в камере вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы. Второе давление регулируется относительно первого давления и управляет перепадом давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Например, второе давление поднимается выше давления окружающей среды относительно первого давления и уменьшает перепад давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе.

В другом варианте осуществления способа бурения под регулируемым давлением поток текучей среды подается по меньшей мере с одного насоса под первым давлением в ствол скважины, и расход измеряют, применяя расходомер Кориолиса по меньшей мере с одной расходомерной трубой, пропускающей поток. Способ включают в себя регулирование второго давления относительно первого давления для управления перепадом давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе. Например, способ включают в себя уменьшение перепада давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе с помощью подъема второго давления выше давления окружающей среды в камере вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы относительно первого давления.

Приведенная выше сущность изобретения не дает заключения по каждому возможному варианту осуществления или каждому аспекту настоящего изобретения.

#### **Краткое описание чертежей**

На фиг. 1 схематично показан штуцерный манифольд известной техники.

На фиг. 2 показан расходомер Кориолиса известной техники.

На фиг. 3 схематично показана система бурения под управляемым давлением с расходомером Кориолиса согласно настоящему изобретению для штуцерного манифольда.

На фиг. 4A-4D показана схема нескольких устройств для расходомера Кориолиса для системы фиг. 3.

На фиг. 5 показан один вариант осуществления расходомера Кориолиса для системы фиг. 3.

На фиг. 6 схематично показана система бурения под управляемым давлением с одним или несколькими расходомерами Кориолиса согласно настоящему изобретению для ветви притока системы.

#### **Подробное описание изобретения**

На фиг. 3 схематично показана система 10 бурения под управляемым давлением с расходомером 150 Кориолиса согласно настоящему изобретению для штуцерного манифольда 100. Как показано и рассмотрено в данном документе, система 10 может являться системой бурения под управляемым давлением (MPD), таким как бурение с постоянным давлением на забое (СВНП), бурение с герметизацией на сбалансированном давлении, бурение с регулированием обратного потока, бурение с разными градиентами давления в кольцевом пространстве и т.д., а также системой бурения на депрессии (UBD). Хотя концепции настоящего изобретения рассмотрены в данном контексте, их можно одинаково успешно применять в технологических системах и способах других типов, понятных специалисту в данной области техники, пользующемуся настоящим изобретением.

Система 10 имеет вращающийся противовыбросовый превентор (RCD) 12, от которого буровая колонна 14 и буровое долото 18 проходят к забою в скважине 16 через пласт 20. Вращающийся противовыбросовый превентор 12 может включать в себя любой подходящий работающий под давлением герметизатор, который сохраняет ствол скважины закрытым на все время, когда скважину 16 бурят. Вращающийся противовыбросовый превентор (RCD) 12 применяется на выходе бурового раствора для герметизации текучих сред во время бурения и для направления текучих сред через манифольд 100 управления, оборудованный датчиками для снятия критических данных текучих сред.

Система 10 также включает в себя буровые насосы 200, буровой стояк (не показано), емкость бурового раствора (не показано), дегазатор 120 бурового раствора и различные выкидные линии (101, 102, 104, 106, 122, 124), а также другие обычные компоненты. В дополнение к указанному система 10 бурения под управляемым давлением включает в себя штуцерный манифольд 100, который относится к другим компонентам системы 10. Штуцерный манифольд 100 обычно автоматизирован и управляется оборудо-

ванием 118 и 130 обработки данных.

Во время работы штуцерный манифольд 100 управляет давлением во время бурения и включен в состав в системы 10 ниже по потоку от вращающегося противовыбросового превентора 12 и выше по потоку от газового сепаратора 120. Манифольд 100 имеет штуцеры 110 и массовый расходомер 150. В дополнение манифольд 100 обычно имеет датчики 112 давления, датчики 114 температуры, гидравлический силовой блок 116 для управления штуцерами 110 и контроллер 118 управления работой манифольда 100.

Контроллер 118 включает в себе компоненты сбора и обработки данных для измерения и анализа физических свойств бурового раствора, выходящего из скважины 16. Контроллер 118 также управляет буровыми штуцерами 110 для регулирования противодавления, если требуется. Система 130 сбора и обработки данных, соединенная системой связи с манифольдом 100, имеет пульт управления с интерфейсом пользователя и функциональные возможности обработки данных.

В настоящем варианте осуществления массовый расходомер 150 является расходомером Кориолиса. Массовый расходомер 150 Кориолиса снимает данные массового и объемного расхода бурового раствора, выходящего из кольцевого пространства скважины. Расходомер 150 Кориолиса может также измерять плотность вместе с данными расхода и объема. Данные передаются в системный контроллер 118 и систему 130 сбора и обработки данных. Расходомер 150 Кориолиса обычно устанавливают в вертикальном или поднятом под углом положении, при этом выбуренную породу и буровой раствор можно дренировать из расходомера 150, и газ может уходить из расходомера 150, хотя расходомер 150 Кориолиса можно также устанавливать горизонтально. Байпасное трубное устройство (не показано) можно применять для обхода расходомера 150, если необходимо.

Одной подходящей системой 10 бурения с штуцерным манифольдом 100 для настоящего изобретения является система Secure Drilling™ фирмы Weatherford. Детали, относящиеся к такой системе, раскрыты в патенте U.S. Pat. № 7044237, который полностью включен в состав в данном документе в виде ссылки.

Как показано, в системе 10 применен вращающийся противовыбросовый превентор 12 для сохранения изоляции скважины от атмосферы. Текучая среда, покидая ствол скважины 16, проходит через штуцерный манифольд 100, где измеряют расход возврата и плотность, применяя расходомер 150 Кориолиса, установленный в линию с штуцерами 110. Программное обеспечение компонентов манифольда 100 затем сравнивает расход на входе в скважину 16 и выходе из нее, давление нагнетания (или давление в буровом стояке), противодавление на поверхности (измеренное выше по потоку от буровых штуцеров 110), положение штуцеров 110 и плотность бурового раствора. Сравнивая данные переменные, система 10 идентифицирует точные значения скважинного притока и поглощения в режиме реального времени и управляет давлением в кольцевом пространстве во время бурения. Все полученная в процессе мониторинга информация может отображаться для оператора на пульте управления системы 130 сбора и обработки данных.

Во время операций бурения система 130 осуществляет мониторинг любых отклонений в величинах и предупреждает оператора о любых проблемах, которые могут быть обусловлены притоком текучей среды в скважину 16 из пласта 20 или поглощением бурового раствора в пласт 20. В дополнение система 130 может автоматически обнаруживать, регулировать и осуществлять циркуляцию для выхода таких притоков, управляя штуцерами 110 на штуцерном манифольде 100.

Например, возможный приток текучей среды может быть отмечен, когда значение "расхода на выходе" (например, измеренного расходомером 150 Кориолиса) отклоняется от значения "расхода на входе" (например, измеренного на буровых насосах 200). Когда обнаружен приток, предупредительный сигнал уведомляет оператора применить механизм торможения до подтверждения безопасности для бурения. Между тем, никакого изменения в производительности бурового насоса на данной стадии не требуется.

