

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **042987**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.04.13

(51) Int. Cl. *E21B 21/08* (2006.01)

(21) Номер заявки
202290125

(22) Дата подачи заявки
2020.03.23

(54) ИЕРАРХИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ БУРОВЫХ РАБОТ ПОД УПРАВЛЯЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ

(31) 62/872,572; 16/810,609

(56) US-A1-20160298401
US-A1-20180135366
US-B2-9376875
US-A1-20180245411
US-A1-20190203548
US-B2-10077647
US-B2-8240398

(32) 2019.07.10; 2020.03.05

(33) US

(43) 2022.04.19

(86) PCT/US2020/024154

(87) WO 2021/006935 2021.01.14

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
СЕЙФКИК АМЕРИКАС ЛЛС (US)

(72) Изобретатель:
Сантос Гелио, Барбато Томас (US)

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатъев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В.,
Бучака С.М., Бельтюкова М.В. (RU)**

(57) Способ иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением включает прием измеренного значения давления. Если измеренное давление превышает заданное значение давления MPD, подачу на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет приблизительно равным заданному значению давления MPD или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера. Если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана регулирования давления, перевод штуцерного коллектора MPD в режим ожидания и подачу на один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет меньше заданного значения для клапана регулирования давления или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым клапаном регулирования давления. Если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана сброса давления, подачу на клапан сброса давления команды открываться.

B1

042987

042987

B1

Перекрестные ссылки на родственные заявки

Заявка на данное изобретение притязает на преимущества, или приоритет, заявки на патент США с порядковым номером 16/810609, поданной 5 марта 2020 г., которая притязает на преимущества, или приоритет, предварительной заявки на патент США с порядковым номером 62/872572, поданной 10 июля 2019 г., которые обе полностью включены в настоящий документ посредством ссылки.

Предпосылки создания изобретения

Для выполнения разнообразных технических решений бурения под управляемым давлением (Managed Pressure Drilling, "MPD"), ориентированных на управление давлением в стволе скважины в ходе бурения и других работ путем управляемого применения обратного давления на устье, можно использовать замкнутую гидравлическую бурильную систему. Обычно для управляемой герметизации затрубного пространства, окружающего бурильную колонну, используют систему затрубной герметизации, а обратное давление на устье под управлением прикладывают путем регулирования установки отверстия штуцера, иногда называемой положением штуцера, одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD, размещенного на поверхности, которые соединены по текучей среде с одной или несколькими отводными системами, отводящими на поверхность возвратные текучие среды из или из-под затрубного уплотнения. Каждый штуцерный клапан обычно выполнен с возможностью нахождения в полностью открытом состоянии, при этом поток является беспрепятственным, полностью закрытом состоянии, при этом поток остановлен, и нескольких промежуточных состояниях, при этом поток ограничен.

С целью сохранения контроля за скважиной, в ходе традиционных буровых работ для управления давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления, ограниченного поровым давлением или сминающим давлением, если сминающее давление выше порового давления, и давлением гидроразрыва, можно использовать одно или несколько технических решений MPD. Благодаря сохранению контроля за скважиной предотвращается нежелательный приток в ствол скважины пластовых флюидов и сохраняется целостность пласта, чем предотвращается его гидроразрыв. Если давление в затрубном пространстве падает ниже нижнего порогового значения, один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD можно закрыть до такой степени, которая необходима для повышения затрубного давления до требуемой величины. Аналогично, если давление в затрубном пространстве увеличивается выше верхнего порогового значения, один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD можно открыть в той степени, которая необходима для понижения затрубного давления до требуемой величины. Технические решения MPD приняты для использования в разнообразных бурильных и других приложениях, а также технических решениях реагирования в непредвиденных обстоятельствах.

Краткое изложение сущности изобретения

Согласно одному аспекту одного или нескольких вариантов осуществления настоящего изобретения способ иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением включает прием измеренного значения давления. Если измеренное давление превышает заданное значение давления MPD, на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD подают команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет приблизительно равным заданному значению давления MPD или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера. Если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана регулирования давления, штуцерный коллектор MPD переводят в режим ожидания и на один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления подают команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет меньше заданного значения для клапана регулирования давления или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым клапаном регулирования давления. Если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана сброса давления, на клапан сброса давления подают команду открываться.

Согласно одному аспекту одного или нескольких вариантов осуществления настоящего изобретения энергонезависимый машиночитаемый носитель содержит команды программного обеспечения, которые при исполнении процессором выполняют способ иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением, включающий прием измеренного значения давления. Если измеренное давление превышает заданное значение давления MPD, на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD подают команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет приблизительно равным заданному значению давления MPD или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера. Если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана регулирования давления, штуцерный коллектор MPD переводят в режим ожидания и на один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления подают команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет меньше заданного значения для клапана регулирования давления или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым клапаном регулирования давления. Если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана сброса давления, на клапан сброса давления подают команду открываться.

Согласно одному аспекту одного или нескольких вариантов осуществления настоящего изобретения система иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением содержит систему затрубной герметизации, которая обеспечивает затрубное уплотнение, окружающее бурильную колонну, датчик давления, измеряющий давление, и штуцерный коллектор MPD, содержащий множество штуцерных клапанов, при этом по меньшей мере один штуцерный клапан находится в сообщении по текучей среде с выкидной линией, отводящей возвратный буровой раствор из или из-под затрубного уплотнения для приложения обратного давления на устье. Система дополнительно содержит систему управления MPD, которая подает на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команду на заданное значение давления MPD, множество клапанов системы клапанов регулирования давления, где по меньшей мере один клапан регулирования давления находится в сообщении по текучей среде с выкидной линией, сбрасывающей возвратный буровой раствор в газосепаратор для бурового раствора, вибрационное сито или другую систему разделения и очистки бурового раствора, и систему управления клапанами регулирования давления, которая подает на один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления команду открываться, когда измеренное давление превышает заданное значение для клапана регулирования давления. Система дополнительно содержит клапан сброса давления, который сбрасывает возвратный буровой раствор в газосепаратор для бурового раствора, вибрационное сито или за борт, и систему управления клапаном сброса давления, которая подает на клапан сброса давления команду открываться, когда измеренное давление превышает заданное значение для клапана сброса давления.

Другие аспекты настоящего изобретения будут очевидны из следующего описания и формулы изобретения.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 показана традиционная замкнутая гидравлическая бурильная система для буровых работ под управляемым давлением.

На фиг. 2А показан иллюстративный график положения штуцера MPD, обратного давления на устье, заданного значения для клапана сброса давления и положения клапана сброса давления, когда штуцерный коллектор MPD забивается, выходит из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, повышается обратное давление на устье и клапан сброса давления приводится в действие как предохранительное устройство в традиционной замкнутой гидравлической бурильной системе.

На фиг. 2В показан иллюстративный график порового давления, давления гидроразрыва и давления в стволе скважины, когда штуцерный коллектор MPD забивается, выходит из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, повышается давление в стволе скважины и клапан сброса давления приводится в действие как предохранительное устройство в традиционной замкнутой гидравлической бурильной системе.

На фиг. 3 показана система иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 4 показан способ иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 5А показан иллюстративный график положения штуцера MPD, обратного давления на устье, заданного значения для клапана регулирования давления, установки клапана регулирования давления, заданного значения для клапана сброса давления и положения клапана сброса давления, когда система клапанов регулирования давления используется для дополнения штуцерного коллектора MPD при управлении давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления в системе иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 5В показан иллюстративный график порового давления, давления гидроразрыва и давления в стволе скважины, когда система клапанов регулирования давления используется для дополнения штуцерного коллектора MPD при управлении давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления в системе иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 6 показана иллюстративная компьютерная или управляющая система в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

Подробное описание изобретения

Один или несколько вариантов осуществления настоящего изобретения описаны подробно со ссылкой на сопроводительные фигуры. Для обеспечения последовательности одинаковые элементы на различных фигурах обозначены одинаковыми ссылочными позициями. В следующем подробном описании настоящего изобретения изложены конкретные детали, чтобы обеспечить полное понимание настоящего изобретения. В других случаях признаки, которые хорошо известны специалисту в данной области техники, не описаны, чтобы избежать затруднения понимания настоящего изобретения.

В затруднительных условиях, в том числе при работах в глубоких и сверхглубоких условиях, способность управлять давлением в стволе скважины и реагировать на непредвиденные обстоятельства критически важна для безопасности работ, а также защиты окружающей среды. По существу, стандартная отраслевая практика ориентирована на сохранение контроля за скважиной в ходе бурения и других работ. С прагматической точки зрения, контроль за скважиной относится к способности буровой установки справляться с потенциально опасными результатами нежелательного притока неизвестных пластовых флюидов, иногда называемого гидравлическим ударом, в систему скважины. Неизвестные пластовые флюиды могут содержать взрывоопасные газы, представляющие значительную угрозу безопасности и потенциально способные привести к внезапному выбросу. Дополнительно при контроле за скважиной предотвращается гидроразрыв пласта, благодаря чему защищается конструктивная целостность ствола скважины. Один способ, в котором контроль за скважиной сохраняется в ходе традиционных работ МРД, заключается в поддержании давления в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления, ограниченного поровым давлением или сминающим давлением, если оно выше порового давления, и давлением гидроразрыва пласта. Однако, по мере того как операторы и буровики следуют все более и более сложному плану бурения, возможность сохранения контроля за скважиной требует тщательного ориентирования в узких пределах безопасного градиента давления с очень небольшим запасом на ошибку, которые изменяются с глубиной.

