

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044688**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2023.09.22**

**(51)** Int. Cl. *E21B 43/00* (2006.01)

**(21)** Номер заявки  
**202290303**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2020.07.09**

---

**(54) СИСТЕМА И СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ КОРКИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ В СТВОЛЕ ПОДПОВЕРХНОСТНОЙ СКВАЖИНЫ**

---

**(31)** 19187148.2; 19187146.6

**(32)** 2019.07.18

**(33)** EP

**(43)** 2022.05.31

**(86)** PCT/EP2020/069392

**(87)** WO 2021/009000 2021.01.21

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**БП ЭКСПЛОРЕЙШН ОПЕРЕЙТИНГ  
КОМПАНИ ЛИМИТЕД (GB)**

**(72)** Изобретатель:  
**Калверт Патрик, Делло Йойо  
Дженнаро, Вудс Эндрю (GB)**

**(74)** Представитель:  
**Веселицкий М.Б., Кузенкова Н.В.,  
Каксис Р.А., Белоусов Ю.В., Куликов  
А.В., Кузнецова Е.В., Соколов Р.А.,  
Кузнецова Т.В. (RU)**

**(56)** WO-A2-2013072490

FEDERICO ZENITH ET AL. "Well Testing by Sinusoidal Stimulation", SPE RESERVOIR EVALUATION AND ENGINEERING, vol. 18, no. 03, 1 August 2015 (2015-08-01), pages 441-451, XP055656843, US ISSN: 1094-6470, DOI: 10.2118/174552-PA "Advantages of the proposed method"; page 442, column 2, line 6 "Implementation"; page 444, column 2, line 37; figures 9, 10, "Other tests"; page 448, column 1 GB-A-2544098

ROCHON J. ET AL. "Method and Application of Cyclic Well Testing With Production Logging", SPE ANNUAL TECHNICAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 21-24 SEPTEMBER 2008, DENVER, COLORADO, USA, SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS, no. SPE 115820, 21 September 2008 (2008-09-21), pages 1-15, XP002630733, DOI: 10.2118/115820-MS, figures 1, 6, 7, 8, 12, 14

---

**(57)** В заявке описаны системы и способы управления состоянием корки призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины. В варианте осуществления способа создают колебания перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины в соответствии с заданным законом, включающим множество чередующихся увеличений перепада забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления. Увеличения перепадов забойного давления по заданному закону включают увеличение перепада забойного давления с первой скоростью, и уменьшения перепадов забойного давления по заданному закону включают уменьшение перепада забойного давления второй скоростью, отличающейся от первой скорости.

---

**B1**

**044688**

**044688**

**B1**

### Ссылки на родственные заявки

Настоящая заявка претендует на приоритет Европейской патентной заявки EP 19187146, поданной 18 июля 2019 г. под названием "Системы и способы управления состоянием корки призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины", и Европейской патентной заявки EP 19187148, поданной 18 июля 2019 г. под названием "Системы и способы управления состоянием корки призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины", полное содержание которых включено в настоящее раскрытие посредством ссылки.

### Область техники

Изобретение в общем относится к системам и способам добычи углеводородов из подповерхностного продуктивного пласта. В частности, настоящее раскрытие относится к системам и способам регулирования или управления состоянием корки призабойной зоны в стволе скважины с гравийным фильтром, проходящим внутри подповерхностного продуктивного пласта.

### Уровень техники

Для получения углеводородов из подповерхностных продуктивных пластов, для доступа к нефтегазоносному пласту (также называемому здесь продуктивной зоной) к нему пробуривается ствол скважины. После пробуривания ствола скважины на требуемую глубину, в него устанавливается насосно-компрессорная (лифтовая) колонна для извлечения углеводородов из продуктивной зоны на поверхность. Для предотвращения свободной миграции из продуктивной зоны мелких твердых частиц, в целом называемых здесь "мелкими фракциями", вместе с любыми добываемыми углеводородами, в оборудование для заканчивания скважин и добычи, в ствол скважины (внутри открытого ствола или перфорированной обсадной трубы) может быть установлен фильтр (или несколько фильтров). Кроме того, в скважину помещается расклинивающее сыпучее вещество нужного размера (пропант), например, песок или другие твердые частицы, в целом называемые здесь "гравийной набивкой". В частности, гравийная набивка располагается внутри продуктивного пласта, а также в межтрубном пространстве, расположенном радиально снаружи фильтра (например, затрубном пространстве, расположенном радиально между фильтром и перфорированной обсадной трубой или стенкой ствола скважины). Помещенная таким образом, гравийная набивка образует барьер, фильтрующий мелкие частицы из добываемых текучих сред, так, что предотвращается прохождение этих частиц через фильтры и их выход на поверхность. Такой способ заканчивания скважин обычно называют заканчиванием с применением гравийных фильтров. Когда заканчивание с применением гравийных фильтров выполняется внутри открытого ствола скважины, оно может называться "заканчиванием с применением гравийных фильтров с необсаженным забоем", а когда заканчиванием с применением гравийных фильтров выполняется в обсаженной скважине или скважине с обсадной трубой, то такое заканчивание может называться "заканчиванием с применением гравийных фильтров с обсаженным забоем".

### Сущность изобретения

Некоторые раскрытые здесь варианты осуществления относятся к способу управления состоянием корки призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины. В варианте осуществления способа создают колебательные изменения перепада забойного давления в стволе скважины подповерхностной зоны с заданным законом (шаблоном), включающим множество чередующихся увеличений перепада забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления. Увеличения перепадов забойного давления по заданному закону включают увеличение перепада забойного давления с первой скоростью, а уменьшения перепадов забойного давления по заданному закону включают уменьшения перепада забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости.

Другие раскрытые здесь варианты осуществления относятся к системе добычи углеводородов из ствола скважины в подповерхностной зоне. В варианте осуществления система включает насосно-компрессорную колонну, установленную внутри ствола скважины. Кроме того, система включает эксплуатационную (дроссельную) задвижку, сообщающуюся по текучей среде с насосно-компрессорной колонной так, что пластовые текучие среды, проходящие в ствол скважины, попадают через насосно-компрессорную колонну в эксплуатационную задвижку. Кроме того, система имеет контроллер, подключенный к эксплуатационной задвижке. Контроллер выполнен с возможностью выборочного приведения в действие эксплуатационной задвижки для: создания колебаний перепада забойного давления в стволе скважины по заданному закону, включающему множество чередующихся увеличений перепадов забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления. Увеличения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают увеличения перепадов забойного давления с первой скоростью, а уменьшения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают уменьшения перепадов забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости.

Другие раскрытые варианты осуществления связаны с энергонезависимыми машиночитаемыми носителями. В варианте осуществления, энергонезависимый машиночитаемый носитель (среда) содержит программы, которые при исполнении их процессором, побуждают процессор активизировать эксплуатационную задвижку для создания колебаний перепада забойного давления в стволе скважины в подповерхностной зоне в соответствии с заданным законом, включающей множество чередующихся увеличений перепадов забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления. Увеличения перепадов

забойного давления согласно заданному закону включают увеличения перепадов забойного давления с первой скоростью, а уменьшения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают уменьшения перепадов забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости.

Программы, при исполнении их процессором, также могут побудить процессор к приведению в действие эксплуатационной задвижки для создания колебаний перепада забойного давления в соответствии с заданным законом вокруг первого заданного целевого значения; и далее, к приведению в действие эксплуатационной задвижки для создания колебаний перепада забойного давления согласно второму заданному закону вокруг второго заданного целевого значения, отличающегося от первого заданного целевого значения.

Описанные в настоящем раскрытии варианты осуществления содержат комбинацию признаков и характеристик, предназначенных для устранения различных недостатков, связанных с определенными устройствами, системами и способами, известными в уровне техники. Описанные выше в общих чертах признаки и технические характеристики раскрытых вариантов осуществления позволяют лучше понять приведенное далее подробное описание. Описанные выше различные технические характеристики и признаки, а также и другие, будут очевидными для специалиста, ознакомившегося с приведенным далее подробным описанием и приложенными для ссылки чертежами. Следует понимать, что замысел и раскрытые конкретные варианты осуществления могут быть легко использованы в качестве основы для изменения или разработки других конструкций для решения тех же задач, что и в раскрытых вариантах осуществления. Следует также понимать, что такие эквивалентные истолкования не выходят за пределы существа и области притязаний, раскрытых здесь принципов.

#### **Краткое описание чертежей**

Для подробного описания различных частных вариантов осуществления, будут использоваться ссылки на приложенные чертежи, на которых:

на фиг. 1 схематично представлен вид сечения системы добычи пластовых текучих сред из подповерхностного продуктивного пласта, в соответствии с описанными вариантами осуществления;

на фиг. 2 представлен увеличенный вид сечения гравийного фильтра из изображения на фиг. 1;

на фиг. 3 представлен график, иллюстрирующий колебание перепада забойного давления для ствола подповерхностной скважины, в соответствии с описанными вариантами осуществления;

на фиг. 4 представлен график, иллюстрирующий другое колебание перепада забойного давления для ствола подповерхностной скважины;

на фиг. 5 представлен график, иллюстрирующий другое колебание перепада забойного давления для ствола подповерхностной скважины;

на фиг. 6 и 7 показаны блок-схемы, иллюстрирующие варианты осуществления способов управления состоянием призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины, в соответствии с описанными принципами;

на фиг. 8 представлен график перепада забойного давления в функции времени, в соответствии с рассмотренным ниже примером;

на фиг. 9 представлен комбинированный график массового расхода и гидростатического давления в функции времени для эксперимента, описанного в примере 2, рассмотренном ниже; и

на фиг. 10(a)-10(m) представлены фотографии конусной ячейки с расположенными в ней гравийной набивкой и мелкими частицами в ходе эксперимента, описанного в примере 2, описанном ниже.

#### **Подробное описание осуществления изобретения**

Приведенное далее рассмотрение относится к различным частным вариантам осуществления. Специалисту в данной отрасли будет, однако, понятно, что раскрытые здесь примеры имеют широкое применение и что рассмотрение любого варианта осуществления является только иллюстрацией примера варианта осуществления и не должно предполагать, что область притязаний раскрытия, включая формулу, ограничивает этот вариант осуществления.

Чертежи на фигурах не обязательно выполнены в масштабе. Некоторые признаки и компоненты могут быть изображены в увеличенном масштабе или в несколько схематичной форме, а некоторые детали обычных элементов могут быть не показаны в интересах ясности и краткости изложения.

