

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **047943**

(13) **B1**

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

- (45) Дата публикации и выдачи патента
2024.09.30
- (21) Номер заявки
202291129
- (22) Дата подачи заявки
2020.10.16
- (51) Int. Cl. **C02F 1/44 (2006.01)**
B01D 61/02 (2006.01)
B01D 61/12 (2006.01)
C02F 103/08 (2006.01)
C02F 103/10 (2006.01)

(54) **СОСТАВ И ПРИГОТОВЛЕНИЕ СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ НАГНЕТАЕМОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПОВЫШЕННОЙ НЕФТЕОТДАЧИ**

- (31) **1914975.6**
- (32) **2019.10.16**
- (33) **GB**
- (43) **2022.07.26**
- (86) **PCT/GB2020/052622**
- (87) **WO 2021/074650 2021.04.22**
- (71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**БП ЭКСПЛОРЕЙШН ОПЕРЕЙТИНГ
КОМПАНИ ЛИМИТЕД (GB)**
- (72) Изобретатель:
**Коувз Джон Вильям, Дей Стюарт
Уильям, Гибсон Крис, Рашид Биалал,
Уильямс Джон Дейл (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-A1-2019030343**
EP-A1-3427813
WO-A1-2019053092

-
- (57) В изобретении описана комплексная система, включающая установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО), выполненный с возможностью выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата, смесительную систему, содержащую линию прохождения для подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц и выполненную с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц для получения составного потока слабоминерализованной воды, имеющей минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее примерно 0,2, 0,3 или 0,4, блок управления, выполненный с возможностью управления работой смесительной системы, и нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, причем одна или более нагнетательных скважин пробурены в нефтеносный слой продуктивного пласта. Также предложен способ.
-

047943
B1

047943
B1

Ссылки на родственные заявки

Не применимо.

Заявление в отношении исследований и разработок с государственной поддержкой

Не применимо.

Область техники

Изобретение относится к системе и способу получения слабоминерализованной нагнетаемой воды для использования в процессе заводнения слабоминерализованной водой и ее составу; более конкретно, изобретение относится к составу слабоминерализованной нагнетаемой воды, включающему пермеат обратного осмоса (ОО) и добавку для стабилизации мелких частиц, и системе и способу для его получения; еще более конкретно, изобретение относится к слабоминерализованной нагнетаемой воде с более высоким, чем обычно, молярным соотношением двухвалентных катионов и одновалентных катионов, благодаря чему минерализация слабоминерализованной нагнетаемой воды может быть ниже, чем у обычно используемой при повышенной нефтеотдаче (ПНО) и/или использовать ионы калия (например, KCl) для стабилизации мелких частиц, при сохранении преимуществ и проницаемости продуктивного пласта.

Уровень техники

Одна из проблем, связанных с заводнением слабоминерализованной водой, заключается в том, что вода, получаемая с помощью технологий деминерализации, имеет степень минерализации ниже пригодной для непрерывного нагнетания в нефтесодержащий пласт, если, например, при нагнетании деминерализованной воды приводит к разбуханию глин, потере проницаемости или миграции мелких частиц в пласте месторождения. В таких случаях деминерализованная вода может вызывать повреждение нефтеносной породы продуктивного пласта и может затруднять извлечение нефти. Обычно, когда нефтеносный пласт характеризуется высоким содержанием разбухающих глин и/или подвержен деградации из-за воздействия мелких частиц, ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта можно избежать, сохраняя добычу нефти из пласта, если нагнетаемая вода имеет достаточное общее содержание растворенных твердых веществ (ОСРТВ).

Другая проблема, связанная с заводнением слабоминерализованной водой, состоит в необходимости поддержания уровня сульфатов слабоминерализованной нагнетаемой воды, который обычно должен составлять менее 100 мг/л (например, менее 50 мг/л или менее 40 мг/л) для снижения риска закисления пласта или образования отложений. Закисление пласта возникает из-за размножения сульфатовосстанавливающих бактерий, использующих сульфаты в своем метаболизме, с образованием сероводорода. Отложения возникают из-за выпадения минерального осадка при смешивании нагнетаемой воды, содержащей фосфаты, с реликтовой водой, содержащей катионы-прекурсоры осаждения, например катионы бария.

Сущность изобретения

Предлагается комплексная система, включающая: установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО) для выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата; смесительную систему, содержащую линию прохождения для подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц и приспособленную для смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата с подмешиваемым протоком добавки для стабилизации мелких частиц, для получения составного потока слабоминерализованной воды, имеющего минерализацию, менее или равную 8000, 7000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm (частей на миллион), и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее примерно 0,2, 0,3 или 0,4; блок управления, выполненный с возможностью управления работой смесительной системы; и нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта.