При столь сложной деятельности неизбежно возникают непредвиденные обстоятельства, и буровая установка должна иметь возможность быстро и соразмерно реагировать для восстановления контроля за скважиной. Традиционные способы реагирования на такие непредвиденные обстоятельства включают, например, отключение устройства предотвращения выброса (blowout preventer, "ВОР"), введение бурового раствора для глушения фонтанирующей скважины и выкачивание неизвестных пластовых флюидов. По существу, традиционные способы реагирования на непредвиденные обстоятельства приводят к остановке буровых работ, представляют значительную угрозу безопасности персонала на буровой установке и приводят к загрязнению окружающей среды. Значительным недостатком стандартной отраслевой практики является то, что она по своей природе является реагирующей, при этом радикальные меры принимаются только после того, как непредвиденные обстоятельства уже возникли, что ставит под удар безопасность персонала буровой установки и потенциально приводит к загрязнению окружающей среды. Поэтому в данной отрасли имеется давно ощущаемая, но не разрешенная потребность в увеличении в первую очередь возможностей предотвращения возникновения таких непредвиденных обстоятельств.

Соответственно, в одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения в способе и системе для иерархического управления давлением для работ МРД используется интеллектуальная и программируемая система клапанов регулирования давления ("PCV"), содержащая систему управления PCV и один или несколько клапанов системы PCV, для усиления способности буровой установки поддерживать давление в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления и уменьшения количества или исключения ситуаций, в которых для реагирования на непредвиденные обстоятельства используется клапан сброса давления ("PRV") и которые, несмотря на использование PRV, часто приводят к тому, что давление в стволе скважины превышает давление гидроразрыва пласта или его падает ниже порового давления. В ходе традиционных работ МРД для приложения обратного давления на устье и управления давлением в стволе скважины может использоваться штуцерный коллектор МРД. Независимую систему управления PCV можно запрограммировать на открытие одного или нескольких клапанов системы PCV при превышении давлением в стволе скважины заданного значения для PCV. Заданное значение для PCV может быть установлено в значение давления, которое меньше заданного значения для PRV, или значения срабатывания, на разницу, достаточную для того, чтобы позволять системе PCV полностью открывать клапаны системы PCV, прежде чем задействовать PRV. Когда давление в стволе скважины превышает заданное значение для PCV, один или несколько клапанов системы PCV могут открываться и направлять поток в газосепаратор для бурового раствора ("MGS"), вибрационное сито или другую систему разделения и очистки бурового раствора с целью предотвращения дальнейшего повышения давления в стволе скважины и в то же время предотвращения падения давления в стволе скважины, которое обычно происходит при открытии PRV. Система PCV может включать интенсивное отсечение и управление, позволяющее ей реагировать быстро и эффективно.

При приведении в действие системы PCV штуцерный коллектор МРД может переводиться в режим ожидания и сохранять свое последнее положение. Если давление стабилизируется на или почти на заданном значении для PCV, буровая бригада затем может изучить первопричину высокого давления и попытаться решить эту проблему, пока давление в стволе скважины поддерживается на безопасном уровне. После решения проблемы с давлением поток в штуцерный коллектор МРД может быть возобновлен, и давление будет продолжать понижаться до или почти до заданного значения давления МРД. По мере понижения давления система PCV будет продолжать закрывать один или несколько клапанов до тех пор, пока не достигнет полностью закрытого состояния, в котором давление падает ниже заданного значения для PCV, и в этот момент обычные работы могут быть возобновлены с потоком, проходящим только через штуцерный коллектор МРД. Если штуцерный коллектор МРД, дополненный системой PCV, не способен поддерживать давление в стволе скважины, в качестве меры предосторожности для

крайнего случая может быть использован PRV. Преимущественно способ и система иерархического управления давлением для работ MPD защищают целостность ствола скважины без необходимости в закрытии ВОР или других радикальных мерах, тогда как традиционное использование исключительно PRV ориентировано только на защиту оборудования от повреждения, связанного с давлением, и не защищает ствол скважины от гидроразрыва, а также при задействовании PRV обычно требуется отключение ВОР или принятие других радикальных мер.

На фиг. 1 показана традиционная замкнутая гидравлическая бурильная система 100 для работ MPD. Традиционная замкнутая гидравлическая бурильная система 100, выполненная для работ бурения в море, показана лишь в целях иллюстрации. Несмотря на, что приложения в море требуют для облегчения бурения ствола подводной скважины таких дополнительных компонентов, как, например, водоотделяющая колонна, специалисту в данной области техники будет понятно, что приложения на суше являются по существу аналогичными по конфигурации и функциям, относящимся к компонентам, необходимым для работ MPD. Традиционная замкнутая гидравлическая бурильная система 100 обычно содержит традиционную систему MPD (например, систему 110 затрубной герметизации, затрубную закрывающую систему 115 и устройство 120 отведения потока), нижнюю часть системы 125 водоотделяющей колонны и ВОР 130. Специалисту в данной области техники будет понятно, что бурильная система 100 может содержать другие компоненты, такие как, например, устройство отведения для крайнего случая (не показано), шаровой шарнир (не показан) и раздвижную муфту (не показана), которые обычно размещены над традиционной системой MPD и которые не показаны.

Традиционная система MPD обычно содержит систему 110 затрубной герметизации, затрубную закрывающую систему 115, размещенную под системой 110 затрубной герметизации, и устройство 120 отведения потока, размещенное под затрубной закрывающей системой 115. Система 110 затрубной герметизации под управлением герметизирует затрубное пространство 108, окружающее бурильную колонну 135 так, что она заключена в оболочку. Система 110 затрубной герметизации может представлять собой поворотное управляющее устройство ("RCD"), активное управляющее устройство ("ACD") или систему любого другого типа или вида, выполненную с возможностью создания затрубного уплотнения так, что давлением в стволе скважины можно управлять путем приложения обратного давления на устье. Затрубная закрывающая система 115 может представлять собой дублирующую систему для поддержания затрубного уплотнения в ходе соединений или при установке, обслуживании или замене системы 110 затрубной герметизации или ее компонентов. Устройство 120 отведения потока отводит возвратный буровой раствор из или из-под затрубного уплотнения в штуцерный коллектор 145 MPD, который направляет этот возвратный буровой раствор в системы разделения и очистки бурового раствора (например, MGS 155 или вибрационные сита 160) для переработки и повторного использования. Устройство 120 отведения потока размещено над и в сообщении по текучей среде с нижней частью системы 125 водоотделяющей колонны. Нижняя часть системы 125 водоотделяющей колонны размещена над и в сообщении по текучей среде с ВОР 130, размещенным на или почти на морском дне 104. ВОР 130 размещен над и в сообщении по текучей среде с устьем скважины (отдельно не показано), которое размещено над и в сообщении по текучей среде со стволом 106 скважины, бурение которого производится. Центральный просвет проходит через традиционную систему MPD (например, систему 110 затрубной герметизации, затрубную закрывающую систему 115 и устройство 120 отведения потока), нижнюю часть системы 125 водоотделяющей колонны, ВОР 130, устье скважины (отдельно не показано) и в ствол 106 скважины для облегчения бурения и других работ. Бурильная колонна 135 может быть проведена через центральный просвет и содержит на дистальном конце буровое долото 140, используемое для бурения ствола 106 скважины.

В ходе работ MPD один или несколько буровых насосов 170 под управлением перекачивают буровой раствор (не показан) из резервуара 165 для бурового раствора в ствол скважины через внутренний канал бурильной колонны 135. Возвратный буровой раствор (не показан) возвращается через затрубное пространство 108, окружающее бурильную колонну 135, и под управлением отводится устройством 120 отведения потока через выкидную линию 122 в один или несколько штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD. Один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора 145 MPD под управлением направляют поток через выкидную линию 147 в расходомер 150, и расходомер 150 направляет поток через выкидную линию 153 в одну или несколько систем разделения и очистки бурового раствора, в том числе, например, MGS 155 и/или вибрационные сита 160, для разделения и очистки перед возвратом обработанного бурового раствора (не показан) в резервуары 165 для бурового раствора с целью повторного использования. В различных местах на пути потока размещены один или несколько датчиков давления (не показаны) для измерения давления возвратного бурового раствора (не показан).

Система 600a управления MPD может принимать данные датчиков давления (не показаны) и данные расходомера 150 приблизительно или почти в реальном времени. Специалисту в данной области техники будет понятно, что "приблизительно или почти в реальном времени" означает "практически в момент измерения", с задержкой только из-за измерения, вычисления и/или передачи, но обычно порядка долей секунды или не более нескольких секунд. Система 600a управления MPD может подавать команду

одному или нескольким штуцерным клапанам (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD перейти в требуемую установку отверстия штуцера и/или команду с указанием расхода на буровых насосах 170, тем самым управляя давлением в стволе скважины. Герметичное уплотнение затрубного пространства, обеспечиваемое системой 110 затрубной герметизации, обеспечивает возможность точного управления давлением в стволе скважины путем регулирования отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD и соответствующего приложения обратного давления на устье. Отверстие штуцера, иногда называемое положением штуцера, одного или нескольких штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD соответствует величине, обычно представляемой в процентах, на которую штуцерные клапаны (отдельно не изображены) или сам штуцерный коллектор 145 MPD открываются и имеют возможность пропускать поток.

