

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(21) **202091788** (13) **A1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ**

(43) Дата публикации заявки  
**2021.03.31**

(22) Дата подачи заявки  
**2020.08.25**

(51) Int. Cl. *E21B 21/08* (2006.01)  
*E21B 19/00* (2006.01)  
*E21B 47/00* (2012.01)  
*E21B 34/08* (2006.01)

---

(54) **АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ДЛЯ ПОРШНЕВАНИЯ И СВАБИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ТРУБЫ В ОПЕРАЦИИ БУРЕНИЯ ПОД УПРАВЛЯЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ**

---

(31) **16/554,465**

(32) **2019.08.28**

(33) **US**

(71) Заявитель:  
**ВЕЗЕРФОРД ТЕКНОЛОДЖИ  
ХОЛДИНГЗ, ЭЛЭЛСИ (US)**

(72) Изобретатель:  
**Эймин Сейемик Н. (DE), Брана  
Хосе Д., Койтен Томас Х. (US)**

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

---

(57) Для бурения скважины в пласте применяются система и способ. Идентифицируют рейс для перемещения бурильной колонны в стволе скважины, для рейса прогнозируют поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в скважине. Вычисляют максимальную скорость для перемещения бурильной колонны в стволе скважины для рейса и вычисляют коррекции противодействия на поверхности системы бурения для рейса на вычисленной максимальной скорости для поддержания давления в скважине в допустимых для пласта пределах. Бурильная колонна перемещается в рейсе согласно вычисленной максимальной скорости, и изменению давления в скважине от поршневого действия осуществляется противодействие посредством автоматической корректировки противодействия на поверхности согласно вычисленной коррекции.

---

**A1**

**202091788**

**202091788**

**A1**

## ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

2420-564349EA/042

### АВТОМАТИЧЕСКАЯ КОМПЕНСАЦИЯ ДЛЯ ПОРШНЕВАНИЯ И СВАБИРОВАНИЯ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ТРУБЫ В ОПЕРАЦИИ БУРЕНИЯ ПОД УПРАВЛЯЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ

#### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0001] При перемещении трубы при выполнении бурения под управляемым давлением (MPD) и других операций возникают эффекты поршневания и свабирования. В различные моменты времени операции бурения возможно выполнение спускоподъемных операций (СПО) с бурильной колонной, где бурильную колонну поднимают из скважины (РООН) или спускают в скважину (РИН). Например, в ходе СПО могут поднимать бурильную колонну из скважины для замены скважинного компонента (например, поврежденной бурильной трубы, изношенного бурового долота, неисправного гидравлического забойного двигателя, и т.д.) или для наращивания скважинного компонента, чтобы бурильную колонну можно затем было спустить обратно в скважину для продолжения бурения. Можно также выполнять рейс (перемещение бурильной колонны) для каротажа, отхода от забоя, проработки ствола скважины между наращиваниями и т.д.

[0002] При извлечении из скважины бурильную колонну поднимают на вышке, и свечи (из двух или больше звеньев бурильной трубы) отсоединяют от бурильной колонны и укладывают в вышке в последовательных операциях. Можно выполнить любые замены или наращивания скважинных компонентов, и спускать бурильную колонну в скважину с помощью повторного наращивания свечей для продолжения операций бурения.

[0003] Подъем бурильной колонны из скважины может уменьшать давление в скважине вследствие эффекта свабирования. Например, поршневое действие, между буровым раствором и поднимаемой бурильной колонной может создавать изменения давления в скважине. Инструменты (буровое долото, стабилизаторы, утяжеленная бурильная труба и т.д.) на компоновке низа бурильной колонны (КНБК) обычно имеют диаметр ствола скважины. Данные инструменты на КНБК, поднимаемые из скважины, могут также поднимать буровой раствор в кольцевом пространстве и создавать пониженные давления в пластах. Приток в ствол скважины пластовых текучих сред может также возникать в ответ на перемещение вверх бурильной колонны.

[0004] В отличие от подъема спуск бурильной колонны в скважине может увеличивать давление в скважине вследствие эффекта поршневания. Если скорость спуска слишком большая, увеличение давления в скважине впереди КНБК может приводить к уходу бурового раствора в пласт вследствие увеличения давления в скважине до величины выше давления гидроразрыва, что вызывает повреждение пласта.

[0005] Настоящее изобретение направлено на преодоление или по меньшей мере уменьшение эффекта от одной или более проблем, изложенных выше.

#### СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0006] Настоящим изобретением, предложен способ бурения ствола скважины в пласте с применением системы бурения. Система бурения осуществляет циркуляцию текучей среды в закрытом контуре между бурильной колонной и стволом скважины. Способ содержит этапы, на которых: идентифицируют рейс для перемещения бурильной колонны в скважине, причем рейс прогнозируют производящим поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в скважине; получают в ответ на идентифицированный рейс скорость бурильной колонны в скважине для рейса; определяют коррекцию противодействия на поверхности системы бурения для рейса бурильной колонны на скорости для поддержания давления в скважине в допустимых для пласта пределах; и противодействуют изменению давления в скважине от поршневого действия посредством автоматической корректировки противодействия на поверхности согласно определяемой коррекции.

[0007] Для идентификации рейса можно идентифицировать некоторый момент для подъема бурильной колонны из ствола скважины, производящей свабирование, как поршневое действие, уменьшающее давление текучей среды в скважине. Аналогично, можно идентифицировать некоторый момент для спуска бурильной колонны в стволе скважины, производящий поршневание, как поршневое действие, увеличивающее давление текучей среды в скважине.

[0008] В одном устройстве получение скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса может содержать прием данных положений талевого блока в динамике по времени и определение скорости бурильной колонны в стволе скважины по принятым данным положений блока. В другом устройстве получение скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса может содержать прием данных скорости талевого блока и определение скорости бурильной колонны в стволе скважины по принятым данным скорости блока.

[0009] В другом устройстве получение скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса может содержать вычисление скорости для перемещения бурильной колонны в стволе скважины для рейса. Для данного устройства способ может дополнительно содержать перемещение бурильной колонны в рейсе согласно скорости. Например, можно приводить в действие буровую лебедку для перемещения талевого блока, соединенного с бурильной колонной на буровой установке системы бурения.

[0010] Для вычисления скорости для перемещения бурильной колонны, например, максимальную величину скорости можно определить из гидравлического моделирования системы бурения. Для вычисления скорости для перемещения бурильной колонны в стволе скважины, например, можно определить расстояние и отрезок времени для перемещения бурильной колонны талевым блоком системы бурения. Можно определить первый интервал отрезка времени, в котором талевый блок ускоряется для первого участка расстояния для поддержания скорости, и можно определить второй временной интервал в котором талевый блок замедляется для второго участка расстояния для поддержания скорости.

[0010] Согласно способу коррекцию противодействия на поверхности можно определить следующим образом: определяют первое изменение давления в скважине на заданной глубине, произведенное поршневым действием от перемещения бурильной колонны на некоторое расстояние в стволе скважины на отрезке времени; определяют второе изменение противодействия на поверхности для противодействия первому изменению давления в скважине и поддержания давления в скважине в пределах допустимого пластового давления; и делят второе изменение противодействия на поверхности на дискретные шаги на интервалах отрезка времени.

[0012] Коррекцию противодействия на поверхности можно определить, посредством определения проектного давления на некоторой глубине в стволе скважины в пределах допустимого пластового давления. Здесь проектное давление в скважине можно определить посредством определения проектного давления в скважине, как величины, которая меньше по меньшей мере одного из следующего: (i) градиента давления гидроразрыва пласта (ГРП) для рейса бурильной колонны в ствол скважины, для которого прогнозируют производство поршневания, как поршневого действия, и (ii) градиента порового давления пласта для рейса бурильной колонны из ствола скважины, для которого прогнозируют производство свабирования, как поршневого действия.

[0013] Коррекцию противодействия на поверхности можно определить посредством деления значения коррекции для противодействия давлению в скважине, произведенному поршневым действием, на множестве дискретных шагов. В данном способе автоматическое корректирование противодействия на поверхности согласно определяемой коррекции во время рейса бурильной колонны в стволе скважины согласно скорости может содержать автоматическое корректирование противодействия на поверхности последовательно с дискретными шагами во время рейса бурильной колонны в стволе скважины, согласно скорости.

[0014] Корректирование противодействия на поверхности для противодействия изменению давления в стволе скважины, произведенному поршневым действием от перемещения бурильной колонны, может содержать следующее: шаговое увеличение противодействия на поверхности на одном или более дискретных интервалах при подъеме бурильной колонны из ствола скважины в рейсе; или шаговое уменьшение противодействия на поверхности на одном или более дискретных интервалах при спуске бурильной колонны в стволе скважины в рейсе.

[0015] Для корректировки противодействия на поверхности можно корректировать положение по меньшей мере одного штуцера, сообщающегося по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола скважины в закрытом контуре.

[0016] Способ может дополнительно содержать мониторинг одного или более из следующего: положения по меньшей мере одного штуцера, сообщающегося по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола скважины в закрытом контуре; измерения противодействия на поверхности системы бурения выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера; текущей глубины системы бурения в стволе скважины;

текущего положения талевого блока, соединенного с бурильной колонной на буровой установке системы бурения; и текущего состояния конца трубы на системе бурения в стволе скважины.

[0017] По настоящему изобретению программируемое запоминающее устройство имеет хранящиеся в нем программные команды для обеспечения выполнения программируемым контроллером способа бурения ствола скважины с буровым раствором с применением системы бурения способами, раскрытыми в данном документе.

[0018] Настоящим изобретением предложена система бурения ствола скважины в пласте. Система бурения осуществляет циркуляцию текучей среды в закрытом контуре между бурильной колонной и стволом скважины. Система содержит запоминающее устройство и программируемый контроллер. Запоминающее устройство сохраняет гидравлическую модель системы бурения ствола скважины, и программируемый контроллер поддерживает связь с запоминающим устройством.

[0019] Программируемый контроллер выполнен с возможностью следующего: идентификации рейса для перемещения бурильной колонны в стволе скважины, для которого прогнозируют поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в скважине; получения в ответ на идентифицированный рейс скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса; определения коррекции для противодействия на поверхности для рейса бурильной колонны на определенной скорости для поддержания допустимого для пласта давления в скважине; и автоматической корректировки противодействия на поверхности согласно определяемой коррекции во время рейса бурильной колонны в скважине, согласно определенной скорости для противодействия изменению давления в скважине от поршневого действия.

[0020] Система может дополнительно содержать: буровую лебедку, действующую для перемещения бурильной колонны в стволе скважины; по меньшей мере один насос, расположенный на впуске системы и действующий для подачи бурового раствора в ствол скважины через бурильную колонну; по меньшей мере один штуцер, расположенный на выпуске системы и действующий для корректировки притока бурового раствора из ствола скважины; и датчик, выполненный с возможностью измерения величины противодействия на поверхности выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера.

[0021] В одном устройстве программируемый контроллер можно выполнить с возможностью вычисления скорости для перемещения бурильной колонны в стволе скважины для рейса. В последующей работе программируемый контроллер можно выполнить с возможностью управления перемещением бурильной колонны в рейсе согласно скорости.

[0022] Приведенное выше краткое описание не служит для краткого описания каждого потенциального варианта осуществления или каждого аспекта по настоящему изобретению.

#### **КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ**

[0023] На фиг. 1 показана система бурения под регулируемым давлением с

системой управления по настоящему изобретению.

[0024] На фиг. 2 схематично показана система управления по настоящему изобретению.

[0025] На фиг. 3А отобразена на графике обычная работа во время перемещения труб, показано давление в скважине, противодействие на поверхности, положение блока и положение штуцера в динамике по времени.

[0026] На фиг. 3В отобразена на графике работа по настоящему изобретению во время перемещения труб, показано давление в скважине, противодействие на поверхности, положение блока и положение штуцера в динамике по времени.

[0027] На фиг. 4А-4С показаны блок-схемы последовательности работ для бурения скважины и противодействие эффектам свабирования /поршневания по настоящему изобретению при спускоподъемных операциях бурильной колонны.

[0028] На фиг. 5А отобразен на графике пример максимальной рейсовой скорости относительно противодействия на поверхности для настоящего изобретения.

[0029] На фиг. 5В схематично показан пример работы системы управления в раскрытом способе.

## **ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ**

[0030] Система и способ автоматически компенсируют эффекты поршневания и свабирования во время перемещения труб в бурении под управляемым давлением (MPD) для поддержания постоянного забойного давления (ВНР). Как отмечено выше, подъем бурильной колонны из скважины в рейсе может уменьшать забойное давление вследствие эффекта свабирования. Например, поршневое действие между буровым раствором и поднимаемой бурильной колонной может создавать изменения давления в стволе скважины. Инструменты (буровое долото, стабилизаторы, утяжеленная бурильная труба и т.д.), которые обычно имеют диаметр ствола скважины на компоновке низа бурильной колонны (КНБК), поднимаемой из скважины, могут поднимать буровой раствор в кольцевом пространстве и производить снижение давлений в пласте. Приток пластовых текучих сред может также входить в ствол скважины.

[0031] Аналогично, спуск бурильной колонны в скважине в рейсе может увеличивать давление в скважине вследствие эффекта поршневания. Если скорость слишком высокая, увеличение давления в скважине может приводить к поглощению бурового раствора, когда увеличенное давление в скважине превышает давление ГРП.

[0032] Соответственно, в системе и способе, раскрытом в данном документе, идентифицируют момент когда требуется рейс (РООН, RIN) для бурильной колонны в стволе скважины. Рейс может потребоваться по любой частной причине, такой как проработка ствола скважины между наращиваниями, замена компонентов компоновки низа бурильной колонны и т.д. В рейсе прогнозируют поршневое действие (т.е., эффект свабирования для РООН, эффект поршневания для RIN), изменяющее давление текучей среды в скважине.

[0033] Противодействие на поверхности (SBP), требуемое для компенсации эффектов поршневого и свабирования зависит от ряда факторов. Давление, произведенное эффектами поршневого и свабирования во многом зависит от реологических свойств текучей среды, размера кольцевого пространства, скорости перемещения трубы, длины буровой колонны в скважине, кольцевого зазора между стволом скважины и буровой колонной (КНБК), фильтрационной коркой бурового раствора в стволе скважины, выбуренной породы в стволе скважины и т.д. Фактически, величины изменяются, когда бурение продолжается в необсаженную часть ствола скважины и отличающиеся глубины достигаются в пласте.

[0034] Раскрытая система и способ обеспечивают более точную оценку требуемого противодействия на поверхности и автоматическое определение изменений противодействия на поверхности во время рейсов для предотвращения притоков из пласта во время РООН и для исключения образования трещин в пласте во время РИИ с другой стороны; для автоматического непрерывного поддержания давления в скважине. Уставку для противодействия на поверхности вычисляют, применяя модель гидросистемы, на основе скорости трубы в рейсе. Когда труба перемещается вверх или вниз согласно скорости рейса, с помощью раскрытой системы и способа автоматически регулируют противодействие на поверхности для поддержания проектного забойного давления.

[0035] На фиг. 1 показана система 10 бурения с закрытым контуром для бурения под регулируемым давлением по настоящему изобретению. Как показано и рассмотрено в данном документе, данная система 10 может являться системой бурения под управляемым давлением (MPD) и, конкретнее, системой с постоянным поддержанием забойного давления (СВНП), являющейся видом системы MPD. В данном контексте, идеи по настоящему изобретению можно равноценно применять для систем бурения под регулируемым давлением других видов, таких как другие системы MPD (бурения на сбалансированном давлении, бурения с управлением по притоку бурового раствора из скважины, бурения по двойному градиенту и т.д.) а также систем бурения на депрессии (UBD), известных специалистам в данной области техники, пользующимся выгодами по настоящему изобретению.