В порядке автоматической ликвидации выброса, вместе с тем, система 130 автоматически закрывает штуцер 110 до определенной степени для увеличения противодавления на поверхности в скважинном кольцевом пространстве 16 и остановки притока. Затем система 130 осуществляет циркуляцию притока на выход из скважины посредством автоматического регулирования противодавления на поверхности, при этом увеличивая скважинное давление циркуляции и предупреждая вторичный приток. Осуществляют мониторинг концептуализированной доливной емкости по изменению объема текучей среды на поверхности, поскольку обычные измерения поглощения в стволе в общем недостаточно точны. Осуществляют мониторинг и отображение всего указанного для обеспечения дополнительного контроля данных шагов.

С другой стороны, возможное поглощение текучей среды может быть обнаружено когда значение "расхода на входе" (например, измеренного на насосах 200) больше значения "расхода на выходе" объема (например, измеренного расходомером 150 Кориолиса). Этапы, аналогичные описанным выше, но подходящие для поглощения текучей среды, могут затем быть реализованы системой 130 для управления давлением во время бурения в данной ситуации.

Как отмечено выше, ограничения давления обычного расходомера Кориолиса могут быть пробле-

мой, требующей его установки ниже по потоку от штуцеров. Дополнительно сохранение газа в растворе на выходе из скважины 16 является проблемой для обычного расходомера Кориолиса, установленного ниже по потоку от штуцеров.

В настоящем варианте осуществления и в отличие от обычного устройства раскрытый расходомер 150 Кориолиса расположен выше по потоку от штуцеров 110. При данном положении выше по потоку расходомер 150 Кориолиса может не иметь проблем, с которыми сталкиваются обычные расходомеры Кориолиса, установленные ниже по потоку от штуцеров 110.

В частности, данное положение выше по потоку расходомера 150 Кориолиса помогает обеспечивать сохранение любого газа в буровом растворе. Например, наличие раскрытого расходомера 150 Кориолиса, установленного ближе к устью скважины от штуцеров 110, делает менее вероятным образование пузырьков в потоке, который должен проходить через расходомерные трубы 160, что обычно происходит с обычным расходомером, расположенным ближе к забою скважины от штуцеров 110. Также раскрытый расходомер 150 Кориолиса, расположенный выше по потоку от штуцеров 110, может исключить проблемы с кавитацией, создаваемой штуцерами 110, и может измерять расход без обычного извилистого пути прохода потока через манифольд 100.

Кроме того, раскрытый расходомер 150 Кориолиса выше по потоку от штуцеров 110 может исключать необходимость добавления клапана сброса давления или байпасного клапана выше по потоку от расходомера 150 Кориолиса при его применении впереди штуцеров 110. Вместе с тем, также может быть полезным байпасное устройство для расходомера 150 Кориолиса ближе к устью скважины от штуцеров 110. Поэтому манифольд 100 настоящего изобретения может включать в себя такое байпасное устройство (не показано).

Понятно, что даже если раскрытый расходомер 150 Кориолиса расположен выше по потоку от штуцеров 110, раскрытый расходомер 150 может быть установлен в обычном положении ниже по потоку от штуцеров 110. Дополнительно, раскрытый расходомер 150, установленный ближе к устью скважины от штуцеров 110, можно применять в комбинации с обычным расходомером Кориолиса (например, позиция 40, фиг. 3), установленным ниже по потоку от штуцеров 110. В данных комбинированных устройствах преимущества обоих измерителей и их положений можно реализовать в мониторинге во время бурения.

На фиг. 4А-4D показана схема нескольких устройств расходомера 150 Кориолиса для системы 10 фиг. 3. Во время работы среда проходит через одну трубу или несколько расходомерных труб 160 расходомера 150. Применяемые в буровом оборудовании одна труба или несколько расходомерных труб 160 могут пропускать газ, жидкость и твердые частицы, обычно используемые и встречающиеся в данном контексте. Таким образом, трубная система 101 от вращающегося противовыбросового превентора 12 или другой части системы бурения подает поток в расходомер 150 и одну трубу или несколько расходомерных труб, и трубная система 101 затем отправляет поток на штуцера 110 и другие компоненты манифольда и системы.

Понятно, что в расходомере 150 Кориолиса можно применять одну или несколько расходомерных труб 160, которые могут иметь ряд отличающихся форм и могут быть расположены параллельно или последовательно относительно друг друга. В настоящей системе расходомер 150 Кориолиса имеет две расходомерные трубы 160, соединенные параллельно на обычном впуске 162 и обычном выпуске 164, и расходомерные трубы 160 образуют изгибы или U-образные формы. Могут применяться другие устройства, известные в технике. Например, расходомер 150 Кориолиса может иметь одну такую U-образную расходомерную трубу 160 или может иметь одну трубу или несколько расходомерных труб 160, которые являются прямыми, спиральными или имеют другую приемлемую форму. Предпочтительно расходомерные трубы 160 выполнены из подходящего материала, такого как титан, хотя можно применять нержавеющую сталь.

Хотя это не показано, различные опорные элементы, фланцы, соединители или т.п. могут применяться на общих впусках и выпусках 162, 164 для закрепления расходомерных труб 160. Работающий под наружным давлением корпус 170 расположен вокруг расходомера 150 Кориолиса для размещения функциональных компонентов расходомера 150 Кориолиса, а именно расходомерных труб 160, датчиков, вибраторов и т.д. Работающий под наружным давлением корпус 170 предпочтительно имеет, по меньшей мере, одинаковые функциональные возможности по давлению со штуцерным манифольдом 100 (например, около 10000 фунт/кв.дюйм (69 МПа)).

Хотя данный корпус 170 может быть установлен так, что любые протечки расходомера 150 Кориолиса могут быть локализованы и наружные повреждения могут быть предотвращены, работающий под наружным давлением корпус 170 также содержит регулируемое (например, повышенное) давление, поддерживаемое в своей камере 172, которая окружает расходомерные трубы 160. В этом смысле работающий под давлением корпус 170 дает больше выгод, чем простой защитный кожух или корпус для расходомерных труб 160 и других компонентов расходомера 150. Давление в камере 172 регулируется относительно давления в расходомерных трубах 160 и управляет перепадом давления на расходомерных трубах 160. В конкретном устройстве давление в камере 172 выше давления окружающей среды (например, внешнего, атмосферного и т.д.), диктуемого условиями окружающей среды (на буровой площадке, на полу буровой установки, морском дне и т.д.).

В зависимости от реализации дополнительный герметизирующий корпус (не показано) может быть установлен поверх работающего под давлением корпуса 170 (фиг. 4А-4D). Данный дополнительный корпус (не показано) может выполнять несколько задач, таких как изоляция элементов расходомера 150 от шума, поддержание давления в случае разрыва работающего под высоким давлением корпуса 170 и изоляция элементов расходомера 150 от повышения температуры при нагреве, например солнечном нагреве.

Блок 152 управления имеет электронную аппаратуру контроля и считывания для применения с расходомером 150 Кориолиса, и некоторые из компонентов 154 данной электронной аппаратуры размещены внутри работающего под давлением корпуса 170. Указанное описано более подробно ниже.