Например, один или несколько штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD могут быть полностью открыты, при этом поток является беспрепятственным, полностью открыты, при этом поток остановлен, или частично открыты или закрыты, при этом поток ограничен в соответствии со степенью, в которой они открыты или закрыты. Если оператору штуцера необходимо повысить давление в стволе скважины, установку отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD можно уменьшить для дополнительно ограничения потока бурового раствора и приложения дополнительного обратного давления на устье. Аналогично, если оператору штуцера необходимо понизить давление в стволе скважины, установку отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD можно увеличить для увеличения потока бурового раствора и уменьшения величины приложенного обратного давления на устье. По существу, системы MPD обратного давления на устье обычно управляют давлением в стволе скважины путем регулирования установки отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов (отдельно не изображены) штуцерного коллектора 145 MPD и/или расхода на буровых насосах 170, вводящих буровой раствор в ствол скважины, на основе по меньшей мере данных датчиков давления.

Система 600с управления PRV управляет PRV 175 и служит в качестве отдельного и независимого предохранительного средства для защиты оборудования буровой установки от повреждения из-за высоких и обычно неконтролируемо возрастающих давлений в системе 100. Система 600с управления PRV может принимать или генерировать данные датчиков давления или другие данные приблизительно или почти в реальном времени. В системе 600с управления PRV обычно хранится заданное значение для PRV, которое устанавливает давление, при котором PRV 175 срабатывает и открывается. Обычно заданное значение для PRV выбрано как значение давления, защищающее самое слабое звено в буровой системе 100 от повреждения давлением, часто систему 125 водоотделяющей колонны в приложениях в море. После открытия PRV 175 может сбрасывать возвратный буровой раствор из затрубного пространства 108 в систему разделения и очистки бурового раствора (например, MGS 155 или вибрационные сита 160) или за борт 180 в приложениях в море. Несмотря на то, что PRV 175 защищает оборудование буровой установки и рассчитан на сброс как можно большего давления как можно быстрее, он не поддерживает давление в стволе скважины, что потенциально нарушает конструктивную целостность ствола скважины и способность буровой установки проводить последующие работы MPD. Таким образом, применение PRV 175 в качестве предохранительного средства для крайнего случая приводит к прекращению буровых работ и обычно требует принятия радикальных мер, в том числе, например, закрытия BOP 130, для обеспечения безопасности скважины, тем самым значительно увеличивая издержки и ставя под угрозу возможность восстановления контроля за скважиной и возобновления буровых работ.

На фиг. 2А показан иллюстративный график положения штуцера MPD, обратного давления на устье, заданного значения для PRV и положения PRV, когда штуцерный коллектор MPD (например, 145 на фиг. 1) забивается, выходит из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, повышается обратное давление на устье и PRV (например, 175 на фиг. 1) приводится в действие в качестве предохранительного устройства для крайнего случая в традиционной замкнутой гидравлической буровой системе (например, 100 на фиг. 1). Первоначально положение штуцера MPD и соответствующее обратное давление на устье являются относительно постоянными, чего и следует ожидать в ходе обычных буровых работ. В случае, когда один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 1) начинают забиваться, выходить из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, обратное давление на устье может начать повышаться по причинам, не связанным с намеренным закрытием одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 1). Система управления MPD (например, 600а на фиг. 1) может в ответ на повышение обратного давления на устье подавать на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 1) команду открыться в попытке стабилизировать давление. Однако даже после подачи на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 1) команды перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера, обратное давление на устье продолжает расти, как показано в изображенном примере. После того как обратное давление на устье превышает заданное значение для PRV, система управления PRV (например, 600с на фиг. 1)

срабатывает и подает на PRV (например, 175 на фиг. 1) команду прийти в действие в качестве крайнего предохранительного средства для быстрого сброса всего давления в системе (например, 100 на фиг. 1), в том числе в стволе скважины, без учета сильного воздействия на конструктивную целостность ствола скважины.

В продолжение, на фиг. 2B показан иллюстративный график порового давления, давления гидроразрыва и давления в стволе скважины, когда штуцерный коллектор MPD (например, 145 на фиг. 1) забивается, выходит из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, как описано в предыдущем примере на фиг. 2A, давление в стволе скважины растет, и PRV (например, 175 на фиг. 1) приводится в действие в качестве крайнего предохранительного средства в традиционной замкнутой гидравлической буровой системе (например, 100 на фиг. 1). На фиг. 2B используется общая временная ось с фиг. 2A. В изображенном примере безопасный градиент давления можно установить посредством порового давления и давления гидроразрыва, как показано. Первоначально давление в стволе скважины близко следует поровому давлению, но является немного более высоким, однако скважина находится в пределах безопасного градиента давления. Когда один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 1) начинают забиваться, выходить из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, давление в стволе скважины начинает увеличиваться. Как показано на фиг. 2A, система управления MPD (например, 600a на фиг. 1) пытается поддерживать давление в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления путем открытия одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 1). Однако штуцерный коллектор MPD (например, 145 на фиг. 1) оказывается не способен поддерживать давление в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления, и когда обратное давление на устье превышает заданное значение для PRV, PRV (например, 175 на фиг. 1) приводится в действие в качестве крайнего предохранительного средства для защиты оборудования буровой установки от повреждения высоким давлением. Хотя PRV (например, 175 на фиг. 1) является успешным для быстрого сброса давления в системе, он не способен управлять стволом скважины. Возвращаясь к фиг. 2B, как показано в данном примере, давление в стволе скважины превышает давление гидроразрыва в течение некоторого промежутка времени до того, как PRV (например, 175 на фиг. 1) смог снизить давление, и аналогично на другой стороне безопасного градиента давления давление в стволе скважины падает ниже порового давления на некоторый промежуток времени, и все это не является неожиданным, поскольку PRV (например, 175 на фиг. 1) просто сбрасывает давление в системе (например, 100 на фиг. 1) с целью предотвращения повреждения высоким давлением. Как следствие, в стволе скважины может произойти гидроразрыв, что, вероятно, потребует закрытия BOP (например, 130 на фиг. 1), а также принятия других необходимых радикальных мер перед тем, как буровые работы можно будет возобновить, если их вообще можно будет возобновить.

На фиг. 3 показана усовершенствованная замкнутая гидравлическая буровая система 300 для иерархического управления давлением для работ MPD в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Вариант осуществления буровой системы 300 для работ бурения в море показан и описан в данном документе лишь в целях иллюстрации. Хотя приложения в море отличаются от приложений на суше тем, что они требуют дополнительного оборудования для облегчения бурения ствола подводной скважины, специалисту в данной области техники будет понятно, что приложения на суше представляют собой подмножество, по существу подобное в отношении конфигурации и функции компонентов, необходимых для работ MPD. По существу, один или несколько вариантов осуществления настоящего изобретения предполагают применение и использование в приложениях как на суше, так и в море. Специалисту в данной области техники будет понятно, что компоненты и конфигурация компонентов буровой системы 300 могут варьироваться в зависимости от приложения или конструктивного исполнения в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения и не ограничены иллюстративной системой 300, описанной в данном документе.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения для выполнения работ MPD можно использовать один или несколько компонентов традиционной системы MPD. Система 110 затрубной герметизации или ее функциональный эквивалент могут быть использованы для управляемой герметизации затрубного пространства 108, окружающего буровую колонну 135 так, что она заключена в оболочку и не связана с атмосферой. Система 110 затрубной герметизации может представлять собой RCD, ACD или систему любого другого типа или вида, выполненную с возможностью образования затрубного уплотнения так, что давлением в стволе скважины можно управлять путем приложения обратного давления на устье. В некоторых вариантах осуществления затрубная закрывающая система 115 или ее функциональный эквивалент может размещаться под системой 110 затрубной герметизации в качестве дублирующей системы для поддержания затрубного уплотнения во время выполнения соединения или при установке, обслуживании или замене системы 110 затрубной герметизации или ее компонентов. Однако затрубная закрывающая система 115 может быть не включена в систему 300 для применения на суше или с низкими техническими требованиями. Устройство 120 отведения потока или его функциональный эквивалент может размещаться под затрубной закрывающей системой 115 или по меньшей мере под затрубным уплотнением в вариантах осуществления, которые не содержат затрубную закрывающую

систему 115, и отводит возвратный буровой раствор из или из-под затрубного уплотнения в штуцерный коллектор 145 MPD, который под управлением отводит возвратный буровой раствор в системы разделения и очистки бурового раствора (например, MGS 155 или вибрационные сита 160) для переработки и повторного использования. Специалисту в данной области техники будет понятно, что система 110 затрубной герметизации, затрубная закрывающая система 115 и устройство 120 отведения потока или функции и признаки, которые они реализуют, могут быть включены, исключены, встроены или распределены среди одного или нескольких компонентов или секции водоотделяющих колонн в зависимости от приложения или конструктивного исполнения в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Например, лишь в целях иллюстрации в некоторых приложениях на суше или с низкими техническими требованиями устройство 120 отведения потока может быть встроено в RCD 110 в бурильной системе 300, не содержащей затрубную закрывающую систему 115.

