

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11)

015325

(13)

B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации
и выдачи патента: **2011.06.30**

(51) Int. Cl. *E21B 47/00* (2006.01)

(21) Номер заявки: **200870156**

(22) Дата подачи: **2007.01.04**

**(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ СОБЫТИЯ УПРАВЛЕНИЯ
СКВАЖИНОЙ**

(31) **60/756,311**

(56) US-A1-20030196804

(32) **2006.01.05**

(33) **US**

(43) **2008.12.30**

(86) **PCT/US2007/000088**

(87) **WO 2007/081711 2007.07.19**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ЭТ БЭЛЭНС АМЕРИКАС ЭлЭлСи (US)

(72) Изобретатель:
Рейтсма Дональд Г. (US)

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

(57) Способ определения существования события управления скважиной посредством контроля пластового давления при бурении ствола скважины в подземном пласте содержит следующие стадии: избирательная закачка бурового раствора с первым расходом через бурильную колонну, проходящую в стволе скважины, и буровое долото на конце бурильной колонны в кольцевое пространство между бурильной колонной и стволом скважины; выпуск бурового раствора со вторым расходом из кольцевого пространства через отверстие штуцера вблизи поверхности земли; мониторинг отверстия штуцера; определение существования события управления скважиной при изменении отверстия штуцера и, по существу, постоянном первом расходе бурового раствора. Событие управления скважиной может определяться как поступление пластовой текучей среды в ствол скважины при изменении отверстия штуцера вследствие увеличения или уменьшения фактического забойного давления и при увеличении второго расхода или как утечка бурового раствора из ствола скважины при уменьшении отверстия штуцера вследствие уменьшения фактического забойного давления и при уменьшении второго расхода.

B1

015325

015325

B1

Область техники изобретения

Настоящее изобретение относится в целом к бурению стволов скважин с использованием устройств управления динамическим давлением в кольцевом пространстве. Более конкретно, изобретение относится к способу обнаружения событий управления текучей средой в стволе скважины, таких как потеря буровой текучей среды или поступление пластовой текучей среды в ствол скважины, когда используются такие устройства.

Предшествующий уровень техники

Разведка и добыча углеводородов из подземных геологических пластов, в конечном счете, требует способа достижения и извлечения углеводородов из пластов. Достижение и извлечение углеводородов обычно выполняется посредством бурения ствола скважины с поверхности земли к геологическому пласту, содержащему углеводород, с использованием буровой установки. В своей простейшей форме используется наземная буровая установка для поддержания бурового долота, установленного на конце бурильной колонны. Бурильная колонна обычно формируется из секций бурильной трубы или подобных трубных секций, соединенных в непрерывную цепь. Бурильная колонна расположена на буровой установке, на поверхности земли. Буровой раствор, составленный из основной текучей среды, обычно воды или нефти, и различных добавок, закачивается вниз по центральному каналу в бурильной колонне. Буровой раствор выходит из бурильной колонны через отверстия в корпусе вращающегося бурового долота. Затем буровой раствор осуществляет обратную циркуляцию вверх по кольцевому пространству, сформированному между стенкой ствола скважины и бурильной колонной, унося буровой шлам от бурового долота, таким образом очищая ствол скважины. Рецепт борового раствора составляется так, чтобы гидростатическое давление, приложенное буровым раствором, было выше, чем пластовое давление текучей среды окружающего пласта, тем самым предотвращая вхождение пластовой текучей среды в ствол скважины.

Результатом того факта, что гидростатическое давление бурового раствора превосходит давление пластовой текучей среды, является прохождение бурового раствора в поры пласта или "проникновение" в пласт. Для уменьшения потерь бурового раствора при таком проникновении некоторые из добавок в буровом растворе прилипают к стенке ствола скважины в проницаемых пластах, тем самым формируя сравнительно непроницаемую "фильтрационную корку" на стенках пласта. Эта корка, по существу, останавливает продолжающееся проникновение бурового раствора, что помогает предохранить и защитить пласт до установки защитной трубы или обсадной колонны в стволе скважины, что является частью строительства скважины и будет рассматриваться дополнительно ниже. Составление рецептуры бурового раствора для действия гидростатическим давлением, превышающим пластовое давление, обычно именуется "бурением на репрессии".

Буровой раствор, в конечном итоге, возвращается на поверхность, где передается в систему очистки бурового раствора, в общем, включающую в себя такие составные части, как вибросито для удаления частиц твердой фазы из бурового раствора, дегазатор для удаления растворенных газов из бурового раствора, емкость хранения и ручное или автоматическое средство для добавления различных химреагентов или добавок в буровой раствор, обработанный вышеупомянутыми составными частями. Расход очищенного обработанного бурового раствора обычно измеряется для определения его потерь в пласт в результате описанного выше проникновения бурового раствора. Возвращенные твердая фаза и буровой раствор (перед обработкой) могут изучаться для определения различных характеристик геологического пласта, используемых при проведении буровых работ. После обработки бурового раствора в мернике он затем выкачивается из емкости для хранения и вновь закачивается в верхнюю часть бурильной колонны.

Технология бурения на репрессии, описанная выше, является наиболее обычным способом управления давлением пластовой текучей среды. Бурение на репрессии основывается, в первую очередь, на гидростатическом давлении, создаваемом колонной бурового раствора в кольцевом пространстве для сдерживания входа пластовой текучей среды в ствол скважины. Посредством превышения порового давления пласта давление бурового раствора в кольцевом пространстве может предотвращать мгновенное поступление пластовой текучей среды в ствол скважины, такое как газопроявление. Когда происходит такое газопроявление, плотность бурового раствора может быть повышена для предотвращения дополнительного поступления пластовой текучей среды в ствол скважины. Вместе с тем, добавление добавок, увеличивающих плотность ("утяжелителей"), в буровой раствор может быть недостаточно быстрым для предотвращения поступления пластовой текучей среды и может вызвать превышение гидростатического давления в кольцевом пространстве над давлением разрыва пласта и создание в результате трещин и разломов в пласте. Результатом создания трещин и разломов в пласте обычно является потеря бурового раствора в пласт, возможно вредно воздействующая на проницаемость пристволенной зоны пласта, несущего углеводороды. В случае газопроявлений оператор может принять решение закрыть устройства, изолирующие кольцевое пространство, называемые противовыбросовые превенторы (ПП), расположенные ниже бурового пола для управления перемещением газа вверх по кольцевому пространству. При управлении поступлением при газопроявлениях, после закрытия ПП газ сбрасывается из кольцевого пространства и прежде, чем возобновить буровые работы, плотность буровой текучей среды увеличивают.

Использование бурения на репрессии также влияет на глубины, на которых должны устанавливаться

ся обсадные колонны во время буровых работ. Процесс бурения начинается с установки в землю кондукторной трубы. Блок превенторов обычно прикрепляется сверху кондукторной трубы, и буровая установка устанавливается в нужное положение над блоком превенторов. Бурильная колонна с буровым долотом может выборочно вращаться посредством вращения бурильной колонны в целом с использованием ведущей бурильной трубы или верхнего привода, или буровое долото может вращаться независимо от бурильной колонны с использованием забойного двигателя с приводом буровым раствором, установленным в бурильной колонне над буровым долотом. Как замечено выше, оператор может бурить сквозь геологические пласты ("с открытым стволом") до того, как давление бурового раствора на забое приблизится к давлению разрыва пласта. В это время обычной практикой является спуск и подвешивание в стволе обсадной колонны от поверхности до забоя. На обсадной колонне устанавливается цементируемый башмак, и специальный цемент нагнетается через бурильную колонну и цементируемый башмак для прохода вверх по кольцевому пространству и вытеснения при этом текучей среды из кольцевого пространства. Цемент между стенкой пласта и внешней стороной обсадной колонны эффективно поддерживает и изолирует пласт от кольцевого пространства ствола скважины. Дополнительное бурение с открытым стволом может осуществляться под обсадной колонной, при этом буровой раствор вновь обеспечивает регулирование давления и защиту пласта в пробуренном открытом стволе под низом обсадной колонны. Обсадная колонна защищает верхние пласты от разрыва, вызываемого гидростатическим давлением бурового раствора, когда плотность бурового раствора должна увеличиваться для контроля пластовых давлений пластовой текучей среды в более глубоких пластах.

На фиг. 1 показан пример графика использования плотности бурового раствора для контроля пластовых давлений в процессе бурения в промежуточной секции ствола скважины. Верхняя горизонтальная ось представляет гидростатическое давление, создаваемое буровым раствором, а вертикальная ось представляет вертикальную глубину ствола скважины. График пластового (порового) давления текучей среды представлен линией 10. Как отмечалось выше, при бурении на репрессии плотность бурового раствора выбирается такой, чтобы его давление превышало пластовое поровое давление на некоторую величину по причинам контроля давления и стабильности ствола скважины. Линия 12 представляет давление разрыва пласта. Результатом превышения давления бурового раствора в стволе скважины над пластовым давлением может стать избыточное давление на стенки пласта до такой степени, что в стенках ствола скважины раскроются малые трещины и разломы. Дополнительно давление бурового раствора преодолевает пластовое давление и вызывает значительное проникновение бурового раствора в пласт. Результатом такого проникновения, кроме других проблем, может быть уменьшенная проницаемость, вредно влияющая на добычу из пласта. Давление, создаваемое буровым раствором и добавками, представлено линией 14 и в общем является линейной функцией общей вертикальной глубины. Гидростатическое давление, которое могло быть создано буровым раствором в отсутствие каких-либо добавок, то есть пресной водой, представлено линией 16.

В системе "открытой циркуляции" бурового раствора, описанной выше, где на раствор, возвращающийся из ствола скважины, воздействует только атмосферное давление, давление в кольцевом пространстве ствола скважины является в основном линейной функцией плотности бурового раствора, зависящей от глубины в стволе скважины. В строгом смысле это правильно только для статического положения бурового раствора. В реальности эффективная плотность бурового раствора может изменяться во время буровых работ вследствие трения в перемещающемся буровом растворе, вместе с тем результирующее давление в кольцевом пространстве, в общем, линейно зависит от вертикальной глубины.

В примере, показанном на фиг. 1, гидростатическое давление 16 бурового раствора и поровое давление 10, в общем, повторяют друг друга в промежуточной секции ствола скважины до глубины приблизительно 7000 футов. После этого поровое давление 10 (давление в поровом пространстве текучей среды геологического пласта) увеличивается с большей скоростью, чем в эквивалентном водяном столбе, в интервале от глубины 7000 футов до приблизительно 9300 футов. Такие аномальные пластовые давления могут иметь место там, где ствол скважины проходит интервал пласта, имеющий характеристики, значительно отличающиеся от характеристик предыдущего пласта.