Внутренняя текучая среда (например, газ или жидкость) помещена в камеру 172 между работающим под давлением корпусом 170 и наружной поверхностью расходомерных труб 160. Давление данной внутренней текучей среды является регулируемым (например, повышенным), при этом перепад давления на расходомерной трубе (трубах) 160 является управляемым (например, его уменьшают или минимизируют). Таким образом, давление в камере 172 может быть поднято до уровня или выше уровня давления в расходомерной трубе (трубах) 160 для получения положительного перепада давления между камерой 172 и расходомерной трубой (трубами) 160. Аналогично, давление в камере 172 может быть поднято до уровня или ниже уровня давления в расходомерной трубе (трубах) 160 для получения отрицательного перепада давления между камерой 172 и расходомерной трубой (трубами) 160. Установление давления в камере относительно давления в расходомерной трубе (трубах) 160 с положительным или отрицательным перепадом или без перепада может быть приемлемым для разных работ в зависимости от варианта реализации, применяемых текучих сред, расходов и т.д. Таким образом, внутренняя текучая среда в камере 172 обеспечивает пропуск в расходомерной трубе (трубах) 160 текучих сред с более высоким давлением без внешнего воздействия от увеличенного перепада давления.

Как отмечено, давление в камере 172 увеличивают для минимизации перепада давления между расходомерной трубой (трубами) 160 и наружной окружающей средой камеры 172. Таким образом, даже если расходомерная труба (трубы) 160 имеет расчетное давление 3 тыс. фунт/кв.дюйм (21 МПа), давление снаружи расходомерной трубы (труб) 160 в камере 172 может минимизировать перепад давления, когда давление текучей среды в камере 172 увеличено до давления или выше давления 3 тыс. фунт/кв.дюйм (21 МПа) в расходомерной трубе (трубах) 160. Давление может быть увеличено до уровня, при котором не превышено давление разрушения расходомерной трубы (труб) 160, или до уровня давления в расходомерной трубе (трубах) 160, при котором не превышен максимальный перепад давления на расходомерной трубе (трубах) 160.

Давление в камере 172 могут создавать заранее и сохранять на заданном уровне в течение плановых работ. Предпочтительно давление текучей среды в камере 170 регулирует система 180 регулирования давления. Некоторое число систем 180 можно применять для регулирования давления в камере 172, и данные системы 180 могут быть активно или пассивно управляемыми.

Как показано в настоящем варианте осуществления фиг. 4А, система 180 регулирования давления предпочтительно связывает давление, поддерживаемое внутри манифольда 100, с давлением внутри наружного корпуса 170. В частности, аккумулятор, поршень, другое средство 181 передачи давления соединяется с впускной трубной системой 101 для расходомера 150 Кориолиса, которая соединена с давлением манифольда. С противоположной стороны аккумулятор 181 соединяется с камерой 172 наружного корпуса 170 соединителем 188.

Когда поток пропускают в расходомер 150 Кориолиса, давление манифольда сообщается через соединитель 184 с первым объемом 182 аккумулятора 181, который, в свою очередь, действует на второй объем 186 аккумулятора 181. Передаваемое давление из второго объема 186 затем сообщается соединителем 188 камере 172 корпуса для передачи давления манифольда.

Текучая среда во втором объеме 186 изолирована от технологического потока в трубной системе 101, так что проблемы коррозии и засорения могут быть предотвращены. Текучая среда в камере 172 корпуса может быть жидкостью или газом и может быть электрически инертной. Некоторые примеры текучих сред для камеры 172 включают в себя, но без ограничения этим, инертные газы, такие как гелий или аргон, другие газы, такие как воздух или азот, технологическую текучую среду, рабочую текучую среду гидросистемы, трансформаторное масло, силиконовое масло, минеральное масло, текучую среду на фторуглеродной основе, касторовое масло и т.д.

Применяя данное устройство, можно увеличивать давление снаружи расходомерных труб 160, при этом обеспечивая сравнительное увеличение внутреннего давления текучей среды, которую расходомерные трубы 160 могут пропускать. В итоге, можно исключить необходимость применения толстостенных расходомерных труб 160 и, кроме того, можно применять трубы 160 с более тонкими стенками для уменьшения общих габаритов расходомера 150 Кориолиса.

На фиг. 4В показан раскрытый расходомер 150 Кориолиса с другой системой 180 регулирования давления. Здесь система 180 регулирования давления активно передает некоторое давление в наружный корпус 170, применяя насос 185, поршень или т.п. Текучую среду, хранящуюся в источнике 187, можно подавать насосом 185 в камеру 172 корпуса через соединительное устройство 188. Указанное можно применять для увеличения давления в камере 172 корпуса. Клапаны сброса давления и другие известные

компоненты можно применять с данной системой 180 для уменьшения давления, не показано здесь для упрощения.

На фиг. 4С показан раскрытый расходомер 150 Кориолиса с еще одной системой 180 регулирования давления. Здесь система 180 регулирования давления активно передает некоторое давление в наружный корпус 170, применяя насос 185, источник 187 и аккумулятор 181.

Как показано в альтернативном варианте осуществления, фиг. 4D, система 180 регулирования давления может связывать давление внутри манифольда 100 с давлением внутри наружного корпуса 170. В частности, аккумулятор, поршень, другое средство 181 передачи давления соединено с выпуском трубной системы 102 для расходомера 150 Кориолиса, который соединен с давлением манифольда. С противоположной стороны аккумулятор 181 соединен с камерой 172 наружного корпуса 170 соединительным устройством 188.

Как показано в данных устройствах фиг. 4А-4D, можно применять ряд устройств для регулирования давления в камере 172 корпуса 170. В каждом из устройств управления давлением, рассмотренных выше, давление в камере 172 предпочтительно изменяется не быстро. Вместо этого система 180 может иметь заданный перепад давления, буферизованный в камере 172. Любое изменение (увеличение или уменьшение) давления в камере должно затем постепенно корректироваться относительно буфера с течением времени в ответ на изменения давления в манифольде и расходомерных трубах 160. Данное может обеспечивать более точные отсчеты и управление системы.

С пониманием расходомера 150 Кориолиса дополнительные детали показаны в одном варианте осуществления расходомера 150 Кориолиса на фиг. 5. Показан несколько схематично вид в плане расходомера 150 Кориолиса, если смотреть вниз на расходомерные трубы 160, которые проходят параллельно друг другу. Расходомерные трубы 160 могут иметь U-образную форму и имеют сравнимые изгибы или дуги 161. Также одну или несколько прямых, дугообразных или расходомерных труб 160 другой формы можно применять.

Вибраторы 159E<sub>A-B</sub> приводятся в действие для приведения в колебательное движение расходомерных труб 160 во время работы. Датчики 157V<sub>A1-A2</sub>, 157V<sub>B1-B2</sub> установлены соответственно на впуске и выпуске расходомерных труб 160 для измерения колебаний, и сдвиги по фазе данных колебаний применяются для выведения массового расхода через расходомер 150 Кориолиса. Датчики 157V<sub>A1-A2</sub>, 157V<sub>B1-B2</sub> предпочтительно установлены на равных расстояниях от середины расходомерной трубы (труб) 160 для обеспечения измерений, представляющих колебательное движение.

Некоторое число известных компонентов можно применять для датчиков 157V<sub>A1-A2</sub>, 157V<sub>B1-B2</sub> и вибраторов 159E<sub>A-B</sub>. Например, датчики 157 могут включать в себя магниты и катушки, установленные вокруг расходомерных труб 160 на впускных и выпускных сторонах для измерения эффекта Кориолиса. Вибраторы 159 могут являться соленоидами или катушками возбуждения. Вибратор (вибраторы) 159 приводят в колебательное движение расходомерную трубу (трубы) 160 и пропускаемую текучую среду с частотой механического резонанса.