В приложениях в море устройство 120 отведения потока может размещаться над и в сообщении по текучей среде с нижней частью системы 125 водоотделяющей колонны, а нижняя часть системы 125 водоотделяющей колонны может размещаться над и в сообщении по текучей среде с BOP 130, размещенным на или почти на морском дне 104. В приложениях на суше устройство 120 отведения потока может размещаться над и в сообщении по текучей среде с BOP 130. BOP 130 может размещаться над и в сообщении по текучей среде с устьем скважины (отдельно не показано), которое может размещаться над и в сообщении по текучей среде со стволом 106 скважины, бурение которого производится. Центральный просвет может проходить через традиционную систему MPD (например, систему 110 затрубной герметизации, затрубную закрывающую систему 115 и/или устройство 120 отведения потока), нижнюю часть системы 125 водоотделяющей колонны, BOP 130, устье скважины (отдельно не показано) и в ствол 106 скважины для облегчения бурения и других работ. Бурильная колонна 135 может быть проведена через центральный просвет и содержит на дистальном конце буровое долото 140, используемое для бурения ствола 106 скважины.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения усовершенствованная бурильная система 300 может иметь конфигурацию, выполненную с возможностью осуществления способа иерархического управления давлением для работ MPD. В таких вариантах осуществления, хотя штуцерный коллектор 145 MPD остается первичным устройством управления давлением в обычных условиях эксплуатации, интеллектуальную и программируемую систему PCV, содержащую систему 600b управления PCV и один или несколько клапанов 320 системы PCV, можно использовать для дополнения способности штуцерного коллектора 145 MPD поддерживать давление в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления в случае, если один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора 145 MPD забиваются, выходят из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, такие что штуцерный коллектор 145 MPD не может самостоятельно поддерживать давление в стволе скважины. Пока система управления PCV помогает поддерживать давление в стволе скважины, персонал буровой установки может изучать первопричину проблем с давлением, в то время как конструктивная целостность ствола скважины защищена от неблагоприятных изменений давления. В случае, когда штуцерный коллектор 145 MPD и один или несколько клапанов 320 системы PCV не могут в достаточной мере управлять давлением в стволе скважины, PRV 175 может срабатывать как крайнее предохранительное средство для защиты оборудования буровой установки от высокого давления путем сброса всего давления в системе.

В ходе работ MPD один или несколько буровых насосов 170 могут под управлением перекачивать буровой раствор (не показан) из резервуара 165 для бурового раствора в ствол скважины через внутренний канал бурильной колонны 135. Возвратный буровой раствор (не показан) возвращается через затрубное пространство 108, окружающее бурильную колонну 135, и может под управлением отводиться устройством 120 отведения потока или его функциональным эквивалентом через выкидную линию 122 в штуцерный коллектор 145 MPD. Штуцерный коллектор 145 MPD может под управлением направлять поток через выкидную линию 147 в расходомер 150, и расходомер 150 может направлять поток через выкидную линию 153 в одну или несколько систем разделения и очистки бурового раствора, в том числе, например, MGS 155 и/или вибрационные сита 160, для разделения и очистки перед возвратом обработанного бурового раствора (не показан) в резервуары 165 для бурового раствора с целью повторного использования. В различных местах на пути потока могут быть размещены один или несколько датчиков давления (не показаны) для измерения давления в системе 300. Например, для предоставления измеренных значений давления в разных местах во всей системе можно использовать отдельные датчики давления (не показаны), а также датчики давления, встроенные (отдельно не показаны) в одно или несколько из штуцерного коллектора 145 MPD, одного или нескольких клапанов 320 системы PCV или PRV 175.

В качестве первого уровня иерархического управления давлением система 600a управления MPD может принимать измеренные значения давления с одного или нескольких датчиков давления (не показаны) и/или измеренные расходы с расходомера 150 приблизительно или почти в реальное время. Специалисту в данной области техники будет понятно, что штуцерный коллектор 145 MPD может содержать множество штуцерных клапанов (отдельно не показаны), которыми по отдельности или вместе может управлять система 600a управления MPD. Система 600a управления MPD может подавать на один

или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора 145 MPD команду перейти в требуемую установку, или положение, отверстия штуцера и/или задавать командой расход буровых насосов 170, тем самым управляя давлением в стволе скважины. Герметичное уплотнение затрубного пространства, обеспечиваемое системой 110 затрубной герметизации, позволяет управлять давлением в стволе скважины путем регулирования отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора 145 MPD и соответствующего приложения обратного давления на устье. Хотя каждый штуцерный клапан может иметь независимо управляемую установку, или положение, отверстия штуцера, специалисту в данной области техники будет понятно, что ссылка на установку, или положение, отверстия штуцера может относиться к независимой возможности одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора 145 MPD, или совокупного штуцерного коллектора 145 MPD, направлять поток в зависимости от приложения или конструктивного исполнения. Отверстие, или положение, штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов или совокупного штуцерного коллектора 145 MPD может соответствовать величине, обычно представляемой в процентах, на которую один или несколько штуцерных клапанов, или совокупный штуцерный коллектор 145 MPD, открывается и имеет возможность пропускать поток.

Например, один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора 145 MPD могут быть полностью открыты, при этом поток является беспрепятственным, полностью закрыты, при этом поток остановлен, или частично открыты/закрыты, при этом поток ограничен. Если оператору штуцера необходимо повысить давление в стволе скважины, установку отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов или совокупного штуцерного коллектора 145 MPD можно уменьшить для дополнительного ограничения потока бурового раствора и приложения дополнительного обратного давления на устье. Аналогично, если оператору штуцера необходимо понизить давление в стволе скважины, установку отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов или совокупного штуцерного коллектора 145 MPD можно увеличить для увеличения потока бурового раствора и уменьшения величины приложенного обратного давления на устье. По существу, управление давлением в стволе скважины можно осуществлять путем регулирования установки отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов или совокупного штуцерного коллектора 145 MPD и/или расхода буровых насосов 170, вводящих буровой раствор в ствол скважины, на основании по меньшей мере данных датчиков давления, соответствующих измеренным значениям давления.

В качестве второго уровня иерархического управления давлением, независимая интеллектуальная и программируемая система 600b управления PCV может управлять одним или несколькими клапанами 320 системы PCV для дополнения и оказания помощи штуцерному коллектору 145 MPD в поддержании давления в стволе скважины в определенных условиях. Система 600b управления PCV или один или несколько клапанов 320 системы PCV могут содержать встроенный датчик, или измеритель, давления (не показан) и/или принимать измеренные значения давления с одного или нескольких отдельных (не показаны) или встроенных (не показаны) датчиков давления в другом оборудовании. Для уменьшения количества случаев, в которых PRV 175 открывается, система PCV может под управлением открывать один или несколько клапанов 320 системы PCV с целью обеспечения дополнительного пути потока для возвратного бурового раствора в попытке снизить возрастающее давление в системе, что в идеальном случае полностью предотвращает для системы 300 необходимость задействовать PRV 175. Заданное значение для PCV для одного или нескольких клапанов 320 системы PCV можно определить как давление ниже заданного значения для PRV, что обеспечивает открытие одного или нескольких клапанов 320 системы PCV до срабатывания PRV 175, и ниже давления гидроразрыва. При открытии одного или нескольких клапанов 320 системы PCV система PCV стремится поддерживать заданное значение настолько постоянным, насколько возможно.

Система PCV может включать интенсивное отсечение и управление, позволяющее ей реагировать быстро и эффективно. В отличие от PRV 175, первичной целью которого является защита оборудования буровой установки от больших изменений давления, система PCV также защищает целостность ствола скважины, не позволяя давлению в стволе скважины превышать давление гидроразрыва или падать ниже порового давления (или сминающего давления, если сминающее давление выше порового давления). Таким образом, если штуцерный коллектор 145 MPD забивается, выходит из строя или иначе теряет возможность управлять давлением в стволе скважины по какой-либо причине, система PCV может открывать дополнительный путь потока, чтобы помогать управлять давлением в стволе скважины без необходимости приводить в действие PRV 175, отключать BOP 130 или принимать другие радикальные меры.

В качестве третьего уровня иерархического управления давлением система 600c управления PRV может управлять PRV 175 и служить отдельным и независимым предохранительным средством для защиты оборудования буровой установки от повреждения из-за высоких и обычно неконтролируемо возрастающих давлений в системе 300. Система 600c управления PRV может принимать измеренные значения давления с одного или нескольких датчиков давления (не показаны), измеренные расходы с расходомера 150 приблизительно или почти в реальное время или другие данные приблизительно или почти в реальное время. В системе 600c управления PRV может храниться заданное значение для PRV, которое устанавливает давление, при котором PRV 175 срабатывает и открывается. Обычно заданное

значение для PRV выбрано как значение давления, защищающее самое слабое звено в бурильной системе 100, в приложениях в море - часто систему 125 водоотделяющей колонны. После открытия PRV 175 может сбрасывать возвратный буровой раствор из затрубного пространства 108 в систему разделения и очистки бурового раствора (например, MGS 155 или вибрационные сита 160) или за борт 180. Несмотря на то, что PRV 175 защищает оборудование буровой установки и рассчитан на сброс как можно большего давления как можно быстрее, он не поддерживает давление в стволе скважины и не управляет им, что потенциально нарушает конструктивную целостность ствола скважины и способность буровой установки проводить последующие работы MPD. Таким образом, применение PRV 175 в качестве предохранительного средства для крайнего случая приводит к прекращению буровых работ и обычно требует принятия радикальных мер, таких как закрытие BOP 130, для обеспечения безопасности скважины, что значительно увеличивает издержки, необходимые для восстановления управления скважиной и возобновления буровых работ, если это вообще возможно осуществить.