Также предлагается способ, в котором: вырабатывают подмешиваемый поток пермеата обратного осмоса (ОО) с использованием узла ОО установки деминерализации; подготавливают подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц; смешивают подмешиваемый поток ОО-пермеата и подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в смесительной системе для выработки составного потока слабоминерализованной воды, имеющего минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4.

Также раскрывается комплексная система, включающая: блок управления; несколько клапанов, управляемых блоком управления; несколько устройств контроля расхода и состава, выполненных с возможностью предоставления данных измерения расхода и состава, соответственно, в блок управления; узел обратного осмоса (ОО), выполненный с возможностью выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата; емкость для добавки для стабилизации мелких частиц, приспособленную для формирования подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц; и смесительную систему, содержащую линию, выполненную с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в составной поток слабоминерализованной воды, имеющий минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4, причем блок управления выполнен с возможностью: регулирования, при полу-

чении данных измерения расхода и состава, по меньшей мере одного из нескольких клапанов, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона.

Также раскрывается слабоминерализованная нагнетаемая жидкость для использования в повышенной нефтеотдаче (ПНО), содержащая: поток пермеата обратного осмоса (ОО) (например, поток ОО-пермеата или поток ОО/НФ пермеата), составляющий примерно от 80 до 99,995 объемных процентов (об.%) слабоминерализованной нагнетаемой жидкости, и добавку для стабилизации мелких частиц, составляющую примерно от 0,005 до 20 об.% слабоминерализованной нагнетаемой жидкости. В вариантах осуществления, добавка для стабилизации мелких частиц содержит соль двухвалентного катиона.

Краткое описание чертежей

Для подробного описания вариантов осуществления раскрытия используются ссылки на приложенные чертежи, на которых:

на фиг. 1 схематически представлен вариант осуществления комплексной системы I для выработки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды для использования при заводнении слабоминерализованной водой, в соответствии с вариантом осуществления настоящего раскрытия;

на фиг. 2 схематически представлен вариант осуществления комплексной системы II для выработки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды для использования при заводнении слабоминерализованной водой, в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего раскрытия; и

на фиг. 3 схематически представлен вариант осуществления комплексной системы III для выработки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды для использования при заводнении слабоминерализованной водой, в соответствии с другим вариантом осуществления настоящего раскрытия.

Подробное описание осуществления изобретения

С самого начала рассмотрения следует понимать, что хотя ниже представлены образцы реализации одного или более вариантов осуществления, раскрытые составы, способы и/или продукты могут быть осуществлены с использованием любого числа методов, как уже известных, так и еще не существующих. Настоящее раскрытие ни в какой мере не должно ограничиваться этими образцами реализации, чертежами и описанными ниже методами, включая примеры конструкций и реализаций, иллюстрированных и описанных ниже, но может быть модифицировано в пределах области притязаний приложенной формулы, вместе со всеми их эквивалентами.

Определения

Хотя предполагается, что приведенные ниже термины должны быть хорошо понятны специалистам в данной области, приведенные далее определения предлагаются для улучшения объяснения раскрываемого здесь предмета изобретения. Если не указано иначе, значение всех используемых здесь технических и научных терминов соответствует их обычному пониманию специалистами в области, к которой относится раскрываемый здесь предмет изобретения.

В приведенном ниже описании используются следующие термины:

"Сильноминерализованная питательная вода" - питательная вода для установки деминерализации, которой обычно является морская вода (МВ), вода эстуария, вода водоносного горизонта или их смеси.

Единицей измерения "ppmv" является "количество в частях на миллион по объему воды", что эквивалентно единице "мг/л".

"Модуль обратноосмотической (ОО) фильтрации" - содержит сосуд, или, иначе, корпус высокого давления, вмещающий один или более мембранных ОО-элементов, например, от 1 до 8 мембранных ОО-элементов и, в частности, от 4 до 8 мембранных ОО-элементов.

"Модуль нанофильтрации (НФ)" - содержит сосуд высокого давления, вмещающий один или более НФ-элементов, например, от 1 до 8 мембранных элементов, или, в частности, от 4 до 8 мембранных НФ-элементов.

"Обратноосмотическая (ОО) ступень установки деминерализации" - группа модулей ОО-фильтрации, параллельно соединенных друг с другом. Аналогичным образом, "нанофильтрационная (НФ) ступень установки деминерализации" представляет собой группу параллельно соединенных друг с другом модулей НФ-фильтрации.