[0036] Система 10 бурения может представлять собой наземную систему или морскую систему. Как показано здесь, система 10 бурения содержит мобильную морскую полупогружную буровую платформу 100 с буровой установкой 110 и компонентами для работы с текучей средой.

[0037] Буровая установка 110 содержит вышку 112 с талевым блоком 114, несущим верхний привод 116, который соединен с циркуляционным переводником 118. Верх буровой колонны 14 соединяется с циркуляционным переводником 118, например, резьбовым соединением, или зажимным устройством (не показано), таким как головка передачи крутящего момента или копьевидная головка. Верхний привод 116 действует, вращая буровую колонну 14, проходящую от вышки 112, и содержит впуск, соединенный с шлангом вертлюга для обеспечения сообщения по текучей среде между

шлангом вертлюга и циркуляционным переводником 118, а также бурильной колонной 14 проходящей от него.

[0038] Бурильная колонна 14, проходящая от буровой установки 110, содержит компоновку 16 низа бурильной колонны (КНБК) на конце соединенных звеньев бурильной трубы. КНБК 16 может обычно содержать буровое долото 18, утяжеленные бурильные трубы, стабилизаторы, буровой двигатель (не показано), переводник измерения во время бурения, переводник каротажа во время бурения и т.п. для бурения ствола 12 скважины.

[0039] Система 10 бурения дополнительно содержит верхний агрегат 30 морского райзера (UMRP), райзер 22, вспомогательные линии 24 (наддува, штуцерную и т.д.) и другие компоненты. Обычно райзер 22 проходит от буровой установки 110 до оборудования 20 устья скважины, расположенного на морском дне. Райзер 22 обычно соединяется с оборудованием 20 устья скважины устьевым переходником, и оборудование 20 устья скважины обычно имеет противовыбросовые превенторы (BOP) и соединяется с линиями 24 райзера 24, такими как линия наддува, штуцерная линия, линия глушения и т.п.

[0040] Агрегат 30 райзера содержит отводное устройство 70, гибкую муфту 72, телескопическое соединение 74, натяжное устройство 76, кольцо 78 натяжного устройства, и вращающийся превентор 60 (RCD). Например, скользящее соединение 74 содержит наружный ствол, соединенный с верхним концом вращающегося противовыбросового превентора 60, и внутренний ствол, соединенный с гибкой муфтой 72. Наружный ствол можно также соединить с натяжным устройством 76 кольцом 78 натяжного устройства.

[0041] RCD 60 может содержать любое подходящее удерживающее давление устройство, которое сохраняет ствол 12 скважины закрытым контуром на всех этапах бурения ствола 12 скважины. (Понятно, что скважина 12 содержит ствол в пласте F и содержит райзер 22, который представляет собой продолжение ствола скважины). В данном случае RCD 60 может содержать и отводить буровой шлам из кольцевого пространства через выкидную линию 62 для комплектации циркуляционной системы для создания закрытого контура несжимаемого бурового раствора.

[0042] RCD 60 может иметь любую обычную конструкцию. Например, RCD 60 может содержать кожух, поршень, фиксатор и соединительный отвод. Кожух может быть трубчатым и иметь одну или более секций, соединенных вместе, например фланцевыми соединениями. Соединительный отвод может содержать блок подшипника, блок уплотнения кожуха, одно или более дистанцирующих устройств и муфту защелки. Соединительный отвод можно избирательно продольно и торсионно соединить с кожухом посредством сцепления фиксатора с муфтой защелки. Кожух может иметь гидравлические окна, сообщающиеся по текучей среде с поршнем и интерфейсом RCD 60. Блок подшипника может нести съемники грязи из муфты, чтобы дистанцирующие устройства могли вращаться относительно кожуха (и муфты). Блок подшипника может содержать



один или более радиальных подшипников, один или более упорных подшипников и автономную смазочную систему. Блок подшипника можно устанавливать между съемниками грязи и размещать в муфте защелки, соединенным с ней, например резьбовыми соединениями и/или креплениями.

[0043] Каждый съемник грязи в RCD 60 может содержать сальник или стопор и уплотнение. Каждое уплотнение съемника грязи может быть направлено и ориентировано для уплотнения в упор к бурильной колонне 14 в ответ на более высокое давление в райзере 22, чем в UMRP 30. Каждое уплотнение съемника грязи может иметь коническую форму, чтобы давление текучей среды действовало на соответствующую его коническую поверхность, создавая уплотняющее давление на бурильную колонну 14. Каждое уплотнение съемника грязи может иметь внутренний диаметр немного меньше диаметра трубы бурильной колонны 14 для создания посадки с натягом между ними. Каждое уплотнение съемника грязи может быть достаточно гибким, чтобы вмещать резьбовые соединения бурильной колонны 14 с увеличенным диаметром бурильного замка и уплотняться в упор к ним. Бурильную колонну 14 можно принимать через канал соединительного отвода, чтобы уплотнения съемника грязи могли взаимодействовать с бурильной колонной 14. Уплотнения съемника грязи могут обеспечивать требуемый барьер в райзере 22 на неподвижной и вращающейся бурильной колонне 14.

[0044] RCD 60 можно погружать смежно с ватерлинией. Интерфейс RCD может сообщаться по текучей среде с вспомогательным гидравлическим силовым блоком (HPU) (не показано) системы 200 управления по линиям 202 управления. Для RCD 60 можно применять активное уплотнение. Альтернативно, RCD 60 можно устанавливать выше ватерлинии и/или вдоль UMRP 30 на любом другом месте, кроме его нижнего конца. Альтернативно, RCD 60 можно монтировать, как часть райзера 22 на любом месте по его длине.

[0045] RCD 60 может быть соединен с другими регуляторами потока, такими как кольцевое уплотнительное устройство 50, трубная вставка 40 с управляемыми клапанами и т.п., которые применяют в MPD. Кольцевое уплотнительное устройство 50 можно применять для сцепления с уплотнением (т.е., уплотнения в упор к) бурильной колонне 14 или для полной отсечки райзера 22 когда бурильную колонну 14 удаляют, чтобы предотвратить проход потока текучей среды через райзер 22. Как правило, в кольцевом уплотнительном устройстве 50 применяют уплотнительный элемент, который закрывается радиально внутрь поршнями с гидравлическим приводом. Линии 202 управления от гидравлических компонентов на буровой установке 100 можно применять для управления кольцевым уплотнительным устройством 50.

[0046] Трубная вставка 40 может содержать ряд управляемых клапанов (не показано) для соединения с проходными соединениями 42 для поддержания сообщения внутреннего прохода райзера 22 с компонентами буровой установки 100. Выкидные линии 32 от агрегата 30 райзера можно применять для поддержания сообщения с потоком, и линии 202 управления на райзере 22 можно также применять для управления открытием

и закрытием управляемых клапанов.

[0047] В дополнение к агрегату 30 райзера система 10 бурения содержит штуцерный манифольд 120, вибросито 140, емкости 142 бурового раствора, буровые насосы 150. В дополнение к указанному система 10 бурения содержит проточное оборудование 160 для подачи текучей среды к бурильной колонне 14 через шланг вертлюга, соединенный с питающей линией 165а или через хомут 174, соединенный с байпасной линией 165b, который можно соединять с циркуляционным переводником 118. Хомут 174 и циркуляционный переводник 118 являются частью проточной системы, обеспечивающей поддержание подачи текучей среды при наращивании труб.

[0048] Одна или более обратных линий 32 соединяются от агрегата 30 райзера с штуцерным манифольдом 120. Датчик 240 обратного давления, возвратный штуцер 122 и возвратный расходомер 124 сообщаются с потоком обратной линии 32. После штуцерного манифольда 120 поток далее сообщается с дегазатором 130 бурового раствора и виброситом 140.

[0049] Передаточная линия 144 соединяет выпуск емкости 142 бурового раствора с буровыми насосами 150. Стояк 152 соединяется от буровых насосов 150 с буровой установкой 110 для подведения бурового раствора от буровых насосов 150 к шлангу вертлюга и другим проточным соединениям. Стояк 152 может содержать датчик 250с давления вблизи насосов 150 или в другом месте в потоке после насосов 150.

[0050] Здесь стояк 152 также содержит проточное оборудование 160, соединенное между буровыми насосами 150 и буровой установкой 110 для направления потока для бурения в бурильную колонну 14 через шланг вертлюга или через хомут 174. Проточное оборудование 160 содержит питающую линию 165а, соединенную от буровых насосов 150 с впуском 114 верхнего привода. Датчик 250а давления подачи, расходомер подачи (не показано), и отсечной клапан подачи (не показано) можно смонтировать, как часть питающей линии 165а.

[0051] Дополнительно, проточное оборудование 160 содержит байпасную линию 165b, соединяющую стояк 152 от бурового насоса 150 до хомута 174. НПУ 170 соединяется гидравлическими линиями и манифольдом 172 с хомутом 174 для управления его работой. Например, когда верхний привод 116 спускает бурильную колонну 14 в ствол 12 скважины, хомут 174 может сцепляться с циркуляционным переводником 118, и подаваемый насосом поток бурового раствора можно пустить в обход в байпасную линию 165b. Таким способом можно поддерживать непрерывный приток в бурильную колонну 14 когда скрепляют новые свечи 13 труб с бурильной колонной 14. Байпасный датчик 250b давления, байпасный расходомер (не показано) и байпасный отсечной клапан (не показано) можно смонтировать, как часть байпасной линии 165b.

[0052] Наконец, проточное оборудование 160 может дополнительно содержать дренажную линию 161, соединяющую передаточную линию 144 с подающей и байпасной линиями 165а-б. Дренажные ветви дренажной линии 161 могут иметь дренажные клапаны, напорные штуцеры (не показано) и т.п., соединенные с выпуском бурового

насоса 150.

[0053] В качестве датчика 240, 250а-с давления можно применять любой подходящий датчик для измерения давления, такой как измерительный преобразователь давления, манометр, диафрагменный измерительный преобразователь давления, тензометрический измерительный преобразователь давления, аналоговый прибор, электронный прибор или т.п.

[0054] Каждый штуцер 122 может содержать гидравлический или электрический исполнительный механизм, управляемый системой 200 управления через вспомогательный НРУ (не показано). Возвратным штуцером, 122, принимающим обратный поток из агрегата 30 райзера, управляет система 200 управления для корректировки противодействия на поверхности в райзере 22 и стволе 12 скважины для управления скважиной.

[0055] Система 200 управления системы 10 бурения интегрирует агрегатное обеспечение, программное обеспечение и приложения по всей системе 10 бурения и применяется для мониторинга, измерения и регулирования параметров в системе 10 бурения. В данном локализованном оборудовании системы 10 с закрытым контуром, например, можно обнаруживать на поверхности незначительные скважинные притоки или поглощения, и система 200 управления может дополнительно анализировать данные давления и потока для обнаружения выбросов, поглощений и других проявлений. В свою очередь, по меньшей мере некоторые операции системы 10 бурения может автоматически осуществлять система 200 управления.

[0056] Для мониторинга операций система 200 управления применяет данные с ряда датчиков и приборов в системе 10. В частности, система 200 управления применяет один или более датчиков 240 со стороны устья от штуцерного манифольда 120 для измерения давления в притоке шлама из райзера 22 и ствола 12 скважины. Когда штуцер 122 в манифольде 120 корректируют, один или более датчиков 240 измеряют противодействие на поверхности (SBP), приложенное в райзере 22 и стволе 12 скважины.

[0057] В дополнение, система 200 управления может применять один или более датчиков 250а-с ниже по потоку от буровых насосов 150 для измерения давления в стояке 152 (т. е. давления на стояке, SPP). Один или более других датчиков (т.е., счетчики ходов) могут измерять скорость буровых насосов 150 для получения расхода бурового раствора, подаваемого в бурильную колонну 14. При этом расход на входе в бурильную колонну 14 можно определить по числу ходов в минуту и/или давлению в стояке (SPP). Можно также применять расходомеры (не показано) после насосов 150 для измерения притока в ствол 12 скважины.

[0058] Один или более датчиков (не показано) могут измерять объем текучей среды в емкостях 142 бурового раствора и могут измерять величину расхода на входе и выходе из емкостей 142 бурового раствора. В свою очередь, поскольку изменение уровня в емкости бурового раствора может указывать изменение в объеме бурового раствора, приток из ствола 12 скважины можно определить из объема, входящего в емкости 142

бурового раствора.

[0059] Чтобы не полагаться на обычные измерения уровня в мерниках, перемещения мешалок и т.п., система 10 может применять оборудование каротажа бурового раствора и расходомеры для улучшения точности детектирования. Например, система 10 предпочтительно применяет расходомер 124, такой как массовый расходомер Кориолиса на штуцерном манифольде 120 для сбора данных текучей среды, в том числе массового и объемного расхода, удельной массы бурового раствора (т.е., плотности) и температуры возвращающихся по кольцевому пространству текучих сред в режиме реального времени с частотой отбора в несколько проб за секунду. Поскольку расходомер 124 Кориолиса дает прямые измерения массового расхода, расходомер 124 может проводить измерения для газа, жидкости или суспензии. Можно применять другие датчики, такие как ультразвуковые доплеровские расходомеры, эхолокационные расходомеры, магнитный расходомер, поворотный расходомер, лопастные расходомеры и т.д.

[0060] Каждый датчик 240, 250а-с давления может поддерживать связь для передачи данных с системой 200 управления. Датчик 240 обратного давления измеряет противодавление на поверхности (SBP), производимое возвратным штуцером 122. Датчик 250с давления и/или датчик 250а давления подачи измеряет давление в стояке (SPP) до шланга вертлюга, тогда как датчик 250с давления и/или байпасный датчик 250b давления измеряет давление в стояке (SPP) до хомута 174 во время наращивания трубной свечи.

[0061] Как отмечено выше, возвратный расходомер 124 может быть массовым расходомером, таким как расходомер Кориолиса, и поддерживать связь для передачи данных с системой 200 управления. Возвратный расходомер 124, соединенный в обратной линии 62 ниже по потоку от возвратного штуцера 122, измеряет скорость притока шлама. Расходомер подачи (не показано) может измерять расход бурового раствора, подаваемого буровым насосом 150 в бурильную колонну 14 через верхний привод 116. Дополнительные датчики могут проводить измерения газосодержания бурового раствора, температуры выкидной линии, плотности бурового раствора и других параметров.

[0062] Кратко рассмотрев выше пример системы 10 бурения, рассматриваем работу системы 10 бурения в процессе бурения ствола 12 скважины. Во время операций бурения буровые насосы 150 подают буровой раствор из передаточной линии 144 (или емкости текучей среды, соединенной с ней), через стояк 152 и шланг вертлюга в верхний привод 116. Буровой раствор может содержать жидкость основы, такую как масло, вода, рассол или водомасляная эмульсия. Углеводородная основа может являться дизельным топливом, керосином, лигроином, минеральным маслом или синтетическим маслом. Буровой раствор может дополнительно содержать твердые частицы, растворенные или суспендированные в жидкости основы, например, частицы органотфильной глины, лигнита и/или асфальта, при этом формируется буровой раствор.

[0063] Буровой раствор на впуске проходит в бурильную колонну 14 через верхний привод 116 и циркуляционный переводник 118. Буровой раствор проходит вниз через

бурильную колонну 14 и выходит из бурового долота 18 КНБК 16, где текучая среда осуществляет циркуляцию выбуренной породы от долота 18 и возвращает выбуренную породу вверх в кольцевом пространстве, образованном между обсадной колонной или стволом 12 скважины и бурильной колонной 14. Шлам (буровой раствор плюс выбуренная порода), проходящий через кольцевое пространство до оборудования 20 устья скважины затем продолжает перемещение в кольцевое пространство райзера 22 и вверх до RCD 60.