Гидростатическое давление 14, поддерживаемое буровым раствором, находится безопасно над поровым давлением до глубины около 7000 футов. В интервале 7000-9300 футов перепад между поровым давлением 10 и гидростатическим давлением 14 значительно уменьшается, снижая порог безопасности во время буровых работ. Газопроявление в этом интервале может быть результатом превышения порового давления над гидростатическим давлением с притоком текучей среды и газа, возможно требующим активирования противовыбросовых превенторов. Как отмечено выше, хотя дополнительный утяжеляющий материал может добавляться в буровой раствор для увеличения его гидростатического давления, это может быть неэффективно в отношении газопроявления, вследствие времени, требуемого для увеличения плотности текучей среды на глубине газопроявления в стволе скважины. Это время связано с тем, что буровой раствор должен переместиться через тысячи футов бурильной трубы только для достижения глубины долота, не говоря уже о начале заполнения кольцевого пространства для увеличения гидростатического давления в кольцевом пространстве. Система открытой циркуляции бурового раствора имеет несколько других проблем. Должно быть ясно, что необходимо останавливать буровые насосы, чтобы

наращивать последовательные секции бурильной трубы на бурильной колонне для обеспечения последующего бурения более глубоких геологических пластов. Когда буровые насосы останавливаются, давление в кольцевом пространстве должно претерпеть отрицательное пиковое отклонение, которое исчезает со стабилизацией давления в кольцевом пространстве. Аналогично, когда насосы вновь включаются в работу после выполнения наращивания, давление в кольцевом пространстве должно претерпеть положительное пиковое отклонение. Такие пиковые отклонения происходят каждый раз, когда добавляется трубное звено в колонну или убирается из колонны. Должно быть ясно, что эти пиковые отклонения давления могут обуславливать усталостные изменения в фильтрационной корке и стенке ствола скважины, и результатом этого может быть поступление пластовой текучей среды в ствол скважины или разрыв пласта, также ведущие к событию управления скважины.

Для преодоления вышеописанных ограничений бурения с использованием системы открытой циркуляции бурового раствора были разработаны несколько систем бурения, называемых системами "управления динамическим давлением в кольцевом пространстве" (УДКП). Одна такая система раскрывается, например, в патенте США №6904981, выданном ван Рит и переуступленном Шелл Ойл Компани. Данная известная система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве включает в себя систему противодавления бурового раствора, в которой его выход из ствола скважины избирательно регулируется для поддержания выбранного давления на забое ствола скважины и буровой раствор закачивается вниз по системе возвращения для поддержания давления в кольцевом пространстве в то время, когда буровые насосы выключены. Дополнительно создается система мониторинга давления для мониторинга регистрируемых давлений в стволе скважины, прогнозируемых в модели давлений в стволе скважины, для предстоящего бурения и для контроля системы противодавления бурового раствора.

Как можно заключить из вышеприведенного рассмотрения событий поступления и потери бурового раствора, важно, чтобы обнаружение таких событий и корректирующие действия при этом происходили как можно быстрее после начала любого такого события и были наиболее успешными. В особенности это относится к газопроявлениям, поскольку, когда газопоявление проходит вверх по кольцевому пространству, гидростатическое давление вследствие проникшего газа уменьшается, вследствие чего газ увеличивается в объеме, следовательно, вытесняя последовательно большие объемы бурового раствора в кольцевом пространстве. В результате вытеснения бурового раствора происходит уменьшение гидростатического давления в кольцевом пространстве, дополнительно усугубляя расширение газа в опасном цикле. Поэтому большая работа должна посвящаться раннему точному обнаружению событий управления скважиной. Описано много технологий уровня техники для обнаружения событий управления скважиной, например в патенте США № 6820702, выданном Нидермайер и прочим. В общем, известные технологии для обнаружения событий управления скважиной, используемые для системы открытой циркуляции бурового раствора, используют перепады между объемным расходом бурового раствора, проходящего в ствол скважины и выходящего из него для заключения о присутствии такого события.

Действительно необходим способ для обнаружения существования события управления скважиной для использования с системой закрытой циркуляции бурового раствора, такой как системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве.

Также должно быть ясно, что один вариант осуществления, по меньшей мере, системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, показанный в патенте США № 6904981 требует насоса противодавления в те промежутки времени, когда буровые насосы буровой установки выключены, чтобы поддерживать давление в кольцевом пространстве. Желательно создать систему управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, которая не зависит от использования отдельного насоса противодавления для поддержания давления в кольцевом пространстве при всех условиях работы.

Сущность изобретения

Согласно изобретению создан способ определения существования события управления скважиной посредством контроля пластового давления при бурении ствола скважины в подземном пласте, содержащий следующие стадии:

избирательная закачка бурового раствора с первым расходом через бурильную колонну, проходящую в стволе скважины, и буровое долото на конце бурильной колонны в кольцевое пространство между бурильной колонной и стволом скважины;

выпуск бурового раствора со вторым расходом из кольцевого пространства через отверстие штуцера вблизи поверхности земли;

мониторинг отверстия штуцера;

определение существования события управления скважиной при изменении отверстия штуцера и, по существу, постоянном первом расходе бурового раствора.

Событие управления скважиной может определяться как поступление пластовой текучей среды в ствол скважины при изменении отверстия штуцера вследствие увеличения или уменьшения фактического забойного давления и при увеличении второго расхода.

Событие управления скважиной может определяться как утечка бурового раствора из ствола скважины при уменьшении отверстия штуцера вследствие уменьшения фактического забойного давления и при уменьшении второго расхода.

Другие аспекты и преимущества изобретения должны быть ясны из следующего описания и прилагаемой формулы изобретения.

Краткое описание чертежей

На фиг. 1 показан график, отображающий давления в кольцевом пространстве, поровое давление и давление разрыва пласта;
на фиг. 2 - 2В - схемы вариантов осуществления устройства, которое может использоваться в способе согласно изобретению;
на фиг. 3 - блок-схема системы мониторинга и регулирования давления, используемая в варианте осуществления, показанном на фиг. 2;
на фиг. 4 - функциональная схема работы системы мониторинга и регулирования давления;
на фиг. 5 - график соотношения прогнозируемых давлений в кольцевом пространстве и измеренных давлений в кольцевом пространстве;
на фиг. 6 - график соотношения прогнозируемых давлений в кольцевом пространстве и измеренных давлений в кольцевом пространстве после видоизменения некоторых параметров модели;
на фиг. 7 - график использования системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве для управления при изменении порового давления пласта в условиях репрессии;
на фиг. 8 - график работы системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, примененной в сбалансированном бурении;
на фиг. 9А и 9В - графики использования системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве для противодействия падениям и пикам давления, которые сопровождают режимы выключения/включения насосов;
на фиг. 10 - другой вариант осуществления системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, в котором используются только буровые насосы буровой установки для создания выбранного давления бурового раствора в бурильной колонне и в кольцевом пространстве.

Подробное описание изобретения

1. Буровая циркуляционная система и первый вариант осуществления системы регулирования противодавления

На фиг. 2 - 2В показаны схемы вариантов наземной системы бурения с системой управления динамическим давлением в кольцевом пространстве согласно одному варианту осуществления, которая может использоваться в настоящем изобретении. Должно быть ясно, что морские буровые системы точно также могут иметь систему управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, использующую способы согласно изобретению. Буровая система 100 включает в себя буровую установку 102, используемую для проведения буровых работ. На чертежах для ясности иллюстраций отдельно не показаны многие составные части, используемые на буровой установке 102, такие как ведущая бурильная труба, механические трубные ключи, клинья, буровая лебедка и другое оборудование. Буровая установка 102 используется для опоры бурильной колонны 112 для бурения ствола скважины в геологических пластах, таких как показанный пласт 104. Ствол 106 скважины уже частично пробурен, защитная труба или обсадная колонна 108 установлена и зацементирована по месту 109 в части пробуренного участка ствола 106 скважины. В настоящем варианте осуществления изобретения механизм отсечки обсадной колонны или забойный клапан 110 установлен в обсадной колонне 108 для возможного отсечения кольцевого пространства и эффективного действия в качестве клапана для отсечения секции открытого ствола в стволе 106 скважины (участка ствола 106 скважины под низом обсадной колонны 108), когда буровое долото 120 размещается над клапаном 110.

Бурильная колонна 112 несет компоновку 113 низа бурильной колонны (КНБК), которая может включать в себя буровое долото 120, забойный двигатель 118 и блок 119 датчиков измерения и каротажа во время бурения, который предпочтительно включает в себя датчик 116 давления для определения давления в стволе 106 скважины. Бурильная колонна 112 включает в себя обратный клапан для предотвращения обратного притока текучей среды из кольцевого пространства внутрь бурильной колонны 112. Блок 119 датчиков предпочтительно включает в себя модуль 122 телеметрии, используемый для передачи данных давления, данных датчиков, а также информации бурения, подлежащей приему на поверхности земли. Хотя на фиг. 2А показана КНБК, использующая телеметрическую систему модулирования пульсаций давления бурового раствора, должно быть ясно, что в настоящем изобретении могут использоваться другие системы телеметрии, такие как радиочастотная, электромагнитная или с передачей по бурильной колонне.

Как отмечено в разделе "Предшествующий уровень техники", технология бурения требует использования бурового раствора 150, который обычно хранится в емкости 136. Емкость 136 гидравлически связана с одним или несколькими буровыми насосами 138, которые прокачивают буровой раствор 150 по трубопроводу 140. Трубопровод 140 соединен с самой верхней секцией бурильной колонны 112, которая проходит вращающийся отклоняющий превентор или вращающийся противовыбросовый превентор 142. Вращающийся противовыбросовый превентор 142 при его активации поджимает эластомерные уплотняющие элементы сферической формы для вращения наверху, закрывшись вокруг бурильной колонны 112, изолируя давление бурового раствора в кольцевом пространстве, но продолжая давать возможность

вращения бурильной колонне. Имеющиеся в продаже вращающиеся противовыбросовые превенторы, такие как изготавливаемые компанией National Oilwell Varco, 10000, Richmond Avenue, Houston, Texas 77042, способны изолировать давления в кольцевом пространстве до 10000 фунт/кв.дюйм (68947,6 кПа). Текучая среда 150 прокачивается вниз по каналу внутри бурильной колонны 112 и КНБК 113 и выходит через сопла или насадки в буровом долоте 120, при этом буровой раствор 150 уносит циркулирующей буровой шлам от долота 120 и возвращает шлам вверх через кольцевое пространство 115 между бурильной колонной 112 и стволом 106 скважины и через кольцевое пространство, сформированное между обсадной колонной 108 и бурильной колонной 112. В конце концов, буровой раствор 150 возвращается на поверхность земли и проходит через отклоняющее устройство 142 через трубопровод 124 и различные уравнивательные емкости и системы приема телеметрии (отдельно не показаны).