"Мембранный блок" - содержит ступени ОО- и НФ-фильтрации, соединенные друг с другом для обеспечения ступенчатого отделения концентрата и имеющие, как правило, общую систему трубопроводной арматуры (далее упоминается как "клапан") и трубопроводов. Один мембранный блок или несколько мембранных блоков могут быть смонтированы на рамном основании.

"Пластовая вода (ПВ)" - вода, отделенная от нефти и газа на промышленном оборудовании. Пластовая вода может содержать реликтовую воду, вытесняющую воду водоносного горизонта из лежащего ниже горизонта или любую ранее закачанную водную текучую среду, например, морскую воду (МВ).

"Реликтовая вода" - вода, присутствующая в поровом пространстве нефтеносного слоя продуктивного пласта.

"Водная рабочая жидкость" - водная текучая среда, которая может нагнетаться в нагнетательную скважину после нагнетания пробки (оторочки) малого порового объема (ПО) смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды.

"Нефтяная залежь" - хорошо известный специалистам термин, обозначающий часть слоя(ев) пластовой породы, в котором нефтенасыщение повышено благодаря применению способа повышения нефтеотдачи, воздействующего на неподвижную нефть.

"Основной этап заводнения слабоминерализованной водой" - этап заводнения слабоминерализованной водой после ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной воды.

"Ввод в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной воды" - период продолжительностью до нескольких дней, в течение которого может постепенно снижаться минерализация нагнетаемой воды, либо может происходить ступенчатое снижение ее минерализации, пока состав в нагнетательной скважине не будет находиться в пределах рабочего диапазона для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой.

"Нагнетательная система" включает нагнетательную линию и один или более нагнетательных насосов для закачивания нагнетательной воды через нагнетательную скважину и нагнетания нагнетательной воды в пласт месторождения.

"Площадка закачки" является участком нагнетательной системы и может находиться на суше или на морском шельфе (например, на платформе плавучего нефтеналивного хранилища (ПНХ)).

"Приемистость скважины" означает, насколько легко текучая среда (например, нагнетаемая вода) закачивается в нефтеносный слой продуктивного пласта.

"Потеря проницаемости" означает ухудшение способности слоя породы пропускать воду или другие текучие среды, например, нагнетаемые жидкости или нефть, составляющее по меньшей мере 10% от проницаемости, измеренной перед процессом обработки, например, заводнением слабоминерализованной водой.

"Смесительная система" содержит несколько питательных линий для передачи подмешиваемых потоков, ведущих к по меньшей мере одной точке(ам) слияния, и отводящую линию для отведения составного потока нагнетаемой воды от точки(ек) слияния.

"ОКРТВ" ("ОСРТВ") - общая концентрация (содержание) растворенных твердых веществ в водном потоке, обычно выражающаяся в ppmv (частей на миллион по объему) или мг/л. В случае водного потока в описанных здесь некоторых вариантах выполнения, растворенными твердыми веществами являются ионы, поэтому ОКРТВ является мерой минерализации водного потока.

В настоящем описании, "ионная сила" является мерой концентрации ионов в растворе.

Относительный показатель адсорбции натрия (SAR - от англ. sodium adsorption ratio) используется для оценки состояния флокуляции или дисперсии глин в пластовой породе. Обычно катионы натрия способствуют дисперсии частиц глины, в то время как катионы кальция и магния вызывают их флокуляцию. Относительный показатель адсорбции натрия (SAR - от англ. sodium adsorption ratio) вычисляется по следующей формуле:

$$SAR = [Na^+] / \{ \sqrt{0,5 * ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])} \},$$

где концентрация катионов натрия, кальция и магния в смешанной нагнетательной воде выражается в миллиэквивалентах на литр.

"Качество" потока характеризует полное содержание растворенных твердых веществ и/или концентрацию отдельных ионов и/или по типам отдельных ионов, или отношений по типам отдельных ионов, или отношений отдельных ионов в потоке.

"Охваченный поровый объем" - поровый объем слоя(ев) пластовой породы, "промываемый" закачанными жидкостями (слабоминерализованной нагнетаемой водой и любой водной вытесняющей жидкостью), между нагнетательной скважиной и эксплуатационной скважиной, усредненный по всем путям прохождения потока между нагнетательной скважиной и эксплуатационной скважиной. В том случае, когда с нагнетательной скважиной связаны две или более эксплуатационные скважины, термин "охваченный поровый объем" означает поровый объем слоя(ев) пластовой породы, охватываемый нагнетаемыми жидкостями, между нагнетательной скважиной и связанными с ней эксплуатационными скважинами.