С помощью многоуровневого иерархического управления давлением, если штуцерный коллектор 145 MPD не может управлять давлением в стволе скважины в ходе буровых работ и давление в стволе скважины продолжает возрастать вследствие забивания, выхода из строя или других непредвиденных обстоятельств, которые могут возникнуть, как только измеренное давление пересекает порог заданного значения для PCV, система 600b управления PCV может подавать на один или несколько клапанов 320 системы PCV команду открываться до степени, необходимой для стабилизации давления в стволе скважины, отведения возвратного бурового раствора из затрубного пространства 108 в MGS 155, вибрационное сито 160 или другие системы разделения и очистки бурового раствора. Таким образом, давление в стволе скважины можно поддерживать в пределах безопасного градиента давления, ниже давления гидроразрыва пласта и выше порового давления пласта, без необходимости приводить в действие PRV 175, отключать BOP 130 или принимать другие радикальные меры. Преимущественно буровой бригаде предоставляется возможность изучить первопричину проблемы с давлением, при этом поддерживая давление в стволе скважины и без риска для конструктивной целостности ствола скважины или безопасности персонала.

На фиг. 4 показан способ 400 иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Специалисту в данной области техники будет понятно, что программное обеспечение, содержащее, например, одну или несколько гидравлических моделей и/или имитаций, может предоставлять модели, предсказанные безопасные градиенты давления, предсказанные распределения давления в стволе скважины в зависимости от глубины, а также предполагаемые заданные значения давления MPD, заданное значение для PCV и заданное значение для PRV перед осуществлением фактических буровых работ. Программное обеспечение может учитывать тип и вид используемого оборудования, составляющего часть буровой установки, тип и вид скважины, которую предстоит бурить, и информацию, связанную с тем, что известно о грунте, через который необходимо пробурить ствол скважины, а также о среде бурения. Эти действия обычно предпринимают перед началом буровых работ. После завершения и перед осуществлением фактических буровых работ можно выполнить дополнительное использование гидравлических моделей, имитаций и испытаний в предельных режимах с целью отладки моделей, предсказанных градиентов, предсказанных распределений давления и заданных значений.

После начала буровых работ гидравлическая модель может принимать почти в реальном времени информацию с различного оборудования и датчиков буровой установки, и в ходе выполнения буровых работ программное обеспечение может обновлять свои модели, предсказанные градиенты давления, предсказанные распределения давления и заданные значения непрерывно, периодически или по мере того, как становится доступно больше информации. Гидравлическая модель обычно будет предоставлять заданное значение давления MPD, соответствующее требуемому обратному давлению на устье, давлению на стояке или давлению в стволе скважины на основе модели в пределах безопасного градиента давления, однако заданное значение давления MPD может быть предоставлено пользователем. Для достижения заданного значения давления MPD система управления MPD может подавать на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команду корректировать установку отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов на выверенную величину. Когда измеренное давление поддерживается на величине, приблизительно равной заданному значению давления MPD, можно начинать или возобновлять буровые работы, в зависимости от ситуации.

На этапе 410 одно или несколько измеренных значений давления могут быть приняты по меньшей мере системой управления MPD, системой управления PCV и системой управления PRV. Каждое измеренное значение давления представляет результат фактического измерения давления, выполненного встроенным или отдельным датчиком давления, являющимся частью бурильной системы. Обычно в том, что касается измерения обратного давления на устье, измеренное значение давления соответствует измерению обратного давления на устье, взятому на устье, обычно датчиком давления, встроенным в штуцерный коллектор MPD или размещенным с ним на одной линии. Давление можно измерять непрерывно, периодически или при возникновении предварительно определенного события. Измеренные значения давления могут передаваться в систему управления MPD, систему управления PCV, систему управления

PRV или гидравлическую модель, которая может исполняться в одной из систем управления или независимо от них. В гидравлической модели для вычисления заданного значения давления MPD одно или несколько из данных модели, данных имитации и данных об измеренных значениях давления могут использоваться в оперативном порядке с целью достижения требуемого давления в стволе скважины для текущих условий эксплуатации. Гидравлическая модель может предоставлять заданное значение давления MPD в систему управления MPD. В ответ система управления MPD может подавать на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команду перейти в выверенную установку отверстия штуцера, при которой достигается заданное значение давления MPD. Однако могут возникать непредвиденные обстоятельства, которые препятствуют управлению штуцерным коллектором MPD давлением при заданном значении давления MPD, в том числе, например, из-за забивания, выхода из строя или других непредвиденных обстоятельств, оказывающих влияние на один или несколько штуцерных клапанов. Несмотря на то, что один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD могут иметь функцию самоочистки, которая пытается удалять обломки породы, которые могут ограничивать поток, эти операции не всегда являются успешными. Система управления MPD или оператор штуцера может иметь возможность открывать дополнительные штуцерные клапаны или выборочно выбирать те штуцерные клапаны, которые не забиты и остаются в работоспособном состоянии, однако это может ограничивать возможности штуцерного коллектора MPD по управлению давлением в стволе скважины. На этом фоне способ, описанный в данном документе, относится к иерархическому управлению давлением для работ MPD.

На этапе 420, если измеренное давление превышает заданное значение давления MPD, система управления может подавать на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команду открываться в необходимой степени, пока измеренное давление не станет приблизительно равным заданному значению давления MPD, или один или несколько клапанов штуцерного коллектора MPD получают команду перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера, соответствующую максимальной способности пропускать поток. Ввиду разности между измеренным значением давления и заданным значением давления MPD гидравлическая модель может определять корректировки для установки, или положения, отверстия штуцера одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD, которые могут быть необходимы для достижения заданного значения давления MPD. Однако один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD могут испытывать забивание, выход из строя или другие непредвиденные обстоятельства. Если система управления MPD подает на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команду им перейти в установку, или положение, с полностью открытым отверстием штуцера, соответствующую максимальной способности пропускать поток, а измеренное давление по-прежнему превышает заданное значение давления MPD, возникают непредвиденные обстоятельства, в которых штуцерный коллектор MPD самостоятельно больше не может безопасно управлять давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления. В традиционных бурильных системах такое происшествие потребовало бы прекращения бурения, приведения в действие PRV, отключения BOP и других радикальных мер, угрожающих конструктивной целостности ствола скважины и возможности в конечном итоге возобновить буровые работы.

Преимущественно на этапе 430, если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для PCV, система управления MPD может переводить штуцерный коллектор MPD в режим ожидания так, что он сохраняет свое последнее положение, часто в заданном командой полностью открытом состоянии, и система управления PCV может подавать на один или несколько клапанов системы PCV команду открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет меньше заданного значения для PCV, или команду на один или несколько клапанов системы PCV перейти в установку с полностью открытым PCV. Один или несколько клапанов системы PCV могут направлять поток в MGS, вибрационные сита, другую систему разделения и очистки бурового раствора или сбрасывать его за борт в приложениях в море. В некоторых вариантах осуществления заданное значение для PCV может быть определено гидравлической моделью как значение, которое меньше заданного значения для PRV на предварительно определенный запас надежности, достаточный для того, чтобы предотвращать открытие PRV до тех пор, пока штуцерный коллектор MPD и система PCV не потеряют возможность управлять давлением в стволе скважины. В других вариантах осуществления заданное значение для PCV может автоматически определяться гидравлической моделью как значение, которое меньше заданного значения для PRV с запасом, достаточным для обеспечения возможности полного открытия одного или нескольких клапанов PCV до того, как измеренное давление превысит заданное значение для PRV, частично на основе информации о типе или видах штуцерных клапанов и их возможности сбрасывать поток. Еще в других вариантах осуществления заданное значение для PCV может автоматически определяться гидравлической моделью на основании кривой давления гидроразрыва.

Преимущественно система PCV может открывать дополнительный путь потока для предотвращения дальнейшего повышения давления и одновременно также предотвращать падение давления в стволе скважины. После открытия система PCV может пытаться поддерживать заданное значение для PCV как можно более постоянным с помощью интенсивного отсечения и управления, обеспечивающих возмож-

ность быстрого отклика. Если давление стабилизируется при заданном значении для PCV, буровая бригада может иметь возможность изучить первопричину и попытаться решить проблему. Если проблема решена, буровые работы можно возобновить, если измеренное давление можно поддерживать при значении, приблизительно равном заданному значению давления MPD.