[0064] Что касается RCD 60, в системе 10 применяют RCD 60 для сохранения скважины изолированной от атмосферного воздействия. Шлам отводится в линию 32 возврата и продолжает перемещение через возвратный штуцер 122 и расходомер 124. Поэтому текучая среда, покидающая ствол 12 скважины, проходит через автоматизированный штуцерный манифольд 120, который измеряет возвратный расход (например, выходной расход) и плотность с применением расходомера 124, установленного в линии с штуцерами 122. Шлам затем проходит в вибросито 140, удаляющее выбуренную породу. При циркуляции бурового раствора и шлама бурильная колонна 14 может вращаться верхним приводом 116 и спускаться талевым блоком 114, при этом ствол 12 скважины заглубляется в нижний пласт F.

[0065] В течение всей операции бурения данные текучей среды и других измерений, указанных в данном документе, передаются в систему 200 управления, которая, в свою очередь, осуществляет функции бурения. В частности, система 200 управления приводит в действие автоматизированный штуцерный манифольд 120 для управления противодавлением расходом на поверхности и во время бурения. Указанного можно достигнуть, применяя реагирование автоматизированного штуцера в закрытой и герметизированной циркуляционной системе 10, что делает возможным RCD 60.

[0066] Для осуществления указанного система 200 управления управляет штуцерами 122 с автоматизированным реагированием с помощью мониторинга притока в скважину и притока из скважины, и алгоритмы программного обеспечения в системе 200 управления стремятся поддерживать баланс массового расхода. Если идентифицировано отклонение от баланса массового расхода, система 200 управления инициирует реакцию автоматизированного штуцера, которая изменяет распределение давления в кольцевом пространстве скважины и при этом изменяется эквивалентная плотность бурового раствора в скважине. Данная автоматизированная способность системы 200 управления обеспечивает системе 200 выполнение динамического управления скважиной или реализацию методик СВНР.

[0067] Компоненты программного обеспечения системы 200 управления затем сравнивают расход подачи в скважину и расход поступления из 12 скважины, давление нагнетания или давление в стояке (SPP) (измеренное одним или более датчиками 250а-с), противодавление на поверхности (SBP) (измеренное одним или более датчиками 240 выше по потоку от буровых штуцеров 122), положение штуцеров 122 и плотность бурового раствора, а также другие возможные переменные. Сравнивая данные

переменные, система 200 управления идентифицирует незначительные скважинные притоки и поглощения в режиме реального времени для управления давлением в кольцевом пространстве (AP) во время бурения, посредством коррекций противодействия на поверхности (SBP) с помощью штуцерного манифольда 120.

[0068] С помощью идентификации притоков и поглощений в скважине во время бурения, например, система 200 управления осуществляет мониторинг циркуляции для поддержания сбалансированного потока для СВНР в условиях работы и обнаружения проявлений выбросов и потери циркуляция, которые подрывают указанный баланс. Циркуляция бурового раствора непрерывно осуществляется через систему 10, штуцерный манифольд 120 и расходомер 124 Кориолиса. Понятно, что показатели интенсивности потока могут флуктуировать во время нормальной работы вследствие шума, ошибок датчиков и т.д., так что систему 200 можно калибровать для приспособления к таким флуктуациям. В любом событии система 200 измеряет приток на входе и выходе из скважины и обнаруживает вариации. В общем, если приток на выходе выше, чем приток на входе, то текущая среда прибавляется в системе 10, что указывает на выброс. В отличие от указанного, если приток на выходе ниже, чем приток на входе, то буровой раствор поглощается в пласт, что указывает на потерю циркуляции.

[0069] Для последующего управления давлением система 200 управления вводит изменения давления и расхода в контур несжимаемой текучей среды на поверхности для изменения распределения давления в кольцевом пространстве ствола 12 скважины. В частности, применяя штуцерный манифольд 120 для приложения противодействия на поверхности (SBP) в закрытом контуре, система 200 управления может производить обратимое изменение в ВНР. В данном способе система 200 управления применяет в режиме реального времени данные расхода и давления и манипулирует противодействием на поверхности для управления притоками и поглощениями стволе скважины.

[0070] Для осуществления указанного система 200 управления применяет внутренние алгоритмы для идентификации события, которое происходит в скважине, и может реагировать автоматически. Например, система 200 управления осуществляет мониторинг для любых отклонений в величинах во время операций бурения и предупреждает операторов о любых проблемах, которые могут быть обусловлены притоком текучей среды в ствол 12 скважины из пласта F или поглощением бурового раствора в пласт F. В дополнение, система 200 управления может автоматически обнаруживать, управлять, и изолировать в процессе циркуляции такие притоки и поглощения, управляя работой штуцеров 122 на штуцерном манифольде 120 и выполняя другие автоматизированные операции.

[0071] Изменение притока в скважину и притока из скважины могут содержать отличия, взаимосвязи, уменьшения, увеличения и т.д. различных типов между притоком в скважину и притоком из скважины. Например, приток из скважины может увеличиваться /уменьшаться, когда приток в скважину поддерживается неизменным; приток в скважину может увеличиваться /уменьшаться, когда приток из скважины поддерживается

неизменным, или оба, приток в скважину и приток из скважины могут увеличиваться /уменьшаться.

[0072] Во время операций бурения система 200 управления управляет работой возвратного штуцера 122 так, что проектное давление в скважине (ВНР) поддерживается в кольцевом пространстве во время операции бурения. Проектное ВНР может быть выбрано в окне бурения, заданным больше или равным минимальному пороговому давлению, такому как поровое давление (PP) нижнего пласта F и меньше или равным максимальному пороговому давлению, такому как давление гидроразрыва (FP) нижнего пласта, таким как среднее между поровым ВНР и ВНР гидроразрыва. Альтернативно, минимальным пороговым может быть давление равновесия и/или максимальным пороговым может быть давление протечки. Альтернативно, можно применять градиенты порогового давления вместо давлений, и градиенты можно получать на других глубинах в нижнем пласте F кроме глубины забоя, таких как глубина максимального градиента порового давления и глубина минимального градиента давления гидроразрыва. Альтернативно, система 200 управления может быть свободной для изменения ВНР в окне во время операции бурения. Статическая плотность бурового раствора (обычно принимается равной плотности шлама; эффект от выбуренной породы обычно принимают пренебрежительно малым) может соответствовать градиенту порогового давления нижнего пласта F, например быть больше или равной градиенту порового давления.

[0073] Во время операции бурения система 200 управления может исполнять моделирование в режиме реального времени операции бурения для прогнозирования фактического ВНР по измеренным данным, например, по давлению в стояке (SPP) измеренному датчиком 250а-с, скорости подачи бурового насоса, измеренной расходомером 166а подачи, давлению на оборудовании устья скважины по любому из датчиков и притоку текучей среды возврата, измеренному возвратным расходомером 124. Система 200 управления затем сравнивает прогнозируемый ВНР с проектным ВНР и регулирует возвратный штуцер 122, соответственно.

[0074] Во время операции бурения система 200 управления также выполняет массовую компенсацию для мониторинга нестабильности нижнего пласта F, например по проявлению выброса или проявлению потери циркуляции. Когда буровой раствор подается в ствол 12 скважины буровым насосом 150 и шлам принимается из обратной линии 32, система 200 управления может сравнивать массовые расходы (т.е., расход бурового раствора минус расход шлама), применяя соответствующие расходомеры 124, 166а. Система 200 управления может применять массовую компенсацию для мониторинга входа пластовой текучей среды (не показано) в кольцевое пространство и загрязнения шлама или входа шлама в пласт F.

[0075] После обнаружения нестабильности (например, выброса), система 200 управления предпринимает корректирующее действие, например отводит поток шлама из выпуска возвратного расходомера 124 в дегазатор 130 бурового раствора. В газовом детекторе сепаратора 130 можно применять зонд, имеющий мембрану, для отбора пробы

газа из шлама, газовый хроматограф и систему носителя для подачи пробы газа в хроматограф. Система 200 управления может также регулировать возвратный штуцер 122 соответственно, например закрывать штуцер 122, реагируя на выброс, и открывать штуцер 122 в ответ на поглощение шлама.

[0076] Альтернативно, система 200 управления может содержать другие факторы в массовой компенсации, такие как смещение бурильной колонны и/или удаление выбуренной породы. Система 200 управления может вычислять скорость проходки (ROP) бурового долота 18, поддерживая связь с буровой лебедкой и/или по длине трубы. Можно добавить массовый расходомер в лоток выбуренной породы выбросита 140, и система 200 управления может напрямую измерять массовый расход при отборе выбуренной породы.

[0077] С пониманием системы 10 бурения и системы 200 управления теперь можно рассмотреть некоторые дополнительные детали компонентов системы 200 управления. На фиг. 2 схематично показаны некоторые детали системы 200 управления по настоящему изобретению.

[0078] Система 200 управления содержит блок 210 обработки данных, который может быть частью компьютерной системы, сервер, программируемый контроллер, программируемый логический контроллер и т.д. Применяя интерфейсы 230 ввода/вывода, блок 210 обработки данных может поддерживать связь с буровой установкой 110, штуцерным манифольдом 120 и другими системными компонентами для получения и передачи связанных сигналов, сигналов датчиков, исполнительных механизмов и управляющих сигналов 232 для различных системных компонентов в зависимости от конкретного случая. В контексте рассматриваемых средств управления, сигналы 232 могут содержать, но без ограничения этим, сигналы положения штуцера, положения блока, скорости буровой лебедки и т.п. среди других сигналов, таких как сигналы давления, сигналы циркуляции, сигналы температуры, сигналы плотности текучей среды и т.д.

[0079] Как показано, штуцерный манифольд 120 содержит штуцеры 122a-b, расходомер 124 и датчики 240 давления, среди других элементов, таких как локальный контроллер (не показано) для управления работой манифольда 120 и гидравлический силовой блок (HPU) и/или электрический двигатель для приведения в действие штуцеров 122. Система 200 управления поддерживает связь с манифольдом 120 и имеет панель управления с интерфейсом пользователя и способна обрабатывать данные для мониторинга и управления манифольдом 120.

[0080] Блок 210 обработки данных также соединен каналами связи с базой данных или запоминающим устройством 220, имеющими уставки 222, модель 224 гидросистемы и другую хранимую информацию. Модель 224 гидросистемы характеризует систему давления в скважине. Данную информацию для модели 224 гидросистемы можно сохранять в любой подходящей форме, например в поисковых таблицах, кривых, функциях, уравнениях, наборах данных и т.д. Дополнительно, многочисленные модели 224 гидросистемы или т.п. можно хранить и можно характеризовать систему (10) в



контексте отличающихся устройств системы, отличающихся буровых растворов, отличающихся условий работы и других сценариев.

[0081] Понятно, что модель 224 гидросистемы для системы 200 управления можно строить на основе различных компонентов, элементов и т.п. в системе 10 бурения. Модель 224 гидросистемы можно строить с любой сложностью, требуемой для моделирования системы 10 бурения, которая, как отмечено выше со ссылкой на фиг. 1, может иметь высокую сложность и большой объем информации, связанную с ней, и которая может изменяться в динамике по времени в зависимости от параметров бурения.

[0082] Блок 210 обработки данных управляет работой регулятора 212 давления по настоящему изобретению с применением модели 224 гидросистемы. В частности, блок 210 обработки данных применяет текущий профиль давления от регулятора 212 давления для управления работой регулятора 214 штуцера по настоящему изобретению для мониторинга и управления штуцером (штуцерами) 122a-b. Например, блок 210 обработки данных может передавать сигналы на один или более штуцеров 122a-b системы 10, применяя любую подходящую связь. Обычно, сигналы указывают положение штуцера или коррекцию положения, подлежащую применению для штуцеров 122a-b. Обычно, штуцерами 122a-b управляет гидросистема, при этом сигналы 232, передаваемые блоком 210 обработки данных, могут быть электрическими сигналами, которые управляют работой соленоидов, клапанов или т.п., относящихся к НПУ для управления работой штуцеров 122a-b.

[0083] Как показано на фиг. 2, можно применять два штуцера 122a-b. Один и тот же регулятор 214 штуцера может проводить коррекции обоих штуцеров 122a-b, или отдельные регуляторы 214 штуцеров можно применять для каждого штуцера 122a-b. Фактически, два штуцера 122a-b могут иметь отличия, которые можно учитывать в применении двух регуляторов 214 штуцеров.

[0084] Как рассмотрено в данном документе, в системе 200 управления применяют регулятор 214 штуцера, настроенный для управления в режиме реального времени противодавлением на поверхности, и система 200 управления применяет измерения давления с датчиков 240, связанных с штуцером (штуцерами) 122a-b для определения противодавление системы (10) на поверхности.

[0085] В некоторые моменты времени работы бурильная колонна 14 может требовать РООН и затем РИИ. Например, бурильная колонна 14 может требовать удаления из ствола скважины (12), свеча за свечой, для замены или изменения компонентов КНБК (16). Бурильную колонну 14 можно затем повторно вставить, свеча за свечой, в ствол 12 скважины для продолжения бурения в пласт F. Также, когда операторы наращивают новую свечу на буровой установке 110 во время бурения, бурильную колонну 14 можно поднимать в стволе 12 скважины блоком 114 и затем спускать в стволе скважины блоком 114 для проработки ранее пробуренной секции ствола 12 скважины перед продолжением бурения. Когда проработка выполнена, новую свечу можно соединить с бурильной колонной 14 для продолжения дальнейшего бурения пласта F.

[0086] Как рассмотрено в данном документе, перемещение бурильной колонны 14 в стволе скважины (12) может производить поршневое действие (свабирование /поршневание), которое изменяет давление текучей среды в скважине (12). Для работы с эффектами сваби́рования и поршнева́ния во время РООН и РИН, соответственно, блок 210 обработки данных применяет регулятор 216 сваби́рования /поршнева́ния, который работает в соединении с регулятором 212 давления и регулятором 214 штуцера для поддержания давления в скважине в допустимых пределах, когда блок обработки данных 110 перемещает блок 114 буровой лебедкой 115. Для регулирования сваби́рования /поршнева́ния во время спускоподъема, контроллер 200 определяет, что бурильную колонну 14 следует поднять из (и/или опустить в) скважину при заданной скорости и определяет условие для “конца трубы” (т.е., открыто, закрыто или автозаполнение). В дополнение, вычисляют профиль оптимальной скорости трубы в зависимости от глубины, поддерживающий допустимые пределы в бурении.

[0087] Например, талевый блок 114 буровой установки 110 может быть подвешен на талевом канате, соединенном своим верхним концом с кронблоком 112. Талевый канат можно запасовать через шкивы блоков 112, 114 и протягивать до буровой лебедки 115 для его перематывания, при котором поднимают или опускают талевый блок 114 относительно вышки 110.

[0088] Для работы с эффектами сваби́рования при РООН система 200 управления может выполнять автоматические коррекции штуцера (штуцеров) 122a-b, способами реагирования или упреждения. Для работы с эффектами сваби́рования при РООН в первом устройстве блок 210 обработки данных применяет модель 224 гидросистемы и определяет оптимальную скорость для перемещения бурильной колонны 14. Система 200 управления определяет уставки штуцера и SBP, связанные с данной определенной скоростью, и передает команды на буровую лебедку 115 для перемещения талевого блока 114 и соединенной с ним бурильной колонны 14 с данной определенной скоростью. Когда бурильная колонна 14 перемещается, система 200 управления автоматически корректирует работу штуцера (штуцеров) 122a-b для поддержания SBP таким, что ВНР остается в допустимых пределах и может предотвращать вход пластовой текучей среды в ствол скважины вследствие эффектов сваби́рования.