В приведенном ниже рассмотрении и формуле использование терминов "включающий" и "содержащий" не предусматривает ограничений, и поэтому должно восприниматься как "включающий, но не сводящийся к ...". Кроме того, термин "связывать" или "связывает" предполагает включение непрямого или прямого соединения между описываемыми элементами. То есть, если первое устройство соединяется со вторым устройством, это соединение может обеспечиваться через непосредственное соединение двух устройств, или через косвенное соединение посредством других устройств, компонентов или соединений. Кроме того, в настоящем описании термины "осевой" и "по оси" в целом означают направление вдоль или параллельно данной оси (например, центральной оси корпуса или отверстия), в то время как термины "радиальный" и "радиально" обычно означают направление, перпендикулярное центральной оси. Например, осевое расстояние означает расстояние, измеренное вдоль или параллельно оси, а радиальное расстояние означает расстояние, измеренное перпендикулярно центральной оси. Используемый в настоящем описании термин "пластовые текучие среды" относится к жидкостям и газам, добываемым из

подповерхностных продуктивных пластов в скважину или другой соединительный канал. Например, термин может включать нефть, углеводородные газы, воду, конденсат и т.д. Используемые в настоящем описании термины "примерно", "приблизительно", "в основном", "обычно" и т.д., означают, что значение находится в интервале плюс или минус 20% от заявленной величины, если специально не указано иначе.

Как упоминалось выше, заканчивание с применением гравийных фильтров (включая как случай с необсаженным забоем, так и с обсадной трубой) включает введение гравийной набивки в межтрубное пространство, находящееся вблизи одного или более фильтров (например, трубчатых фильтров) внутри ствола скважины. Введенная гравийная набивка обеспечивает фильтрацию мелких фракций, которые могут добываться из подповерхностного продуктивного пласта вместе с другими пластовыми текучими средами (например, нефтью, газом, конденсатом, водой и т.д.), и поэтому ограничивает и/или предотвращает прохождение мелких фракций на поверхность. Однако в процессе добычи, мелкие фракции могут собираться внутри гравийного фильтра и образовывать "корку" в призабойной зоне, которая ограничивает протекание пластовых текучих сред через гравийный фильтр. В некоторых случаях, образование корки призабойной зоны может в конечном итоге воспрепятствовать извлечению значительной части пластовых текучих сред. Для уменьшения корки призабойной зоны могут быть предприняты некоторые восстановительные меры. Одной такой восстановительной мерой может быть так называемая "кислотная обработка", заключающаяся в подаче потока кислоты в подповерхностную скважину для растворения частиц, образующих корку призабойной зоны. Однако использование кислотной обработки обычно сопряжено с большими затратами и может привести к усиленной коррозии и износу компонентов внутри скважины. Более того, выгоды, приобретаемые с использованием кислотной обработки, могут быть кратковременными, поскольку новые частицы мелких фракций будут продолжать поступать из пласта после завершения кислотной обработки.

Соответственно, раскрытые здесь варианты осуществления включают системы и способы для управления состоянием корки призабойной зоны внутри ствола подповерхностной скважины путем управляемого и выборочного регулирования перепада забойного давления в течение долгого времени для сдерживания формирования корки в призабойной зоне. В частности, раскрытые здесь варианты осуществления включают возбуждение управляемых колебаний (например, чередующихся увеличений и уменьшений) перепада забойного давления внутри подповерхностной скважины для предотвращения образования корки и, возможно, удаления или сокращения корки, уже сформировавшейся внутри гравийного фильтра. Таким образом, посредством использования описанных здесь систем и способов оператор может снизить или, возможно, избавиться от необходимости относительно дорогой и потенциально вредной кислотной обработки внутри подповерхностной скважины.

В то время как описанные здесь конкретные варианты осуществления обеспечивают управляемое и выборочное создание колебаний перепадов забойного давления внутри ствола скважины с гравийной набивкой (т.е. скважины либо с необсаженным забоем, либо с обсаженным забоем, законченной с применением гравийных фильтров, описанной выше), следует иметь в виду, что эти системы и способы (например, описанные ниже колебания перепада забойного давления) могут быть использованы с заканчиванием скважины других типов (т.е. иных, нежели заканчивание с применением гравийных фильтров). Например, в некоторых вариантах осуществления описанные ниже колебания давления могут быть использованы во время заканчивания с применением так называемого автономного противопесчаного фильтра, где текучие среды попадают из продуктивного пласта прямо в скважинный фильтр (или несколько фильтров) без промежуточного слоя гравия набивки (как это происходит в случае заканчивания с применением гравийных фильтров). В таком заканчивании, корка призабойной зоны (например, от мелких частиц продуктивного пласта) может формироваться внутри пласта или вдоль самого фильтра. Не ограничиваясь какой-либо конкретной теорией, можно считать, что применение описанных ниже колебаний перепада забойного давления может предотвратить появление корки или уменьшить ее при заканчивании с автономным фильтром в целом таким же образом, как в описанном ниже частном случае заканчивания с применением гравийного фильтра.

В настоящем раскрытии, термин "перепад забойного давления" относится к перепаду между давлением подповерхностного продуктивного пласта и давлением ствола скважины, проходящего через пласт (иногда также называется "депрессией на пласт"). Для того чтобы добываемые текучие среды могли войти в скважину для их вывода на поверхность, перепад забойного давления устанавливают так, чтобы давление внутри скважины было в целом меньше давления пласта. При этом перепад забойного давления заставляет пластовые текучие среды в процессе добычи переходить из подповерхностного продуктивного пласта в скважину, и при этом было бы естественным предполагать, что перепад забойного давления прямо пропорционален расходу скважинной продукции в скважине. Соответственно, при повышении перепада забойного давления (т.е. с увеличением перепада между давлением пласта и скважины), расход скважинной продукции в скважину из продуктивного пласта должен также увеличиваться. Как показано в настоящем раскрытии, перепадом забойного давления можно управлять работой эксплуатационных задвижек или других устройств регулирования давления на поверхности.

На фиг. 1 представлена система 10 для добычи пластовых текучих сред из подповерхностного продуктивного пласта 6. Система 10 в основном включает оборудование 12, расположенное на поверхности

4 (поэтому оборудование 12 может быть названо "наземным оборудованием"), и ствол 20 скважины, проходящий от поверхности 4 в подповерхностный продуктивный пласт 6 вдоль центральной, или продольной, оси 15. На фиг. 1 ось 15 показана в целом прямой линией, однако следует иметь в виду, что в других вариантах осуществления ось 15 может быть и нелинейной (например, подповерхностная скважина 20 редко является строго прямолинейной и может отклоняться под действием различных факторов). Кроме того, в то время как ствол скважины показан вертикальным, нужно иметь в виду, что в других вариантах осуществления он может включать одну или более горизонтальные или практически горизонтальные секции или части. Таким образом, изображение линейной, вертикальной оси 15 ствола 20 скважины на чертежах используется для упрощения настоящего описания и не должно восприниматься как ограничивающее возможные отклонения или вариации ствола 20 скважины в других вариантах осуществления.

Обычно, наземное оборудование 12 может включать любое подходящее оборудование для обеспечения добычи пластовых текучих сред из продуктивного пласта 6 через скважину 20, например клапанная сборка устьевой эксплуатационной арматуры (например, клапанная сборка фонтанной арматуры). Наземное оборудование 12 включает эксплуатационную задвижку 14, или соединено с такой задвижкой, выполненной с возможностью управления расходом пластовых текучих сред из скважины 20 в выкидную линию или трубу 16. Труба 16 подает скважинную продукцию в пункт 18 назначения, которым может быть трубопровод, коллектор, резервуар для хранения, перерабатывающее предприятие или другой соответствующий пункт назначения для пластовых текучих сред, выходящих из скважины 20. Кроме того, наземное оборудование 12 может включать электронную аппаратуру управления (например, контроллер 400, более подробно описанный ниже) для регулирования или управления работой различных компонентов и функций в системе 10. Электронная аппаратура управления (например, контроллер 400) может быть расположен внутри местного пункта управления (не показан) системы 10 или в любом подходящем месте (включая, например, позицию, удаленную от ствола 20 скважины).

Обсадная колонна 22 или ее внутренняя ремонтная труба проходит вдоль оси от поверхности 4 или почти от поверхности (например, от наземного оборудования 12) в ствол 20 скважины. Обсадная колонна 22 является опорной конструкцией скважины 20 и предотвращает прохождение пластовых текучих сред в ствол 20 скважины в неконтролируемых местах или глубинах. Обсадная колонна 22 закрепляется внутри ствола 20 скважины цементом или использованием любого другого механизма или материала. В частности, обсадная колонна 22 имеет первый, или верхний, конец 22a, находящийся на поверхности 4 или вблизи нее, и второй, или нижний, конец 22b, расположенный в стволе 20 скважины.

В ствол 20 скважины внутри обсадной колонны 22 также вставлена насосно-компрессорная (лифтовая) колона труб (НКТ) 26. НКТ 26 передает пластовые текучие среды, поступающие из продуктивного пласта 6, на поверхность 4, откуда они далее передаются через эксплуатационную задвижку 14 и выкидную трубу 16 к пункту назначения 18, как было показано выше. НКТ 26 имеет первый, или верхний, конец 26a, находящийся на поверхности 4 или вблизи нее, и второй, или нижний, конец 26b, находящийся в стволе 20 скважины. Нижний конец 26b насосно-компрессорной колонны 26 может располагаться выше или ниже нижнего конца 22b обсадной колонны 22 и, в некоторых вариантах осуществления, нижний конец 26b НКТ 26 может располагаться соосно (или практически соосно) с нижним концом 22b обсадной колонны 22. К нижнему концу 26b НКТ 26 присоединен сборный фильтр 30, отходящий от него вдоль оси. Сборный фильтр 30 содержит один или несколько фильтров (конкретно не показаны на фиг. 1) для фильтрации пластовых текучих сред, исходящих из продуктивного пласта 6 в процессе добычи.

На фиг. 1 также показано кольцевое пространство или кольцевой промежуток 31 между сборным фильтром 30 и боковой стенкой 8 ствола ниже нижнего конца 22b обсадной колонны 22, заполненное гравийным фильтром 36. В кольцевом пространстве 24 между НКТ 26 и обсадной колонной 22 на нижних концах 22b, 26b или вблизи них установлен пакер или торцевой уплотнитель 28, для создания жидкостного уплотнения кольцевого пространства 31 от кольцевого пространства 24 и, тем самым, предотвращения прохождения потока текучей среды или гравия вдоль оси вверх к поверхности 4 через кольцевое пространство 24 в процессе работы. Таким образом, по мере прохождения пластовых текучих сред из боковой стенки 8 ствола скважины, они направляются через гравийный фильтр 36 и сборный фильтр 30 так, что далее пластовые текучие среды могут двигаться вверх по НКТ 26 к поверхности 4.

На фиг. 2 показано, как при протекании пластовых текучих сред гравийную набивку 36 и сборный фильтр 30, как это было описано выше, частицы мелких фракций 32, переносимые пластовыми текучими средами из продуктивного пласта 6, могут задерживаться между частицами 34, образующими гравийный фильтр 36. Со временем, захваченные частицы мелких фракций 32 накапливаются внутри гравийного фильтра 36 и могут образовать корку, ограничивающие возможные пути 33 прохождения для потока пластовых текучих сред между частицами 34 гравийного фильтра 36 и через отверстия 38 перфорации в сборном фильтре 30. Соответственно, по мере нарастания количества частиц мелкой фракции 32, задержанных или осевших внутри гравийного фильтра 36, падает расход пластовых текучих сред в сборный фильтр 30 и далее в насосно-компрессорную трубу 26. В конце концов, поток пластовых текучих сред может стать столь низким, что требуется проведение восстановительных работ, либо прекращается эксплуатация скважины.