Затем буровой раствор 150 перемещается к системе 131 противодействия. Он входит в систему 131 противодействия и проходит через расходомер 126. Расходомер 126 может иметь тип с весовой компенсацией или другой тип высокого разрешения для измерения расхода выпуска из скважины. Используя измерения расходомера 152, оператор системы должен получить возможность определить, сколько бурового раствора 150 закачано в скважину через бурильную колонну 112. Вместо расходомера 152 может использоваться счетчик ходов насоса. Обычно в установившемся режиме количество закачанной и возвращенной текучей среды, по существу, одинаково, если вводить поправку на дополнительный объем пробуренного ствола скважины. С поправкой на переходные режимы и дополнительный объем пробуренного ствола скважины и на основании разницы между количеством закачанного бурового раствора 150 и возвращенного бурового раствора 150 оператор системы имеет возможность определить, имели ли место потери текучей среды 150 в пласте 104, что может указывать на прохождение разрыва или разрушения пласта, то есть значительный отрицательный градиент текучей среды. Подобным же образом значительный положительный градиент может быть характерным для вхождения пластовой текучей среды в ствол 106 скважины из геологического пласта 104.

Возвращенный буровой раствор 150 поступает на износостойкий, регулируемый штуцер 130. Должно быть ясно, что существуют штуцеры, разработанные с возможностью работы в среде, где буровой раствор 150 содержит существенный буровой шлам и другую твердую фазу. Предпочтительным является штуцер 130 одного из таких типов с дополнительной возможностью работы при изменяемых давлениях, изменяемых отверстиях или апертурах и с многочисленными рабочими циклами. Буровой раствор 150 выходит из штуцера 130 и проходит через клапанный механизм 5. Затем буровой раствор 150 может отправляться, во-первых, на возможный дегазатор 1 или напрямую на ряд фильтров и вибросито 129, выполненное с возможностью удаления загрязнения, включающего в себя буровой шлам, из бурового раствора 150. Затем буровой раствор 150 возвращается в емкость 136. Петля 119А потока создается перед клапанным механизмом 125 для проведения бурового раствора 150 прямо на входной патрубок насоса 128 противодействия. Альтернативно, на входной патрубок насоса 128 противодействия буровой раствор может подаваться из емкости 136 через трубопровод 119В, гидравлически связанный с доливной емкостью. Доливная емкость обычно используется на буровой установке для регулирования притоков и потерь бурового раствора во время спускоподъемных операций с трубами (извлечение и спуск полной бурильной колонны или ее существенных участков в стволе скважины). В изобретении предпочтительно поддержание функционального назначения доливной емкости. Клапанный механизм 125 может использоваться для выбора петли 119А, трубопровода 119В или изоляции системы противодействия. В то время как насос 128 противодействия способен использовать возвращенную текучую среду для создания противодействия посредством выбора петли 119А потока, должно быть ясно, что возвращенная текучая среда может иметь загрязнения, которые не удалены на фильтре/вибросите 129. В этом случае может увеличиваться износ насоса 128 противодействия. Поэтому предпочтительна подача бурового раствора к насосу 128 противодействия посредством трубопровода 119А для подачи восстановленного бурового раствора на входной патрубок насоса 128 противодействия.

При работе клапанный механизм 125 может выбирать либо трубопровод 119А, или трубопровод 119В и насос 128 противодействия задействуется для обеспечения достаточного расхода со стороны выше по потоку от штуцера 130 для поддержания противодействия в кольцевом пространстве 115. В настоящем варианте осуществления насос 128 противодействия способен создавать давление приблизительно до 2200 фунт/кв.дюйм (15168,5 кПа); хотя насосы, способные создавать более высокое давление, могут выбираться решением разработчика системы. Может быть ясно, что насос 128 может устанавливаться в нужное положение любым способом, чтобы иметь гидравлическую связь с кольцевым пространством, при этом кольцевое пространство является выпускным трубопроводом скважины.

Возможность создания противодействия является значительным улучшением обычной системы циркуляции. Давление в кольцевом пространстве, создаваемое буровым раствором, является функцией его плотности и фактической вертикальной глубины и является, в общем, с аппроксимированием линейной функцией. Как отмечалось выше, добавки, добавленные в емкость 136, должны закачиваться на забой скважины для последующего изменения градиента давления, прилагаемого буровым раствором 150.

Система может включать в себя расходомер 152 в трубопроводе 100 для измерения количества бурового раствора 150, закачиваемого в кольцевое пространство 115. Должно быть ясно, что посредством

мониторинга расходомеров 126, 152 и, таким образом, объема, закачанного насосом 128 противодавления, возможно определение количества бурового раствора 150, потерянного в пласте, или, наоборот, количество пластовой текучей среды, вошедшей в ствол 106 скважины. Дополнительно система включает в себя создание мониторинга режима давления в стволе скважины и прогнозирования показателей давления в стволе 106 скважины и кольцевом пространстве 115.

На фиг. 2В показан вариант осуществления системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, в котором не требуется насоса противодавления для поддержания достаточного расхода через штуцер, когда поток через ствол скважины должен отсекаться по какой-либо причине. В этом варианте осуществления дополнительный клапанный механизм 6 устанавливается ниже по потоку от буровых насосов 138 буровой установки в трубопроводе 140. Этот клапанный механизм 6 предоставляет возможность буровому раствору 150 из буровых насосов 138 буровой установки полностью переключаться с трубопровода 140 на трубопровод 7, тем самым переключая поток от буровых насосов 138 буровой установки, который иначе вошел бы во внутренний канал бурильной колонны 112. Посредством поддержания действия насосов 138 буровой установки и переключением подачи от насосов 138 на кольцевое пространство обеспечивается 115 достаточный расход через штуцер для регулирования противодавления в кольцевом пространстве.

2. Система мониторинга управления динамическим давлением в кольцевом пространстве.

На фиг. 3 показана блок-схема системы 146 мониторинга давления системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве. Входные данные в систему 146 мониторинга давления, показанную на фиг. 2, могут по возможности включать в себя забойное давление 202, замеренное надлежащим датчиком в блоке 119 датчиков измерения (фиг. 2) и каротажа во время бурения, переданное на поверхность земли блоком 122 телеметрии измерений во время бурения, и принятое оборудованием измерительного преобразователя (не показано) на поверхности земли. Другие системные входные данные могут по возможности включать в себя давление 200 на выходе насоса, расход 204 подачи от расходомера 152 (фиг. 2) или вычисление расхода подачи в скважину по вычислению объемной подачи насоса и скорости, на которой работает насос, скорости проходки и частоты вращения бурильной колонны, а также по возможности осевой нагрузки на долото и добавочно крутящего момента на буровом долоте, которые могут передаваться от подходящих датчиков (отдельно не показаны), на КНБК 113 (фиг. 2), в зависимости от требуемой точности измерения давления на забое. Поток возвращающегося бурового раствора измеряется с использованием добавочного расходомера 126 (фиг. 2) там, где требуется. Сигналы, представляющие различные входные данные, передаются от блока 230 управления, который сам может включать в себя блок 232 управления буровой установки и станцию 234 управления оператора, в компьютерный процессор 236 управления динамическим давлением в кольцевом пространстве и программируемый логический контроллер (ПЛК) 238 противодавления, при этом все они могут соединяться общей сетью 240 передачи данных. Компьютерный процессор 236 управления динамическим давлением в кольцевом пространстве выполняет три функции: осуществление мониторинга состояния давления в стволе скважины во время буровых работ, прогнозирование реакции ствола скважины на продолжающееся бурение и выдачу команд на ПЛК противодавления для регулирования отверстия штуцера 130 (фиг. 2) и селективного управления работой насоса 128 (фиг. 2) противодавления. Конкретная логическая часть, связанная с компьютерным процессором 236, будет дополнительно рассмотрена ниже.

3. Расчет противодавления.

Схематическая модель функционирования системы 146 управления динамическим давлением в кольцевом пространстве показана на фиг. 4. Компьютерный процессор 236 управления динамическим давлением в кольцевом пространстве включает в себя программирование для выполнения функции "Контроль" и функции "Калибровка модели реального времени". Компьютерный процессор 236 принимает данные от различных источников и постоянно вычисляет в реальном времени правильную уставку противодавления на основании величин параметров входных данных. Затем уставка противодавления передается на программируемый логический контроллер 238, создающий сигналы управления для насоса 128 противодавления (фиг. 2А) и штуцера 130 (фиг. 2А). Параметры входных данных разделяются на три основных группы. Первая группа сравнительно фиксированных параметров 250 включает в себя такие параметры, как геометрия ствола скважины и обсадной колонны, диаметр сопел бурового долота и траектория ствола скважины. Хотя известно, что фактическая траектория ствола скважины может отличаться от проектной траектории, отклонение может быть принято во внимание корректировкой проектной траектории. Также в этой группе параметров находятся температурный профиль буровой текучей среды в кольцевом пространстве 115 (фиг. 2А) и состав бурового раствора. Что касается параметров траектории, они, в общем, известны и, по существу, не меняются на небольших участках прохождения работ бурения ствола скважины. В частности, в системе управления динамическим давлением в кольцевом пространстве одной из задач является поддержание забойного давления сравнительно постоянным вне зависимости от изменений расхода бурового раствора посредством использования системы противодавления для создания дополнительного давления для регулирования давления в кольцевом пространстве около поверхности земли.