[0089] Во втором устройстве блок 210 обработки данных принимает данные положения талевого блока 114 в динамике по времени и вычисляет скорость перемещения труб по изменяющемуся положению блока в динамике по времени. Здесь талевым блоком 114 могут отдельно управлять другие системы буровой установки. Предпочтительно, талевый блок 114 перемещает бурильную колонну 14 на максимальной оптимальной скорости, как раскрыто в данном документе, которую может вычислить система 200 управления. Вместе с тем, система 200 управления может не напрямую управлять перемещением труб.

[0090] Когда талевый блок 114 перемещается при отдельном управлении на буровой установке 10, скорость перемещения труб бурильной колонны 14 передается в

модель 224 гидросистемы, и система 200 управления определяет уставки штуцера и SBP для перемещения трубы с вычисленной скоростью в модели 224 гидросистемы. По результатам моделирования и в процессе перемещения бурильной колонны 14 система 200 управления автоматически корректирует работу штуцера (штуцеров) 122a-b для поддержания SBP, так что ВНР остается в допустимых пределах и может предотвращать вход пластовой текучей среды в ствол 12 скважины вследствие эффектов свабиrowания.

[0091] Для работы с эффектами свабиrowания при РООН в третьем устройстве блок 210 обработки данных может принимать данные скорости талевого блока 114 из некоторого другого источника на буровой установке (10). Здесь, талевым блоком 114 могут отдельно управлять другие системы буровой установки. Предпочтительно, талевый блок 114 перемещает бурильную колонну 14 на максимальной оптимальной скорости, которую может вычислить система 200 управления, как раскрыто в данном документе. Вместе с тем, система 200 управления может не напрямую управлять перемещением труб.

[0092] Скорость перемещения бурильной колонны 14 затем передается в модель 224 гидросистемы, и система 200 управления определяет уставки штуцера и SBP для перемещения труб с вычисленной скоростью в модели 224 гидросистемы. Из моделирования и в процессе перемещения бурильной колонны 14, система 200 управления автоматически корректирует работу штуцера (штуцеров) 122a-b для поддержания SBP таким, что ВНР остается в допустимых пределах и может предотвращать вход пластовой текучей среды в ствол 12 скважины вследствие эффектов свабиrowания.

[0093] Система 200 управления может аналогично выполнять автоматические коррекции штуцера (штуцеров) 122a-b в сопоставимых способах реагирования или упреждения для работы с эффектами поршневания при РИИ. Для работы с эффектами свабиrowания при РООН в первом устройстве блок 210 обработки данных применяет модель 224 гидросистемы и определяет оптимальную скорость для перемещения бурильной колонны 14. Система 200 управления определяет уставки штуцера и SBP, связанные с данной определенной скоростью, и передает команды на буровую лебедку 115 для перемещения талевого блока 114 и соединенной бурильной колонны 14 с данной определенной скоростью. В процессе перемещения бурильной колонны 14 система 200 управления автоматически корректирует работу штуцера (штуцеров) 122a-b для поддержания SBP таким, что ВНР остается в допустимых пределах и может предотвращать вход скважинной текучей среды в пласт F вследствие эффектов поршневания.

[0094] Во втором устройстве блок 210 обработки данных принимает данные положения талевого блока 114 в динамике по времени и вычисляет скорость перемещения труб по изменению положения блока в динамике по времени. Здесь талевым блоком 114 могут отдельно управлять другие системы буровой установки. Предпочтительно, талевый блок 114 перемещает бурильную колонну 14 на максимальной оптимальной скорости, как раскрыто в данном документе, которую может вычислить система 200 управления. Вместе

с тем, система 200 управления может не напрямую управлять перемещением труб.

[0095] Когда талевый блок 114 перемещается с отдельным управлением на буровой установке 10, скорость перемещения труб бурильной колонны 14 передается в модель 224 гидросистемы, и система 200 управления определяет уставки штуцера и SBP для перемещения труб с вычисленной скоростью в модели 224 гидросистемы. Из моделирования и в процессе перемещения бурильной колонны 14, система 200 управления автоматически корректирует работу штуцера (штуцеров) 122a-b для поддержания SBP таким, что ВНР остается в допустимых пределах и может предотвращать вход скважинной текучей среды в пласт F вследствие эффектов поршневания.

[0096] В третьем устройстве для работы с эффектами свабиования при РООН блок 210 обработки данных может принимать данные скорости талевого блока 114 из другого источника на буровой установке (10). Здесь талевым блоком 114 могут отдельно управлять другие системы буровой установки. Предпочтительно, талевый блок 114 перемещает бурильную колонну 14 на максимальной оптимальной скорости, как раскрыто в данном документе, которую может вычислить система 200 управления. Вместе с тем, система 200 управления может не напрямую управлять перемещением труб.

[0097] Скорость перемещения бурильной колонны 14 затем передается в модель 224 гидросистемы, и система 200 управления определяет уставки штуцера и SBP для перемещения труб с вычисленной скоростью в модели 224 гидросистемы. Из моделирования и в процессе перемещения бурильной колонны 14, система 200 управления автоматически корректирует работу штуцера (штуцеров) 122a-b для поддержания SBP таким, что ВНР остается в допустимых пределах и может предотвращать вход скважинной текучей среды в пласт F вследствие эффектов поршневания.

[0098] Целью автоматического управления при свабиовании /поршневании во время спускоподъема является удовлетворение критериям работы в забое скважины, таким как сохранение давления в кольцевом пространстве, превышающим поровое давление ( $AP > PP$ ), превышающим давления упрочнения ствола скважины ( $AP > WBS$ ), превышающим давление опрессовки ( $AP > LOT$ ), но меньшим давления гидроразрыва ( $AP < FP$ ), и меньшим давления испытания на ГРП ( $AP < FIT$ ).

[0099] В качестве примера на фиг. 3А показан график 300 обычной операции проработки, выполненной между наращиваниями бурильной колонны, в котором талевый блок (114) поднимает бурильную колонну (14) из скважины и затем спускает бурильную колонну (14) в скважину. На фиг. 3А на графике показано перемещение 320 талевого блока при подъеме и затем опускании им бурильной колонны (14). При перемещении 320 блока вверх забойное давление 302 уменьшается вследствие эффектов свабиования, а при перемещении 320 вниз забойное давление 302 увеличивается вследствие эффектов поршневания. Противодействие на поверхности 306 сохраняют вблизи постоянный уставки 304, фиг. 3А посредством коррекций уставки 308 штуцера, корректируя

положение штуцера 310. Без определенной скорости перемещения 320 блока и без автоматических коррекций противодействия 306 на поверхности, как указано настоящим изобретением, скорость перемещения вверх, соответствующая 2 минутам на трубную свечу перемещением 320 блока в данном примере должна приводить к уменьшению забойного давления 302 на около 156 psi (1076 КПа) вследствие эффектов свабирования. Как также показано, перемещение труб вниз с той-же скоростью посредством перемещения 320 блока на скорости должно увеличивать забойное давление 302 на около 233 psi (1608 КПа) вследствие эффектов поршневания. Указанное дает вариацию приблизительно 390 psi (2691 КПа) давления в скважине.

[0100] В отличие от результата, показанного на фиг. 3А, блок 210 обработки данных фиг. 2 работает с эффектами свабирования и поршневания во время РООН и RIN, применяя регулятор 216 свабирования /поршневания, который работает в соединении с регулятором 212 давления и регулятором 214 штуцера для поддержания забойного давления в допустимых пределах посредством определения скорости для перемещения бурильной колонны 14 талевым блоком 114 и автоматической корректировки противодействия на поверхности, когда блок 210 обработки данных перемещает талевый блок 114 буровой лебедкой 115.

[0101] В качестве примера на фиг. 3В показан график 350 модифицированной операции проработки, выполненной между наращиваниями бурильного инструмента, в которой талевый блок (114) поднимает бурильную колонну (14) из скважины и затем спускает бурильную колонну (14) в скважину. На графике фиг. 3В также показано перемещение 370 талевого блока, когда им поднимают и затем опускают бурильную колонну (14). Изменения в положении 360 штуцера (% закрытия) показаны на графике, когда бурильная труба перемещается вверх и вниз. Для противодействия эффекту свабирования во время перемещения 370 вверх блока, задают коррекцию уставки 354 противодействия на поверхности и уставку 358 штуцера, и регулятор положения 360 штуцера автоматически корректирует противодействие 356 на поверхности. Для противодействия эффекту поршневания во время перемещения 370 вниз блока задают коррекцию уставки противодействия на поверхности 354 и уставку 358 штуцера, и регулятор положения 360 штуцера автоматически корректирует противодействие 356 на поверхности. Изменения в положении 360 штуцера соответственно увеличивают и уменьшают противодействие 356 на поверхности для поддержания меньше меняющегося забойного давления 352. Как можно видеть в данном примере, когда бурильная колонна (14) перемещается вверх, противодействие 356 на поверхности постепенно увеличивается от 600 psi (4140 КПа) до 750 psi (5175 КПа) для предотвращения свабирования. Когда бурильная колонна (14) перемещается вниз, противодействие на поверхности, 750 psi (5175 КПа) уменьшается до около 550 psi (3795 КПа) для предотвращения поршневания. В итоге, забойное давление 352 удерживается в узких пределах отклонения в 50 psi (345 КПа).

[0102] Получив понимание системы 10 бурения и системы 200 управления,

рассматриваем показанные на фиг. 4А-4С

способы 400а-с бурения скважины и противодействия эффектам свабирования /поршневания по настоящему изобретению при спускоподъеме бурильной колонны. Для рассмотрения делаются ссылки на систему 10 бурения и систему 200 управления, показанные на фиг. 1-2.

[0103] Для первого способа 400а бурения, фиг. 4А, блок 210 обработки данных получает вводные параметры бурения с помощью мониторинга ряда параметров (блок 402), в том числе, текущее положение талевого блока, текущее положение штуцера, измерение противодействия на поверхности, текущая глубина бурения и состояние конца трубы (403). Как отмечено, данные текущего положения штуцера можно получить, применяя датчики на штуцерном манифольде 120, такие как датчики положения на штуцерах 122а-в. Данные текущего положения блока можно получить, применяя протокол обмена данными с буровой (WITS) от буровой установки 10 и можно сообщать каждую секунду. Противодействие на поверхности можно измерять, применяя датчики 240 давления на штуцерном манифольде 120 или в другом месте к устью скважины от штуцеров 122а-в. Состояние конца трубы может быть открытым, закрытым или с автозаполнением в зависимости от конфигурации КНБК 16.

[0104] По некоторым из данных вводных параметров (403), вычисляют текущее забойное давление (Блок 404), а также вычисляют уставки для штуцера (штуцеров) 122а-в и противодействия на поверхности (Блок 406). Указанное выполняют для поддержания требуемой уставки забойного давления во время бурения ствола 12 скважины. Вычисленная уставка штуцера соответствует положению штуцера (% закрытия) служащего для получения вычисленной уставки SBP, при которой поддерживается забойное давление в пределах проектной уставки секций пласта (т.е., порового давления, давления гидроразрыва, и т.д.), который бурят. Коррекции штуцера (штуцеров) 122а-в выполняют по ходу бурения для отслеживания изменяющихся уставок, чтобы оставаться в пределах проектной уставки.

[0105] В динамике по времени рейс некоторого вида должен быть выполнен во время бурения, в котором бурильную колонну 14 поднимают из скважины и затем спускают в скважину. Блок 210 обработки данных идентифицирует момент, когда требуется, планируется, инициируется или т.п. рейс для бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины (Решение 408). Для рейса можно прогнозировать поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в стволе 12 скважины. Например, можно идентифицировать некоторый момент для подъема бурильной колонны 14 из ствола скважины, при котором производится свабирование, как поршневое действие, уменьшающее давление текучей среды в стволе 12 скважины. Аналогично, можно идентифицировать некоторый момент для спуска бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины, при котором производится поршневание, как поршневое действие, увеличивающее давление текучей среды в стволе 12 скважины. Фактически оба, РООН и РИН можно указывать, как прорабатывающие ствол 12 скважины перед наращиванием

бурильной колонны 14 новой свечой.

[0106] Для идентифицированного рейса (Блок 408), время спуска для рейса делят на дискретные сегменты для перемещения труб талевым блоком 114. При подъеме бурильной колонны 14 из скважины, свеча за свечой, рейс для подъема каждой свечи делят на дискретные сегменты для перемещения труб блоком 114. При спуске бурильной колонны 14 в скважину, свеча за свечой, рейс для спуска каждой свечи делят на дискретные сегменты для перемещения труб блоком 114. Во время бурения бурильную колонну 14 можно также поднимать и опускать между последовательными операциями наращивания для проработки ствола 12 скважины. Например, трубу поднимают из скважины (РООН), поднимая блок в его верхнее положение, и трубу затем спускают в скважину (РИН), опуская блок в его нижнее положение. Данное может содержать перемещение блока и соединенной с ним бурильной колонны на 90 футов (27 м) вверх и затем обратно вниз. Данная операция может действовать для проработки ранее пробуренной не обсаженной секции скважины перед наращиванием новой свечи для обеспечения продолжения бурения вглубь.

[0107] В любом из данных моментов перемещение при РООН или РИН бурильной колонны 14 должно выполняться на некоторое расстояние в некотором направлении в стволе 12 скважины относительно текущей глубины, и перемещение на данное расстояние в данном направлении может производить поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в стволе 12 скважины. Реагируя на идентифицированный рейс блок 210 обработки данных вычисляет скорость рейса (РООН, РИН) бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины (Блок 410). Определенная оптимальная скорость рейса является, предпочтительно, максимальной скоростью (например, наибольшей возможной скоростью, оптимальной скоростью и т.д.) для перемещения трубы в текущих условиях с требуемым SBP. Скорость, которая слишком мала, замедлит операцию бурения, что приведет к потере времени. Скорость, которая слишком велика, усугубит проблемы свабирования /поршневого и усложнит возможное противодействие им.

[0108] Для определения максимальной скорости блок 210 обработки данных применяет величину для максимальной скорости, вычисленную из гидравлического моделирования системы 10 бурения в стволе 12 скважины. Модель 224 гидросистемы в системе 200 управления суммирует скважину 12, приводя глубины ствола 12 скважины для поддержания забойного давления на скорости рейсов бурильной колонны 14 для РООН и РИН посредством приложения адекватного SBP. При этом обычно производят разбивку на секции по глубине в скважине 12. Прогнозируемое противодействие, подлежащее приложению на поверхности во время рейса, можно определить из модели 224 гидросистемы для противодействия прогнозируемому изменению забойного давления во время рейса. Данное моделирование обычно подтверждают посредством идентификационных меток скважины 12 при операциях в обсаженном стволе.

[0109] В частности, максимальные скорости для РИН и РООН можно вначале определить моделированием по модели 224 гидросистемы скважины. Данные оценки

скорости стыкуются с прогнозируемыми изменениями в забойном давлении на разных глубинах в стволе 12 скважины. Противодействие на поверхности при спускоподъеме затем указывают на основе прогнозируемого изменения забойного давления.

[0110] Снятие идентификационных меток скважины можно затем выполнить во время производства работ для подтверждения и обновления данных оценок, чтобы операторы имели подтвержденную информацию о максимальных скоростях рейса на разных глубинах, прогнозируемом изменении в забойном давлении при данных скоростях рейса, а также коррелированном противодействии на поверхности, требуемом для противодействия изменению ВНР, чтобы забойное давление оставалось в допустимых пределах между градиентом порового давления и градиентом давления гидроразрыва.

[0111] Пример возможной таблицы скважины, снабженной метками для РООН, приведен ниже.