Возвращаясь к фиг. 1, можно отметить, что для предотвращения или замедления образования корки призабойной зоны в гравийном фильтре 36, периодически может выполняться управляемое регулирование перепада забойного давления, согласно описанному здесь способу. В настоящем варианте осуществления, для мониторинга давления внутри ствола 20 скважины установлен или введен датчик 13 давления (или несколько датчиков). Могут быть использованы дополнительные датчики давления для измерения давления внутри продуктивного пласта 6 (и/или эта величина может быть определена с использованием других факторов, параметров или измерений). Таким путем мониторинг перепада забойного давления в процессе работы можно проводить датчиком 13 давления и/или дополнительными данными или измерениями. Датчик 13 давления соединен с возможностью передачи сигналов с поверхностью 4 (в частности, с контроллером 400) по линии 17 связи. Вообще, линией 17 связи может быть любая проводная или беспроводная линия связи. Например, в некоторых случаях линия 17 связи может включать проводящий провод (например, электрический провод, оптоволоконный кабель, и др.). В других случаях, линией 17 связи может быть беспроводная линия связи (например, акустической связи, радиочастотной (РЧ) связи, инфракрасной связи и др.).

В процессе работы производится управляемая активизация эксплуатационной задвижки 14 (например, контроллером 400 в некоторых вариантах осуществления) для регулирования расхода пластовых текучих сред в выкидную трубу 16, и, как следствие, перепада забойного давления внутри ствола 20 скважины. В других вариантах осуществления, для управления или регулирования перепада забойного давления внутри ствола 20 скважины могут быть использованы другие механизмы регулирования давления вдобавок к эксплуатационной задвижке 14, либо вместо нее. Например, в некоторых вариантах осуществления, в систему 10 может быть введен насос противодействия для приложения противодействия к стволу 20 скважины для регулирования, тем самым, перепада забойного давления внутри ствола 20 скважины в процессе работы.

Поскольку гравийный фильтр 36 расположен внутри области или зоны ствола 20 скважин, которая не имеет обсадной колонны или внутренней трубы (например, обсадная колонна 22), гравийным фильтром 36 будет необсаженный гравийный фильтр. Следует иметь в виду, что рассматриваемые здесь способы могут быть применимы и к другим типам заканчивания с использованием гравийных фильтров, например, заканчиванию с гравийным фильтром с обсаженным забоем, описанному выше.

Дальнейшее рассмотрение будет сосредоточено на различных способах управления перепадом забойного давления внутри ствола подповерхностной скважины (например, ствола 20 скважины). Как было описано выше, эти способы предназначены для управления состоянием корки призабойной зоны

внутри ствола скважины (например, внутри гравийного фильтра 36) так, чтобы улучшалось и поддерживалось извлечение пластовых текучих сред из ствола подповерхностной скважины. В приведенном далее описании, постоянно делается ссылка на систему 10 на фиг. 1; следует, однако, иметь в виду, что предлагаемые далее способы могут быть использованы в системах в стволе скважин, отличающихся от системы 10. Таким образом, постоянные ссылки на систему 10 не должны интерпретироваться как ограничивающие применение раскрытых здесь вариантов осуществления.

Рассмотрим теперь фиг. 3, на котором представлен график 100 зависимости управляемого изменения перепада  $\Delta P$  забойного давления от времени для ствола подповерхностной скважины (например, ствола 20 на фиг. 1). На графике 100 по оси X отложено время, а по оси Y представлено изменение перепада  $\Delta P$  забойного давления. Как показано на графике 100, в некоторых вариантах осуществления, перепад  $\Delta P$  забойного давления изменяется циклически вокруг заданного целевого значения 118 между верхним пределом 116 и нижним пределом 120. Соответственно, перепад  $\Delta P$  забойного давления колеблется на фиг. 3 вокруг целевого значения 118 между пределами 116 и 120. Со ссылкой на фиг. 1-3 можно заметить, что при воздействии изменениями перепада забойного давления согласно графику 100 на ранее описанную систему 10, может быть активизирована эксплуатационная задвижка 14 и/или другой(ие) механизм регулирования давления (например, упомянутый ранее насос противодействия) для достижения требуемых колебаний перепада забойного давления на графике 100, описанного выше.

Как показано на фиг. 3, в данном варианте осуществления график 100 колебаний перепада забойного давления характеризуется чередующимися увеличениями 112 перепада забойного давления и уменьшениями 114 перепада забойного давления. В частности, увеличения 112 перепада забойного давления включают увеличение перепада  $\Delta P$  забойного давления примерно от нижнего предела 120 до примерно верхнего предела 116, а уменьшения 114 перепада забойного давления включают уменьшение перепада забойного давления примерно от верхнего предела 116 до примерно нижнего предела 120. Верхним пределом 116 может быть верхний предел для перепада  $\Delta P$  забойного давления в стволе 20 скважины, зависящий от разных факторов, например, ограничения по давлению и расходу оборудования, находящегося внутри ствола 20 скважины или связанного с ним текучей средой (например, обсадной колонны 22, насосно-компрессорной трубы 26, сборного фильтра 30, наземного оборудования 12 и др.). Нижний предел 120 может быть определен на основе минимального расхода скважинной продукции, требующегося от скважины 20 в процессе работы. В некоторых вариантах осуществления, нижний предел 120 может быть достаточен для подъема или выведения потока мелких фракций (например, мелких фракций 32 на фиг. 2)

на поверхность 4. Кроме того, нижний предел 120 также все еще может быть достаточен для подъема на поверхность добываемой жидкости и, тем самым, предотвращения ее скопления на забое ствола 20 скважины. В некоторых частных вариантах осуществления, амплитуда (т.е. разница между верхним пределом 116 и нижним пределом 120) колебаний перепада забойного давления (например, увеличений 112 и уменьшений 114) примерно менее или равна 30% целевого значения 118, например, менее или равна 20% целевого значения 118.

В этом варианте осуществления, заданное целевое значение 118 может быть средним верхнего предела 116 и нижнего предела 120, при этом увеличения 112 перепадов забойного давления и уменьшения 114 перепадов забойного давления расположены относительно целевого значения 118 на одинаковом расстоянии. В результате, в этих вариантах осуществления, целевое значение 118 можно назвать средним значением 118. В других вариантах осуществления целевым значением 118 может быть значение между верхним пределом 116 и нижним пределом 120, которое больше смещено к верхнему пределу 116 или нижнему пределу 120 (так, что целевое значение 118 не является среднеарифметическим или средним верхнего предела 116 и нижнего предела 120. Кроме того, в данном варианте осуществления целевое значение 118 может быть относительно постоянным на протяжении периода времени  $T$ . Следует, однако, иметь в виду, что изменения внутри ствола скважины (например, ствола 20 скважины) и/или продуктивной системы (например, системы 10) могут вызвать некоторые изменения целевого значения 118 так, что это значение не будет строго неизменным во времени. Таким образом, надо понимать, что относительно постоянное значение 118 соответствует значению, поддерживаемому в пределах относительно узкого интервала вокруг заданного значения. Например, в некоторых вариантах осуществления, относительно постоянным целевым значением 118 может быть значение в интервале примерно  $\pm 10$ -15% установленного значения. Однако в других вариантах осуществления можно рассматривать процентные интервалы более 15% или менее 10%. В некоторых частных вариантах осуществления, средняя величина 118 может обычно составлять примерно от 50 до 1500 фунт/кв. дюйм (psi).

В других вариантах осуществления, целевое значение 118 может постепенно снижаться во времени из-за, например, постепенного падения давления в продуктивном пласте 6 в результате добычи из него пластовых текучих сред. В некоторых из этих вариантов осуществления, верхний предел 116 и нижний предел 120 могут быть охарактеризованы как процентные доли выше или ниже, соответственно, целевого значения 118. Целевое значение 118 может постепенно падать со временем из-за падения упомянутого пластового давления, и может быть определено или вычислено с тем, чтобы обеспечить оптимальный уровень добычи из продуктивного пласта 6 в ходе работы.

Согласно фиг. 3, в данном варианте осуществления скорость или наклон каждого увеличения 112 перепада забойного давления и уменьшения 114 перепада забойного давления могут быть относительно одинаковы. В частности, скорость увеличения 112 перепада забойного давления от нижнего предела 120 до верхнего предела 116 может быть в целом такой же, как и скорость уменьшения 114 перепада забойного давления от верхнего предела 116 к нижнему пределу 120. В некоторых вариантах осуществления, скорость увеличений 112 перепада забойного давления и уменьшений 114 перепада забойного давления может зависеть от различных факторов, например, материалов, образующих продуктивный пласт 6, количества корки призабойной зоны, уже имеющейся внутри гравийного фильтра 36, этапа добычи, числа продуктивных зон внутри продуктивного пласта 6, и т.д. Не ограничиваясь той или любой другой теорией, можно считать, что слишком быстрое увеличение перепада  $\Delta P$  забойного давления может привести к большому количеству извлеченных мелких фракций (например, благодаря увеличенному расходу текучей среды из продуктивного пласта, разъединения породы пласта и т.д.), что приводит к закупориванию и, вследствие этого, нарастанию корки в гравийной набивке (например, в гравийном фильтре 36). Кроме того, слишком быстрое уменьшение перепада забойного давления может также вызвать так называемый межпластовый переток между разными продуктивными зонами или глубинами внутри продуктивного пласта 6 (например, из-за различных скоростей повышения давления между разделенными зонами продуктивного пласта 6). В некоторых частных вариантах осуществления, скорость увеличений 112 перепадов забойного давления и уменьшений 114 перепадов забойного давления может обычно меняться примерно от 5 до 330 фунт/кв. дюйм/ч, или примерно от 5 до 50 фунт/кв. дюйм/ч, или примерно от 10 до 20 фунт/кв. дюйм/ч.

Выбранные значения для верхнего предела 116 и нижнего предела 120, а также выбранные скорости увеличений 112 перепада забойного давления и уменьшений 114 перепада забойного давления в итоге влияют на промежуток  $T_{112}$  времени для каждого увеличения 112 перепада забойного давления и промежуток  $T_{114}$  времени для каждого уменьшения 114 перепада забойного давления, и общий период  $T_{\text{юо}}$  каждого последовательно происходящего увеличения 112 перепада забойного давления и уменьшения 114 перепада забойного давления. В частности, каждый промежуток  $T_{112}$  времени является промежутком времени или продолжительностью каждого увеличения 112 перепада забойного давления от примерно нижнего предела 120 до примерно верхнего предела 116, а каждый промежуток  $T_{114}$  времени является промежутком времени или продолжительностью каждого уменьшения 114 перепада забойного давления от примерно верхнего предела 116 до примерно нижнего предела 120. Кроме того, полный период  $T_{100}$

является полным временным периодом или продолжительностью каждого последовательно происходящего увеличения 112 перепада забойного давления и уменьшения 114 перепада забойного давления, или каждого последовательно происходящего уменьшения 114 перепада забойного давления и увеличения 112 перепада забойного давления. Как было показано ранее, поскольку скорости увеличений 112 давления и уменьшений 114 давления могут быть в этом варианте осуществления одинаковыми, периоды  $T_{112}$ ,  $T_{114}$  также могут быть одинаковыми.