Параметры 252 второй группы являются, по сути, переменными и измеряются и регистрируются, по

существу, в реальном времени. Общая сеть 240 передачи 236 данных снабжает этими данными компьютерный процессор управления динамическим давлением в кольцевом пространстве. Эти данные могут включать в себя данные расхода, обеспечиваемые одним или обоими расходомерами 152 и 126, входным и возвратным соответственно, скорость проходки бурильной колонны или осевую скорость, скорость вращения бурильной колонны, глубину бурового долота и глубину ствола скважины, при этом два последних выводятся из данных от хорошо известных датчиков буровой установки. Последним параметром является забойное давление 254, которое выдается блоком 119 датчиков измерения и каротажа во время бурения и может передаваться на поверхность земли с использованием блока 122 телеметрии пульсаций давления бурового раствора. Еще одним параметром входных данных является забойное давление 256 уставки или эквивалент циркуляционной плотности на буровом долоте, вблизи бурового долота или в некоторой назначенной точке в стволе скважины.

Функционально модуль 258 управления предпринимает вычисление давления в кольцевом пространстве 115 (фиг. 2А) в каждой точке по всей длине ствола скважины, используя различные модели, разработанные для различных пластов и параметров текучей среды. Давление в кольцевом пространстве является функцией не только гидростатического давления или веса столба бурового раствора в стволе скважины, но включает в себя давления, обусловленные буровыми работами, включающими в себя вытеснение бурового раствора бурильной колонной, потери на трение вследствие прохождения возвращающегося вверх по кольцевому пространству потока бурового раствора, и других факторов. Для вычисления давления в скважине программа в модуле 258 управления рассматривает ствол скважины как конечное число секций, каждой из которых соответствует секция отрезка ствола скважины. В каждой из секций вычисляется динамическое давление и вес текучей среды (гидростатическое давление) и используется для определения перепада 262 давления для секции. Затем давление секций суммируется и определяется перепад давления по всему профилю ствола скважины.

Известно, что расход бурового раствора 150, закачиваемого в ствол скважины, связывается в некотором отношении со скоростью потока бурового раствора 150 и, следовательно, скорость может использоваться для определения потери динамического давления, когда буровой раствор 150 закачивается в ствол скважины через бурильную колонну. Плотность текучей среды 150 вычисляется в каждой секции, принимая во внимание его сжимаемость, расчетную нагрузку от бурового шлама и его температурное расширение для конкретного участка, которое, в свою очередь, связано с температурным профилем для этой секции ствола скважины. Вязкость бурового раствора при расчетной температуре секции также является важной для определения потерь динамического давления для секции. Также рассматривается состав бурового раствора для определения сжимаемости и коэффициента температурного расширения. Скорость перемещения бурильной колонны связывается с давлениями "гидроудара" и "свабирования", имеющего место во время буровых работ, когда бурильная колонна спускается в ствол скважины и извлекается из него. Вращение бурильной колонны также используется для определения динамических давлений, поскольку вращение создает силу трения между буровым раствором в кольцевом пространстве и бурильной колонной. Глубина бурового долота, глубина ствола скважины и геометрия ствола скважины и бурильной колонны также используются для содействия созданию секций ствола скважины, подлежащих моделированию. Для вычисления плотности бурового раствора в настоящем варианте осуществления рассматривается не только гидростатическое давление, производимое буровым раствором 150, но также его сжатие, температурное расширение и загрузка бурового раствора буровым шламом для текучей среды, наблюдаемой во время буровых работ. Должно быть ясно, что загрузка буровым шламом может определяться при возвращении бурового раствора на поверхность и его восстановлении для дополнительного использования, все эти факторы могут использоваться при вычислении "статического давления" в кольцевом пространстве.

Вычисление динамического давления включает в себя много из факторов, одинаковых с определением статического давления. Вместе с тем, вычисление динамического давления дополнительно рассматривает несколько других факторов. Среди них, является ли поток ламинарным, или турбулентным. Является ли поток ламинарным, или турбулентным зависит от расчетной неровности, величины ствола скважины и скорости потока текучей среды. Вычисление также рассматривает специфическую геометрию заданной секции. Это может включать эксцентриситет ствола скважины и специфическую геометрию секции бурильной колонны (то есть резьбовых соединений, или муфтовых/ниппельных высадок), которые оказывают воздействие на скорость потока, наблюдаемого в любой секции кольцевого пространства ствола скважины. Вычисление динамического давления дополнительно включает в себя воздействие от накопления бурового шлама в стволе скважины, а также реологии бурового раствора и перемещений бурильной колонны (осевых и вращательных) на его динамическое давление.

Суть модели и наличие параметров входных данных должно влиять на относительную точность модели, но принцип остается неизменным.

Перепад 262 давления для кольцевого пространства в целом вычисляется и сравнивается с давлением 256 уставки в модуле 264 управления. Затем определяется необходимое противодавление 266 и проводится в программируемый логический контроллер 238, который генерирует сигналы управления для насоса 128 противодавления и штуцера 130. В общем, противодавление увеличивается посредством

уменьшения отверстия штуцера. Противодействие уменьшается посредством увеличения отверстия штуцера. Как будет более подробно описано ниже, конкретное отверстие штуцера, существующее в любое время, может быть индикатором того, что событие управления скважиной имеет место, а именно, что пластовая текучая среда входит в ствол скважины из одного или нескольких пластов ("газопроявление") или уходит из ствола скважины и входит в один или несколько пластов, примыкающих к стволу скважины ("потеря циркуляции").

4. Калибровка и корректировка противодействия.

Выше рассмотрено вычисление противодействия с использованием забойного давления. Этот параметр обычно определяется на забое и передается вверх по столбу бурового раствора с использованием пульсаций давления бурового раствора. Поскольку ширина полосы пропускания данных телеметрии пульсаций давления бурового раствора очень мала, и полоса пропускания также используется другими функциями измерения и каротажа во время бурения, а также функциями управления буровой колонной, забойное давление в основном не может вводиться в модель управления динамическим давлением в кольцевом пространстве в режиме реального времени. Соответственно должно быть ясно, что весьма вероятно различие между измеренным забойным давлением, переданным на поверхность с использованием телеметрии пульсаций бурового раствора, и прогнозируемым забойным давлением для данной глубины. Когда это происходит, система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве вычисляет поправки параметров и реализует их в модели, чтобы выполнить новую лучшую оценку забойного давления. Корректировки модели могут выполняться изменением любых переменных параметров. В настоящем варианте осуществления изобретения модифицируется плотность или вязкость бурового раствора, чтобы откорректировать прогнозируемое забойное давление по фактическому забойному давлению. Дополнительно в настоящем варианте осуществления используется измерение фактического забойного давления только для калибровки вычисленного забойного давления вместо того, чтобы прогнозировать забойное давление в кольцевом пространстве. При непрерывной, в основном забойной телеметрии для обеспечения в основном передачи в режиме реального времени данных давления и температуры на забое ствола скважины, является весьма практичным введение информации температуры и давления в режиме реального времени для корректировки модели.

Там, где имеет место задержка между измерением забойного давления и другими входными данными реального времени, система 236 регулирования управления динамическим давлением в кольцевом пространстве дополнительно работает, индексируя входные данные, чтобы входные данные реального времени надлежащим образом соотносились с позднее принятыми забойными данными. Входные данные датчиков буровой установки, вычисленные перепад давления и давления противодействия, а также забойные измерения могут быть "привязанными по глубине" и "привязанными по давлению" так, чтобы входные данные и результаты могли надлежащим образом соотноситься с забойными данными, принятыми позже. Используя регрессивный анализ, основанный на недавних привязанных по времени измерениях фактического давления, модель может настраиваться для более точного прогнозирования фактического давления и требуемого противодействия. В случае, когда отсутствует привязка по времени и по глубине, аналогичный процесс регрессивного анализа может использоваться для сравнения фактического и рассчитанного забойного давления.

На фиг. 5 показана работа системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, демонстрирующая не откалиброванную модель системы. Должно быть замечено, что измеренное во время бурения забойное давление 400 сдвинуто во времени в результате задержки по времени передачи сигнала, подлежащего выбору и передаче на устье скважины. В результате существует значительное отклонение между давлением 404, прогнозируемым при управлении динамическим давлением в кольцевом пространстве и не привязанным по времени измеренным во время бурения давлением 400 или давлением в кольцевом пространстве. Когда давление 402, измеренное во время бурения, привязано по времени и сдвинуто назад по времени, перепад между давлением 402, измеренным во время бурения и давлением 404, прогнозируемым при управлении динамическим давлением в кольцевом пространстве, значительно меньше, чем при сравнении с давлением 400, не сдвинутым по времени, измеренным во время бурения. Тем не менее, давление, прогнозируемое при управлении динамическим давлением в кольцевом пространстве, отличается значительно. Как отмечалось выше, эта разница разрешается посредством модифицирования ввода данных в модель по плотности и/или вязкости бурового раствора 150. На основании новых расчетов показанное на фиг. 6 давление 404, прогнозируемое при управлении динамическим давлением в кольцевом пространстве, более близко следует за фактическим забойным давлением 402. Таким образом, модель управления динамическим давлением в кольцевом пространстве использует фактическое забойное давление для калибровки прогнозируемого давления и модифицирования входных данных модели, чтобы более точно отражать забойное давление по всему профилю ствола скважины.

На основе давления, прогнозируемого при управлении динамическим давлением в кольцевом пространстве, система 236 регулирования управления динамическим давлением в кольцевом пространстве должна рассчитывать требуемый уровень 266 противодействия и передавать его в программируемый логический контроллер 238 (фиг. 4). Затем программируемый логический контроллер 238 генерирует необходимые сигналы управления на нужные клапаны штуцера 130 и насос 128 противодействия, тре-

буемые в зависимости от используемого варианта осуществления.

В конкретном варианте осуществления вычисление в системе управления динамическим давлением в кольцевом пространстве прогнозируемого забойного давления задерживается каждый раз с началом работы насосов буровой установки, по меньшей мере, пока давление бурового раствора на выходе бурового насоса не станет приблизительно одинаковым с давлением на входе штуцера. Целью настоящего варианта осуществления является преодоление нескольких вредных искажений в моделировании давления, обусловленных заполнением циркуляционной системы бурового раствора после вторичного начала работы буровых насосов. Должно быть ясно, когда буровые насосы начинают работать первый раз, как, например, после добавления новой секции буровой трубы в буровую колонну ("наращивания"), существенное количество бурового раствора должно быть добавлено в общий объем системы циркуляции буровой колонны и ствола скважины вследствие наличия пустоты в буровой колонне и сжатия бурового раствора, когда в нем повышается давление посредством буровых насосов до уровня, необходимого для преодоления всего трения в циркуляционной системе. Настоящий вариант осуществления может быть особенно эффективным в случае отсутствия расходомера в контуре выпуска текучей среды из ствола скважины.