график подъема из скв.				
полное время рейса=40 час.				
из скв. м	в скв. м	скорость рейса мин./свеча	противодавление на поверхности фунт/кв.дюйм	полное время рейса, мин.
6523	6000	7	130	122,0
6000	5000	5	120	166,7
5000	4000	4	120	133,3
4000	3000	3	100	100,0
3000	1702	3	80	129,8
1702	0	3	50	170,2

[0112] Во время РООН в данном примере определенное противодействие на поверхности согласно таблицы, приведенной выше, требуется прикладывать для предотвращения свабирования. Когда бурильная колонна 14 неподвижна и не перемещается, противодействие на поверхности должно сбрасываться или возвращаться к величине статического SBP. Аналогичный расклад для РИН можно получить из модели 224 гидросистемы и подтвердить снятием идентификационных меток скважины.

[0113] Отличающиеся скорости перемещения трубы и производимые при этом изменения давления в скважине вводят в регулятор 216 свабирования /поршневания и применяют для соотношения между скоростью рейса в зависимости от изменения ВНР, когда выполняют дополнительный анализ.

[0114] Для информации на фиг. 5А показана на графике смоделированная скорость рейса, как скорость блока в зависимости от противодействия на поверхности. Скорость



рейса показана на графике, как время (в минутах) на свечу, скорость выше, когда меньше времени дается на свечу для перемещения бурильной колонны 14. Более высокие скорости рейса коррелируют с более высокими коррекциями противодавления на поверхности.

[0115] Для вычисления максимальной скорости на основе моделирования и снятия идентификационных меток для определения коррелированной коррекции противодавления на поверхности, вычисленная эквивалентная плотность бурового раствора в циркуляционной системе (ECD) дается, как функция максимальной скорости  $V_{\text{peak}}$  перемещения трубы. Когда максимальная скорость  $V_{\text{peak}}$  равна 0 (труба не перемещается), то ECD ( $V_{\text{peak}}=0$ ) равна плотности бурового раствора (MW). Функция увеличивается для поршневания (RIN) и уменьшается для свабирования (POOH).

[0116] На основе текущей глубины вычисляют оптимальную максимальную скорость  $V_{\text{peak}}$  для перемещения трубы для регулирования эффектов поршневания и свабирования. (максимальная скорость  $V_{\text{peak}}$  может иметь максимальную величину с точность около 0,01 фут/с (0,3 м/с) в некоторых вариантах реализации.) Максимальную скорость  $V_{\text{peak}}$  вычисляют итерационно, применяя метод деления отрезка пополам, так что соответствующая ECD удовлетворяет требуемым допускам по отношению к полной вертикальной глубине (TVD), градиенту порового давления (PPG), градиенту давления гидроразрыва (FPG).

[0117] Можно применять две формы допуска: одну на основе допуска по опорной ECD и другую на основе допуска по градиенту давления. Для вычисления максимальной скорости в компенсации поршневания на основе опорной ECD на опорной глубине ECD поддерживают ниже опорной ECD в циркуляционной системе, как дано в выражении  $ECD(D_{\text{ref}}) < ECD_{\text{ref}}$ . Для вычисления максимальной скорости в компенсации свабирования на основе опорной ECD на забойной глубине ECD поддерживается ниже градиента давления гидроразрыва, FPG, как дано в выражении  $ECD(D_{\text{BH}}) < FPG(D_{\text{BH}})$ .

[0118] Для вычисления максимальной скорости в компенсации свабирования на основе опорной ECD, на опорной глубине ECD поддерживают выше опорной ECD, как дано в выражении  $ECD(D_{\text{ref}}) > ECD_{\text{ref}}$ . Наконец, для вычисления максимальной скорости в компенсации свабирования на основе опорной ECD на забойной глубине ECD поддерживают выше градиента порового давления, PPG, как дано в выражении  $ECD(D_{\text{BH}}) > PPG(D_{\text{BH}})$ .

[0119] Как также показано в способе 400 на фиг. 4, блок 210 обработки данных определяет изменение в забойном давлении, произведенное поршневым действием от перемещения бурильной колонны на расстояние в направлении в стволе скважины относительно текущей глубины. Для каждой свечи в рейсе блок 210 обработки данных определяет расстояние спускоподъема и отрезок времени, потраченного на перемещение бурильной колонны 14 талевым блоком 114 (Блок 412). Таким способом оптимизируют скорость спускоподъема.

[0120] Во время перемещения труба получает ускорение, и ускорение

/отрицательное ускорение спускоподъема можно дополнительно оптимизировать согласно идеям по настоящему изобретению для регулирования перемещения труб. Например, блок 210 обработки данных может вычислить ускорение и отрицательное ускорение талевого блока 114 с которым блок 114 перемещается с максимальной скоростью. Например, можно вычислить сегмент ускорения, в котором бурильная колонна 14 получит ускорение для РООН и РИН для перемещения трубы талевым блоком 114 (Блок 414), и можно вычислить сегмент отрицательного ускорения, в котором бурильная колонна 14 получит отрицательное ускорение для РООН и РИН перемещения труб талевым блоком 114 (Блок 416). Можно рассчитать время наращивания между РООН и РИН.

[0121] Для извлечения бурильной колонны 14 из ствола 12 скважины, например, талевый блок 114 перемещается вверх на буровой установке, и бурильная колонна 14 вначале получает ускорение и затем достигает максимальной скорости. Поэтому можно оценить сегмент времени ускорения (Блок 414) когда выполняют коррекции для эффектов свабирования. (Когда талевый блок 114 достигает своего крайнего положения в буровой установке, бурильная колонна 14 может получить отрицательное ускорение при этом можно оценить сегмент времени отрицательного ускорения (Блок 414) когда выполняют регулировки для эффектов свабирования. Когда блок 114 остается неподвижным и скорость является нулевой (Блок 414), ESD является плотностью бурового раствора плюс дополнительные факторы температуры и сжимаемости и любое SBP, которое прикладывают при неподвижном состоянии, и требуются отличающиеся коррекции для поддержания давления в скважине. Для спуска бурильной колонны 14 в ствол 12 скважины талевый блок 114 перемещается вниз на буровой установке, и бурильная колонна 14 вначале получает ускорение и затем достигает максимальной скорости, поэтому можно оценить сегмент времени ускорения (Блок 414), когда выполняют коррекции для эффектов поршневания. (Когда блок 114 достигает своего крайнего положения в буровой установке, бурильная колонна 14 может получить отрицательное ускорение, при этом можно оценить сегмент времени отрицательного ускорения (Блок 416) когда выполняют регулировки для эффектов поршневания).

[0122] Соответственно, для ускорения (Блок 414) вычисляют первый сегмент отрезка времени для перемещения талевого блока 114 на максимальной скорости, в котором блок 114 получает ускорение для первого участка расстояния для сохранения максимальной скорости. Для отрицательного ускорения (Блок 416), вычисляют второй сегмент отрезка времени для перемещения талевого блока 114 на максимальной скорости, в котором блок 114 получает отрицательное ускорение для второго участка расстояния для сохранения максимальной скорости.

[0123] для таких операций РООН или РИН, временной интервал можно разделить на сегмент ускорения, сегмент постоянной скорости и сегмент отрицательного ускорения.

Сегмент ускорения имеет время  $t_{\text{acceleration}}$ , для которого рассчитывают расстояние  $L_{\text{acc}}$  спускоподъема с ускорением, как 
$$L_{\text{acc}} = \frac{v_{\text{peak}} t_{\text{acc}}}{3}$$
 (принимая кубическую зависимость

скорости от времени). Если расстояние  $L_{acc}$  спускоподъема с ускорением больше половины длины,  $L_{stand}/2$  для свечи, тогда определение требует корректировки.

[0124] Время сегмента постоянной скорости вычисляют, как  $t_{const} = \frac{L_{stand} - 2 L_{acc}}{V_{peak}}$ .

Сегмент постоянной скорости рейса может отсутствовать или быть кратковременным. Со своей стороны, сегмент отрицательного ускорения является симметричным сегменту ускорения.

[0125] Для рейса с вычисленной максимальной скоростью с данными сегментами ускорения /постоянной скорости /отрицательного ускорения, блок 210 обработки данных вычисляет коррекции противодействия на поверхности системы 10 бурения для поддержания давления в скважине, в допустимых пределах для пласта (Блок 420). Данные допустимые пределы требуют для проектного забойного давления быть меньше по мере меньшей мере одного из следующего: (i) градиента давления ГРП для рейса бурильной колонны 14 в ствол 12 скважины, прогнозируемого производящим поршневание, как поршневое действие, и (ii) градиента порового давления пласта для рейса бурильной колонны 14 из ствола 12 скважины, прогнозируемого производящим свабирование, как поршневое действие. Проектное забойное давление может быть задано на любой глубине в скважине, может основываться на наличии или отсутствии циркуляции, и может обуславливаться дополнительными факторами. Поскольку действие КНБК 16 на конце бурильной колонны 14 может приводить к большинству эффектов свабирования и поршневания, расчетная глубина может являться глубиной КНБК 16 в стволе 12 скважины.

[0126] С определением максимальной скорости для рейса и вычислением регулировок для противодействия на поверхности для условий, в способе 400 можно приступить к выполнению рейса. Система 200 управления может затем перемещать талевый блок 114 согласно максимальной скорости и сегментам времени при РООН и/или РИН (Блок 422).

[0127] Во время перемещения блок 210 обработки данных регулирует уставки для противодействия на поверхности и штуцера и управляет положением штуцера с помощью автоматических коррекций для изменения противодействия на поверхности, противодействия эффектам свабирования и поршневания, а также поддержания давления в скважине в допустимых пределах (Блок 424). Для корректировки противодействия на поверхности блок 210 обработки данных регулирует положение по меньшей мере одного из штуцеров 122a-b, сообщающегося по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола 12 скважины в закрытом контуре, при этом увеличивая /уменьшая противодействие на поверхности и управляя забойным давлением в скважине.

[0128] Как отмечено выше, система 200 управления во втором устройстве может принимать данные положения блока, может вычислять скорость перемещения трубы и может корректировать положение штуцера, согласно модели 224 гидросистемы. Поэтому

на фиг. 4В показан способ 400b бурения ствола скважины и противодействия эффектам свабирования /поршневания по настоящему изобретению при спускоподъеме бурильной колонны.

[0129] Аналогично предыдущему способу, блок 210 обработки данных в способе 400b получает вводные параметры бурения с помощью мониторинга ряда параметров (Блок 402), в том числе, текущего положения талевого блока, текущего положения штуцера, измерения противодействия на поверхности, текущей глубины бурения и состояния конца трубы (403). По некоторым из данных вводных параметров (403) вычисляют текущее давление в скважине (Блок 404), а также вычисляют уставки для штуцера (штуцеров) 122a-b и противодействие на поверхности (Блок 406).

[0130] В динамике по времени рейс некоторого вида должен быть выполнен во время бурения, в котором бурильную колонну 14 поднимают из скважины и затем спускают в скважину. Блок 210 обработки данных идентифицирует момент когда рейс для бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины требуется, планируется, инициируется, начинается или т.п. (Решение 408). Для идентифицированного рейса (Блок 408) блок 210 обработки данных принимает данные положения блока в динамике по времени (Блок 430) и вычисляет скорость перемещения трубы по данным положений блока (Блок 432), а также вычисляет требуемую уставку SBP для конкретной скорости рейса (РООН, RIN) бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины (Блок 434).

[0131] Здесь талевым блоком 114 могут отдельно управлять другие системы буровой установки. Предпочтительно, талевый блок 114 перемещает бурильную колонну 14 на максимальной оптимальной скорости, как раскрыто в данном документе, которую может вычислить система 200 управления и может обеспечить для другой буровой установки системы или оператора. Вместе с тем, система 200 управления может не напрямую управлять перемещением труб, так что система 200 управления требует мониторинга положения талевого блока 114.

[0132] Во время перемещения труб блок 210 обработки данных регулирует уставки для противодействия на поверхности и штуцера и регулирует положение штуцера с автоматическими коррекциями для изменения противодействия на поверхности, противодействия эффектами свабирования и поршневания, а также поддержания давления в скважине в допустимых пределах (Блок 436). Для корректировки противодействия на поверхности блок 210 обработки данных регулирует положение по меньшей мере одного из штуцеров 122a-b, сообщаемого по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола 12 скважины в закрытом контуре, при этом увеличивается /уменьшается противодействие на поверхности и регулируется давление на забое в скважине.

[0133] Как отмечено выше, система 200 управления во втором устройстве может принимать данные скорости блока (и значит скорости перемещения трубы) и может корректировать положение штуцера по модели 224 гидросистемы. Поэтому на фиг. 4с показан способ 400с по настоящему изобретению для бурения ствола скважины и

противодействия эффектам свабиrowания /поршневания при спускоподъеме бурильной колонны.

[0134] Аналогично предыдущим способам блок 210 обработки данных в данном способе 400с получает вводные параметры бурения с помощью мониторинга ряда параметров (Блок 402), в том числе: текущего положения талевого блока, текущего положения штуцера, измерения противодействия на поверхности, текущей глубины бурения и состояния конца трубы (403). По некоторым из вводных параметров (403) вычисляют текущее давление в скважине (Блок 404), и уставки для штуцера (штуцеров) 122a-b, а также противодействия на поверхности (Блок 406).

[0135] В динамике по времени рейс некоторого вида должен быть выполнен во время бурения, в котором бурильную колонну 14 поднимают из скважины и затем спускают в скважину. Блок 210 обработки данных идентифицирует момент, когда рейс бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины требуется, планируется, инициируется, начинается или т.п. (Решение 408). Для идентифицированного рейса (Блок 408), блок 210 обработки данных принимает данные скорости талевого блока 114, которая равна скорости перемещения трубы (Блок 440). Блок 210 обработки данных затем вычисляет требуемую уставку SBP для конкретной скорости рейса (РООН, RIN) бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины (Блок 442).

[0136] Здесь талевым блоком 114 могут отдельно управлять другие системы буровой установки. предпочтительно, талевый блок 114 перемещает бурильную колонну 14 на максимальной оптимальной скорости, как раскрыто в данном документе, которую может вычислить система 200 управления и которая может быть обеспечена другой системе буровой установки или оператору. Вместе с тем, система 200 управления может не напрямую управлять перемещением труб, так что система 200 управления требует мониторинга положения талевого блока 114.

[0137] Во время перемещения труб блок 210 обработки данных регулирует уставки для противодействия на поверхности и штуцера и управляет положением штуцера с автоматическими коррекциями для изменения противодействия на поверхности, противодействия эффектами свабиrowания и поршневания, а также поддержания давления в скважине в допустимых пределах (Блок 444). Для корректировки противодействия на поверхности блок 210 обработки данных корректирует положение по меньшей мере одного из штуцеров 122a-b, сообщающегося по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола 12 скважины в закрытом контуре, при этом увеличивая /уменьшая противодействие на поверхности и управляя забойным давлением в скважине.

[0138] Как можно видеть, посредством компенсационных способов 400a-c фиг. 4A-4C, регулятор 216 свабиrowания /поршневания определяет изменения противодействия на поверхности, требуемые для противодействия увеличению /уменьшению давления в скважине от эффектов поршневания /свабиrowания при перемещении бурильной колонны 14 на максимальной скорости в стволе 12 скважины. В данном способе регулятор 216 свабиrowания /поршневания определяет требуемое значение коррекции противодействия

на поверхности и учитывает максимальную скорость спускоподъема бурильной колонны 14. Регулятор 216 свабирования /поршневания затем интерполирует каждое положение талевого блока 114 и интерполирует требуемые коррекции штуцера для получения проектного давления в скважине с приложением изменений противодействия на поверхности.