В процессе работы, проиллюстрированной на фиг. 1-3, когда перепад  $\Delta P$  забойного давления в системе 10 испытывает управляемые колебания через увеличения 112 и уменьшения 114 перепадов забойного давления, показанные графиком 100, скорость роста корки внутри гравийного фильтра 36 может быть сокращена или сведена к нулю (например, появление корки может быть в основном предотвращено). Кроме того, в некоторых обстоятельствах корка, которая уже сформировалась внутри гравийного фильтра 36, также может быть уменьшена (например, эрозией) путем создания колебаний перепада  $\Delta P$  забойного давления, показанных графиком 100. Не ограничиваясь кокой-либо теорией, можно считать, что колебания перепада забойного давления, выражающиеся увеличениями 112 и уменьшениями 114 перепада забойного давления, могут привести к перераспределению и движению частиц мелких фракций, находящихся внутри гравийного фильтра 36, так, что там останется в совокупности меньшее количество частиц мелких фракций 32, которые будут ограничивать и закупоривать пути 33 движения потока текучей среды. В частности, в периоды увеличения перепада  $\Delta P$  забойного давления (например, посредством увеличений 112 перепада забойного давления) расход или поток текучих сред (например, пластовых текучих сред) из продуктивного пласта 6 в ствол 20 скважины также может быть увеличен. Это увеличение расхода может вызвать эрозию сгустков частиц мелких фракций 32, что будет способствовать очистке каналов прохождения пластовых текучих сред внутри гравийного фильтра 36. Напротив, во время периодов уменьшения перепадов  $\Delta P$  забойного давления (например, уменьшениями 114 перепадов забойного давления), расход или поток текучих сред (например, пластовых текучих сред) из продуктивного пласта 6 в ствол 20 скважины может снижаться. По мере уменьшения перепадов забойного давления, поровое давление повышается, и считается, что это повышение порового давления снижает эффективные давления внутри гравийного фильтра 36 (в частности, давления на частицы внутри гравийного фильтра 36, включающие гравий 34 и частицы мелких фракций), поэтому может произойти снятие напряжения с частиц внутри гравийного фильтра 36. Не ограничиваясь любой конкретной теорией, можно считать, что это снятие напряжения с частиц внутри гравийного фильтра 36 может способствовать продолжающейся эрозии частиц мелких фракций, когда снова произойдет подъем перепада забойного давления, в результате чего внутри гравийного фильтра 36 могут открыться каналы прохождения потока (например, для пластовых текучих сред).

В некоторых вариантах осуществления, перепад  $\Delta P$  забойного давления может поддерживаться в относительно малом интервале при увеличениях 112 и уменьшениях 114 давления. Например, не ограничиваясь той или любой другой теорией, можно считать, что большие значения перепада  $\Delta P$  забойного давления могут ассоциироваться с большим количеством так называемого уплотнения внутри гравийного фильтра 36. В результате, меньшие значения перепада  $\Delta P$  забойного давления могут ассоциироваться с большими поровыми пространствами внутри гравийного фильтра 36, чем относительно высокие значения перепада  $\Delta P$  забойного давления.

Кроме того, более высокий общий перепад  $\Delta P$  забойного давления также может приводить к уменьшенному размеру (например диаметру) пузырьков внутри гравийного фильтра 36 из-за относительно высокого давления в стволе 20 скважины относительно продуктивного пласта 6 (например, если давления внутри ствола 20 скважины и/или продуктивного пласта 6 находятся ниже точки кипения пластовой текучей среды). Вообще, пузырьки могут блокировать или ограничивать поток внутри пор и каналов прохождения гравийного фильтра 36, поэтому сокращение размера любых пузырьков по гравийному фильтру 36 может способствовать образованию любых пузырьков в гравийном фильтре 36 и/или может увеличить имеющийся объемный расход пластовых текучих сред внутри гравийного фильтра 36.

В процессе описанных действий, приложенные колебания перепада забойного давления могут допустить прохождение некоторых частиц мелких фракций 32 через отверстия 38 в сборном фильтре 30, в результате чего они будут далее извлечены на поверхность 4. Вообще говоря, извлечение мелких частиц 32 является нежелательным (и это является главной причиной установки гравийного фильтра 36); однако относительно небольшой расход частиц мелких фракций 32 в насосно-компрессорной колонне 26 является допустимым, особенно, если он также обеспечивает продолжительный высокий расход пластовых текучих сред за счет уменьшения корки. Таким образом, колебания перепада забойного давления согласно графику 100 могут повысить производительность добычи пластовых текучих сред из скважины 20 в ходе работы посредством предотвращения образования или даже возможного сокращения имеющейся там корки призабойной зоны.

На фиг. 4 представлен другой график 200 управляемых колебаний перепада  $\Delta P$  забойного давления в течение времени  $T$  для ствола подповерхностной скважины (например, ствола 20 скважины на фиг. 1). График 200 в основном аналогичен графику 100 и, поэтому, общие признаки и атрибуты графиков 100,

200 обозначаются одинаковыми номерами ссылок, а приведенное ниже рассмотрение будет сосредоточено на признаках графика 200, отличающихся от признаков графика 100. Как было показано на ранее описанных фиг. 1, 2 и 4, если изменения перепада забойного давления на графике 200 применить к системе 10, для получения требуемых колебаний перепада забойного давления на графике 200 может быть активизирована эксплуатационная задвижка 14 и/или другой механизм(ы) регулирования (например, упомянутый насос противодействия), как это было описано выше.

Также как и график 100, график 200 включает повторяющуюся последовательность чередующихся увеличений 212 и уменьшений 214 перепада забойного давления вокруг заданного целевого значения 118 между верхним и нижним пределами 116, 120. В этом варианте осуществления, однако, увеличения 212 перепада забойного давления имеют в целом меньшую скорость (или более плавный наклон), чем уменьшения 214 перепада забойного давления. Например, в некоторых вариантах осуществления, уменьшения 214 перепада забойного давления могут происходить со скоростью примерно от 1 до 20 раз, или примерно от 10 до 20 раз, превышающей скорость увеличений 212 перепадов забойного давления. В некоторых частных вариантах осуществления, скорость каждого увеличения 212 перепада забойного давления может составлять в интервале примерно от 5 до 50 фунт/кв. дюйм/ч, или примерно от 10 до 20 фунт/кв. дюйм/ч, а скорость каждого уменьшения 214 перепада забойного давления может составлять примерно от 5 до 300 фунт/кв. дюйм/ч.

Соответственно, промежуток  $T_{212}$  времени каждого увеличения 212 перепада забойного давления может быть, обычно, больше промежутка  $T_{214}$  времени каждого уменьшения 214 перепада забойного давления. Например, в некоторых вариантах осуществления, промежуток  $T_{212}$  времени каждого увеличения перепада забойного давления может составлять примерно от 3 до 15 ч, а промежуток  $T_{214}$  времени каждого уменьшения 214 перепада забойного давления может составлять примерно от 1 до 10 ч.

Как показано на фиг. 1, 2 и 4, когда перепад  $\Delta P$  забойного давления внутри системы 10 испытывает управляемые колебания, включающие увеличения 212 и уменьшения 214 перепада забойного давления, представленные графиком 200, скорость роста корки внутри гравийного фильтра 36 может быть уменьшена или рост предотвращен, а существующая корка также может быть сокращена, как это было описано выше. Однако благодаря использованию пониженной скорости, а значит и большей продолжительности увеличений 212 перепадов забойного давления по сравнению с уменьшениями 214 перепада забойного давления, в некоторых обстоятельствах скорость роста корки может быть снижена более эффективно или рост установлен. Не ограничиваясь той или любой другой теорией, можно считать, что увеличение перепада забойного давления связано с увеличением расхода или потока текучих сред из продуктивного пласта в ствол 20 скважины, что может способствовать образованию чистых каналов для пластовых текучих сред через гравийный фильтр 36, как это было описано выше. При этом благодаря снижению скорости увеличений 212 перепада забойного давления по сравнению со скоростью уменьшений 214 перепада забойного давления, больше времени отводится для работы в режиме повышенного расхода, и соответственно, присущие ему выгоды дают по прошествии времени лучший результат. Таким образом, колебания перепада забойного давления в соответствии с графиком 200 могут повысить производительность добычи пластовых текучих сред из ствола 20 скважины в процессе работы, благодаря предотвращению нарастания корки или даже, возможно, сокращению имеющейся корки.

В то время как описанные выше изменения перепада забойного давления были расположены вокруг по существу или относительно постоянного целевого значения (например, значений, показанных на графиках 100, 200 на фиг. 3 и 4, соответственно), надо понимать, что другие варианты осуществления могут включать колебания перепада забойного давления вокруг целевого значения, которое управляемо изменяется во времени. Например, на фиг. 5 показан другой график 300 зависимости управляемых колебаний перепада  $\Delta P$  забойного давления от времени  $T$  для подповерхностной скважины (например, ствола 20 скважины на фиг. 1). Ранее со ссылкой на фиг. 1, 2 и 5 было показано, что если изменения перепада забойного давления согласно графику 300 применяются в системе 10, для осуществления нужных колебаний перепада забойного давления согласно графику 300 может быть активизирована эксплуатационная задвижка 14 и/или другой механизм(ы) регулирования давления (например, упомянутый насос противодействия), как это было описано выше.

На фиг. 5, в частности, показано, что для данного варианта осуществления график 300 иллюстрирует колебания перепада  $\Delta P$  забойного давления вокруг целевого значения, изменяемого заданным образом. В частности, график 300 включает колебания, чередующиеся между фазой 330 и фазой 332.

Во время первой фазы 330, колебания перепада  $\Delta P$  забойного давления включают ряд увеличений 312 перепада забойного давления и ряд уменьшений 314 забойного давления относительно заданного целевого значения 306. Увеличения 312 и уменьшения 314 перепада забойного давления могут происходить между верхним пределом 302 и нижним пределом 310, которые могут быть аналогичны верхнему и нижнему пределам, описанным выше применительно к графикам 100, 200 (например, верхнему и нижнему пределам 116 и 120, соответственно). Кроме того, заданным целевым значением 306 может быть среднее значение пределов 302, 310, либо может быть смещено к одному из предельных значений 302, 310, как это описано выше для целевого значения 118 для ранее описанных графиков 100, 200. Кроме

того, увеличения 312 и уменьшения 314 перепада забойного давления в пределах первой фазы могут иметь в целом одинаковые скорости или наклоны (например, как показано на графике 100 для увеличений 112 и уменьшений 114 перепада забойного давления) или разные скорости или наклоны (например, как показано на графике 200 для увеличений 212 и уменьшений 214 перепада забойного давления). Таким образом, приведенные выше описания, относящиеся к колебаниям перепада забойного давления на фиг. 3 и 4, могут быть применены к описанию увеличений и уменьшений 312, 314 перепада забойного давления в пределах первой фазы 330.