5. Применение системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве.

Преимущество регулируемого противодействия системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве можно легко видеть на графике, показанном на фиг. 7. Гидростатическое давление бурового раствора показано линией 302. Как можно видеть, гидростатическое давление увеличивается как линейная функция глубины ствола скважины согласно формуле

$$P = \rho gTVD + C \quad (1),$$

где P - давление;

ρ - плотность бурового раствора;

g - ускорение свободного падения на поверхности земли;

TVD - общая вертикальная глубина ствола скважины и

C - противодействие, обеспечиваемое системой противодействия.

В случае гидростатического давления 302 водного градиента плотность текучей среды одинакова с плотностью воды. Более того, в открытой циркуляционной системе противодействие C всегда равно нулю. Для обеспечения превышения давления в кольцевом пространстве над поровым пластовым давлением 300 текучая среда утяжеляется (увеличивается ее плотность), тем самым с глубиной увеличивается прикладываемое в стволе скважины давление. Профиль порового давления 300 можно видеть на фиг. 7 линейным до того момента, когда он выходит за обсадную колонну 20, в этом случае оно открыто воздействию фактического пластового давления, результатом чего является мгновенное увеличение пластового давления. При нормальной работе плотность бурового раствора должна выбираться такой, чтобы давление в кольцевом пространстве превышало поровое пластовое давление ниже обсадной колонны 20.

В отличие от указанного, использование регулируемого противодействия системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве дает возможность оператору выполнять в основном ступенчатые изменения давления в кольцевом пространстве. Линии давления 300 и 303 при управлении динамическим давлением в кольцевом пространстве показаны на фиг. 7, реагируя на наблюдаемое увеличение порового давления в x, противодействие C может повышаться для увеличения давления 300 в кольцевом пространстве до давления 303, реагируя на увеличивающееся поровое давление, по контрасту с нормальной технологией для давления в кольцевом пространстве, показанном на фиг. 1, линией 14. Система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве дополнительно предлагает преимущество возможности уменьшения противодействия, реагируя на уменьшение показанного порового давления 300c. Должно быть понятно, что перепад между давлением 303 в кольцевом пространстве, поддерживаемым управлением динамическим давлением в кольцевом пространстве, и поровым давлением 300c, известным как давление репрессии, может быть значительно меньше, чем давление репрессии, видимое при использовании обычных способов регулирования давления, как будет объяснено на фиг. 8. Условия значительной репрессии могут вредно воздействовать на проницаемость, задавливая большие количества текучей среды ствола скважины в пласт и создавая невозможность регулирования потерь текучей среды, тем самым не допуская дополнительного своевременного и безопасного бурения ствола скважины.

На фиг. 8 показан график для применения системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве в равновесном бурении или близком к окружающим условиям. На фиг. 8 показан градиент порового давления в интервале 320a, являющийся, по существу, линейным с контролем текучей среды в пласте обычным давлением по линии 321a в кольцевом пространстве. На линии 320b происходит мгновенное повышение порового давления. Обычным мероприятием могла бы быть установка обсадной колонны 20 в этой точке и использование обычной технологии регулирования давления, известной в технике, это могла бы быть процедура увеличения плотности бурового раствора для предотвращения поступления пластовой текучей среды или нестабильности ствола скважины. Полученное в результате увеличение плотности модифицирует градиент давления бурового раствора, что показано линией 321b.

Предел обычного бурения таким способом находится там, где линия 321b пересекается с линией 323b уменьшенного градиента давления разрыва вследствие ограничения возможности бурения до проектной общей глубины 400.

С использованием системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве технология управления стволом скважины при рассмотрении увеличения давления, показанного линией 320b, заключается в том, для приложения противодействия к текучей среде в кольцевом пространстве для сдвига всего профиля давления в кольцевом пространстве вправо так, чтобы линия 322 профиля давления более точно совпадала с линиями 320a, 320b, 320c порогового давления в процессе бурения скважины, в противоположность тому, что представлено линией 321b. Этот способ затем предоставляет возможность пробурить скважину до полной проектной глубины 400 без спуска обсадной колонны 20.

Система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может также использоваться для управления при главных событиях управления скважиной, таких как поступление текучей среды. В известных в технике способах при событии большого поступления пластовой текучей среды, такого как газопроявление, единственным практическим мероприятием управления давлением в стволе скважины является закрытие противовыбросовых превенторов, чтобы эффективно гидравлически "отсечь" (изолировать) ствол скважины, сброс чрезмерного давления в кольцевом пространстве через штуцер и штуцерный манифольд и утяжеление бурового раствора для создания дополнительного давления в кольцевом пространстве. Такая технология требует времени для установления управления скважиной. Альтернативным способом, иногда называемым "способом бурильщика", является такой, в котором используют продолжительную циркуляцию бурового раствора без закрытия ствола скважины. Способ "утяжеления и ожидания" включает в себя осуществление циркуляции с подачей значительно утяжеленной текучей среды, например в 18 фунтов на галлон (3,157 кг/л). Когда обнаруживается газопроявление или поступление пластовой текучей среды, добавляется утяжеленный буровой раствор и осуществляется ее циркуляция на забой, обуславливающая входжение поступившей текучей среды в буровой раствор циркуляции. Поступившая текучая среда начинает выходить из раствора, приближаясь к поверхности, по закону Бойля и высвобождается через штуцерный манифольд. Должно быть ясно, что в то время, как способ бурильщика предусматривает осуществление непрерывной циркуляции бурового раствора, он может требовать дополнительного времени циркуляции без бурения перед использованием способа утяжеления и ожидания для предотвращения дополнительного поступления пластовой текучей среды и предоставления возможности пластовому газу уйти в циркуляцию посредством утяжеленного бурового раствора.

С использованием настоящей технологии управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, когда обнаруживается поступление пластовой текучей среды, увеличивается противодействие вместо добавления утяжеленного бурового раствора. Как в способе бурильщика, циркуляция бурового раствора продолжается. С увеличением давления в кольцевом пространстве пластовая текучая среда уходит в раствор циркуляции и высвобождается через штуцерный манифольд. Поскольку давление поднялось и является возможным продолжать осуществление циркуляции с дополнительным противодействием, больше не нужно немедленного осуществления циркуляции с утяжеленным буровым раствором. Более того, в результате фактического приложения противодействия непосредственно к кольцевому пространству, пластовая текучая среда быстро выжимается для ухода в раствор, в противоположность ожиданию прохождения циркуляции утяжеленного бурового раствора в кольцевом пространстве.

Дополнительное применение технологии управления динамическим давлением в кольцевом пространстве относится к использованию в системах с непродолжительной циркуляцией. Как отмечалось выше, системы с продолжительной циркуляцией используются, чтобы способствовать стабилизации пласта, исключая мгновенные падения 502 давления, которые происходят, когда буровые насосы выключаются для скрепления/раскрепления новых трубных соединений. За этим падением 502 давления следует пик 504 увеличения давления, когда насосы повторно включаются для буровых работ. Это показано на фиг. 9А. Эти изменения давления 500 в кольцевом пространстве могут вредно влиять на фильтрационную корку ствола скважины, и их результатом может быть проникновение текучей среды в пласт. Как показано на фиг. 9В, обратное давление 506 системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может применяться в кольцевом пространстве при выключении буровых насосов, преобразуя мгновенное падение давления в кольцевом пространстве в более плавное падение 502 давления. Перед повторным включением насосов противодействие может уменьшаться так, чтобы 504 пик увеличения давления от насоса также уменьшался. Таким образом, система противодействия управления динамическим давлением в кольцевом пространстве обладает возможностью поддержания сравнительно стабильного забойного давления в условиях бурения.

6. Обнаружение событий управления скважиной посредством системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве.

Определено, что система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, такая как описана выше со ссылками на фиг. 2А-9В и такая как дополнительно описываемая ниже со ссылками на фиг. 10, может использоваться для обнаружения событий управления скважиной. События управления скважиной включают в себя поступление текучей среды из геологического пласта, окружающего ствол

скважины, и истечение бурового раствора в стволе скважины в окружающий пласт. Событие поступления (называемое "газопроявление") может обнаруживаться сравнением рассчитанного забойного давления с фактическим забойным давлением. Расчет забойного давления может выполняться с использованием гидравлической модели, которая определяет забойное давление на основании ожидаемой средней плотности текучей среды в кольцевом пространстве, обычно плотности бурового раствора, прокачиваемой через бурильную колонну. Фактическое регистрируемое забойное давление обычно измеряется около бурового долота, как в случае датчика давления в кольцевом пространстве, или в какой-либо другой форме измерения забойного давления, в которой измеряется фактическое забойное давление.

Если происходит поступление и имеется контраст плотности между поступающей текучей средой и буровым раствором в стволе скважины, вычисленное по модели и фактическое забойное давление в стволе скважины будут расходиться в результате перепада в рассчитанном давлении столба бурового раствора и фактически измеренного давления, неважно будет столб статическим или динамическим. Это расхождение может регистрироваться как погрешность системой управления динамическим давлением в кольцевом пространстве и может выполняться корректировка для поддержания забойного давления желаемой величины (давления уставки) либо уменьшением отверстия штуцера, если плотность поступающей текучей среды меньше плотности бурового раствора в скважине, или некоторым увеличением отверстия штуцера, если плотность поступающей текучей среды больше плотности бурового раствора в скважине. Изменение отверстия штуцера в результате таких перепадов забойного давления, когда нет изменения в расходе прокачиваемого бурового раствора, используется как индикатор поступления пластовой текучей среды.

Другой характеристикой указанного поступления является возможное увеличение отверстия штуцера вследствие увеличенной скорости выпуска на поверхности земли и дальнейшая стабилизация в новом отверстии, которое может быть меньше, больше или одинаковым с мгновенным предыдущим отверстием штуцера, в зависимости от плотности и трения поступающей текучей среды вследствие дополнительного притока текучей среды. Если поступление текучей среды продолжается, ее плотность меньше плотности бурового раствора и падение давления от трения незначительно, средняя плотность бурового раствора в стволе скважины должна продолжать уменьшаться и отверстие штуцера должно продолжать закрываться, реагируя на попытки системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве по поддержанию забойного давления на величине уставки. Наоборот, если плотность поступающей текучей среды больше плотности бурового раствора, при продолжающемся поступлении текучей среды плотность столба бурового раствора в кольцевом пространстве ствола скважины должна увеличиваться, тем самым заставляя систему управления динамическим давлением в кольцевом пространстве продолжать увеличивать отверстие штуцера, когда падение давления от трения незначительно.