[0139] Для вычисления коррекций противодействия на поверхности системы 10 бурения для рейса бурильной колонны 14 на вычисленной максимальной скорости блок 210 обработки данных может разделить величину изменения, прогнозируемую в забойном давлении, произведенного поршневым действием, на множество дискретных шагов. Затем блок 210 обработки данных может автоматически регулировать противодействие на поверхности секвенциально с дискретными шагами во время рейса бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины, согласно вычисленной максимальной скорости. Например, блок 210 обработки данных может увеличивать противодействие на поверхности шагами на одном или более дискретных интервалах при подъеме бурильной колонны 14 из ствола 12 скважины в рейсе и может уменьшать противодействие на поверхности шагами на одном или более дискретных интервалах при спуске бурильной колонны 14 в стволе 12 скважины в рейсе.

[0140] Понятно, что должна возникать некоторая задержка между автоматической коррекцией противодействия на поверхности (производимой изменениями в положении штуцера) и фактическим изменением давления в скважине, являющимся ее результатом. Соответственно, величину шагов и дискретные интервалы можно принимать с учетом указанного реагирования с задержкой.

[0141] Частный пример коррекций шагами на дискретных интервалах показан на фиг. 5В в схематичном графике 550 компенсационного способа 400 по настоящему изобретению в противодействии эффектам свабирования и поршневания при перемещении бурильной колонны 14 в операции проработки между наращиваниями. На графике 550 показано перемещение талевого блока 114 на максимальной скорости (Положение блока) относительно коррекций противодействия на поверхности (SBP) и полученных в результате изменений в забойном давлении (ВНП).

[0142] Согласно целям по настоящему изобретению, эффекты свабирование и поршневания от перемещения трубы на максимальной скорости, объединенные с коррекциями противодействия на поверхности (SBP) приводят к корректировкам давления в скважине (ВНП) до проектной величины, предпочтительно в пределах допустимого пластового давления на текущей глубине. Как показано, перемещение трубы в данном примере обусловлено положением блока и содержит секцию РООН, статическую секцию и секцию РИН для иллюстративных целей. В данной ситуации можно применять и другие операции спускоподъема. Перемещение труб поделено на ряд временных сегментов по 30 секунд каждый.

[0143] Во время секции РООН, талевый блок 114 перемещается на максимальной скорости для временного интервала. В данном примере блок 114 перемещается на 22,5

фута (7 м) в каждом сегменте в 30 секунд для временного интервала в 2 минуты, так что блок 114 перемещается всего на 90 футов (27 м) в вышке. Как отмечено, данную максимальную скорость определяют по модели 224 гидросистемы и приспособливают к текущим операциям.

[0144] В скважине происходит сваби́рование вследствие перемещения трубы на данной максимальной скорости. Для противодействия уменьшению давления в скважине (ВНР) от сваби́рования противодействие на поверхности (SBP) корректируют на шагами изменения в каждом временном интервале. Здесь, каждый шаг изменения составляет увеличение на 25-psi (173 КПа) на каждом интервале в 30 секунд, в результате с увеличением SBP на 100 psi (690 КПа), скажем, от 450 psi (3105 КПа) до 550 psi (3795 КПа). Как отмечено выше, прогнозируемое изменение давления в скважине (ВНР), обусловленное эффектом сваби́рования при перемещении бурильной колонны 14 на данной глубине из ствола 12 скважины на определенной максимальной скорости указывает требуемое изменение противодействия на поверхности для противодействия изменению давления в скважине. В свою очередь, шаговые увеличения противодействия на поверхности (SBP) получают посредством автоматических коррекций штуцера (штуцеров) 122a-b системы 10 бурения. В итоге, увеличенное противодействие на поверхности (SBP) от коррекций штуцера и результирующее уменьшение давления в скважине от сваби́рования действуют вместе для поддержания давления в скважине (ВНР) на проектной величине.

[0145] Когда талевый блок 114 достигает своего верхнего предела, противодействие на поверхности (SBP) сбрасывается до начального состояния посредством высвобождения штуцера (штуцеров) 122a-b, и противодействие на поверхности (SBP) удерживается во временном интервале, скажем в 30 секунд.

[0146] Во время секции RIN талевый блок 114 перемещается на максимальной скорости во временном интервале. В данном примере блок 114 перемещается на 22,5 фута (7 м) в каждом интервале в 30 секунд для времени рейса в 2 минуты, так что блок 114 перемещается всего на 90 футов (27 м).

[0147] Поршневание возникает в скважине вследствие перемещения трубы на максимальной скорости. Для противодействия возможному увеличению давления в скважине (ВНР) от поршневания противодействие на поверхности (SBP) корректируют на шагами в каждом сегменте. Здесь каждый шаг составляет уменьшение в 25-psi (173 КПа) в каждом сегменте в 30 секунд, в результате противодействие на поверхности (SBP) уменьшается на 100-psi (690 КПа), скажем, от 450-psi (3105 КПа) до 350-psi (2415 КПа). Как отмечено выше, прогнозируемое изменение давления в скважине (ВНР), обусловленное эффектом поршневания при перемещении бурильной колонны 14 на данной глубине в ствол 12 скважины на определенной максимальной скорости указывает, что требуется изменение противодействия на поверхности для противодействия изменению давления в скважине. В свою очередь, шаговые уменьшения противодействия на поверхности (SBP) получают автоматическими коррекциями штуцера (штуцеров) 122a-

в системы 10 бурения. В итоге, уменьшенное противодействие на поверхности (SBP) от коррекций штуцера и увеличение давления в скважине в результате поршневания действуют вместе для поддержания давления в скважине (BHP) на проектной величине.

[0148] Когда блок 114 достигает своего нижнего предела, противодействие на поверхности (SBP) приводится обратно к своему начальному состоянию, чтобы можно было продолжать бурение под управляемым давлением.

[0149] Хотя выше приведено описание для спускоподъема бурильной колонны со свечами бурильных труб, настоящие идеи можно применять для спускоподъема трубных изделий других типов в операциях MPD. Например, обсадную колонну подходящего размера можно спускать в скважину и пропускать через RCD, когда устанавливают подшипник и уплотнение RCD. Контроль поршневания, обеспеченный настоящими идеями, можно применять для управления скоростью рейса при RIN для обсадной колонны и выполнения автоматических коррекций штуцера для поддержания проектного давления в скважине.

[0150] Приведенное выше описание предпочтительных и других вариантов осуществления не служит для ограничения или сужения объема или применимости патентоспособных концепций, предложенных заявителями. Понятно что можно использовать любые признаки, описанные выше в любом варианте осуществления или аспекте раскрытого изобретения, как индивидуально, так и в комбинации, с любым другим описанным признаком, в любом другом варианте осуществления или аспекте раскрытого изобретения.

[0151] Понятно, что идеи по настоящему изобретению можно реализовать в цифровых электронных схемах, компьютерном агрегатном обеспечении, компьютерном встроенном программном обеспечении, компьютерном программном обеспечении, программируемом логическом контроллере или любых их комбинациях. Идеи по настоящему изобретению можно реализовать в программируемом запоминающем устройстве (компьютерном программном продукте, реально осуществленном в машиночитаемом запоминающем устройстве) для исполнения программируемым контроллером или процессором (например, системой 200 управления, блоком 210 обработки данных и т.д.), чтобы программируемый процессор, исполняющий программные инструкции, мог выполнять функции по настоящему изобретению. Идеи по настоящему изобретению можно реализовать, предпочтительно, в одной или более компьютерных программах, исполняемых на программируемой системе (например, системе 200 управления, блоке 210 обработки данных, и т.д.), содержащей по меньшей мере один программируемый процессор, соединенный для приема данных и инструкций, а также передачи данных и инструкций с системным запоминающим устройством (например, базой данных 220), по меньшей мере одно входное устройство, и по меньшей мере одно выходное устройство. Запоминающие устройства, подходящие для осуществления компьютерных программных инструкций и данных, содержат не изменяющиеся запоминающие устройства всех видов, в том числе, как пример,



полупроводниковые запоминающие устройства, такие как твердотельные устройства, EPROM, EEPROM, и флэш ПЗУ; магнитные диски, такие как встроенные жесткие диски и съемные диски; магнитооптические диски; и CD-ROM. Любое из указанного выше можно дополнять или включать в состав ASIC (специализированные интегральные схемы).

[0152] Раскрывая патентоспособные концепции в данном документе, заявители имеют все патентные права по прилагаемой формуле изобретения. Прилагаемая формула изобретения содержит все модификации и изменения в объеме следующих пунктов формулы или их эквивалентов.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ бурения ствола скважины в пласте с применением системы бурения, обеспечивающей циркуляцию текучей среды в закрытом контуре между бурильной колонной и стволом скважины, способ содержит этапы, на которых:

идентифицируют рейс для перемещения бурильной колонны в стволе скважины, причем для рейса прогнозируют поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в скважине;

получают в ответ на идентифицированный рейс скорость бурильной колонны в стволе скважины для рейса;

определяют коррекцию противодействия на поверхности системы бурения для рейса бурильной колонны на скорости для поддержания давления в скважине в допустимых для пласта пределах; и

противодействуют изменению давления в скважине от поршневого действия посредством автоматической корректировки противодействия на поверхности, согласно определяемой коррекции.

2. Способ по п. 1, в котором идентификация рейса представляет собой идентификацию момента для подъема бурильной колонны из ствола скважины, при котором производится свабиrowание, как поршневое действие, уменьшающее давление текучей среды в скважине.

3. Способ по п. 1, в котором идентификация рейса представляет собой идентификацию момента для спуска бурильной колонны в стволе скважины, при котором производится поршневание, как поршневое действие, увеличивающее давление текучей среды в скважине.

4. Способ по п. 1, в котором получение скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса представляет собой прием данных положения талевого блока в динамике по времени и определение скорости бурильной колонны в стволе скважины по данным положения блока.

5. Способ по п. 1, в котором получение скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса представляет собой прием данных скорости талевого блока и определение скорости бурильной колонны в стволе скважины по принятым данным скорости блока.

6. Способ по п. 1, в котором получение скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса содержит вычисление скорости для перемещения бурильной колонны в стволе скважины для рейса; и при этом способ дополнительно содержит перемещение бурильной колонны в рейсе на такой скорости.

7. Способ по п. 6, в котором вычисление скорости для перемещения бурильной колонны содержит определение максимальной величины скорости из гидравлического моделирования системы бурения.

8. Способ по п. 6, в котором вычисление скорости для перемещения бурильной колонны в стволе скважины содержит этапы, на которых:

определяют расстояние и отрезок времени для перемещения бурильной колонны талевым блоком системы бурения;

определяют первый интервал отрезка времени, в котором талевый блок получает ускорение для первого участка расстояния для поддержания скорости; и

определяют второй интервал отрезка времени, в котором талевый блок получает отрицательное ускорение для второго участка расстояния для поддержания скорости.

9. Способ по п. 1, в котором определение коррекции противодействия на поверхности системы бурения для рейса бурильной колонны на скорости содержит этапы, на которых:

определяют первое изменение давления в скважине на заданной глубине, произведенное поршневым действием от перемещения бурильной колонны на некоторое расстояние в стволе скважины на временном интервале;

определяют второе изменение противодействия на поверхности для противодействия первому изменению давления в скважине и поддержания давления в скважине в пределах допустимого пластового давления; и

делят второе изменение противодействия на поверхности на дискретные шаги на интервалах отрезка времени.

10. Способ по п. 1, в котором определение коррекции противодействия на поверхности системы бурения для рейса бурильной колонны на скорости для поддержания давления в скважине в допустимых для пласта пределах представляет собой определение проектного давления в скважине в пределах допустимого пластового давления.

11. Способ по п. 10, в котором определение проектного давления в скважине содержит определение проектного давления в скважине, которое меньше по меньшей мере одного из следующего: (i) градиента давления ГРП для рейса бурильной колонны в ствол скважины, для которого прогнозируют поршневание, как поршневое действие, и (ii) градиента порового давления пласта для рейса бурильной колонны из ствола скважины, для которого прогнозируют свабирование, как поршневое действие.

12. Способ по п. 1, в котором определение коррекции противодействия на поверхности системы бурения для рейса бурильной колонны на скорости содержит деление величины коррекции для противодействия давлению в скважине, произведенному поршневым действием, на множество дискретных шагов.

13. Способ по п. 12, в котором автоматическая корректировка противодействия на поверхности, согласно определяемой коррекции во время рейса бурильной колонны в стволе скважины, согласно скорости содержит автоматическую корректировку противодействия на поверхности, секвенциально с дискретными шагами во время рейса бурильной колонны в стволе скважины, согласно скорости.

14. Способ по п. 1, в котором перемещение бурильной колонны в рейсе согласно скорости содержит приведение в действие буровой лебедки для перемещения талевого блока, соединенного с бурильной колонной на буровой установке системы бурения.

15. Способ по п. 1, в котором противодействие изменению давления в скважине, произведенному поршневым действием от перемещения бурильной колонны, посредством корректировки противодействия на поверхности, согласно определяемой коррекции во время рейса бурильной колонны в стволе скважины, согласно скорости, содержит этапы, на которых:

увеличивают противодействие на поверхности шагами на одном или более дискретных интервалах при подъеме бурильной колонны из ствола скважины в рейсе; или

уменьшают противодействие на поверхности шагами на одном или более дискретных интервалах при спуске бурильной колонны в стволе скважины в рейсе.

16. Способ по п. 1, в котором корректировка противодействия на поверхности содержит корректировку положения по меньшей мере одного штуцера, сообщающегося по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола скважины в закрытом контуре.

17. Способ по п. 1, дополнительно содержащий мониторинг одного или более из следующего: положения по меньшей мере одного штуцера в сообщении по текучей среде с потоком текучей среды, поступающим из ствола скважины в закрытом контуре; измерения противодействия на поверхности системы бурения выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера; текущей глубины системы бурения в стволе скважины; текущего положения талевого блока, соединенного с бурильной колонной на буровой установке системы бурения; и текущего состояния конца трубы на системе бурения в стволе скважины.

18. Программируемое запоминающее устройство, имеющее программные инструкции, хранящиеся в нем, для обеспечения выполнения программируемым контроллером способа бурения ствола скважины с буровым раствором с применением системы бурения по п. 1.

19. Система для бурения скважины в пласте, обеспечивающая циркуляцию текучей среды в закрытом контуре между бурильной колонной и стволом скважины, причем система содержит:

запоминающее устройство сохраняющее гидравлическую модель системы бурения, осуществляющей бурение скважины; и

программируемый контроллер, поддерживающий связь с запоминающим устройством, причем программируемый контроллер выполнен с возможностью:

идентификации рейса для перемещения бурильной колонны в стволе скважины, для которого прогнозируют поршневое действие, изменяющее давление текучей среды в скважине;

получения в ответ на идентификацию рейса скорости бурильной колонны в стволе скважины для рейса;

определения коррекции для противодействия на поверхности для рейса бурильной колонны на скорости для поддержания давления в скважине в допустимых для пласта пределах; и

автоматического корректирования противодействия на поверхности, согласно определяемой коррекции во время рейса бурильной колонны в стволе скважины, согласно скорости для противодействия изменению давления в скважине от поршневого действия.