Вследствие колебательного движения, например, катушки для датчиков 157 перемещаются через магнитные поля магнитов для генерирования сигналов движения. Данные сигналы обычно являются гармоническими волнами, пропорциональными движению. Поскольку расходомерная труба (трубы) 160 изгибается вследствие эффекта Кориолиса, когда поток проходит через нее, развивается сдвиг по фазе между обнаруженным движением, который является пропорциональным массовому расходу. Частота колебательного движения обеспечивает измерение плотности текучей среды в расходомерной трубе (трубах) 160. Вычисление объемного расхода текучей среды включает в себя простое деление массового расхода на плотность.

Как отмечено выше, расходомерные трубы 160 и некоторые блоки электронной аппаратуры (например, датчики 157, вибраторы 159 и т.д.) размещены в работающем под наружным давлением корпусе 170, который заполнен текучей средой под давлением от источника или системы 180 нагнетания давления (например, аккумулятора, насоса и т.д.). Один или несколько датчиков 155 для камеры 172 корпуса 170 могут осуществлять мониторинг окружающего давления P<sub>C</sub> в камере, так что давление P<sub>C</sub> в камере можно активно регулировать относительно измеренного и изменяющегося давления P<sub>F</sub> текучей среды в расходомерных трубах 160. Данное давление текучей среды может быть измерено в других местах в системе (10) или на расходомере 150 Кориолиса с применением подходящего датчика (не показано) и методик. Один или несколько датчиков 155 могут также осуществлять мониторинг температуры T<sub>C</sub> в камере, которую можно сравнивать с температурой T<sub>F</sub> текучей среды.

Во время работы блок 152 управления управляет сигналами возбуждения вибраторов 159 для приведения в колебательное движение расходомерных труб 160 на частоте механического резонанса. Блок 152 управления также получает измерения параметров колебательного движения с вибрационных датчиков 157 и получает измерения с других датчиков 155 и других частей системы. Применяя известные методики обработки данных, блок 152 управления затем вычисляет массовый расход, плотность, объемный расход текучей среды и другие характеристики текучей среды, проходящей через расходомер 150.

Конкретнее, поток направляют через расходомерную трубу 160 U-образной формы, при этом возбуждающая сила обуславливает колебательное движение трубы 160. Проходящая текучая среда создает

поворот или изгиб трубы 160 вследствие ускорения Кориолиса, действующего в противоположных направлениях с каждой из сторон приложенной вибрационной силы. Изгиб дает сдвиг по фазе (временное запаздывание) между впускной стороной и выпускной стороной трубы 160, и на данный сдвиг по фазе напрямую влияет масса текучей среды, проходящей через трубу 160 в это время. С помощью измерения времени  $\tau$  запаздывания между углами поворота на расходомерной трубе 160 U-образной формы можно получить массовый расход по формуле

$$Q_m = \frac{K_u - I_u \omega^2}{2Kd^2} \tau$$

где  $K$  - поправочный коэффициент для идеализированной расходомерной трубы 160 U-образной формы,  $I_u$  - поправка на инерцию вращения расходомерной трубы 160 U-образной формы, включающей в себя массу текучей среды в трубе 160,  $K_u$  - коэффициент упругости расходомерной трубы 160 U-образной формы,  $d$  - ширина на впускной и выпускной сторонах расходомерной трубы 160 U-образной формы,  $\omega$  - частота колебаний, и  $\tau$  - измеренная временная задержка. Поскольку собственная частота

расходомерной трубы U-образной формы может характеризоваться как  $\omega_u = \sqrt{\frac{K_u}{I_u}}$ , измерение массового расхода можно определить из формулы

$$Q_m = \frac{K_u \left[ 1 - \left( \frac{\omega}{\omega_u} \right)^2 \right]}{2Kd^2} \tau$$

При интегрировании с температурным измерителем, таким как термометр сопротивления на или вблизи расходомерной трубы (труб) 160, расходомер 150 может обеспечивать ряд полезных измерений для управления скважиной и наблюдения за ней, в том числе нескольких следующих: массового расхода, объемного расхода, плотности текучей среды и температуры текучей среды.

Поскольку характеристики расходомерных труб 160, такие как инерция, жесткость, форма, ширина и т.д., играют роль в вычислениях, конструкция расходомера 150 Кориолиса оказывает влияние на измерение расхода, т.е. с помощью влияния на частоту колебаний труб 160, на то, как расходомер 150 измеряет мультифазный поток, на количество возникающих ошибок измерения и т.д. Расходомеру 150 Кориолиса придают размеры с учетом таких факторов, как эрозия, расчетный требуемый расход, точность и погрешности измерения и т.д. Во время бурения требования по расходу могут значительно изменяться.

В некоторых случаях внутреннее давление потока в расходомерных трубах 160 может приводить к ошибкам в измерениях. Обычно точность расходомера может следовать линейной зависимости в рабочем диапазоне и может зависеть от размера и конструкции расходомера 150 Кориолиса. В общем, внутреннее давление от потока обычно делает расходомерные трубы 160 жестче так, что трубы 160 становятся менее гибкими для колебательного движения. Таким образом, более высокое внутреннее давление потока, пропускаемого трубами 160, может обуславливать выполнение измерителем 150 Кориолиса неточных измерений. До некоторой степени эффекты от более высокого внутреннего давления в расходомерных трубах 160 можно скорректировать, применяя компенсирующие коэффициенты, откорректированные уравнения, калибровку и другие методики. Также рост температуры может проявляться в тенденции к повышению жесткости в конфигурации с прямой трубой и, следовательно, изменению собственной частоты колебаний трубы. Указанное также можно учитывать.

Поскольку колебательное движение расходомерных труб 160 также происходит в текучей среде под давлением камеры 172, реагирование расходомера 150 может меняться в сравнении с обычным устройством. В частности, поскольку расходомерные трубы 160 раскрытого расходомера 150 должна колебаться в условиях увеличенного давления в корпусе 170, характеристики резонансной частоты расходомера 150 могут изменяться. Вследствие давления в камере 172, например, собственная частота расходомерных труб 160 может изменяться вместе с амплитудой колебаний. Поэтому реагирование по колебательному движению расходомерных труб 160, измеренному расходомером 150, может изменяться и вероятно может демпфироваться.

Понятно, что переменные, зависящие от давления в камере можно учитывать во время обработки данных. Например, операционные уравнения для расходомера 150 Кориолиса можно надлежащим образом откорректировать с учетом данных переменных. Дополнительно можно выполнить калибровку расходомера 150 при различных условиях расхода и давления для получения поправочных коэффициентов или можно применять другие методики для учета данных переменных.

В зависимости от обстоятельств увеличенное давление в камере 172 может не оказывать отрицательного влияния на рабочие параметры, колебательное движение и т.д. расходомера 150. Вместо этого параметры, которые считают оказывающими самое сильное воздействие на вибрации расходомерных труб 160, может включать в себя увеличенную плотность и вязкость внутренней текучей среды в камере 172. Увеличение данных параметров считается напрямую влияющим на силу сопротивления на расходомерной трубе (трубах) 160 при их движении через камеру текучей среды, обуславливая ослабление и замедление колебаний. В частности, и как известно, сила вследствие сопротивления движению цилинд-

рического тела, такого как расходомерные трубы 160, дается формулой

$$F_D = \frac{1}{2} C_D A V^2 \rho,$$

где  $F_D$  - сила сопротивления, действующая на цилиндрическое тело;  $C_D$  - коэффициент сопротивления (обычно определяют из эмпирических данных, также варьируется с числом Рейнольдса ( $Re$ ));  $A$  - площадь сечения на виде профиля цилиндрического тела;  $V$  - скорость и  $\rho$  - плотность текучей среды (т.е. текучей среды в камере 172).