Далее на фиг. 5 показано, что во время второй фазы 332 колебания перепада  $\Delta P$  забойного давления происходят вокруг целевого значения, которое заданным образом управляемо повышается в несколько этапов. В этом варианте осуществления целевое значение повышается в два этапа между тремя разными значениями, однако, количество этапов может быть другим в других вариантах осуществления. В частности, в данном варианте осуществления перепад  $\Delta P$  забойного давления меняется в пределах первого ряда колебаний 332а, включающего увеличения 316 и уменьшения 318 перепада забойного давления вокруг заданного целевого значения 308. Затем перепад  $\Delta P$  забойного давления меняется в пределах второго ряда колебаний 332b, включающего увеличения 320 и уменьшения 322 перепада забойного давления вокруг заданного целевого значения 306. И, наконец, перепад  $\Delta P$  забойного давления меняется в пределах третьего ряда колебаний 332с, включающего увеличения 324 и уменьшения 326 перепада забойного давления вокруг заданного целевого значения 304.

Целевое значение 304 больше целевого значения 306, а целевое значение 306 больше целевого значения 308. Кроме того, в этом варианте осуществления целевое значение 306, ассоциированное с увеличениями и уменьшениями 320 и 322, соответственно, в основном, равно целевому значению 306, ассоциированному с увеличениями и уменьшениями 312, 314 в первой фазе 330.

По изображению на фиг. 5 также видно, что увеличения 316 и уменьшения 318 перепадов  $\Delta P$  забойного давления в пределах первого ряда колебаний 332а могут происходить примерно между нижним пределом 310 и верхним пределом 306. Таким образом, в этом варианте осуществления, нижний предел 310 первого ряда колебаний 332а перепадов забойного давления может быть в основном равен нижнему пределу колебаний перепада забойного давления (например, увеличений 312 и уменьшений 314) во время первой фазы 330, а верхний предел 306 первого ряда колебаний 332а перепада забойного давления может быть в основном равен целевому значению колебаний перепада забойного давления во время первой фазы 330.

В пределах второго ряда колебаний 332b, увеличения 320 и уменьшения 322 перепада  $\Delta P$  забойного давления проходят примерно между нижним пределом 308 и верхним пределом 304. Таким образом, в этом варианте осуществления, верхний предел 304 второго ряда колебаний 332b в основном равен целевому значению третьего ряда колебаний 332с, а нижний предел 308 второго ряда колебаний 332b в основном равен целевому значению первого ряда колебаний 332а.

В третьем ряду колебаний 332с, увеличения 324 и уменьшения 326 перепада  $\Delta P$  забойного давления проходят примерно между верхним пределом 302 и нижним пределом 306. Таким образом, в этом варианте осуществления нижний предел 306 третьего ряда колебаний 332с в основном равен верхнему пределу первого ряда колебаний 332а и целевому значению колебаний перепада забойного давления в первой фазе 330. Кроме того, верхний предел 302 третьего ряда колебаний 332с в основном равен верхнему пределу колебаний перепада забойного давления в первой фазе 330.

Следует понимать, что различные, ранее описанные равенства целевых значений, верхних пределов и нижних пределов первой фазы 330 и второй фазы 332 являются признаками только некоторых вариантов осуществления, например варианта, показанного на фиг. 5. Так, в других вариантах осуществления, такого равенства (или примерного равенства) нет между всеми или некоторыми из целевых значений, верхних пределов и нижних пределов колебаний перепада забойного давления в каждой из первой фазы 330 и второй фазы 332. Кроме того, даже в варианте осуществления, показанном на фиг. 5, изменения перепада  $\Delta P$  забойного давления в процессе работы могут означать, что фактически используемые целевые значения, верхние пределы и нижние пределы могут и не демонстрировать те равенства, которые описаны для идеализированного случая, представленного на фиг. 5. Поэтому, описанные выше равенства не должны восприниматься как ограничивающие область общих положений, раскрытых здесь применительно к колебаниям перепада забойного давления.

Показанные на фиг. 5 колебания 332а, 332b, 332с перепада забойного давления во второй фазе 332 могут изменяться вокруг соответствующих целевых значений 308, 306, 304, соответственно, также как это было описано выше для графиков 100, 200. Например, целевыми значениями 308, 306, 304 могут быть средние значения соответствующих верхних и нижних пределов 306 и 310, 304 и 308, и 302 и 306, соответственно, или могут быть значения, смещенные ближе к одному из соответствующих верхнему и нижнему пределам 306 и 310, 304 и 308 и 302 и 306, соответственно. Кроме того, различные увеличения 316, 320, 324 и уменьшения 318, 322, 326 колебаний 332а, 332b, 332с перепада забойного давления, соответственно, могут иметь в основном одинаковые скорости или наклоны (например, как показано на графике 100 для увеличений 112 и уменьшений 114 перепада забойного давления, или различные скорости

или наклоны (например, как показано графиком 200 для увеличений 212 и уменьшений 214 перепада забойного давления).

Как показано на фиг. 1, 2 и 5, по мере воздействия управляемых колебаний в системе 10 перепада  $\Delta P$  забойного давления в соответствии с графиком 300, скорость роста корки внутри гравийного фильтра 36 также может быть сокращена или рост прекращен, и существующая корка также может быть уменьшена, как это было описано выше. Однако в некоторых обстоятельствах образование корки может быть более эффективно предотвращено или ослаблено посредством изменения целевого значения и пределов колебаний для чередования колебаний перепада забойного давления между первой и второй фазами 330, 332, соответственно, как это было описано выше.

В частности, не ограничиваясь той или любой другой теорией, можно считать, что первая фаза 330 включает относительно более сильные колебания увеличений 312 и уменьшений 314 перепада забойного давления, чем колебания 332a, 332b, 332c перепада забойного давления во второй фазе 332. Другими словами, колебания перепада забойного давления в пределах первой фазы 330 могут иметь большую амплитуду, чем колебания перепада забойного давления во второй фазе 332 (например, колебания 332a, 332b, 332c). Например, в некоторых частных вариантах осуществления, колебания перепада забойного давления в пределах первой фазы 330 могут иметь амплитуду примерно 200 фунт/кв. дюйм, при этом колебания каждого первого, второго и третьего рядов 332a, 332b, 332c, соответственно, во второй фазе могут иметь амплитуду примерно 40 фунт/кв. дюйм. Колебания давления с большей амплитудой в пределах первой фазы 330 могут обеспечить более сильное, или более агрессивное изменение расхода или потока текучей среды внутри гравийного фильтра 36 с тем, чтобы слежавшиеся частицы мелких фракций 32 в гравийном фильтре 36 могли подвергнуться эрозии с освобождением каналов внутри гравийного фильтра 36 (в частности, внутри сформировавшейся там корки), и могут обеспечить повышенный расход проходящего через фильтр потока пластовых текучих сред. Для дальнейшего усиления эрозионного воздействия, в некоторых вариантах осуществления продолжительность увеличений 312 перепада забойного давления может быть повышена по сравнению с продолжительностью уменьшений 314 перепада забойного давления в соответствии с тем, что было описано выше в отношении увеличений 212 и уменьшений 214 на графике 200.

Кроме того, не ограничиваясь какой-либо теорией, можно считать, что поступательное повышение целевых значений, ассоциированных с колебаниями 332a, 332b, 332c в пределах второй фазы 332 может способствовать первоначальному освобождению частиц (например, во время первого ряда колебаний 332a) с последующим ростом изменений расхода или потока текучих сред (например, во время второго и третьего рядов колебаний 332c, 332d в дальнейшем. В частности, перепад  $\Delta P$  забойного давления обычно снижается, когда происходит переход от колебаний перепада забойного давления в пределах первой фазы 330 к первому ряду колебаний 332a перепада забойного давления, которые могут создать ослабленное или уменьшенное воздействие на частицы внутри гравийного фильтра 36 (включая гравийную набивку 34 и частицы мелких фракций 32). В результате, частицы внутри гравийного фильтра 36 могут перераспределяться, открывая или расширяя каналы в фильтре. В дальнейшем, при изменениях перепадов  $\Delta P$  забойного давления в пределах второго ряда колебаний 332b и затем в пределах третьего ряда колебаний 332c, изменения перепадов  $\Delta P$  забойного давления в целом увеличены относительно первого ряда колебаний 332a так, что поток текучей среды в основном увеличен на частицах внутри гравийного фильтра 36 и может происходить эрозия этих новых или расширенных каналов. Таким образом, снижение воздействующего давления и последующая эрозия частиц по мере постепенного усиления потока текучей среды внутри гравийного фильтра 36 во время первого, второго и третьего ряда колебаний 332a, 332b и 332c, соответственно, может способствовать дальнейшему повышению потока скважинной продукции из продуктивного пласта 6 в ствол 20 скважины.

Кроме того, общие увеличения в изменении перепадов  $\Delta P$  забойного давления во втором и третьем рядах колебаний 332b и 332c, соответственно, также могут способствовать прогрессу эрозионных воздействий все дальше из сборного фильтра 30. В частности, в целом постепенное нарастание изменений перепадов  $\Delta P$  забойного давления в результате колебаний 332b первого ряда и колебаний 332c второго ряда также ассоциируется с в целом поступательно нарастающим расходом, или потоком, текучей среды, как это было описано выше. По мере того, как расход, или поток, текучей среды через гравийный фильтр 36 в целом поступательно нарастает во время второго ряда колебаний 332b и третьего ряда колебаний 332d, эрозия каналов внутри гравийного фильтра 36 поступательно распространяется все дальше и дальше наружу от сборного фильтра 30 к продуктивному пласту 6 и вглубь него. Начиная с ряда колебаний 332a в пределах второй фазы 332, свободные каналы формируются в гравийном фильтре 36, обеспечивая пространство для извлечения на поверхность (например, поверхность 4) высвобожденных новых частиц мелкой фракции во время действия ряда колебаний 332b и 332c. После третьего ряда колебаний 332c во время второй фазы 332, перепад  $\Delta P$  забойного давления снова подвергается колебаниям между более сильными увеличениями 312 и уменьшениями 314 перепада забойного давления в первой фазе 330, для дальнейшего усиления эрозии каналов внутри гравийного фильтра 36, как это было описано выше.

Кроме того, колебания на уровне в целом сниженных перепадов  $\Delta P$  забойного давления во время

первого ряда колебаний 332а второй фазы также могут сократить размер газовых пузырьков, захваченных внутри гравийного фильтра 36 (например, в ситуациях, когда давление внутри гравийного фильтра 36 ниже точки кипения углеводородов, выделяющихся из продуктивного пласта 6). В частности, как было показано выше, относительно высокий перепад  $\Delta P$  забойного давления ассоциируется с относительно низким давлением в стволе скважины (поскольку перепадом  $\Delta P$  забойного давления является разница между давлением продуктивного пласта и давлением в стволе скважины, как было показано выше). Таким образом, при повышенных значениях перепадов  $\Delta P$  забойного давления (например, ассоциированных с увеличениями 312 перепада забойного давления и уменьшениями 314 перепада забойного давления во время первой фазы 330), могут формироваться большие пузырьки газа (например, пузырьки углеводородного газа, извлеченного из продуктивного пласта 6), которые задерживаются внутри гравийного фильтра 36 и, тем самым, закупоривают или ограничивают имеющиеся здесь каналы для потока текучей среды. Однако при выполнении колебаний перепада  $\Delta P$  забойного давления с относительно низкими значениями колебаний первого ряда 332а, в целом увеличенное давление внутри ствола 20 скважины (ассоциирующееся с более низкими перепадами  $\Delta P$  забойного давления) сокращает размер любых пузырьков, захваченных внутри гравийного фильтра 36. При снижении размера захваченных пузырьков образуется дополнительное пространство для раскрытия свободных каналов, способствующее извлечению на поверхность (например, поверхность 4) мелких частиц, образующих корку. В результате во время последующих колебаний перепада  $\Delta P$  забойного давления во время второго и третьего ряда колебаний 332b и 332с, соответственно, эти вновь очищенные каналы обеспечивают прохождения потока добываемых текучих сред в сборный фильтр 30.