На этапе 440, если в любой момент времени измеренное давление превышает заданное значение для PRV, система управления PRV может подавать на PRV команду открыться в качестве крайнего предохранительного средства. Заданное значение для PRV можно определить путем определения наименьшего значения давления из набора максимальных рабочих давлений для оборудования бурильной системы. Заданное значение для PRV может быть задано как наименьшее определенное значение давления меньше необязательного предварительно определенного запаса надежности. Заданное значение для PRV можно определить с помощью одного или нескольких из гидравлических моделей, имитации или пользовательского ввода. Хотя PRV, когда он открыт, защищает оборудование буровой установки от событий, связанных с большим давлением, давление в стволе скважины будет падать до тех пор, пока все давление в системе не будет сброшено, а это означает, что давление не поддерживается в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления, может упасть ниже порогового давления и для обеспечения безопасности скважины могут потребоваться радикальные меры, такие как, например, отключение BOP. По существу, запуск PRV рассматривается как действие в наихудшем случае, предпринимаемое только в качестве крайней меры, когда штуцерный коллектор MPD и PCV не могут управлять давлением в стволе скважины. PRV может направлять поток в MGS, вибрационные сита или сбрасывать за борт в приложениях в море. В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения энергонезависимый машиночитаемый носитель содержит команды программного обеспечения, которые при исполнении процессором могут выполнять любой из вышеуказанных способов.

На фиг. 5A показан иллюстративный график положения штуцера MPD, обратного давления на устье, заданного значения для PCV, установки PCV, заданного значения для PRV и положения PRV, когда система PCV используется для дополнения штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3) при управлении давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления в системе (например, 300 на фиг. 3) с целью иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

На фиг. 5A и 5B показан пример того, как способ и система иерархического управления давлением для работ MPD будут справляться с иллюстративной ситуацией, показанной на фиг. 2A и 2B. Первоначально положение штуцера MPD и соответствующее обратное давление на устье являются относительно постоянными, чего и следует ожидать в ходе обычных буровых работ. В случае, когда один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3) начинают забиваться, выходить из строя или возникают другие непредвиденные обстоятельства, обратное давление на устье может начать повышаться по причинам, не связанным с намеренным закрытием одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3). Система управления MPD (например, 600a на фиг. 3) может в ответ на повышение обратного давления на устье подавать на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3) команду открыться в попытке стабилизировать давление. Однако, даже после подачи на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3) команды перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера, соответствующую максимальной возможности пропускать поток, обратное давление на устье продолжает расти. После того как обратное давление на устье превышает заданное значение для PCV, система управления PCV (например, 600b на фиг. 3) может подавать на один или несколько клапанов системы PCV (например, 320 на фиг. 3) команду открываться, чтобы помочь штуцерному коллектору MPD (например, 145 на фиг. 3) в управлении давлением в стволе скважины. В изображенном примере PCV (например, 320 на фиг. 3) останавливает дальнейшее повышение давления, и давление стабилизируется на или почти на заданном значении для PCV. В этот момент персонал буровой установки может изучить первопричину проблемы с давлением, в то время как один или несколько клапанов системы PCV (например, 320 на фиг. 3) защищают конструктивную целостность ствола скважины.

В продолжение, на фиг. 5B показан иллюстративный график порового давления, давления гидроразрыва и давления в стволе скважины, когда один или несколько клапанов системы PCV (например, 320 на фиг. 3) используются для дополнения штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3) при управлении давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления в системе (например, 300 на фиг. 3) с целью иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Как показано, безопасный градиент давления может быть установлен посредством порового давления (или сминающего давления в некоторых случаях) и давления гидроразрыва. Первоначально давление в стволе скважины близко следует поровому давлению, но является немного более высоким, однако скважина находится в пределах безопасного градиента давления. Когда один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3) начинают забиваться, выходить из

строю или возникают другие непредвиденные обстоятельства, давление в стволе скважины начинает повышаться. Как показано на фиг. 5А, система управления MPD (например, 600а на фиг. 3) пытается управлять давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления путем открытия одного или нескольких штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD (например, 145 на фиг. 3). Однако штуцерный коллектор MPD (например, 145 на фиг. 3) самостоятельно не может поддерживать давление в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления. Вместо приведения в действие PRV (например, 175 на фиг. 3) система управления PCV (например, 600b на фиг. 3) подает на один или несколько клапанов системы PCV (например, 320 на фиг. 3) команду открываться в попытке помочь штуцерному коллектору MPD (например, 145 на фиг. 3) в управлении давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления. Когда один или несколько клапанов системы PCV (например, 320 на фиг. 3) открываются, обратное давление на устье (см. фиг. 5А) стабилизируется на или почти на заданном значении для PCV и давление в стволе скважины безопасно стабилизируется на некотором значении давления в пределах безопасного градиента давления. Преимущественно, в отличие от ситуации, изображенной на фиг. 2А и 2В, давление в стволе скважины никогда не превышает давление гидроразрыва, никогда не падает ниже порового давления и конструктивная целостность ствола скважины сохраняется, при этом без необходимости приведения в действие PRV (например, 175 на фиг. 3). Преимущественно персонал буровой установки может изучить первопричину проблемы с давлением, в то время как один или несколько клапанов системы PCV (например, 320 на фиг. 3) защищают конструктивную целостность ствола скважины. После выяснения причин можно возобновить поток в штуцерный коллектор MPD (например, 145 на фиг. 3). Пока управление давлением происходит в пределах безопасного градиента давления, буровые работы могут продолжаться.

На фиг. 6 показана компьютерная или управляющая система 600 в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Специалисту в данной области техники будет понятно, что, как обсуждено выше, система иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением (например, 300 на фиг. 3) может содержать множество систем управления (например, систему 600а управления MPD, систему 600b управления PCV или систему 600с управления PRV), которые функционируют независимо друг от друга в такой степени, что выход из строя одного аспекта иерархического управления давлением не вызывает выхода из строя другого аспекта иерархического управления давлением, в качестве меры предосторожности для защиты буровой системы, персонала на буровой установке и окружающей среды. Несмотря на вышесказанное, в некоторых вариантах осуществления такие системы управления, или функции или признаки, которые они реализуют, могут быть интегрированными или распределенными в зависимости от приложения или конструктивного исполнения в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Специалисту в данной области техники будет также понятно, что система 600а управления MPD, система 600b управления PCV и система 600с управления PRV могут отличаться одна от другой и от приложения к приложению в зависимости от приложения и конструктивного исполнения в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения.

Иллюстративная компьютерная или управляющая система 600 может содержать одно или несколько из центрального процессорного устройства ("CPU") 605, главного моста 610, моста 615 ввода/вывода ("IO"), графического процессорного устройства ("GPU") 625, специализированной интегральной микросхемы ("ASIC") (не показана) и программируемого логического контроллера ("PLC") (не показан), расположенных на одной или нескольких печатных схемных платах (не показаны), которые выполняют вычислительные или логические операции. Каждый CPU 605, GPU 625, ASIC (не показана) и PLC (не показан) может представлять собой одноядерное устройство или многоядерное устройство. Многоядерные устройства, как правило, содержат множество ядер (не показаны), расположенных на одной и той же физической матрице (не показана), или множество ядер (не показаны), расположенных на составной матрице (не показаны), которые совместно размещены в одном и том же механическом блоке (не показан).

CPU 605 может представлять собой вычислительное устройство общего назначения, обычно исполняющее команды программного обеспечения. CPU 605 может содержать один или несколько из интерфейса 608 к главному мосту 610, интерфейса 618 к системному запоминающему устройству 620 и интерфейса 623 к одному или нескольким устройствам IO, таким как, например, один или несколько GPU 625. GPU 625 может служить в качестве специализированного вычислительного устройства, которое обычно выполняет графические функции, связанные с работой с кадровым буфером. Однако специалисту в данной области техники будет понятно, что GPU 625 можно использовать для выполнения не относящихся к графике функций, характеризующихся большим объемом вычислений. В некоторых вариантах осуществления GPU 625 может иметь интерфейс 623 непосредственно с CPU 605 (и опосредованный интерфейс 618 с системным запоминающим устройством 620 через CPU 605). В других вариантах осуществления GPU 625 может иметь интерфейс 621 непосредственно с главным мостом 610 (и иметь опосредованный интерфейс 616 или 618 с системным запоминающим устройством 620 через главный мост 610 или CPU 605 в зависимости от приложения или конструктивного исполнения). Еще в других вариантах осуществления GPU 625 может иметь интерфейс 633 непосредственно с мостом 615 IO (и иметь опосредованный интерфейс 616 или 618 с системным запоминающим устройством 620 через главный мост 610 или CPU

605 в зависимости от приложения или конструктивного исполнения). Специалисту в данной области техники будет понятно, что GPU 625 также содержит внутрислатное запоминающее устройство. Функциональные возможности GPU 625 могут быть интегрированы, полностью или частично, с CPU 605 и/или главным мостом 610.

Главный мост 610 может представлять собой интерфейсное устройство, которое реализует интерфейс между одним или несколькими вычислительными устройствами и мостом 615 IO, а также, в некоторых вариантах осуществления, системным запоминающим устройством 620. Главный мост 610 может содержать интерфейс 608 к CPU 605, интерфейс 613 к мосту 615 IO, для вариантов осуществления, в которых CPU 605 не содержит интерфейс 618 к системному запоминающему устройству 620, интерфейс 616 к системному запоминающему устройству 620, а для вариантов осуществления, в которых CPU 605 не содержит интегрированный GPU 625 или интерфейс 623 к GPU 625, - интерфейс 621 к GPU 625. Функциональные возможности главного моста 610 могут быть интегрированы, полностью или частично, с CPU 605 и/или GPU 625.