Приводим уравнение для числа Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu},$$

где  $D$  - диаметр цилиндрической трубы;  $\mu$  - динамический вязкость текучей среды в камере 172;  $V$  - скорость и  $\rho$  - плотность текучей среды в камере 172.

На основе данного понимания считается, что вязкость текучей среды в камере 172 может изменять резонансную частоту расходомерной трубы (труб) 160 во время работы. Поэтому рабочие параметры, уравнения, сигналы возбуждения и т.п. могут требовать учета вязкости текучей среды и изменение резонансной частоты трубы.

Когда одну из вышеупомянутых жидкостей применяют в камере 172 вместо газа, плотность и вязкость жидкости могут быть значительно выше, хотя сохраняемая потенциальная энергия значительно ниже. Поэтому с учетом предпочтительных качеств при выборе конкретной жидкости в камере 170 должна применяться жидкость с низкой плотностью и вязкостью. Таким образом, предпочтительная текучая среда для камеры 172 должна представлять собой инертную жидкость низкой вязкости.

В варианте применения, в котором используют газ, такой как азот, плотность и температура газа должны увеличиваться, когда увеличивается давление в камере. Данное следует из уравнения состояния идеального газа

$$P = \rho \frac{R}{M} T,$$

где  $P$  - давление газа;  $\rho$  - плотность газа;  $M$  - молярная масса;  $R$  - постоянная идеального газа или универсальная газовая постоянная и  $T$  - температура газа. Поэтому, если газ применяется в камере 172, то рабочие параметры, уравнения, сигналы возбуждения и т.п. могут требовать учета увеличения плотности и температуры газа, а также изменения резонансной частоты трубы, являющихся их результатом.

В любом случае некоторые из эффектов увеличенной жесткости от потока текучей среды высокого давления в расходомерных трубах 160 можно компенсировать до некоторой степени, благодаря уменьшенному перепаду давления, имеющемуся на расходомерных трубах 160 вследствие увеличенного давления в окружающем корпусе 170.

В дополнение к применению калибровки, подбора текучей среды, компенсирующих факторов, откорректированных уравнений и т.п. для учета операционных изменений в раскрытом расходомере 150 физические детали расходомера 150 Кориолиса можно модифицировать с учетом возможного воздействия текучей среды под давлением внутри камеры 172 высокого давления и давления внутри расходомерных труб 160 на резонансные частоты расходомера 150 и его функциональное реагирование. Например, геометрию расходомера 150 (т.е. толщину стенок расходомерных труб 160, длину расходомерных труб 160, материал расходомерных труб 160, форму расходомерных труб 160, местоположение датчиков 157, сигналы возбуждения колебаний и т.д.) можно модифицировать для компенсации функциональных различий вследствие увеличенного давления, плотности и вязкости в камере 172, окружающей расходомерные трубы 160.

Как пример модификации, геометрическая форма расходомерных труб 160 может уменьшать коэффициент сопротивления движению, при этом уменьшая тормозящее трение. В этом смысле площадь сечения расходомерной трубы 160 может быть выполнена в виде подводного крыла, которое может значительно уменьшать тормозящее трение, даже если площадь сечения профиля трубы относительно направления движения остается одинаковой с правильным цилиндром.

В другой модификации ряд вогнутых сферических лунок может быть выполнен на наружной поверхности расходомерных труб 160 для уменьшения коэффициента сопротивления движению. Наружный поток на цилиндре с гладкой наружной поверхностью обычно становится турбулентным, когда текучая среда достигает самой дальней от оси кромки профиля цилиндра (относительно направления потока). В свою очередь, область турбулентности, смежная с цилиндром, обуславливает более высокий перепад давления между передней и задней сторонами цилиндра, увеличивая силу сопротивления, действующую на цилиндре. Добавление сферических лунок на поверхности расходомерных труб 160 может при этом действовать перенаправляя линии обтекания вокруг наружной части расходомерных труб 160, протягивая линии обтекания дополнительно на боковую сторону труб 160 цилиндрической формы, уменьшая площадь турбулентности и уменьшая падение давления между передней и задней частями трубы 160.

Дополнительные формы могут быть прикреплены к наружным поверхностям трубы 160 для

уменьшения сопротивления движению. Данные формы могут не иметь прямого контакта с текучей средой, содержащейся в трубе 160, и не находиться под давлением. Такие формы могут также быть выполнены из материала с плотностью ниже, чем у материала 160 трубы, для уменьшения общей массы трубы и для улучшения реагирования трубы 160. Например, сечение трубы может иметь ту же круглую форму, но дополнительно формы крыла могут быть добавлены снаружи на трубу для уменьшения сопротивления движению.

Как отмечено выше со ссылкой на фиг. 3, расходомер 150 Кориолиса может применяться в бурении под управляемым давлением (MPD) для системы 10 бурения с замкнутым контуром. Система 10 работает с замкнутой циркуляционной системой, где вращающийся противовыбросовый превентор (RCD) 12 отводит поток из кольцевого пространства через манифольд 100 от пола буровой установки. Система 10 может идентифицировать притоки или оттоки в оборудовании замкнутого контура на основе массового и объемного балансов. В системе 10 применен вращающийся противовыбросовый превентор 12 для создания оборудования замкнутого контура для обратного потока и применен штуцерный манифольд 100, который содержит управляемые буровые штуцера 110, массовый расходомер 150 Кориолиса и электронные и гидравлические элементы управления среди ряда других компонентов для мониторинга и управления расходом.

Расходомер 150 Кориолиса, как раскрыто в данном документе, может быть рассчитан на более высокое давление, которое может совпадать с расчетным давлением манифольда 100, и не обязан иметь увеличенную толщину стенки расходомерной трубы (труб) 160. Другими словами, расчетное давление расходомера 150 можно увеличить без ущерба для функциональной точности расходомера 150 Кориолиса. Данное обеспечивает в целом манифольду 100 получение расчетного подходящего давления (например, 10000 фунт/кв.дюйм (69 МПа)). Расходомер 150 Кориолиса можно теперь устанавливать выше по потоку от штуцеров 110 так, что расходомер 150 может давать более точный профиль расхода. Наконец, система 10 больше не имеет ограничения давления по ограничениям для расходомера 150 Кориолиса. Система 10 может также предотвращать выход газа из раствора (образование пузырьков), который снижает показатели работы или препятствует работе расходомера 150.

В дополнение к описанной выше установке расходомера 150 Кориолиса раскрытый расходомер 150 Кориолиса может быть установлен в другом месте системы бурения под управляемым давлением. На фиг. 6 схематично показан другой вид системы 10 бурения под управляемым давлением, имеющей больше одного расходомера 150 Кориолиса согласно настоящему изобретению, установленных в системе 10. Как и раньше, расходомер 150 Кориолиса может быть установлен выше по потоку от штуцеров в манифольде 100 согласно идеям, представленным выше.

В дополнение один или несколько расходомеров 150 Кориолиса могут быть установлены на приточной ветви 202 системы 10. В данном положении раскрытый расходомер (расходомеры) 150 может более точно измерять массовый расход и плотность притока текучей среды.