20. Система по п. 19, дополнительно содержащая:

буровую лебедку, выполненную с возможностью перемещения бурильной колонны в стволе скважины;

по меньшей мере один насос, расположенный на впуске системы и выполненный с возможностью подачи бурового раствора в ствол скважины через бурильную колонну;

по меньшей мере один штуцер, расположенный на выпуске системы и действующий для регулировки притока бурового раствора из ствола скважины; и

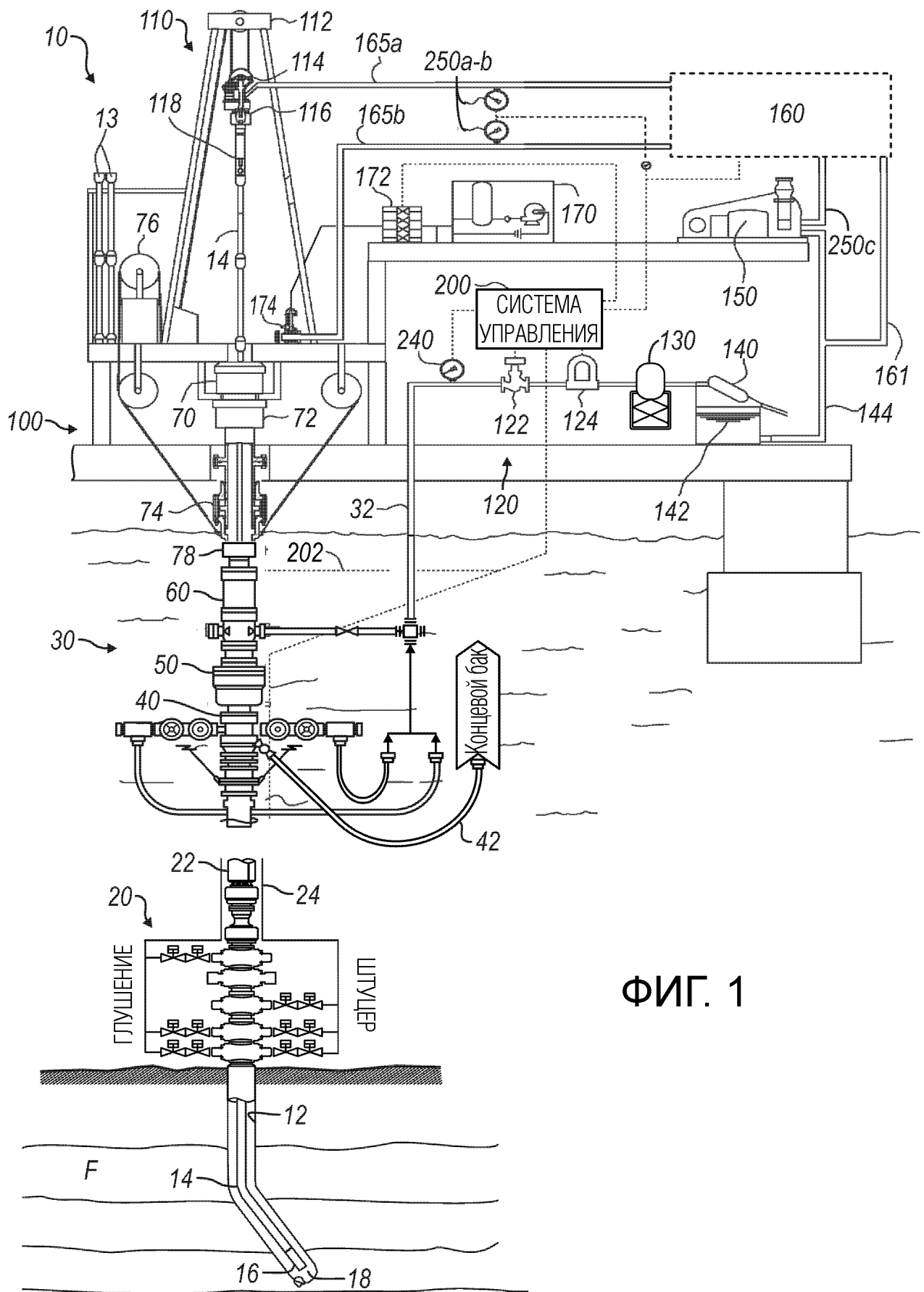
датчик, выполненный с возможностью измерения величины противодействия на поверхности выше по потоку по меньшей мере от одного штуцера.

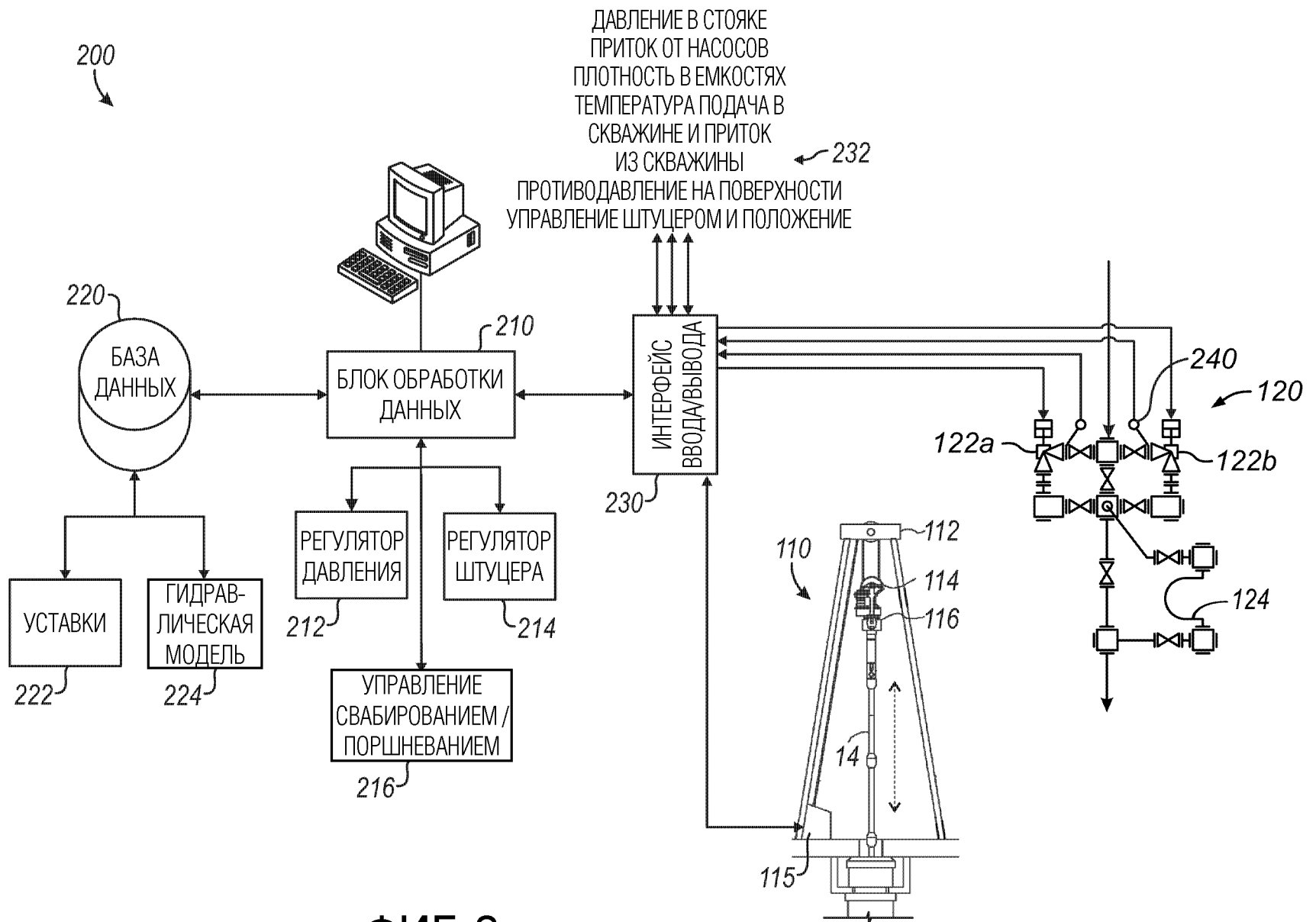
21. Система по п. 19, в которой программируемый контроллер выполнен с возможностью:

вычисления скорости для перемещения бурильной колонны в стволе скважины для рейса; и

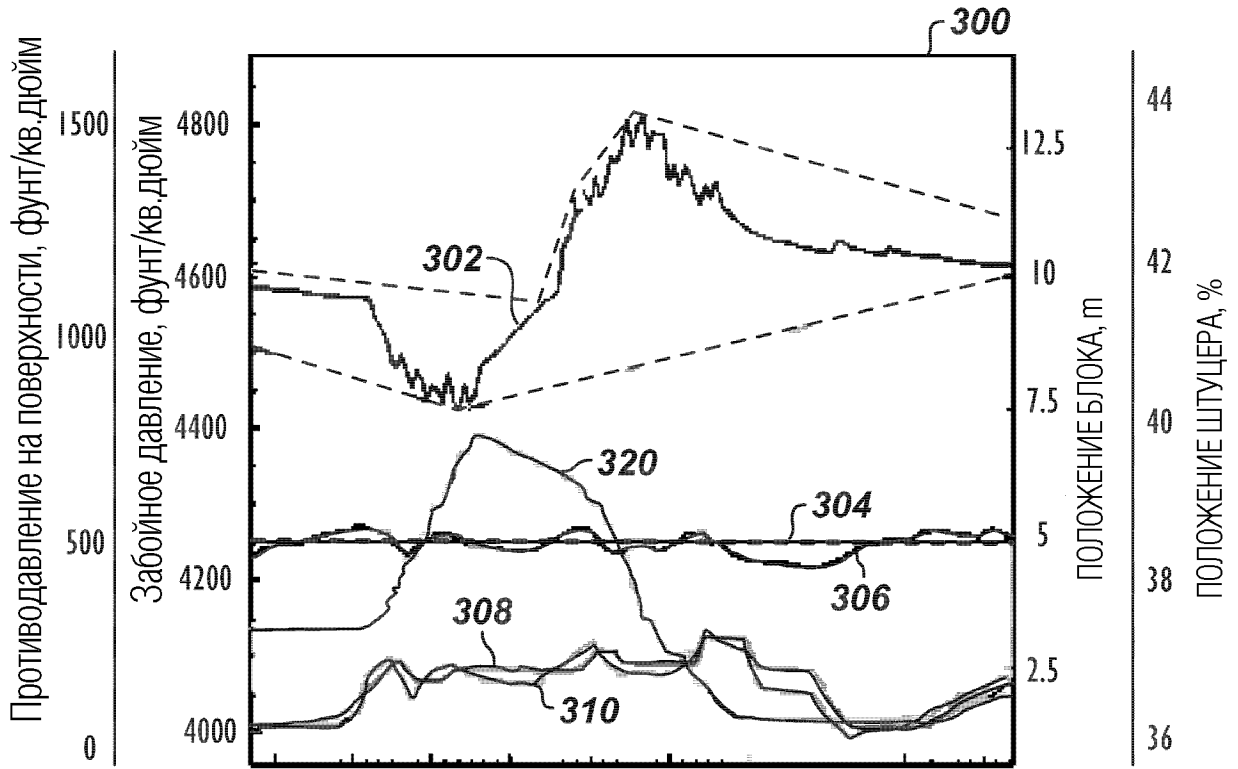
управления перемещением бурильной колонны в рейсе, согласно скорости.