Мост 615 IO может представлять собой интерфейсное устройство, которое реализует интерфейс между одним или несколькими вычислительными устройствами и различными устройствами IO (например, 640, 645), а также расширительными, или дополнительными, устройствами IO (отдельно не изображены). Мост 615 IO может содержать интерфейс 613 к главному мосту 610, один или несколько интерфейсов 633 к одному или нескольким расширительным устройствам 635 IO, интерфейс 638 к клавиатуре 640, интерфейс 643 к мыши 645, интерфейс 648 к одному или нескольким локальным устройствам 650 хранения данных и интерфейс 653 к одному или нескольким устройствам 655 сетевого интерфейса. Функциональные возможности моста 615 IO могут быть интегрированы, полностью или частично, с CPU 605 и/или главным мостом 610. Каждое локальное устройство 650 хранения данных, если имеется, может представлять собой твердотельное запоминающее устройство, массив твердотельных запоминающих устройств, накопитель на жестком диске, массив накопителей на жестком диске или любой другой энергонезависимый машиночитаемый носитель. Устройство 655 сетевого интерфейса может обеспечивать один или несколько сетевых интерфейсов, в том числе любой сетевой протокол, подходящий для облегчения сетевой передачи данных.

Система 600 управления может содержать одно или несколько устройств 660 хранения данных с подключением по сети в дополнение к одному или нескольким локальным устройствам 650 хранения данных или вместо них. Каждое устройство 660 хранения данных с подключением по сети, если оно присутствует, может представлять собой твердотельное запоминающее устройство, массив твердотельных запоминающих устройств, накопитель на жестком диске, массив накопителей на жестком диске или любой другой энергонезависимый машиночитаемый носитель. Устройство 660 хранения данных с подключением по сети может быть или не быть совместно расположено с системой 600 управления и может быть доступным для системы 600 управления через один или несколько сетевых интерфейсов, предоставленных одним или несколькими устройствами 655 сетевого интерфейса.

Специалисту в данной области техники будет понятно, что система 600 управления может представлять собой традиционную вычислительную систему или специализированную вычислительную систему (не показана). В некоторых вариантах осуществления специализированная вычислительная система (не показана) может содержать одну или несколько ASIC (не показаны) или программируемых логических контроллеров ("PLC") (не показаны), выполняющих одну или несколько специальных функций более эффективным образом. Одна или несколько ASIC (не показаны) могут иметь интерфейс непосредственно к CPU 605, главному мосту 610 или GPU 625 или иметь интерфейс через мост 615 IO. Альтернативно в других вариантах осуществления специализированную вычислительную систему (не показана) можно сократить только до тех компонентов, которые необходимы для выполнения требуемых функций или функций, в попытке сократить одно или несколько из количества интегральных схем, площади, занимаемой печатными схемными платами, величины отвода тепла и энергопотребления. Одну или несколько ASIC (не показаны) или PLC (не показаны) можно использовать вместо одного или нескольких из CPU 605, главного моста 610, моста 615 IO или GPU 625. В таких системах одна или несколько ASIC (не показаны) или PLC (не показаны) могут обладать достаточными функциональными возможностями для выполнения определенных сетевых, вычислительных или логических функций при минимальной занимаемой площади и значительно меньшем количестве составляющих устройств.

По сути, специалисту в данной области техники будет понятно, что CPU 605, главный мост 610, мост 615 IO, GPU 625, ASIC (не показана) или PLC (не показан), или подмножество, надмножество или комбинация их функций или признаков могут быть интегрированы, распределены или исключены, полностью или частично, на основе приложения, конструктивного исполнения или форм-фактора в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Таким образом, описание системы 600 управления является лишь иллюстративным и не предназначено для ограничения типа, вида или конфигурации составляющих устройств, которые составляют систему 600 управления, подходящую для выполнения вычислительных операций в соответствии с одним или несколькими вариантами осуществления настоящего изобретения. Несмотря на вышесказанное, специалисту в данной области техники будет понятно, что система 600 управления может быть промышленной, автономной, вы-

полненной с возможностью установки на ноутбуке, настольном компьютере, сервере, сверхкомпактном сервере, серверном шкафу и может варьироваться в зависимости от приложения или конструктивного исполнения.

Преимущества одного или нескольких вариантов осуществления настоящего изобретения могут включать одно или несколько из следующего.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения иерархическое управление давлением для работ MPD обеспечивает режим многоуровневого иерархического управления давлением, который дополняет способность штуцерного коллектора MPD управлять давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления способом, защищающим конструктивную целостность ствола скважины при возникновении непредвиденных обстоятельств, связанных с давлением.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения иерархическое управление давлением для работ MPD управляет давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления даже при возникновении серьезных непредвиденных обстоятельств, связанных с давлением, давая персоналу на буровой установке критически важное время, необходимое для решения проблемы, при этом не ставя под угрозу конструктивную целостность ствола скважины.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения иерархическое управление давлением для работ MPD управляет давлением в стволе скважины в пределах безопасного градиента давления даже при возникновении серьезных непредвиденных обстоятельств, связанных с давлением, без необходимости приводить в действие PRV, отключать BOP или принимать другие радикальные меры.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения иерархическое управление давлением для работ MPD увеличивает продолжительность эксплуатации и эффективность буровой системы благодаря обеспечению возможности продолжения работ даже при возникновении серьезных непредвиденных обстоятельств, связанных с давлением.

В одном варианте осуществления настоящего изобретения иерархическое управление давлением для работ MPD повышает безопасность работ.

В одном или нескольких вариантах осуществления настоящего изобретения иерархическое управление давлением для работ MPD защищает окружающую среду от загрязнения, обычно связанного со сбросом возвратного бурового раствора за борт при приведении в действие PRV.

Хотя настоящее изобретение было описано относительно вышеуказанных вариантов осуществления, специалисты в данной области техники, обладая преимуществами этого описания, поймут, что могут быть разработаны другие варианты осуществления, находящиеся в пределах объема настоящего изобретения, как оно описано в этом документе. Соответственно, объем настоящего изобретения следует ограничивать только прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением (MPD), включающий:

прием измеренного значения давления;

если измеренное давление превышает заданное значение давления MPD, подачу на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет приблизительно равным заданному значению давления MPD или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым отверстием штуцера;

если в какой-то момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана регулирования давления, перевод штуцерного коллектора MPD в режим ожидания и подачу на один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления команды открываться до тех пор, пока измеренное давление не станет меньше заданного значения для клапана регулирования давления или не будет получена команда перейти в установку с полностью открытым клапаном регулирования давления; и

если в какой-то момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана сброса давления, подачу на клапан сброса давления команды открываться.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает прием заданного значения давления MPD из гидравлической модели.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает подачу на штуцерный коллектор MPD команды на заданное значение давления MPD.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает:

определение наименьшего значения давления из набора максимальных рабочих давлений для оборудования буровой системы;

установку заданного значения для клапана сброса давления в наименьшее значение давления меньше предварительно определенного запаса надежности.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает определение заданного значения

для клапана регулирования давления, которое ниже заданного значения для клапана сброса давления на предварительно определенный запас надежности, достаточный для предотвращения открытия клапана сброса давления.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает автоматическое определение с помощью гидравлической модели заданного значения для клапана регулирования давления на основании кривой давления гидроразрыва.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает автоматическое определение с помощью гидравлической модели заданного значения для клапана регулирования давления, которое ниже заданного значения для клапана сброса давления на запас, достаточный для обеспечения возможности полного открытия клапана регулирования давления до того, как измеренное давление превысит заданное значение для клапана сброса давления.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает запуск буровых работ, когда измеренное давление поддерживается на значении, приблизительно равном заданному значению давления MPD.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает после того, как один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления были открыты и измеренное давление понижено до значения ниже заданного значения для клапана регулирования давления, возобновление буровых работ, когда измеренное давление поддерживается на значении, приблизительно равном заданному значению давления MPD.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает, если измеренное давление падает ниже заданного значения давления MPD, выдачу на штуцерный коллектор MPD команды закрываться до тех пор, пока измеренное давление не станет приблизительно равным заданному значению давления MPD или не будет получена команда перейти в установку с полностью закрытым штуцерным коллектором MPD.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что измеренное значение давления принимают с датчика давления.

12. Способ по п.1, отличающийся тем, что один или несколько клапанов системы клапанов регулирования давления направляют поток в газосепаратор для бурового раствора.

13. Способ по п.1, отличающийся тем, что клапан сброса давления сбрасывает поток за борт.

14. Способ по п.1, отличающийся тем, что клапан сброса давления направляет поток в газосепаратор для бурового раствора.

15. Способ по п.1, отличающийся тем, что клапан сброса давления направляет поток в вибрационное сито.

16. Способ по п.1, отличающийся тем, что, если измеренное давление падает за пределы предварительно определенных пределов давления MPD, буровые работы останавливают и поддерживают скорость введения бурового раствора.

17. Способ по п.1, отличающийся тем, что, если измеренное давление падает за пределы предварительно определенных пределов давления клапанов регулирования давления, безопасность скважины обеспечивают на устройстве предотвращения выброса.

18. Энергонезависимый машиночитаемый носитель, содержащий команды программного обеспечения, которые при исполнении процессором позволяют выполнять последовательность операций в соответствии со способом по п.1.