В одном устройстве расходомер 150a Кориолиса может быть установлен ниже по потоку от подпорного насоса 200a, от доливной емкости 140 и ближе к устью скважины от буровых насосов 200b. Давление текучей среды от емкостей 140 для бурового раствора пренебрежительно мало, и подпорные насосы 200a поднимают давление текучей среды до около 50-100 фунт/кв.дюйм (345-690 КПа) для подачи текучей среды в буровые насосы 200b. В некотором смысле расходомер 150a Кориолиса после подпорных насосов 200a может иметь или может не иметь расчетного высокого давления, как раскрыто в данном документе. В любом случае данный расходомер 150a можно применять для измерения плотности текучей среды, а также других нужных характеристик бурового раствора, поступающего из емкостей 140 для бурового раствора.

В альтернативном или дополнительном устройстве расходомер 150b Кориолиса может быть установлен ниже по потоку от буровых насосов 200b подачи в скважину. Давление текучей среды после буровых насосов 200b может иметь величину от 1000 до 7000 фунт/кв.дюйм (7-48 МПа). В данном случае расходомер 150b Кориолиса предпочтительно является расходомером Кориолиса высокого давления согласно настоящему изобретению. Данный расходомер 150b можно применять для измерения массового расхода бурового раствора, который можно применять в системе управления скважиной.

Измерение массового расхода на впускной ветви 202 после буровых насосов 200b обычно получают, применяя счетчики ходов и другие не прямые методики, которыми оценивают производительность насосов 200b. Как известно, обычно применяют многочисленные насосы 200b и подачу каждого суммируют. По известным методикам ходы насоса считают для каждого насоса 200b для определения их производительности, и полученные оценки производительности суммируют для определения суммарной производительности. Дополнительно обычно учитывают различные соображения по эффективности работы насоса и т.п. для более точной оценки, получаемой в результате производительности. Существующие методики для оценки производительности насосов 200b могут быть неточными и чреваты ошибками.

Раскрытый расходомер 150 Кориолиса, установленный на приточной ветви 202, может исключить все данные проблемы в измерении массового расхода под увеличенным давлением объединенной производительности буровых насосов 200b, которое может обеспечивать более точный профиль потока, чем

счетчики ходов насоса. Дополнительно раскрытый расходомер 150 Кориолиса может определять плотность текучей среды в системе 10, что может давать свои собственные преимущества в управляющей системе.

Хотя расходомер рассмотрен в контексте мониторинга расхода в устройстве бурения под управляемым давлением, расходомер 150 Кориолиса настоящего изобретения можно также применять для других работ в бурении, иных чем бурение под управляемым давлением. Кроме того, хотя изобретение раскрыто для бурения, понятно что концепции настоящего изобретения и раскрытый расходомер 150 Кориолиса можно применять в технологическом потоке любого типа, где массовый расход нужно измерять под высоким давлением.

Приведенное выше описание предпочтительных и других вариантов осуществления не служит для ограничения или сужения объема или применимости патентоспособных концепций, предложенных заявителями. Понятно, что для настоящего изобретения признаки, описанные выше, согласно любому варианту осуществления или аспекту раскрытого объекта изобретения можно применять, либо индивидуально, или в комбинации с любым другим описанным признаком в любом другом варианте осуществления или аспекте раскрытого объекта изобретения.

Раскрывая патентоспособные концепции, содержащиеся в данном документе, заявители имеют все патентные права согласно прилагаемой формулы изобретения. Прилагаемая формула изобретения включает в себя все модификации и изменения, относящиеся к объему, по пунктам следующей формулы или их эквивалентам.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Расходомер Кориолиса для измерения расхода буровой текучей среды, используемый в буровой системе, проводящей буровую текучую среду, включающую газ, жидкость и/или твердые частицы, и находящейся под давлением буровой текучей среды в скважине, имеющий впускную сторону и выпускную сторону, содержащий

по меньшей мере одну расходомерную трубу, выполненную с возможностью колебательного движения и пропуска потока буровой текучей среды от впускной стороны до выпускной стороны; причем по меньшей мере одна расходомерная труба имеет толщину стенки, позволяющую выдерживать верхний предел давления, причем верхний предел давления является пределом внутреннего давления внутри по меньшей мере одной расходомерной трубы, которое по меньшей мере одна расходомерная труба может выдерживать относительно атмосферного давления снаружи по меньшей мере одной расходомерной трубы, причем верхний предел давления меньше, чем давление потока буровой текучей среды, которому подвергается по меньшей мере одна расходомерная труба;

корпус устройства, содержащий в себе по меньшей мере одну расходомерную трубу расходомера Кориолиса в камере корпуса и поддерживающий внутреннюю текучую среду отдельно от буровой текучей среды при втором давлении в камере вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы,

контроллер, выполненный с возможностью мониторинга изменения давления, которому подвергается по меньшей мере одна расходомерная труба, причем контроллер на основе мониторинга изменения выполнен с возможностью управления вторым давлением относительно давления для управления перепадом давления по меньшей мере на одной расходомерной трубе расходомера Кориолиса так, что второй уровень давления в корпусе устройства, расположенном вокруг по меньшей мере одной расходомерной трубы, обеспечивает возможность по меньшей мере одной расходомерной трубы под управляемым перепадом давления пропускать поток при давлении потока буровой текучей среды больше, чем верхний предел давления, который толщина стенки по меньшей мере одной расходомерной трубы имеет возможность выдерживать,

по меньшей мере один вибратор, расположенный смежно по меньшей мере с одной расходомерной трубой и придающий колебательное движение этой трубе, контроллер, выполненный с возможностью возбуждения по меньшей мере одного вибратора, чтобы учесть влияние колебания по меньшей мере одной расходомерной трубы, вызванное внутренней текучей средой при втором уровне давления внутри камеры корпуса.

2. Расходомер по п.1, выполненный с возможностью поддерживать второе давление выше давления по меньшей мере в одной расходомерной трубе.

3. Расходомер по п.1, выполненный с возможностью поддерживать второе давление ниже давления по меньшей мере в одной расходомерной трубе.

4. Расходомер по любому одному из пп.1-3, в котором расходомер содержит по меньшей мере первый и второй датчики, установленные соответственно смежно с впускной и выпускной сторонами и измеряющие реагирование на придаваемое колебательное движение.

5. Расходомер по любому одному из пп.1-4, дополнительно содержащий средство для поддержания второго давления, связанное с корпусом.

6. Расходомер по п.5, в котором средство для поддержания второго давления содержит аккумулятор, преобразующий давление, связанное с давлением буровой текучей среды, во второе давление внут-

ренной текучей среды корпуса.

7. Расходомер по п.5, в котором средство для поддержания второго давления представляет насос, нагнетающий второе давление внутренней текучей среде корпуса.

8. Расходомер по любому из пп.1-7, в котором контроллер содержит датчик давления, связанный с корпусом и измеряющий второе давление.

9. Расходомер по любому из пп.1-8, в котором по меньшей мере одна расходомерная труба расходомера Кориолиса содержит первую и вторую расходомерные трубы, установленные параллельно друг другу.

10. Расходомер по любому из пп.1-9, в котором по меньшей мере одна расходомерная труба расходомера Кориолиса образует изгиб.