Возвращаясь к фиг. 5, отметим, что в некоторых вариантах осуществления решение о переключении между первой фазой 330 и второй фазой 332 (или даже о том, когда переключать между разными колебаниями 332а, 332b, 332с в пределах второй фазы 332, может быть основано на заранее установленном временном графике. Например, в некоторых вариантах осуществления, первая фаза 330 может проводиться в течение промежутка времени в интервале примерно от 1 до 10 дней, а вторая фаза 332 может проводиться в течение промежутка времени продолжительностью примерно от 1 до 30 дней. В некоторых вариантах осуществления, продолжительность первой фазы 330 может быть увеличена по сравнению с продолжительностью второй фазы 332 с тем, чтобы сделать максимальным время, в течение которого более сильные колебания перепада  $\Delta P$  забойного давления во время первой фазы 330 (например, увеличения 312 и уменьшения 314 перепада забойного давления) воздействуют внутри ствола скважины (например, ствола 20), для более полного использования описанных выше результатов эрозии.

Кроме того, во время каждой второй фазы 332, каждые следующие колебания 332а, 332b, 332с перепада забойного давления могут производиться в течение промежутка времени примерно от 1 до 10 дней. В некоторых вариантах осуществления продолжительность воздействия каждого из колебаний 332а, 332b, 332с перепада забойного давления в целом одинакова. Однако в других вариантах осуществления, продолжительность одних или более (включая всех) колебаний 332а, 332b, 332с перепада забойного давления может отличаться от других колебаний перепада забойного давления во время второй фазы 332.

Кроме того, в других вариантах осуществления, решения, когда выполнять переключение между первой фазой 330 и второй фазой 332 (или даже переключать между различными колебаниями 332а, 332b, 332с в пределах второй фазы 332), может быть принято на основе мониторинга одного или более параметров ствола 20 скважины или системы 10. Например, в некоторых вариантах осуществления, расход пластовой текучей среды и/или давления в стволе скважины (например, стволе 20 скважины) может быть индикатором того, что эффективность текущего закона управления колебаниями перепада забойного давления снизилась, и поэтому персоналу (или описанному ниже контроллеру) пришло время отрегулировать закон управления колебаниями перепада забойного давления (например, выполнить регулировки, связанные с изменениями от первой фазы 330 ко второй фазе 332, или изменениями между разными колебаниями 332а, 332b, 332с в пределах второй фазы 332). В частности, если текущий закон колебаний эффективен для снижения корки призабойной зоны внутри ствола 20 скважины, расход текучей среды из продуктивного пласта в ствол 20 скважины может нарастать, что также сопровождается ростом давления в стволе 20 скважины. При этом если величина расхода пластовой текучей среды или давление в стволе 20 скважины увеличивается, может быть принято решение (персоналом и/или контроллером) поддерживать текущий закон колебаний. Однако, если расход пластовой текучей среды и/или давление в стволе 20 скважины остается неизменным или падает, может быть принято решение о переходе от текущего закона колебаний к новому закону колебаний, включающему изменение между первой фазой 330 и второй фазой 332, или между колебаниями 332а, 332b, 332с второй фазы 332, как было показано выше.

Далее на фиг. 6 представлен способ 500 управления состоянием корки призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины. Способ 500 может быть реализован в любой подповерхностной скважине, например, в частности, стволе скважины, в которой выполнено заканчивание с использованием гравийных фильтров (например, стволе 20 скважины), в процессе заканчивания автономного фильтра и т.д. В приведенном далее описании, способ 500 будет рассмотрен применительно к ранее описанной системе

10 и графикам 100, 200 давления. Однако этот конкретный пример не следует воспринимать как ограничивающий применение способа 500. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления способ 500 может быть целиком или частично реализован с использованием контроллера (например, описанного ниже контроллера 400).

Первоначально, способ 500 начинают на шаге 505 созданием колебаний перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины (например, стволе 20 скважины) вокруг заданного целевого значения перепада забойного давления по заданному закону колебаний. В частности, заданный закон колебаний на шаге 505 может быть аналогичен колебаниям, описанным выше и проиллюстрированными графиками 100, 200 (см. фиг. 3 и 4). Таким образом, колебания на шаге 505 могут включать увеличение перепада забойного давления от нижнего предела до верхнего предела с последующим уменьшением перепада забойного давления от верхнего предела к нижнему пределу (например, нижнему пределу 120 и верхнему пределу 116, показанным на фиг. 3 и 4). В некоторых вариантах осуществления, колебания на шаге 505 могут включать увеличение перепада забойного давления с первой скоростью с последующим уменьшением перепада забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости. В частности, в некоторых вариантах осуществления, вторая скорость может быть больше первой скорости (например, как показано на фиг. 3 для графика 100). В других вариантах осуществления, колебания на шаге 505 могут включать увеличение перепада забойного давления с первой скоростью с последующим уменьшением перепада забойного давления с первой скоростью (например, как показано на фиг. 4 для графика 200).

Далее, способ 500 включает на шаге 510 поддержание целевого значения перепада забойного давления на, в основном, постоянном уровне во время колебаний на шаге 505. В частности, поддержание в основном постоянного уровня целевого значения перепада забойного давления может включать поддержание целевого значения перепада забойного давления в заданном интервале, например, как было описано выше применительно к целевому значению 118 на графике 100.

На фиг. 7 представлен другой способ 600 управления состоянием корки призабойной зоны в стволе подповерхностной скважины. Способ 600 может быть реализован в любой подповерхностной скважине, например, в частности, стволе скважины, в которой выполнено заканчивание с использованием гравийных фильтров (например, стволе 20 скважины). В приведенном далее описании, способ 600 будет рассмотрен применительно к ранее описанной системе 10 и графику 300 давления. Однако этот конкретный пример не следует воспринимать как ограничивающий применение способа 600. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления способ 600 может быть целиком или частично реализован с использованием контроллера (например, описанного ниже контроллера 400).

Первоначально, способ 600 начинают на шаге 605 созданием колебаний перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины (например, стволе 20 скважины) вокруг первого заданного целевого значения перепада забойного давления по первому заданному закону колебаний. Далее, на втором шаге 610, способ 600 включает создание колебания перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины при втором заданном целевом значении, отличающемся от первого целевого значения перепада забойного давления, согласно второму заданному закону колебаний.

Второе заданное целевое значение перепада забойного давления может быть больше или меньше, чем первое целевое значение перепада забойного давления. В частности, шаги 605, 610 способа 600 могут соответствовать изменению или смещению от первой фазы 330 ко второй фазе 332, или изменению или смещению между разными колебаниями 332a, 332b, 332c второй фазы 332 на графике 300 фиг. 5. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления, способ 600 также может включать создание колебаний перепада забойного давления вокруг второго целевого значения на шаге 610 после истечения заданного интервала времени со времени колебаний перепада забойного давления вокруг первого целевого значения на шаге 605. Далее, в некоторых вариантах осуществления, способ 600 также может включать создание колебаний перепада забойного давления вокруг второго целевого значения на шаге 610 после создания колебаний перепада забойного давления вокруг первого целевого значения на основе изменений давления внутри ствола скважины и/или расхода пластовых текучих сред внутри ствола скважины.

Кроме того, первый и второй заданные законы колебаний на шагах 605 и 610, соответственно, могут быть аналогичны законам колебаний, описанным выше и показанным на графиках 100, 200, 300 (см. фиг. 3-5). При этом колебания на шагах 605, 610 могут включать увеличение перепада забойного давления от соответствующего нижнего предела к соответствующему верхнему пределу, с последующим уменьшением перепада забойного давления от соответствующего верхнего предела к соответствующему нижнему пределу (например, нижнему пределу 120 и верхнему пределу 116, показанным на фиг. 3 и 4, или пределам 302, 304, 306, 308, 310 и т.д., показанным на фиг. 5). В некоторых вариантах осуществления, первый и/или второй заданные законы колебаний на шагах 605 и 610, соответственно, могут включать увеличение перепада забойного давления с первой скоростью и затем уменьшение перепада забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости. В частности, в некоторых вариантах осуществления, вторая скорость может быть больше первой скорости (например, как показано на фиг. 3 графиком 100). В других вариантах осуществления, первый и/или второй законы колебаний на шагах 605 и 610, соответственно, могут включать увеличение перепада забойного давления с первой ско-

ростью с последующим уменьшением перепада забойного давления с первой скоростью (например, как показано на фиг. 4 графиком 200).

На фиг. 1 также показано, что система 10 может также включать контроллер 400, соединенный с эксплуатационной задвижкой 14 (и/или другими механизмами регулирования давления, которые включает система 10), и выполненный с возможностью регулирования положения эксплуатационной задвижки 14 для управления перепадом забойного давления в стволе скважины так, как это было описано выше (например, как описано выше со ссылкой на графики 100, 200, 300 и т.д.). Контроллер 400 может входить в состав более крупного устройства или узла управления, например устройства управления работой системы 10 в целом, либо может быть автономным блоком управления для выполнения описанных функций. Кроме того, как было показано выше, контроллер 400 может быть расположен на поверхности 4 вблизи наземного оборудования 12 или на нем, либо может находиться удаленно от системы 10 (например, в центральном офисе или пункте управления, соединенными с системой 10 средствами связи). В целом контроллер 400 включает процессор 402 и запоминающее устройство 404 (память).

Процессор 402 (например, микропроцессор, центральный процессор, или группа таких процессорных устройств и др.) выполняет машиночитаемые команды (например, программы), хранящиеся в запоминающем устройстве 404, и при выполнении машиночитаемых команд, хранящихся в запоминающем устройстве 404, обеспечивает контроллеру 400 способность выполнения всех описываемых здесь функций. Запоминающее устройство 404 может включать энергозависимую память (например, запоминающее устройство с произвольной выборкой), энергонезависимое устройство (например, флэш-память, постоянное запоминающее устройство и т.д.) или комбинации как энергозависимой, так и энергонезависимой памяти. Данные, потребляемые или генерируемые процессором 402, при выполнении машиночитаемых команд, также могут сохраняться в запоминающем устройстве 404. Запоминающее устройство 404 может содержать энергонезависимую машиночитаемую среду.