Система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве задает новое отверстие штуцера на основании настройки прогнозируемого забойного давления по фактическому измеренному забойному давлению. В случае поступления текучей среды меньшей плотности прогнозируемое забойное давление должно быть меньше, чем предыдущее прогнозируемое, поскольку поступление текучей среды продолжает снижать среднюю плотность столба бурового раствора в кольцевом пространстве, где падение давления от трения вследствие увеличенного расхода в результате поступления не является достаточным для увеличения забойного давления. Это продолжит индикацию погрешности, и система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве должна будет вводить поправку погрешности, продолжая закрытие штуцера столь долго, сколько продолжается поступление и продолжается уменьшение средней плотности бурового раствора в стволе скважины. Для случая, когда поступающая текучая среда имеет более высокую плотность, чем буровой раствор, например поступления из зоны соленой воды при бурении с буровым раствором на нефтяной основе, система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве DAPC должна открывать отверстие штуцера для уменьшения на поверхности давления в кольцевом пространстве, чтобы вводить поправку на увеличивающуюся среднюю плотность бурового раствора в кольцевом пространстве так долго, как продолжается поступление, при этом средняя плотность увеличивается и падение давления от трения при поступлении является недостаточным для увеличения забойного давления.

Другим случаем является такой, когда плотность поступающей текучей среды практически равна существующей плотности бурового раствора в стволе скважины. В этом случае штуцер может несколько открываться вследствие увеличения выпускаемого объема, когда падение давления от трения при поступлении не является достаточным для увеличения забойного давления и затем продолжается при новом отверстии или новой усредненной апертуре (вследствие колебаний апертуры штуцера при использовании ПИД-регулятора 238, такие колебания являются обычно синусоидными). Система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве должна давать погрешность, которую изменила апертура штуцера без изменений, вычисленных по гидравлической модели, поскольку модель использует несколько стандартных параметров для вычисления забойного давления, одним из которых является приток в скважину в отсутствие расходомера 126. Пока производительность насоса не меняется или изменение производительности насоса не дает индикации того, что отверстие штуцера подлежит изменению указанной системой, результатом будет погрешность. Поэтому при произошедшем увеличении отверстия

штуцера без другой очевидной причины может быть сделано заключение о газопроявлении, когда плотность пластовой текучей среды притока, по существу, одинакова с буровым раствором, где геометрия ствола скважины достаточно велика и/или скорость поступления достаточно мала, чтобы не вызывать значительного увеличения забойного давления вследствие увеличенного трения в стволе скважины.

Приведенное выше объяснение работы гидравлической модели и управления апертурой штуцера создается как фон для обнаружения различных событий управления скважиной и способов подавления, которые могут выполняться с использованием системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве. В одном способе осуществляется мониторинг отверстия штуцера, управляемого системой управления динамическим давлением в кольцевом пространстве. Мониторинг отверстия может осуществляться, например, позиционным датчиком, соединенным с элементом управления штуцера. Одним типом позиционного датчика, который может подходить для использования с системой управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, является линейно регулируемый дифференциальный трансформатор. Если отверстие штуцера меняется системой управления динамическим давлением в кольцевом пространстве на период времени более длинный, чем переходный, в отсутствие какого-либо изменения расхода притока текучей среды в скважину и какого-либо изменения давления текучей среды, при закачивании в скважину измерение такого изменения отверстия может использоваться для идентификации события поступления текучей среды или потери текучей среды в скважине, как объяснено выше.

Другой вариант реализации системы управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может предусматривать автоматический регулятор отверстия штуцера, но без измерения того, какой фактически является отверстие. В таком варианте реализации не обеспечивается мониторинг положения регулятора отверстия штуцера. В таких вариантах реализации возможно сделать заключение о существовании поступления текучей среды или потери текучей среды без специфических измерений, относящихся к положению регулятора отверстия штуцера. В таких вариантах реализации по меньшей мере измеряется один из расходов подачи в скважину или выпуска из скважины. Также измеряется фактическое забойное давление, такое, которое измеряется датчиком давления в кольцевом пространстве, расположенном в инструменте, установленном в нужное положение в буровой колонне вблизи забоя буровой колонны.

В одном примере измеряется расход подачи бурового раствора в ствол скважины и его давление в кольцевом пространстве на поверхности или около поверхности земли. Ожидаемое забойное давление бурового раствора вычисляется с использованием гидравлической модели, которая работает с системой управления динамическим давлением в кольцевом пространстве. Входные данные для вычисления забойного давления включают в себя плотность бурового раствора (удельный вес бурового раствора), расход текучей среды и давление в кольцевом пространстве на поверхности или около поверхности земли. В случае, если измеренное забойное давление отличается от вычисленного забойного давления, можно сделать заключение о поступлении или потере текучей среды. Система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может обуславливать изменение отверстия штуцера, пока измеренное забойное давление не сравняется с рассчитанным забойным давлением.

Вследствие разницы между измеренным забойным давлением и вычисленным забойным давлением система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может автоматически менять плотность бурового раствора (удельный вес бурового раствора), вводимый как входные данные в гидравлическую модель с тем, чтобы вычисленное забойное давление и измеренное забойное давление приблизительно совпадали. Такое изменение плотности текучей среды притока создается, потому что ни расход подачи бурового раствора в ствол скважины, ни давление в кольцевом пространстве значительно не изменились во время события управления скважиной. Следовательно, чтобы получить совпадение рассчитанного забойного давления и измеренного забойного давления, нужно изменить по меньшей мере одно из следующего: плотность и расход бурового раствора. В одном из вариантов осуществления, если изменение по меньшей мере одного из следующего: плотность и расход бурового раствора, введенное как входные данные в гидравлическую модель - превосходит выбранный порог, система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может генерировать сигнал предупреждения.

В некоторых вариантах осуществления система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может изменять отверстие штуцера так, чтобы измеренное забойное давление приближалось к рассчитанному забойному давлению.

В другом варианте осуществления ожидаемое забойное давление может вычисляться по гидравлической модели с использованием входных данных плотности бурового раствора (удельный вес бурового раствора), расхода его выпуска из ствола скважины и давления в кольцевом пространстве около поверхности земли. Если два давления отличаются, система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может изменять плотность бурового раствора, вводимого в гидравлическую модель, автоматически, пока давления автоматически не совпадут. Если изменение плотности превосходит выбранный порог, система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может создавать сигнал предупреждения Система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может также управлять работой штуцера, обуславливая, по существу, совпадение измеренного забойного дав-

ления с вычисленным забойным давлением.

В другом варианте осуществления система управления динамическим давлением в кольцевом пространстве может изменять измеренное забойное давление, пока изменение в водимой плотности не стабилизируется.

В другом варианте осуществления управление динамическим давлением в кольцевом пространстве может изменять измеренное забойное давление, пока оно не достигнет новой величины уставки.

В любом из упомянутых выше вариантов реализации сигнал предупреждения также может создаваться, если разность вычисленного забойного давления и замеренного забойного давления превосходит выбранный порог.

7. Альтернативный вариант осуществления системы регулирования противодействия с использованием только буровых насосов буровой установки.

Возможно обеспечить выбранное регулируемое давление бурового раствора в кольцевом пространстве без необходимости в дополнительном насосе для подачи противодействия на кольцевое пространство, когда такое противодействие должно создаваться насосом, как объяснено со ссылками на фиг. 2В. Другой вариант осуществления системы противодействия с использованием буровых насосов буровой установки схематично показан на фиг. 10. Буровой насос 138 буровой установки нагнетает буровой раствор с выбранными расходами и давлениями, что обычно выполняется во время буровых работ. В настоящем варианте осуществления первый расходомер 152 может располагаться в пути прохождения потока бурового раствора ниже по потоку от насоса 138. Первый расходомер 152 может использоваться для измерения расхода буровой текучей среды, нагнетаемой насосом 138. Альтернативно, известный "счетчик ходов", который оценивает объемный расход нагнетаемого бурового раствора посредством мониторинга перемещения насоса, может использоваться для оценки общего расхода от насоса 138. Затем поток бурового раствора приходит к первому управляемому диафрагменному штуцеру 130А, выход которого, в конечном счете, соединяется с буровым стояком 602 (который сам соединяется с входом внутреннего канала буровой колонны). Во время регулярных буровых работ первый штуцер 130А обычно полностью открыт. Выпуск буровой текучей среды из насоса 138 также соединяется со вторым управляемым диафрагменным штуцером 130В, выход которого, в конечном счете, присоединяется к выпуску скважины (кольцевому пространству 604). Как в ранее описанных вариантах осуществления, внутренний канал скважины изолируется вращающимся отклоняющим превентором или сферическим противовыбросовым превентором 142. На фиг. 10 не показаны буровая колонна и другие составные части в скважине, расположенные под вращающимся отклоняющим превентором 142, потому что они являются во многом идентичными применяемым в других вариантах осуществления, в частности такому, какой показан на фиг. 2. Третий управляемый диафрагменный штуцер 130А может соединяться между кольцевым пространством 604 и мерником или емкостью 136 (фиг. 2) и регулирует давление, при котором буровой раствор покидает скважину, чтобы поддерживать выбранное противодействие на кольцевое пространство аналогично тому, что выполняется в ранее описанных вариантах осуществления.

Первый и второй управляемый диафрагменный штуцер 130А и 130В могут включать в себя ниже по потоку соответствующие расходомеры 152А, 152В. Во взаимодействии либо со счетчиком ходов (не показан) или первым расходомером 152 на выпуске насоса может определяться расход буровой текучей среды от насоса 138 в буровой стояк и в кольцевое пространство. Расходомеры 152, 152А и 152В показаны имеющими соответствующие выходы передачи сигнала, соединенные с ПЛК 238 в блоке 236 управления динамическим давлением в кольцевом пространстве, которые во многом одинаковы с соответствующими устройствами, показанными на фиг. 3. Сигналы управления на выходе ПЛК 238 управления создаются для управления работой трех управляемых диафрагменных штуцеров 130, 130А, 130В.