По доверенности

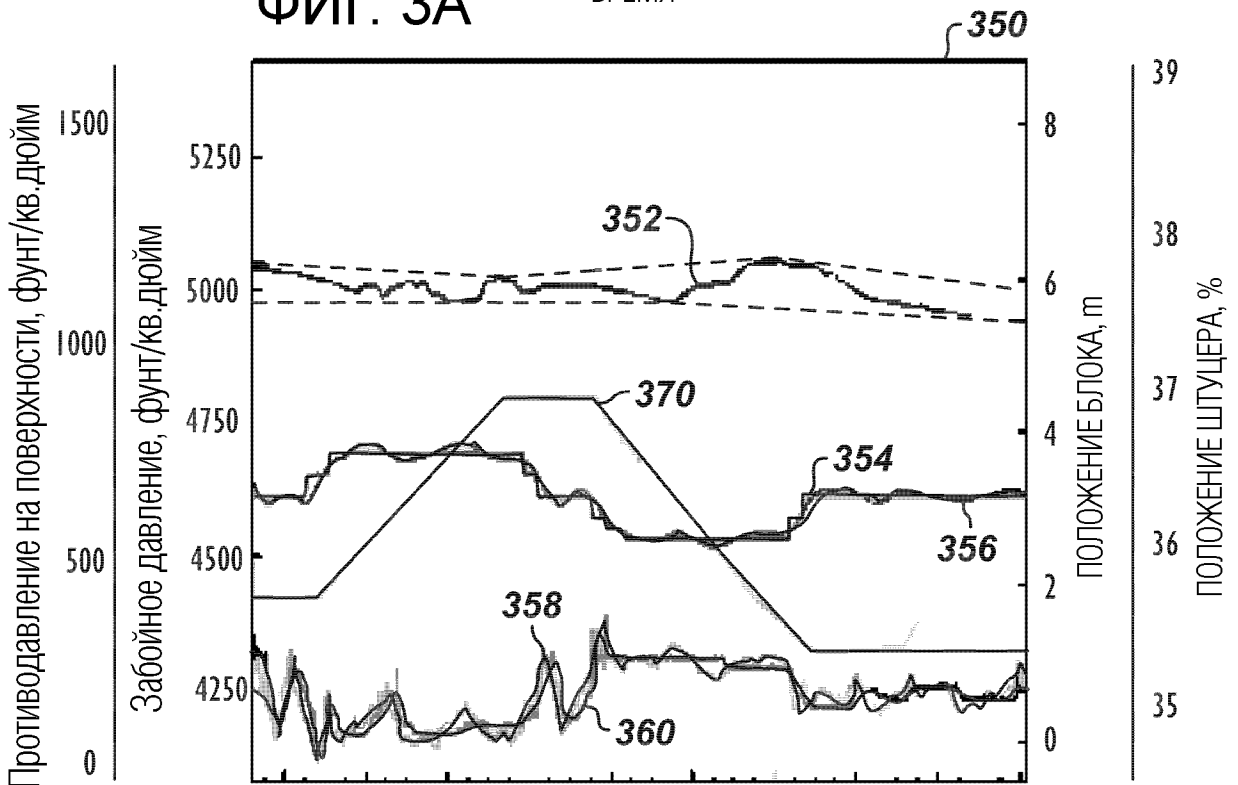




ФИГ. 2

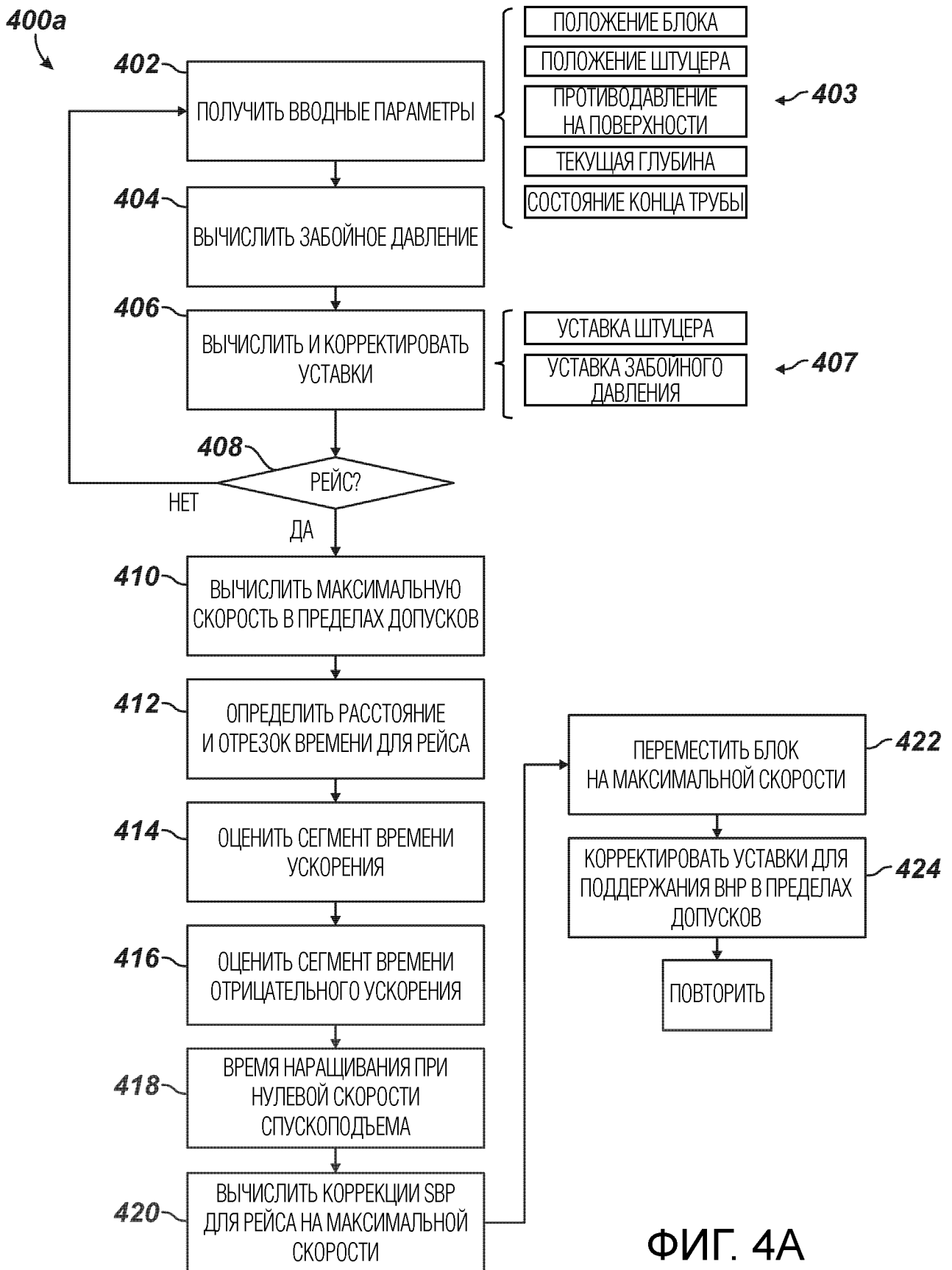


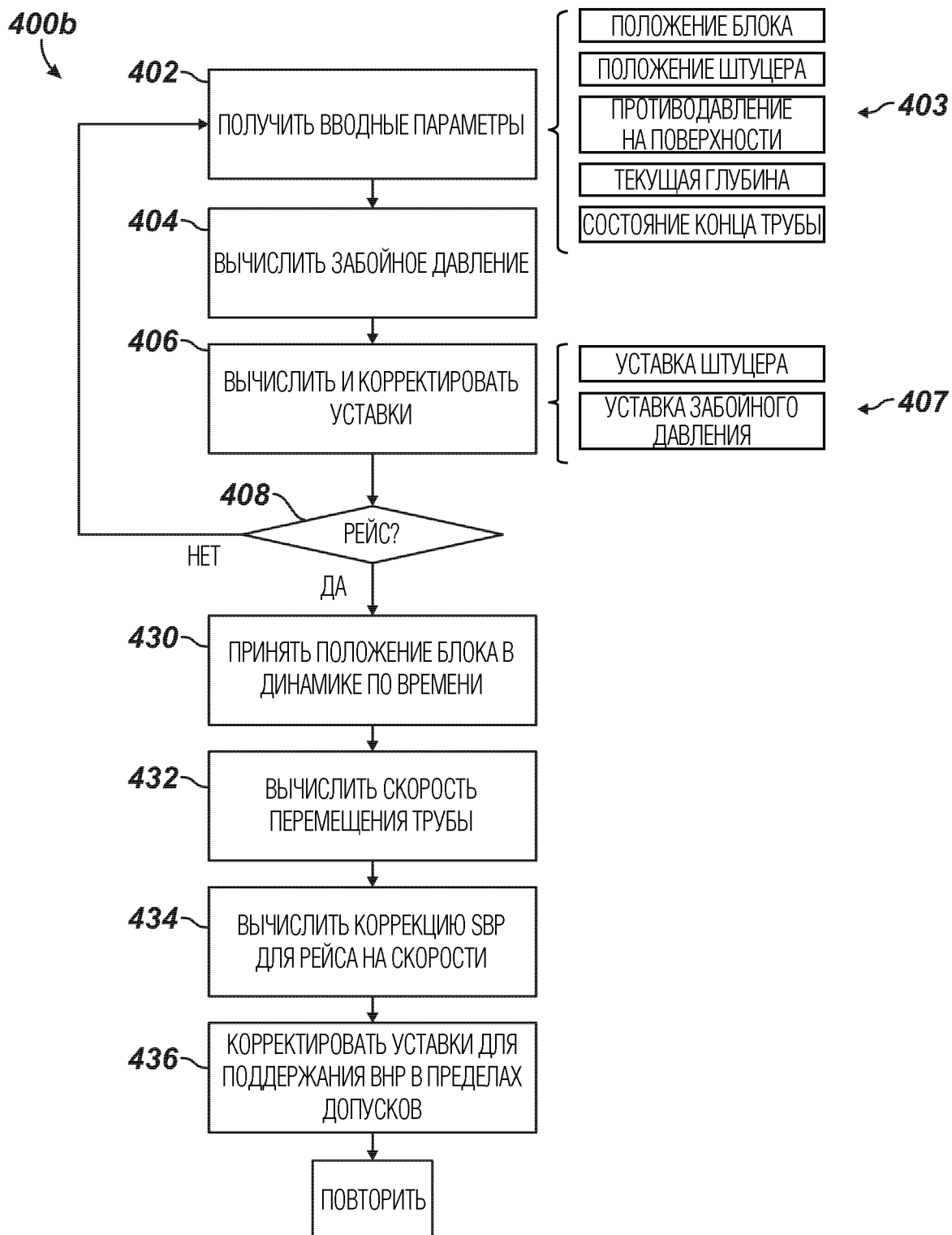
ФИГ. 3А ВРЕМЯ



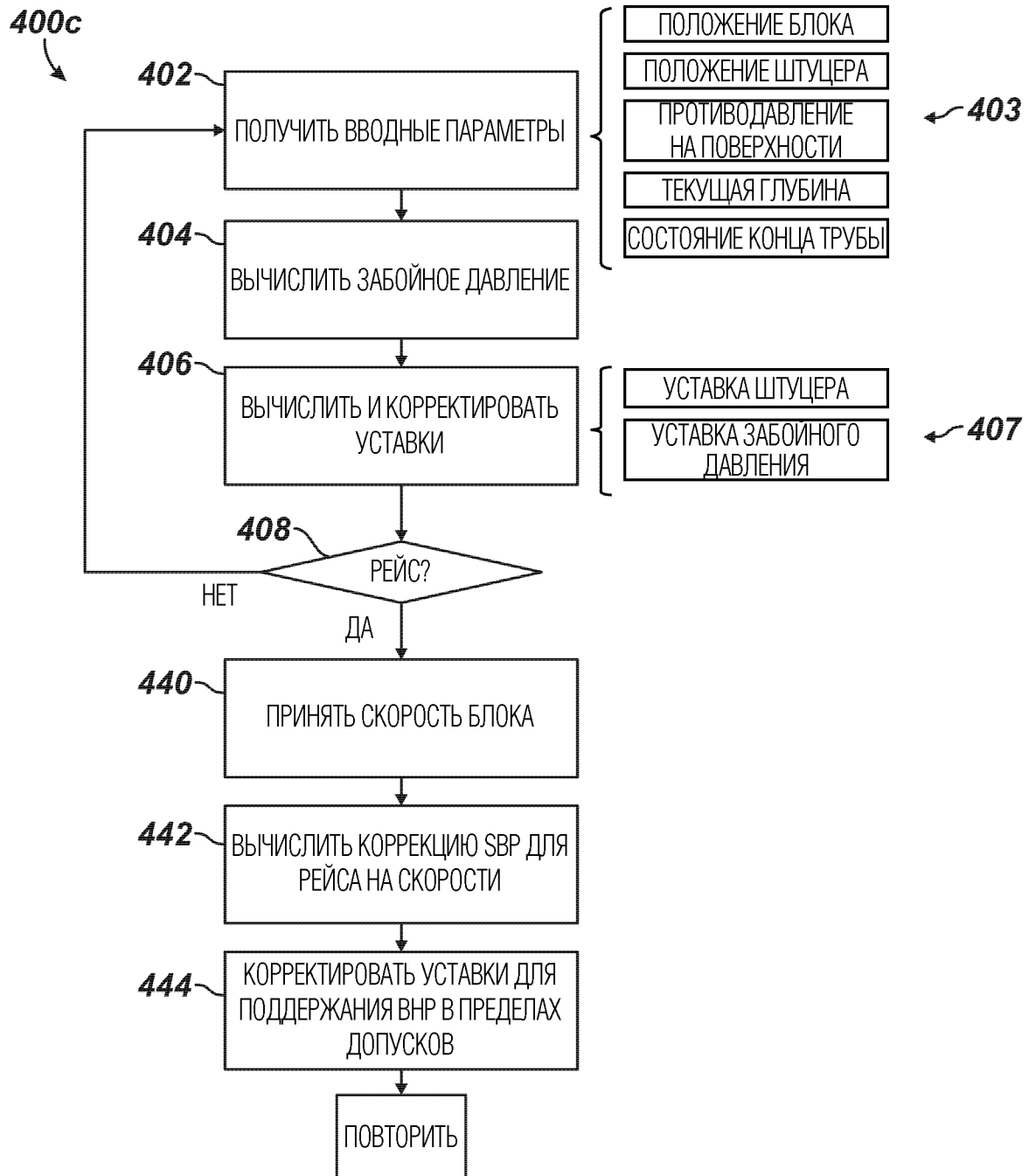
ФИГ. 3В ВРЕМЯ



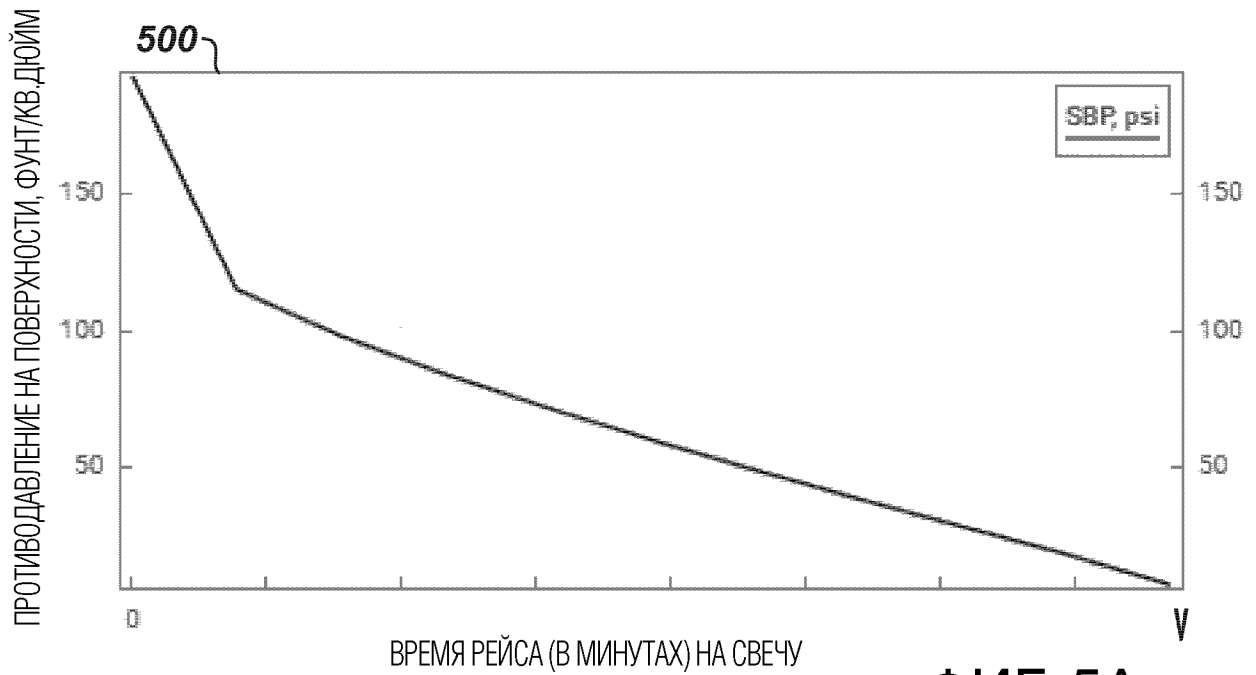




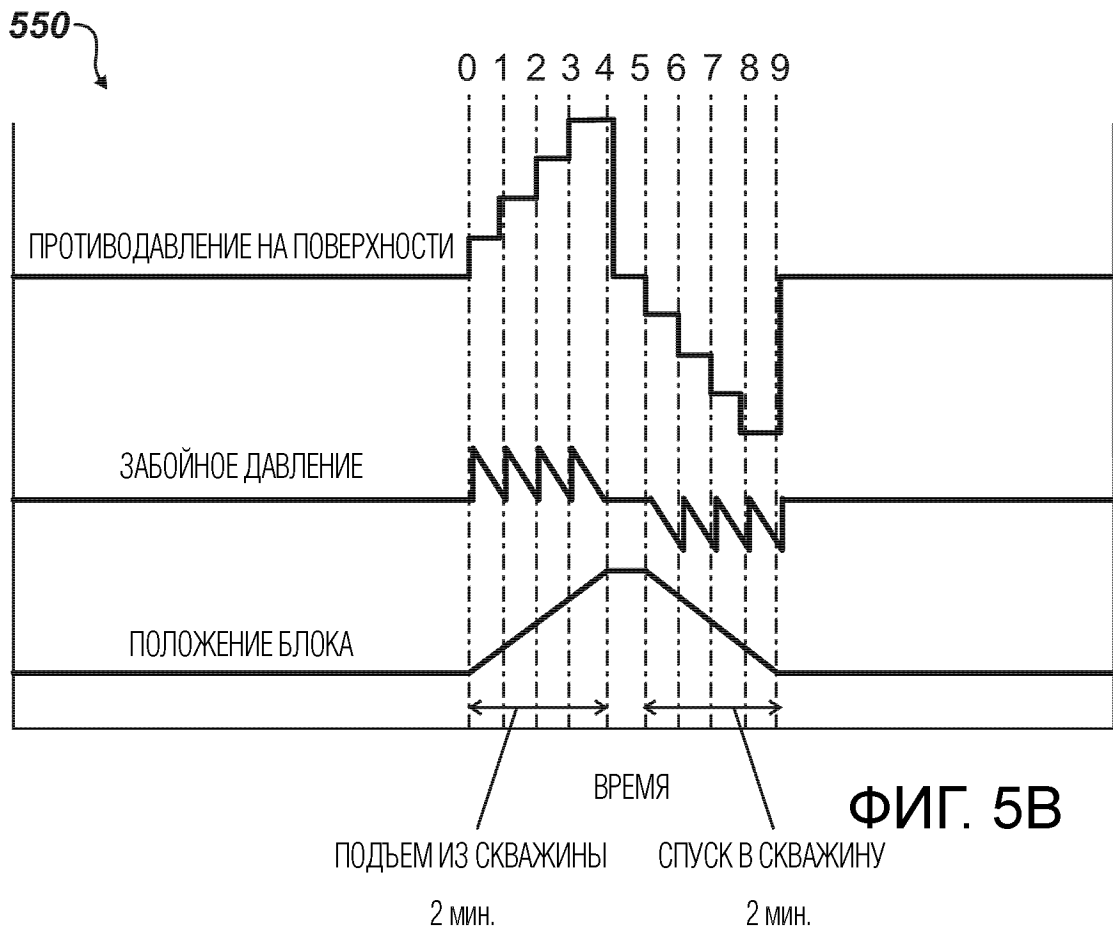
ФИГ. 4В



ФИГ. 4С



ФИГ. 5А



ФИГ. 5В