В процессе работы, контроллер 400 (посредством машиночитаемых команд, выполняемых процессором 402) может управляемо активизировать эксплуатационную задвижку 14 (и/или насос противодавления или другой механизм регулирования давления в системе 10) для регулирования перепада забойного давления в стволе 20 скважины. В частности, контроллер 400 может выборочно изменять перепад забойного давления внутри ствола 20 скважины согласно любым вариантам осуществления и способам, описанным выше (например, как показано на графиках 100, 200, 300 или описано выше в способах 500, 600 и т.д.). В других вариантах осуществления, контроллер 400 может

сигнализировать персоналу (например, через устройство отображения или иным способом), что требуется определенная активизация эксплуатационной задвижки 14 (и/или какого-либо другого механизма регулирования давления) с тем, чтобы, например, обеспечить изменение перепада забойного давления в стволе 20 скважины в порядке, описанном выше (например, показанном на графиках 100, 200, 300). Контроллер 400 может выборочно регулировать перепад забойного давления (или сигнализировать персоналу о необходимых изменениях в перепаде забойного давления), основываясь на заданном временном графике или на одном или более измеренных или производных, или вычисленных параметрах, как было ранее описано выше (например, давление внутри ствола 20 скважины, расходе пластовых текучих сред, и т.д.). В результате, процессор 402 может периодически снимать показания давления с датчика 13 (или одного или более других датчиков, находящихся в разных местах системы 10), во время выполнения описанных выше функций или после этого.

Различные ранее описанные колебания перепада забойного давления могут осуществляться в течение всего срока службы скважины, либо могут применяться в определенные периоды работы скважины. Например, описанные выше колебания перепада забойного давления (например, показанные графиками 100, 200, 300 и т.д.) могут использоваться сразу же или через короткое время после завершения работ по заканчиванию с применением гравийных фильтров, для обеспечения так называемой очистки от частиц мелких фракций (например, мелких фракций 32), которые могут отложиться внутри гравийного фильтра 36 в результате самих работ по заканчиванию скважины. Кроме того, описанные выше колебания перепадов забойного давления могут быть использованы во время обычных работ по добыче текучих сред после периода очистки. Далее, в некоторых вариантах осуществления, один вариант осуществления или тип колебаний (например, один из законов колебаний, проиллюстрированный графиками 100, 200, 300, и т.д.) может быть использован во время выполнения упомянутой выше чистки, в то время как другой вариант осуществления или тип колебаний может быть использован далее в ходе последующих работ по добыче после очистки. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления, ряд различных законов колебаний (например, законы колебаний, проиллюстрированные графиками 100, 200, 300) могут быть использованы для создания перепада забойного давления во время очистки и/или работ по добыче текучих сред.

Таким образом, благодаря осуществлению избирательных колебаний перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины с гравийным фильтром 36 (например, стволе 20 скважины), может быть предотвращена, уменьшена или устранена корка призабойной зоны, формирующаяся внутри гравийного фильтра (например, корка, формируемая частицами мелких фракций 32 внутри гравийного фильтра 36). В результате, благодаря использованию описанных здесь способов создания колебаний пе-

репада забойного давления, может быть увеличен расход пластовых текучих сред из ствола подповерхностной скважины так, что может быть поднята общая производительность добычи скважины.

Рассмотренные выше графики изменений перепада забойного давления включают по существу линейные изменения перепада  $\Delta P$  забойного давления (например, графики 100, 200, 300 и т.д.). Следует, однако, иметь в виду, что в других вариантах осуществления перепад  $\Delta P$  забойного давления может изменяться в значительной степени по нелинейному закону. Например, в некоторых вариантах осуществления, колебания перепада  $\Delta P$  забойного давления могут происходить вокруг целевого значения по синусоидальному (или примерно по синусоидальному) закону или зависимости. Кроме того, в некоторых вариантах осуществления изменения перепада  $\Delta P$  забойного давления могут содержать наложение двух волновых процессов, например, двух колебаний по синусоидальному закону.

В то время как были показаны и описаны частные варианты осуществления, специалистом в данной отрасли могут быть реализованы их модификации в пределах существа или принципов раскрытия. Описанные варианты осуществления являются только иллюстрацией и не ограничивают изобретения. Возможны многие изменения и модификации описанных здесь систем, устройства и процессов, не выходящие за пределы существа раскрытия. Соответственно, область защиты ограничена не описанными здесь вариантами осуществления, а только приведенной далее формулой, область притязаний которой должна включать все эквиваленты объекта изобретения формулы. Если специально не указано иначе, шаги формулы на способ могут быть выполнены в любом порядке. Перечисление обозначений, например, (а), (б), (в) или (1), (2), (3) перед шагами в формуле на способ не предполагает и не определяет определенный порядок шагов, а используется, скорее, для упрощения дальнейших ссылок на эти шаги.

Для дальнейшей иллюстрации различных вариантов осуществления, приводятся следующие примеры. Следует, однако, иметь в виду, что раскрытые здесь варианты осуществления не ограничиваются приведенными ниже примерами.

#### Пример 1.

Внутри ствола скважины, были созданы колебания перепада забойного давления согласно образцу, показанному на фиг. 8, включающие повторяющиеся колебания давления между примерно 1250 фунт/кв.дюйм изб. и примерно 1000 фунт/кв. дюйм изб. в течение интервала времени примерно 50 ч. В результате воздействия этих колебаний производительность добычи нефти выросла примерно на 250 баррелей в день (bbld/d - от англ. barrel per day), что соответствует росту общей добычи примерно на 4,5%.

#### Пример 2.

Была изготовлена прозрачная коническая камера, в которую был помещен слой прозрачных частиц гравия. Кроме того, поверх прозрачных частиц гравия был помещен слой темных мелких частиц со средним диаметром, составляющим  $1/20$  диаметра прозрачных частиц гравия, которые должны были представлять захваченные мелкие частицы, образующие сформировавшуюся корку. Далее, под воздействием гидростатического давления, приложенного к слою мелких частиц и прозрачного гравия, мелкие частицы вдавливались в гравий. На фиг. 9 представлен комбинированный график 601 массового расхода 602, в галлонах в секунду (гал/с), вытекающего из прозрачной камеры, и величины воздействующего гидростатического давления 604 в сантиметрах (см) внутри прозрачной камеры в функции времени в секундах (с). Аналогично, на фиг. 10(а)-10(м) представлены изображения гравия и частиц внутри конической камеры в разные моменты времени в процессе эксперимента.

Как показано на фиг. 9, в начальной фазе эксперимента от момента 2000 с примерно до 3250 с, приложенное гидростатическое давление поддерживалось постоянным на уровне примерно 45 см. Во время этой фазы движение частиц через гравий было слабым или вовсе отсутствовало, и расход текучей среды через прозрачную камеру составлял 0,12 гал/с. Затем примерно на 3250 с, возбуждались колебания гидростатического давления, причем колебания гидростатического давления соответствовали первому закону между примерно 45 см и примерно 30 см, затем согласно второму закону между примерно 30 см и примерно 17,5 см, и, наконец, согласно третьему закону между примерно 17,5 см и примерно 5 см. Эта общая схема колебаний была повторена в общей сложности три раза. В ходе эксперимента, мелкие темные частицы были извлечены через прозрачный гравий, и корка уменьшилась. В результате расход мелких частиц вырос вчетверо от первоначальных примерно 0,12 гал/с на момент времени 2000 с до измеренных примерно 0,48 гал/с для момента примерно 7500-8500 с. Кроме того, как можно понять из фиг. 10(а)-10(м), эрозия мелких частиц и их извлечение через прозрачный гравий в основном имело место во время воздействия циклических колебаний, показанных на фиг. 9.

## ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ управления состоянием корки призабойной зоны внутри ствола подповерхностной скважины, при осуществлении которого:

(а) создают колебания перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины в соответствии с задаваемым законом, включающим множество чередующихся увеличений перепада забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления,

причем увеличения перепадов забойного давления по заданному закону включают увеличение перепада забойного давления с первой скоростью, а

уменьшения перепадов забойного давления по заданному закону включают уменьшение перепада забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости.

2. Способ по п.1, в котором вторая скорость больше первой скорости.

3. Способ по п.2, в котором вторая скорость приблизительно в 10-20 раз больше первой скорости.

4. Способ по п.2 или 3, в котором первая скорость составляет примерно от 10 до 20 фунтов на кв. дюйм в час.

5. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором на шаге (а) создают колебания перепадов забойного давления вокруг первого заданного целевого значения; и

далее на шаге (б), после шага (а), создают колебания перепада забойного давления в соответствии со вторым заданным законом вокруг второго заданного целевого значения, отличающегося от первого заданного целевого значения.

6. Способ по п.5, в котором:

поддерживают на шаге (а) первое заданное целевое значение в основном постоянным; и

поддерживают на шаге (б) второе заданное целевое значение в основном постоянным.

7. Способ по любому из предыдущих пунктов, в котором на шаге (а) создают колебания перепада забойного давления между верхним и нижним пределами вокруг первого заданного целевого значения и, опционально, первым заданным целевым значением является среднее значение верхнего предела и нижнего предела.

8. Способ по любому из пп.5, или 6, или 7 при его зависимости от п.5 или 6, в котором дополнительно:

(в) создают колебания перепада забойного давления вокруг третьего заданного целевого значения, после шага (б); и

(г) создают колебания перепада забойного давления вокруг четвертого заданного целевого значения, после шага (в), причем четвертое заданное целевое значение превышает третье заданное целевое значение, а третье заданное целевое значение превышает второе заданное целевое значение.

9. Способ по п.8, в котором:

колебания на шаге (а) имеют первую амплитуду, колебания на шаге (б) имеют вторую амплитуду, колебания на шаге (в) имеют третью амплитуду, и колебания на шаге (г) имеют четвертую амплитуду, причем первая амплитуда больше второй амплитуды, третьей амплитуды и четвертой амплитуды.

10. Способ по п.9, в котором дополнительно повторяют шаги (а), (б), (в) и (г).

11. Система добычи углеводородов из ствола подповерхностной скважины, включающая:

насосно-компрессорную колонну, установленную внутри ствола скважины;

эксплуатационную задвижку, сообщаемую по текучей среде с насосно-компрессорной колонной так, что пластовые текучие среды, проходящие в ствол скважины, поступают через насосно-компрессорную колонну к эксплуатационной задвижке; и

контроллер, подключенный к эксплуатационной задвижке и выполненный с возможностью выборочного приведения в действие эксплуатационной задвижки для:

(а) создания колебаний перепада забойного давления в стволе скважины согласно задаваемому закону, включающему множество чередующихся увеличений перепадов забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления,

причем увеличения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают увеличения перепадов забойного давления с первой скоростью, а

уменьшения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают уменьшения перепадов забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости.

12. Система по п.11, в которой вторая скорость больше первой скорости.