Для выполнения скрепления или раскрепления соединений в буровой колонне во время работы необходимо высвободить все давление бурового раствора сверху буровой колонны, в то время как может быть необходимым продолжать поддерживать давление текучей среды наверху кольцевого пространства, сообщаемого текучей средой с обратной линией 604. Для выполнения необходимых функций давления ПЛК 238 может управлять работой первого управляемого диафрагменного штуцера 130А для полного закрытия. Затем разгрузочный или "сбросной" клапан 600, который может функционально управляться ПЛК 238, открывается для сброса всего давления бурового раствора текучей среды. Обратный клапан или клапан одностороннего действия в буровой колонне сохраняет давление ниже себя в буровой колонне. Таким образом, соединения могут скрепляться и раскрепляться для наращивания или укорачивания буровой колонны во время буровых работ.

Во время таких работ скрепления в кольцевом пространстве поддерживается выбранное давление текучей среды посредством регулирования работы насоса 138 и управляемых диафрагменных штуцеров 130В и 130. Такое регулирование может выполняться ПЛК 238 автоматически, за исключением случая насоса, который может регулироваться оператором буровой установки, поскольку необходимо только осуществлять мониторинг расхода от насосов.

Во время регулярных буровых работ поддерживается правильное давление текучей среды на линии 604 кольцевого пространства, которая сообщается текучей средой с кольцевым пространством, с использованием гидравлической модели, одинаковой с предшествующими вариантами осуществления, посред-

ством выборочного отклонения части расхода насоса 138 в обратную линию 604 кольцевого пространства посредством регулирования диафрагм первого и второго штуцеров 130А и 130В и посредством регулирования необходимого противодействия настройкой третьего штуцера 130. Обычно во время бурения второй штуцер 130В может оставаться закрытым, чтобы противодействие в скважине полностью поддерживалось регулированием диафрагмы третьего штуцера 130, одинаково со способом, которым поддерживается противодействие, согласно предшествующим вариантам осуществления. Обычно предполагается, что второй штуцер 130В должен быть открытым во время технологических операций соединения, одинаково с моментами времени, в которые в предшествующих вариантах осуществления работал бы насос противодействия.

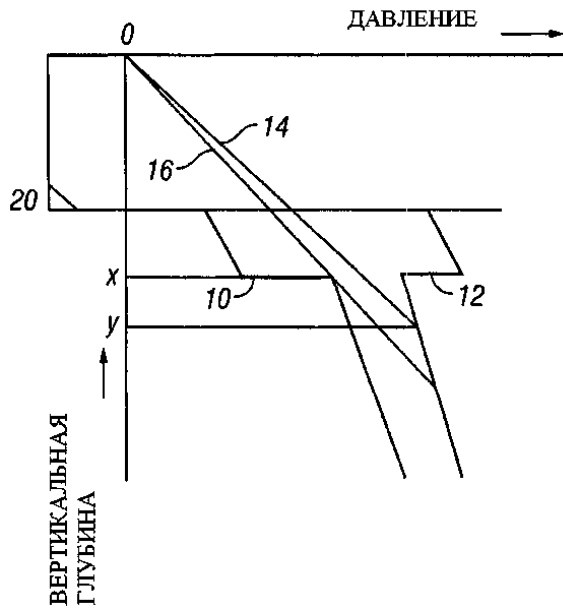
Настоящий вариант осуществления преимущественно исключает необходимость отдельного насоса для поддержания противодействия. Настоящий вариант осуществления может иметь дополнительные преимущества по сравнению с вариантом осуществления, показанным на фиг. 2В, который использует клапанный механизм для отклонения потока бурового раствора от буровых насосов буровой установки для поддержания противодействия, при этом самое важное состоит в том, что соединения могут выполняться без необходимости остановки буровых насосов и точности измерения расхода при перенаправлении потока от скважины к обратной линии кольцевого пространства гарантирует правильность вычисления противодействия.

В зависимости от конкретной конфигурации оборудования может быть возможным определять расход притока бурового раствора в линию 604 возврата в кольцевое пространство с использованием счетчика ходов (не показан) и третьего расходомера 152В, или используя первый и второй расходомеры 152, 152А соответственно.

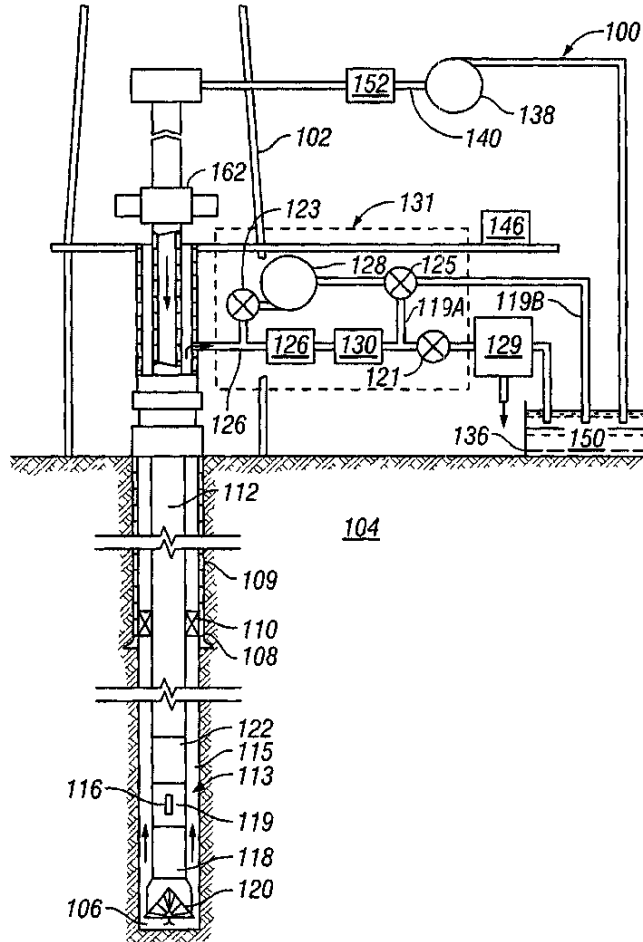
Хотя изобретение описано в отношении ограниченного числа вариантов осуществления, специалистам в области техники, извлекающим пользу из этого раскрытия, должно быть ясно, что могут выводиться другие варианты осуществления, которые не отклоняются от объема изобретения, раскрытого в этом документе. Соответственно объем изобретения ограничивается только прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

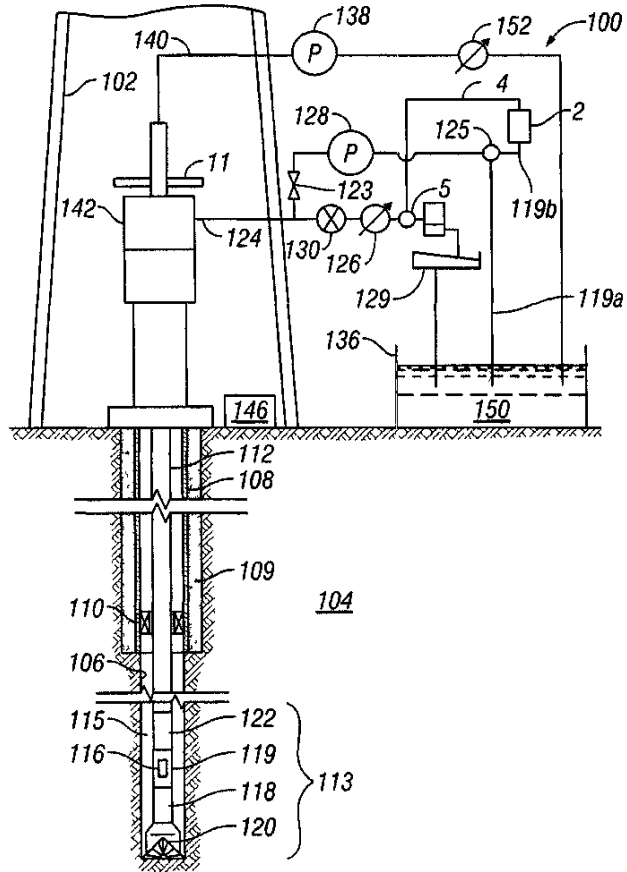
1. Способ определения существования события управления скважиной посредством контроля пластового давления при бурении ствола скважины в подземном пласте, содержащий следующие стадии:
 - избирательная закачка бурового раствора с первым расходом через бурильную колонну, проходящую в стволе скважины, и буровое долото на конце бурильной колонны в кольцевое пространство между бурильной колонной и стволом скважины;
 - выпуск бурового раствора со вторым расходом из кольцевого пространства через отверстие штуцера вблизи поверхности земли;
 - мониторинг отверстия штуцера;
 - определение существования события управления скважиной при изменении отверстия штуцера и, по существу, постоянном первом расходе бурового раствора.
2. Способ по п.1, в котором событие управления скважиной определяется как поступление пластовой текучей среды в ствол скважины при изменении отверстия штуцера вследствие увеличения или уменьшения фактического забойного давления и при увеличении второго расхода.
3. Способ по п.1, в котором событие управления скважиной определяется как утечка бурового раствора из ствола скважины при уменьшении отверстия штуцера вследствие уменьшения фактического забойного давления и при уменьшении второго расхода.