11. Расходомер по любому из пп.1-10, в котором корпус содержит внутреннюю текучую среду, выбранную из группы, состоящей из гелия, аргона, воздуха, азота, трансформаторного масла, силиконового масла, минерального масла, текучей среды на фторуглеродной основе и касторового масла.

12. Расходомер по любому из пп.1-11, дополнительно содержащий по меньшей мере один штуцер, установленный в сообщении текучей средой со стволом скважины и управляющий потоком буровой текучей под давлением буровой текучей среды из ствола скважины; и расходомер Кориолиса, установленный в сообщении текучей средой выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера и измеряющий приток из ствола скважины.

13. Расходомер по п.12, в котором контроллер функционально соединен по меньшей мере с одним штуцером, причем контроллер осуществляет мониторинг одного или нескольких параметров потока и регулирует работу по меньшей мере одного штуцера, реагируя на один или несколько параметров, мониторинг которых осуществляет.

14. Расходомер по п.12 или 13, в котором контроллер функционально соединен с расходомером, причем контроллер определяет массовый расход буровой текучей среды, по меньшей мере, частично на основе измерений расходомера.

15. Расходомер по п.12, 13 или 14, в котором контроллер функционально соединен с расходомером, контроллер определяет плотность текучей среды, по меньшей мере, частично на основе измерений расходомера.

16. Расходомер по любому одному из пп.12-15, в котором по меньшей мере один штуцер сообщается текучей средой с вращающимся противовыбросовым превентором ствола скважины, расходомер установлен в сообщении текучей средой между по меньшей мере одним штуцером и вращающимся противовыбросовым превентором.

17. Расходомер по любому одному из пп.12-16, дополнительно содержащий еще один расходомер Кориолиса, установленный в сообщении текучей средой ниже по потоку по меньшей мере от одного штуцера и выполненный с возможностью функционировать в соединении с расходомером Кориолиса, установленным в сообщении текучей средой выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера.

18. Расходомер по любому одному из пп.1-17, выполненный с возможностью соединения по меньшей мере с одним насосом, сообщающимся по текучей среде со стволом скважины и подающим поток буровой текучей среды в ствол скважины; и быть установленным в сообщении текучей средой между по меньшей мере одним указанным насосом и стволом скважины для измерения расхода буровой текучей среды, проходящей в ствол скважины.

19. Расходомер по п.18, в котором по меньшей мере один насос представляет подпорный насос для емкости бурового раствора системы бурения, расходомер в сообщении текучей средой ниже по потоку от по меньшей мере одного подпорного насоса.

20. Расходомер по п.18, в котором по меньшей мере один насос представляет буровой насос системы бурения для скважины, расходомер в сообщении текучей средой ниже по потоку по меньшей мере от одного бурового насоса, соединенного со скважиной.

21. Расходомер по любому одному из пп.1-20, в котором контроллер выполнен с возможностью учитывать по меньшей мере одно из:

- плотность внутренней текучей среды в камере;
- вязкость внутренней текучей среды в камере;
- силу сопротивления по меньшей мере одной расходомерной трубы ввиду наличия внутренней текучей среды в камере;
- затухание колебания по меньшей мере одной расходомерной трубы ввиду наличия внутренней текучей среды в камере;
- изменение резонансной частоты по меньшей мере одной расходомерной трубы ввиду наличия внутренней текучей среды в камере.

22. Способ измерения расхода текучего средства с использованием расходомера Кориолиса по одному из пп.1-21 при измерении расхода буровой текучей среды в буровой системе, содержащий подачу потока буровой текучей среды в расходомер Кориолиса, измерение расхода в скважине, применяя расходомер Кориолиса,

при этом осуществляют

регулирование с помощью контроллера второго давления внутренней текучей среды относительно давления буровой текучей среды и обеспечивают возможность по меньшей мере одной расходомерной трубе под управляемым перепадом давления пропускать поток при давлении буровой текучей среды большем, чем верхний предел давления, который толщина стенки по меньшей мере одной расходомерной трубы имеет возможность выдерживать, и управление с помощью контроллера возбуждением колебательного движения по меньшей мере одной расходомерной трубы с помощью по меньшей мере одного вибратора, чтобы учесть влияние колебания по меньшей мере одной расходомерной трубы, вызванное внутренней текучей средой при втором давлении внутри камеры корпуса.

23. Способ по п.22, в котором управление вторым давлением в камере осуществляется с помощью аккумулятора, давления, связанного с давлением буровой текучей среды до второго давления корпуса.

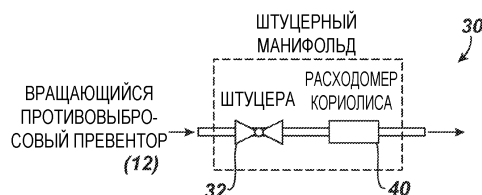
24. Способ по п.23, в котором управление вторым давлением в камере осуществляется нагнетанием второго давления корпуса с применением насоса.

25. Способ по пп.23-25, дополнительно включающий измерение второго давления датчиком, связанным с корпусом, для сравнения с буровым давлением.

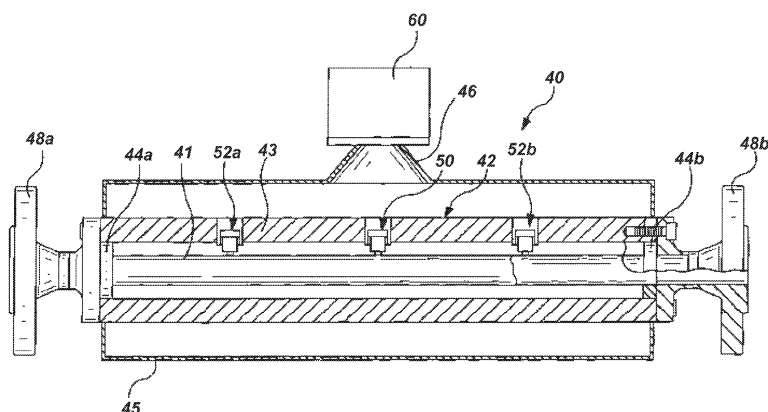
26. Способ по любому одному из пп.23-25, в котором дополнительно осуществляют управление противодавлением на поверхности в стволе скважины с помощью регулирования расхода буровой текучей среды из скважины с помощью по меньшей мере одного штуцера.

27. Способ по любому одному из пп.23-26, в котором при измерении расхода осуществляют учет по меньшей мере одного из:

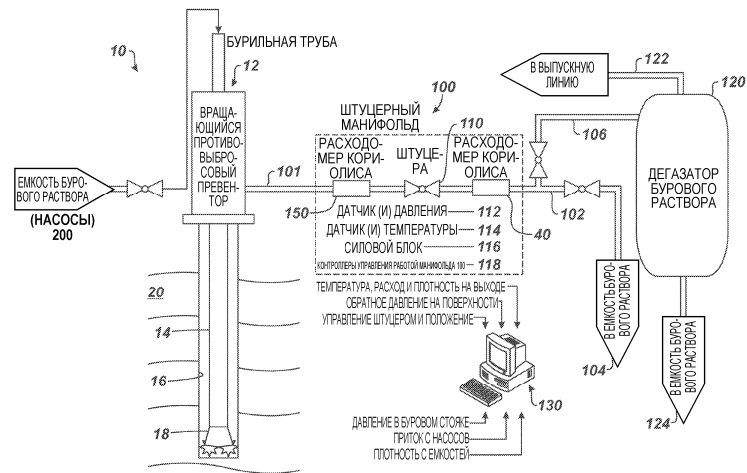
- плотности внутренней текучей среды в камере;
- вязкости внутренней текучей среды в камере;
- силы сопротивления по меньшей мере одной расходомерной трубы ввиду наличия внутренней текучей среды в камере;
- затухания колебания по меньшей мере одной расходомерной трубы ввиду наличия внутренней текучей среды в камере;
- изменение резонансной частоты по меньшей мере одной расходомерной трубы ввиду наличия внутренней текучей среды в камере.