"Пробка (оторочка)" - низкий поровый объем жидкости, закачанной в нефтеносный слой продуктивного пласта. Величины поровых объемов для пробок слабоминерализованной нагнетаемой воды основываются на охваченном поровом объеме слоя(ев) пластовой породы.

"Мелкие частицы" представляют мелкую фракцию (например, с размером, характеризующимся диаметром менее или равным примерно 4, 3, 2 или 1 мкм), получающуюся в результате разрушения породы в ходе повышенной нефтеотдачи (ПНО). Такие мелкие частицы включают, помимо прочего, мелкие частицы глины, кремнезема и других минералов.

Общие сведения

Как отмечалось выше, оборотной стороной закачивания воды с малой ионной силой в продуктивный горизонт (например, пласт песчаника) является то, что разбухание глин и миграция мелких частиц могут привести закупориванию пор и/или снижению проницаемости. Для промышленного применения нагнетания слабоминерализованной воды в полевых условиях должен соблюдаться баланс между использованием слабоминерализованной нагнетаемой воды с достаточно низкой минерализацией для до-

бычи дополнительной нефти, и достаточно высокой минерализацией для предотвращения снижения коллекторских свойств продуктивного пласта. Поскольку ухудшение коллекторских свойств пласта является важным с экономической точки зрения вопросом, работа обычно проходит с высокой минерализацией нагнетаемой воды, использование которой может обесценивать некоторые из возможных преимуществ повышенной нефтеотдачи. Поскольку в обратном осмосе (ОО) и нанофильтрации (НФ) обычно отсортировываются преимущественно двухвалентные катионы в сравнении с одновалентными катионами, а двухвалентные катионы способствуют подавлению образования мелких частиц и разбуханию глин, минерализацию смешанного ОО/НФ пермеата обычно увеличивают (например, путем увеличения объемного соотношения НФ-пермеата с ОО-пермеатом и/или добавления морской воды (МВ) или пластовой воды (ПВ) для получения смешанной слабоминерализованной воды с минерализацией достаточной для снижения возможности ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта. Однако, смешивание большого числа потоков (например, ОО-пермеата, НФ-пермеата, МВ и/или ПВ) может оказаться сложной операцией, требующей большого объема оборудования. Кроме того, концентрация многовалентных ионов в слабоминерализованной нагнетаемой воде ограничена относительно низкой концентрацией многовалентных ионов в МВ или ПВ, которая снижается еще сильнее в результате смешивания.

Настоящее раскрытие относится к упрощенной комплексной системе и способу вырабатывания смешанной слабоминерализованной воды для нагнетания в нефтеносный продуктивный пласт, обеспечивающему снижение риска ухудшения коллекторских свойств пласта. Раскрытая в настоящем описании слабоминерализованная нагнетаемая вода содержит химические вещества для ослабления разбухания глин/стабилизации мелких частиц (называемые в настоящем описании "добавкой для стабилизации мелких частиц") в комбинации с ОО-пермеатом (и, возможно, с НФ-пермеатом). Использование раскрытой здесь слабоминерализованной нагнетаемой воды в процессе заводнения слабоминерализованной водой может обеспечить существенное снижение минерализации нагнетаемой воды без потери проницаемости. Раскрытые здесь комплексная система и способ могут быть использованы для вырабатывания смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды изменяемого состава (например, с непрерывно или ступенчато снижающейся минерализацией) для закачивания в нагнетательную скважину в ходе ввода скважины в эксплуатацию и/или заданном рабочем режиме для основной фазы заводнения слабоминерализованной водой. Использование раскрытой здесь слабоминерализованной нагнетаемой воды может повысить нефтеотдачу из резервуара в сочетании со снижением риска ухудшения коллекторских свойств пласта, закисления резервуара и/или образования в нем отложений.

Раскрытые система и способ вырабатывания слабоминерализованной нагнетательной воды в соответствии с изобретением позволяют в промышленности получать слабоминерализованную воду упрощенным процессом, требующим меньше оборудования в комплексной системе нагнетания воды. Например, в соответствии с настоящим раскрытием, в некоторых вариантах осуществления для вырабатывания слабоминерализованной нагнетательной воды может не использоваться нанофильтрация (НФ). В некоторых вариантах осуществления, исключение НФ воды из составного потока, помимо расходов, оборудования и связанных с этим потоком усложнений, может снизить затраты, упростит производство слабоминерализованной нагнетательной воды, будет способствовать разворачиванию системы получения слабоминерализованной нагнетательной воды, упростит требования к качеству воды для первичного нагнетания при пуске скважины, и/или повысит общую эксплуатационную пригодность для нагнетания слабоминерализованной воды. В других вариантах осуществления используется НФ, например, с добавлением кальция.