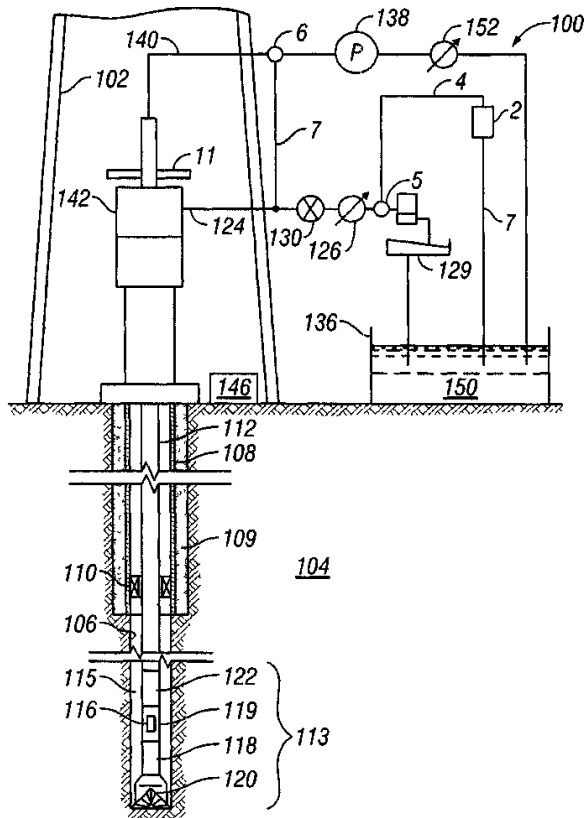
Фиг. 1



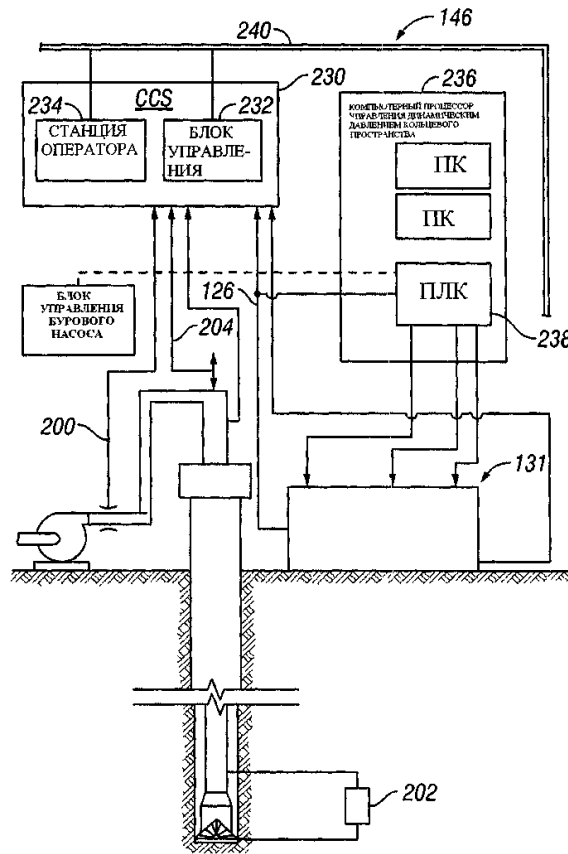
Фиг. 2



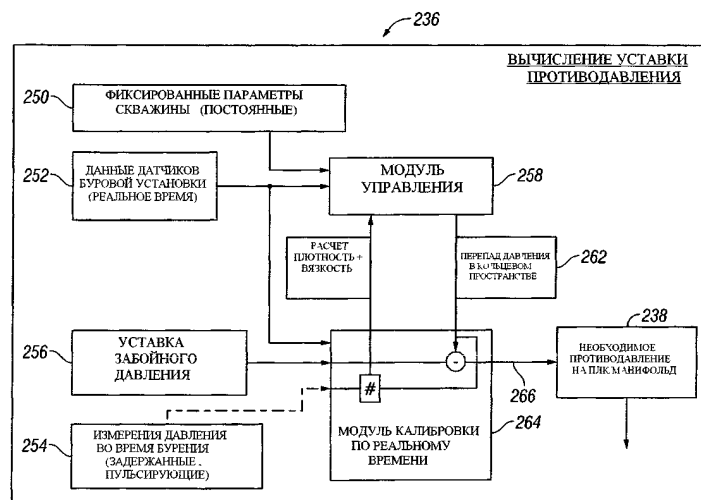
Фиг. 2А



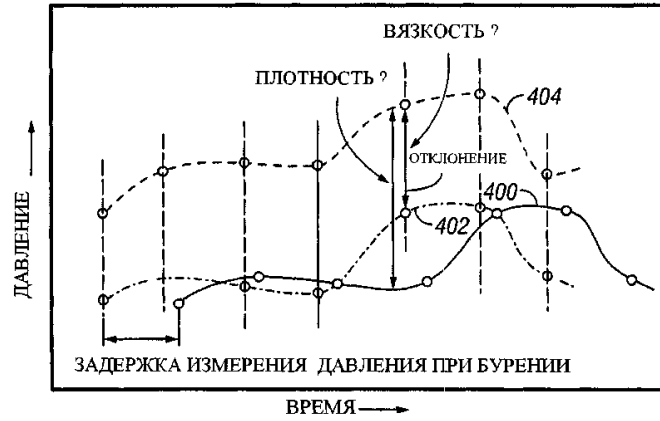
Фиг. 2В



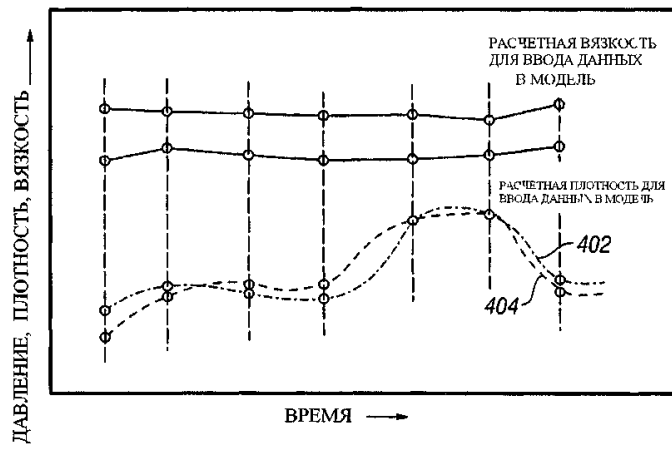
Фиг. 3



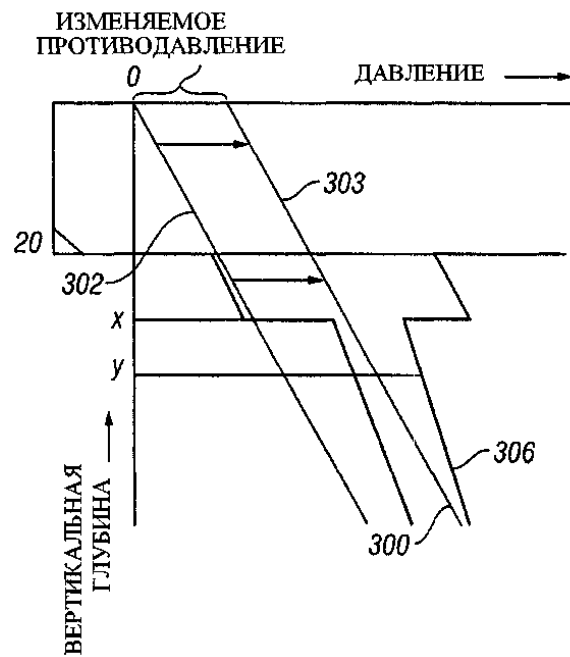
Фиг. 4



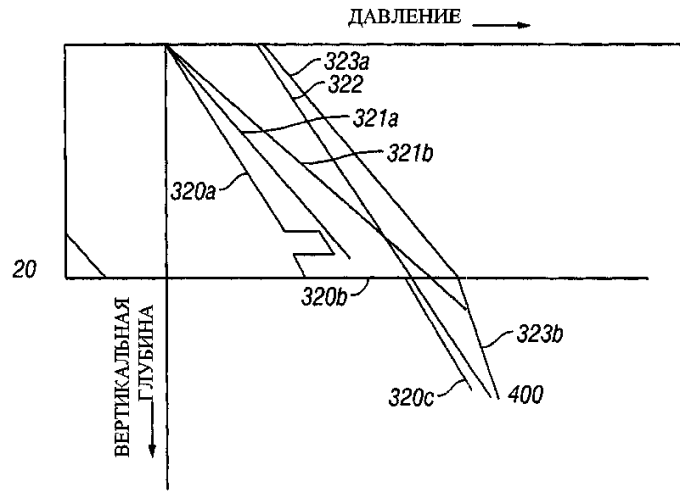
Фиг. 5



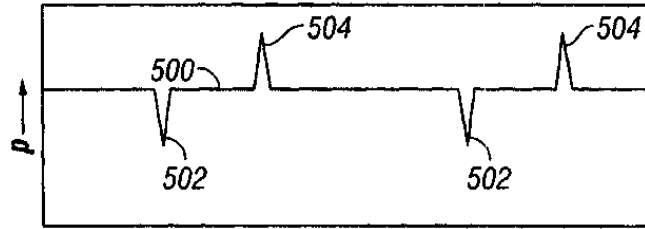
Фиг. 6



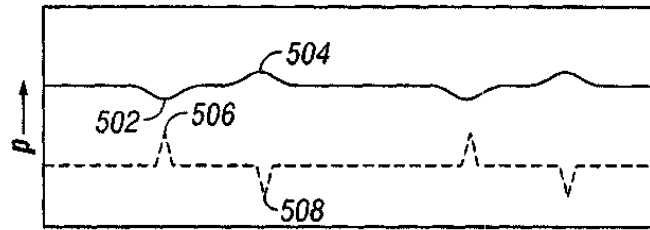
Фиг. 7



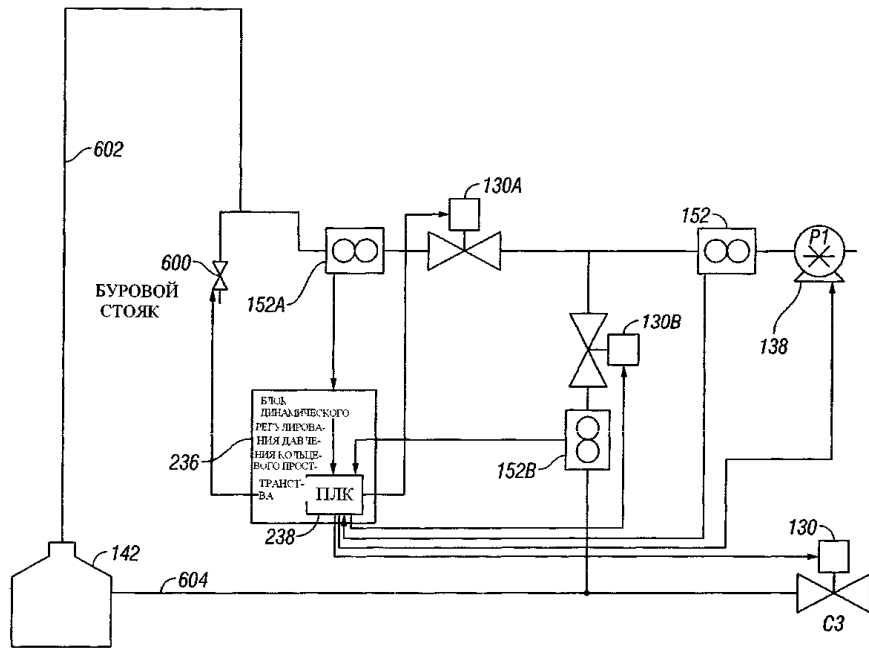
Фиг. 8



Фиг. 9А



Фиг. 9В



Фиг. 10