19. Система иерархического управления давлением для буровых работ под управляемым давлением, содержащая:

систему затрубной герметизации, которая обеспечивает затрубное уплотнение, окружающее бурильную колонну;

датчик давления, измеряющий давление;

штуцерный коллектор MPD, содержащий множество штуцерных клапанов, при этом по меньшей мере один штуцерный клапан находится в сообщении по текучей среде с выкидной линией, отводящей возвратный буровой раствор из или из-под затрубного уплотнения для приложения обратного давления на устье;

систему управления MPD, которая подает на один или несколько штуцерных клапанов штуцерного коллектора MPD команду открываться, когда измеренное давление превышает заданное значение давления MPD;

один или несколько клапанов регулирования давления, где по меньшей мере один клапан регулирования давления находится в сообщении по текучей среде с выкидной линией, сбрасывающей возвратный буровой раствор в газосепаратор для бурового раствора, вибрационное сито или другую систему разделения и очистки бурового раствора;

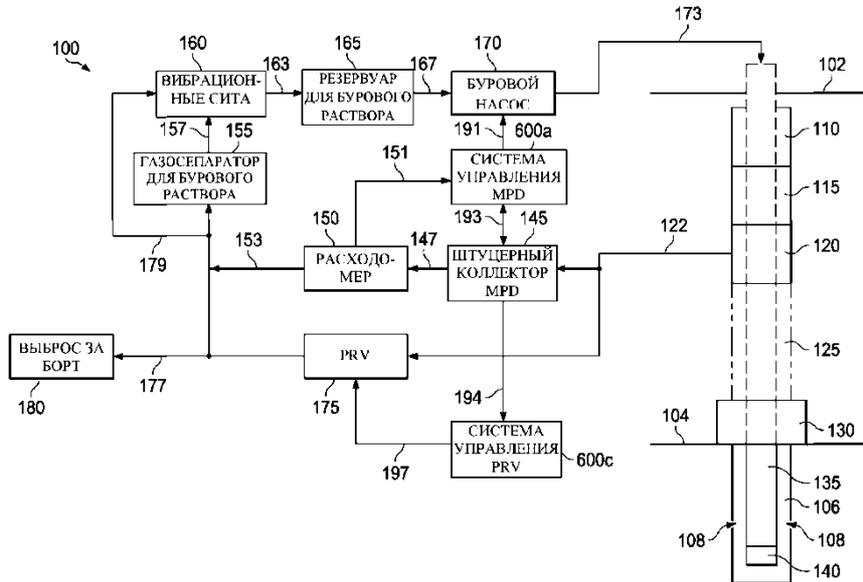
систему управления клапанами регулирования давления, которая подает на один или несколько клапанов регулирования давления команду открываться, если в какой-то момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана регулирования давления;

клапан сброса давления, который сбрасывает возвратный буровой раствор в газосепаратор для бу-

рового раствора, вибрационное сито или за борт; и

систему управления клапаном сброса давления, которая подает на клапан сброса давления команду открываться, если в какой-то момент времени измеренное давление превышает заданное значение для клапана сброса давления.

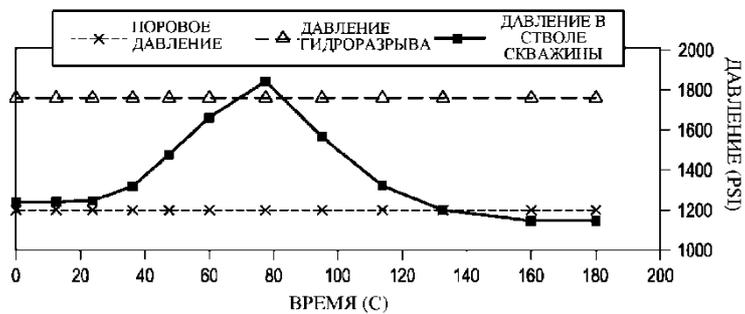
20. Система по п.19, отличающаяся тем, что система управления MPD, система управления клапанами регулирования давления и система управления клапаном сброса давления являются независимыми.



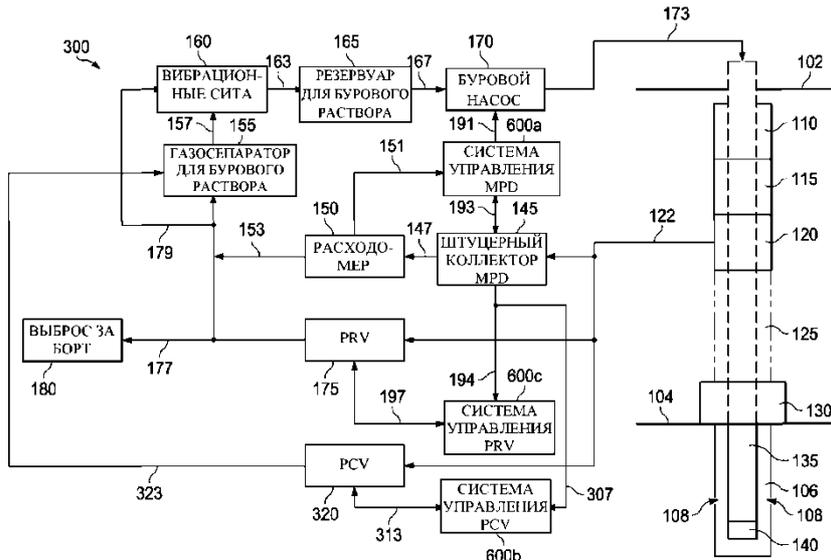
Фиг. 1 (Известный уровень техники)



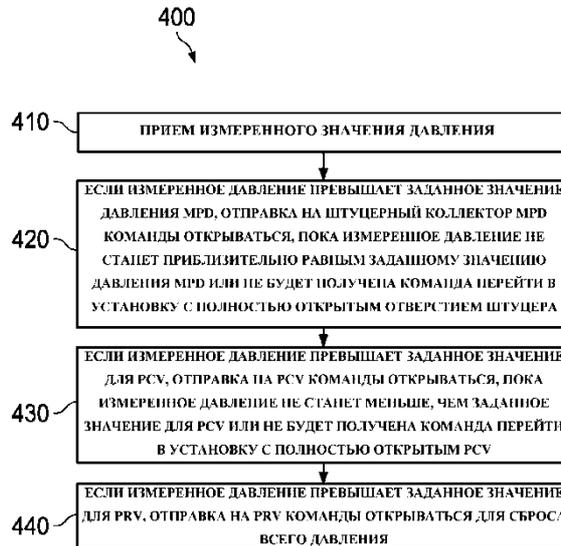
Фиг. 2А



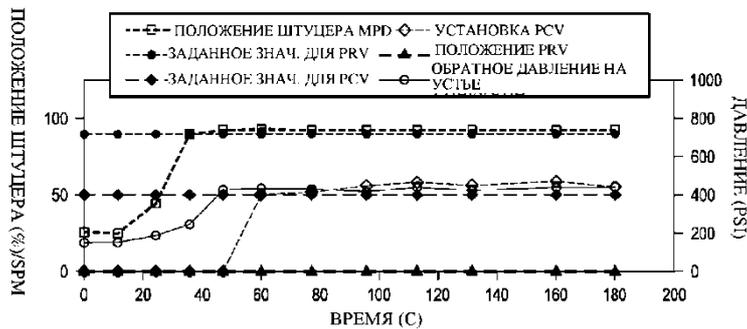
Фиг. 2В



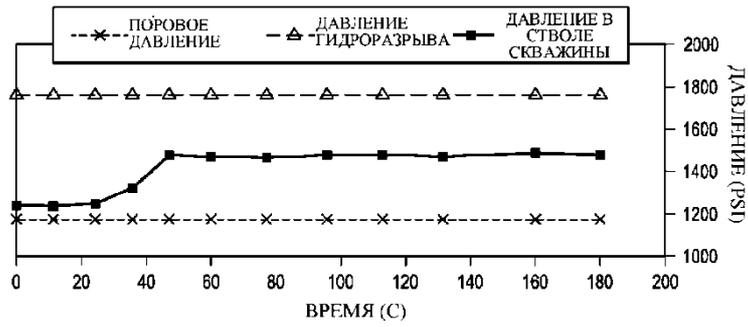
Фиг. 3



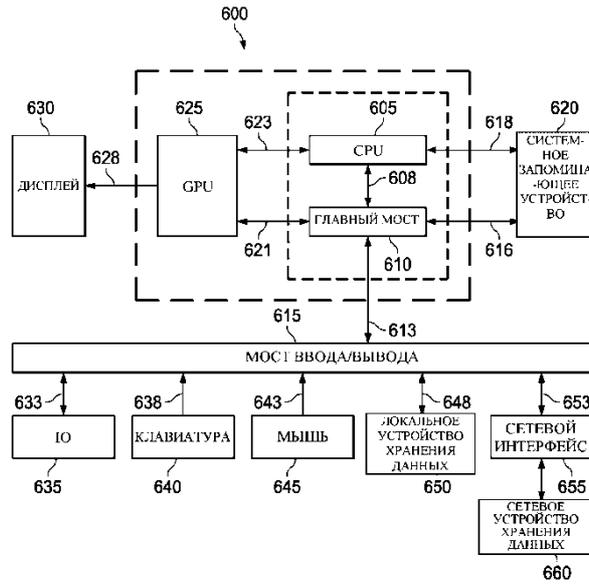
Фиг. 4



Фиг. 5А



Фиг. 5В



Фиг. 6