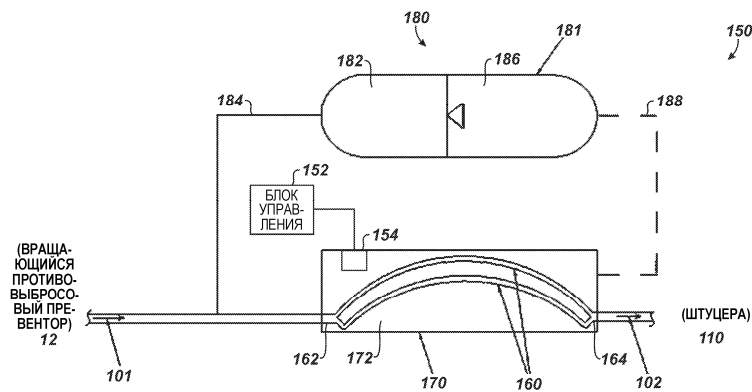
Фиг. 1 (известная техника)



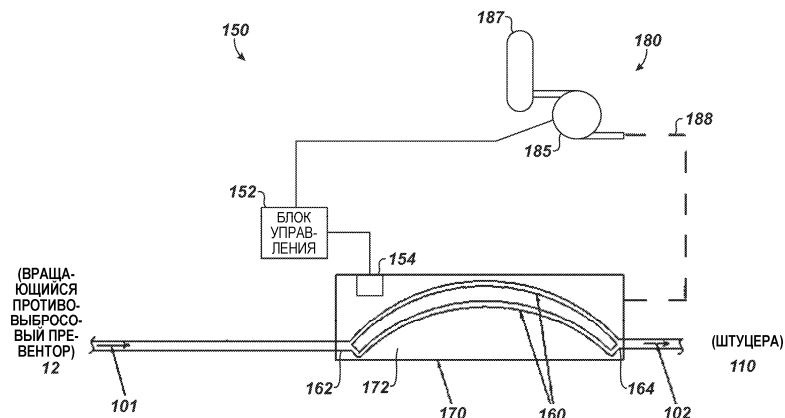
Фиг. 2 (известная техника)



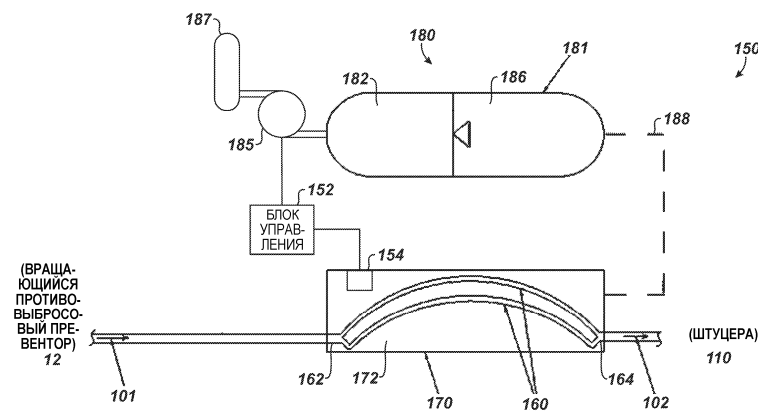
Фиг. 3



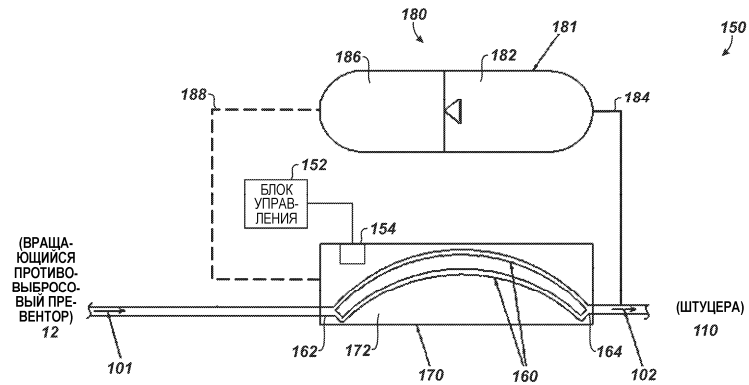
Фиг. 4А



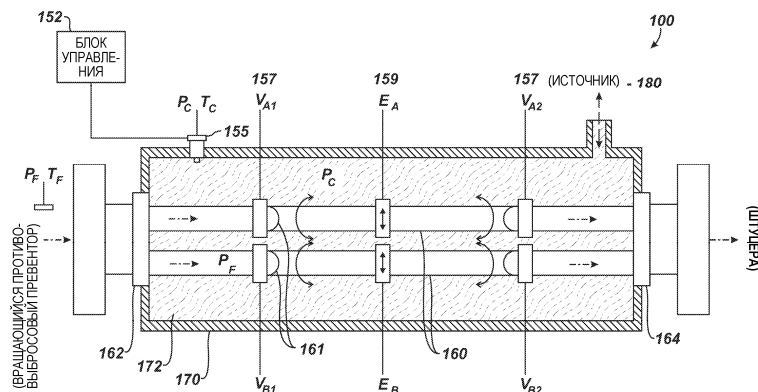
Фиг. 4В



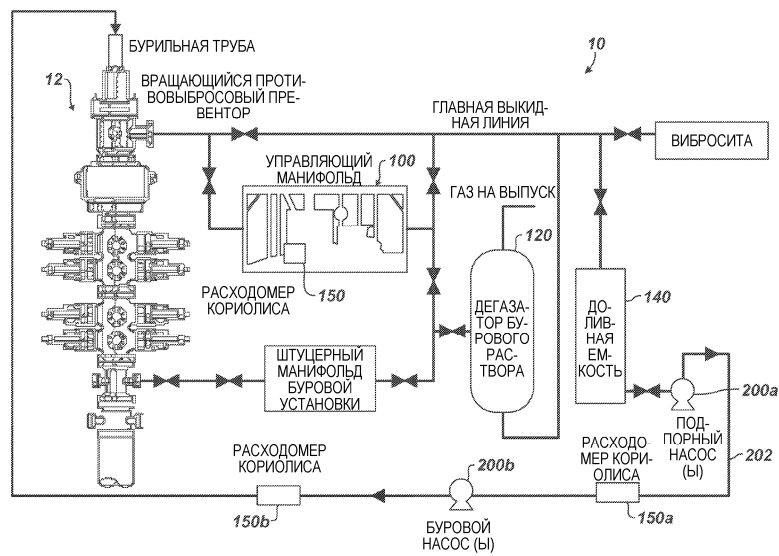
Фиг. 4С



Фиг. 4D



Фиг. 5



Фиг. 6



Евразийская патентная организация, ЕАПВ

Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2