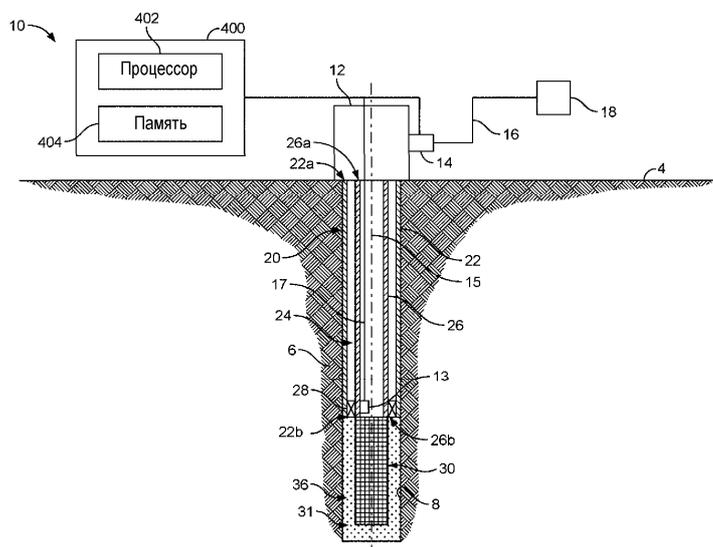
13. Система по п.12, в которой вторая скорость примерно от 10 до 20 раз больше первой скорости.

14. Система по любому из пп.11-13, в которой:

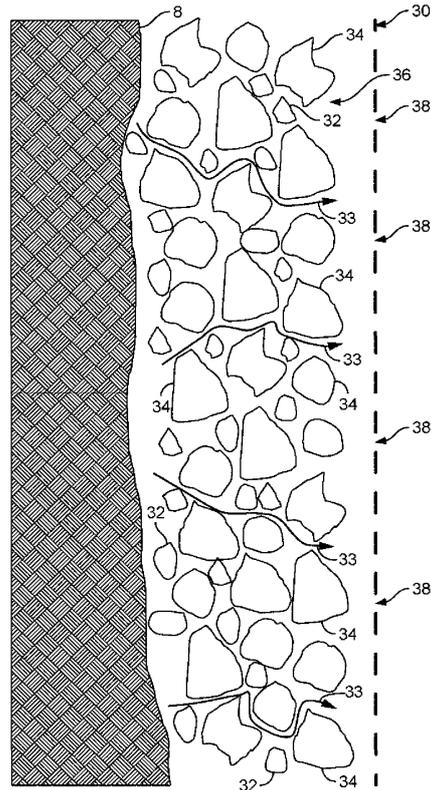
контроллер сконфигурирован для создания на шаге (а) колебаний перепада забойного давления вокруг первого целевого значения, и

контроллер сконфигурирован для создания на шаге (б) после шага (а) колебаний перепада забойного давления в соответствии со вторым заданным законом вокруг второго заданного целевого значения, отличающегося от первого целевого значения.

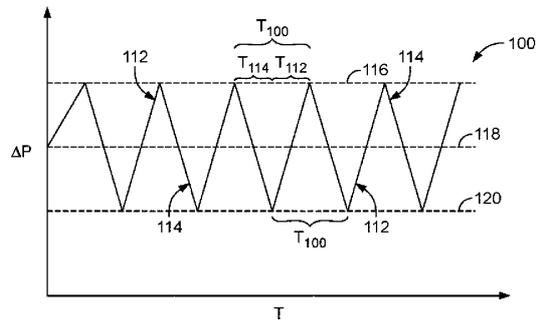
15. Система по п.14, в которой контроллер дополнительно сконфигурирован для:
- (в) создания колебаний перепада забойного давления вокруг третьего заданного целевого значения, после шага (б); и
  - (г) создания колебаний перепада забойного давления вокруг четвертого заданного целевого значения, после шага (в), причем четвертое заданное целевое значение больше третьего заданного целевого значения, и третье заданное целевое значение больше второго заданного целевого значения.
16. Система по п.15, в которой контроллер дополнительно сконфигурирован для:
- создания на шаге (а) колебаний перепада забойного давления с первой амплитудой;
  - создания на шаге (б) колебаний перепада забойного давления со второй амплитудой;
  - создания на шаге (в) колебаний перепада забойного давления с третьей амплитудой; и
  - создания на шаге (г) колебаний перепада забойного давления с четвертой амплитудой, причем первая амплитуда больше второй амплитуды, третьей амплитуды и четвертой амплитуды.
17. Энергонезависимый машиночитаемый носитель, содержащий программные команды, при исполнении которых процессором, обеспечиваются:
- приведение в действие эксплуатационной задвижки для создания колебаний перепада забойного давления в стволе подповерхностной скважины в соответствии с задаваемым законом, включающим множество чередующихся увеличений перепадов забойного давления и уменьшений перепадов забойного давления,
  - причем увеличения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают увеличения перепадов забойного давления с первой скоростью, а
  - уменьшения перепадов забойного давления согласно заданному закону включают уменьшения перепадов забойного давления со второй скоростью, отличающейся от первой скорости.
18. Энергонезависимый машиночитаемый носитель по п.17, причем вторая скорость больше первой скорости.
19. Энергонезависимый машиночитаемый носитель по п.18, причем вторая скорость приблизительно в 10-20 раз больше первой скорости.
20. Энергонезависимый машиночитаемый носитель по любому из пп.17-19, в котором команды, при их исполнении процессором, дополнительно побуждают процессор к:
- приведению в действие эксплуатационной задвижки для создания колебаний перепада забойного давления согласно заданному закону вокруг первого заданного целевого значения; и, затем,
  - приведению в действие эксплуатационной задвижки для создания колебаний перепада забойного давления согласно второму заданному закону вокруг второго заданного целевого значения, отличающегося от первого заданного целевого значения.



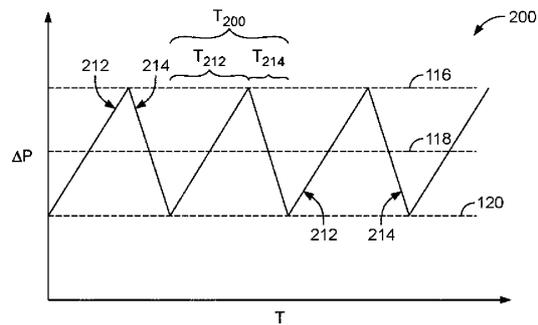
Фиг. 1



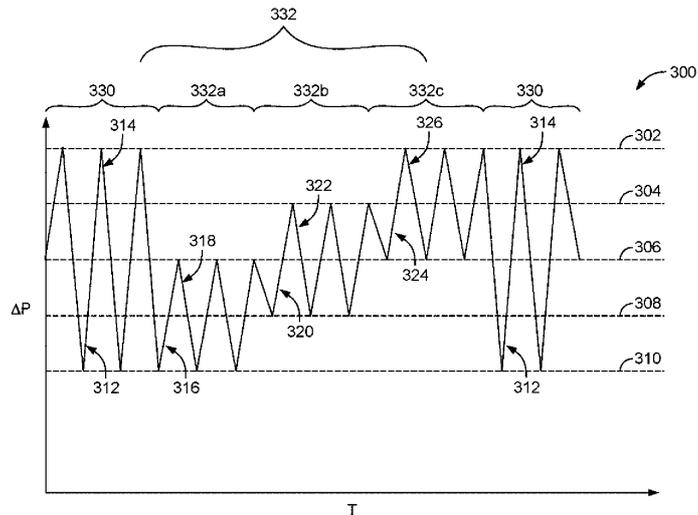
Фиг. 2



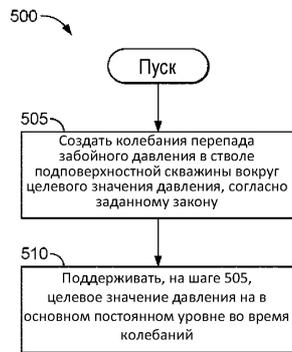
Фиг. 3



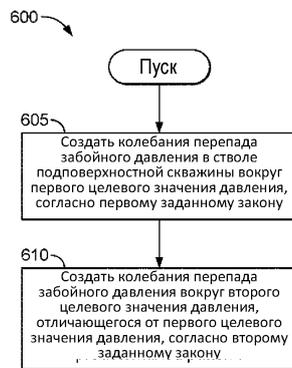
Фиг. 4



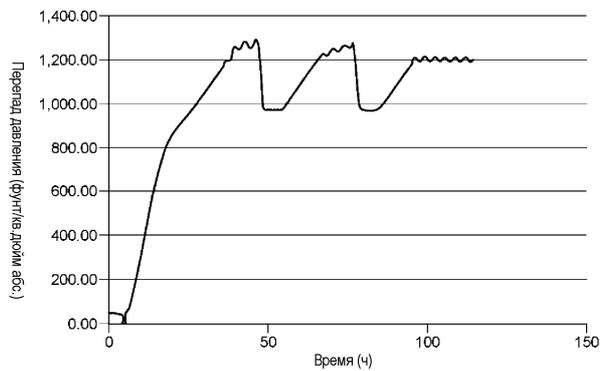
Фиг. 5



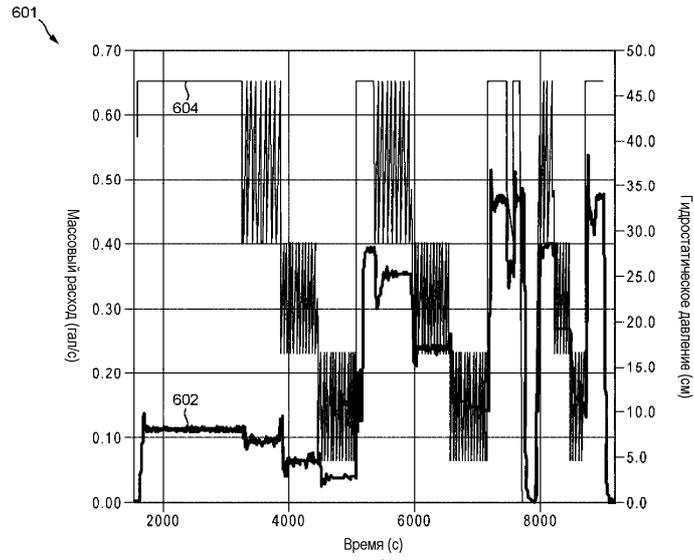
Фиг. 6



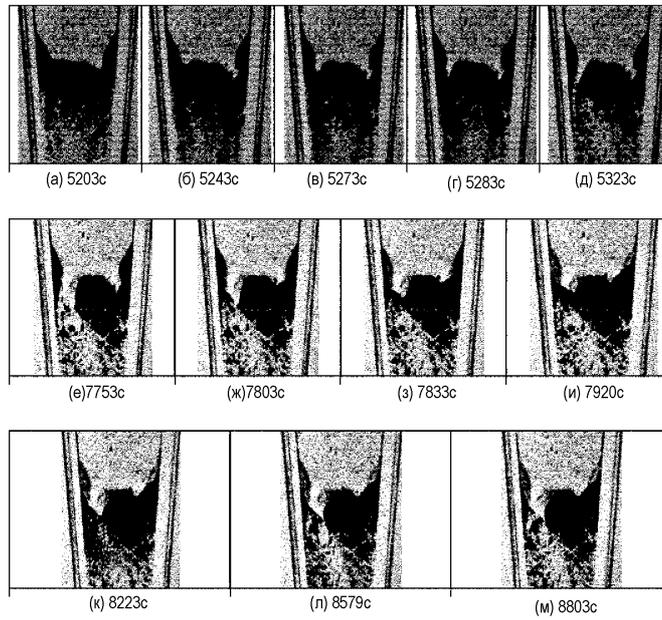
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