В соответствии с настоящим раскрытием, оборудование для вырабатывания слабоминерализованной воды для нагнетания обеспечивает добавление химической стабилизирующей добавки (также называемая "добавкой для стабилизации мелких частиц") в пермеат из модуля обратного осмоса (ОО) с тем, чтобы вырабатываемая слабоминерализованная нагнетаемая вода имела низкую минерализацию (например, ниже, чем у обычной нагнетаемой воды для повышенной нефтеотдачи, имеющей минерализацию в интервале от примерно 500 или 1000 до 5000, 8000 или 10000 ppm). В некоторых вариантах осуществления, добавка для стабилизации мелких частиц может содержать соль двухвалентного катиона, например, кальция или магния и/или может включать калий, и может сдерживать потерю проницаемости при низких уровнях общей минерализации слабоминерализованной воды. В частности, в некоторых вариантах осуществления, как было показано выше, раскрытая здесь слабоминерализованная нагнетаемая вода имеет минерализацию, менее или равную примерно 300, 400 или 500 ppm, и может закачиваться непосредственно в нефтеносный пласт в ходе заводнения слабоминерализованной водой. В некоторых вариантах осуществления, как было показано выше, раскрытая система и способ предусматривают сокращение или, возможно, полное исключение использования узла нанофильтрации (НФ) и вырабатывания НФ подмешиваемого потока для смешивания с ОО-пермеатом, для формирования слабоминерализованной нагнетаемой воды, благодаря чему упрощается оборудование (например, оборудование обработки воды или деминерализации, и оборудование для нагнетания воды) и способ получения слабоминерализованной нагнетаемой воды. В некоторых вариантах осуществления, слабоминерализованной нагнетаемой водой, получаемой с использованием раскрытой системы и способа, является слабоминерализованная вода с высокой жесткостью (в частности, жесткостью, измеренной в миллиграммах эквивалента карбона-

та кальция). В некоторых вариантах осуществления, использование слабоминерализованной нагнетаемой воды в соответствии с настоящим раскрытием снижает вероятность потери проницаемости в ходе заводнения слабоминерализованной водой, без сокращения (а в некоторых случаях, даже с повышением) ПНО отдачи при заводнении слабоминерализованной водой.

В некоторых вариантах осуществления, комплексная система содержит установку деминерализации, включающую узел обратного осмоса (ОО) для вырабатывания подмешиваемого потока ОО-пермеата. Комплексная система также включает одну или более линий прохождения для подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, и смесительную систему, приспособленную для смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц, для получения составного потока слабоминерализованной воды. В некоторых вариантах осуществления, смесительная система вырабатывает составной поток слабоминерализованной воды, имеющий минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, или менее (например, минерализацию, которая может быть близка к минерализации пермеата мембраны обратного осмоса), и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4. Комплексная система также включает блок управления, выполненный с возможностью управления работой смесительной системы и нагнетательной системы для одной или более нагнетательных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта. Блок управления может быть выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количеств по меньшей мере одного из подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона. В некоторых вариантах осуществления, некоторые количества МВ или ПВ примешаны в поток слабоминерализованной нагнетаемой воды. В некоторых вариантах осуществления, заранее заданный рабочий диапазон включает минерализацию, меньшую или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm или менее, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4. Блок управления может быть выполнен с возможностью получения рабочего диапазона от источника, внешнего относительно блока управления. В некоторых вариантах осуществления, рабочий диапазон устанавливает верхний и нижний пределы для по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы, состоящей из: общего содержания растворенных твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по типам ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов. В некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере один параметр содержит молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам. Комплексная система может также содержать линию сброса ОО-пермеата, обводную линию для высокоминерализованной питательной воды для деминерализации (например, морской воды (МВ)), линию смешивания пластовой воды (ПВ) или их комбинацию, а блок управления может быть далее приспособлен для динамического регулирования количества ОО-пермеата, отводимого от смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, количества обводного потока высокоминерализованной воды, обходящего установку деминерализации по обводной линии и подающего высокоминерализованную питательную воду в смесительную систему, количества ПВ потока, подающего ПВ в смесительную систему по линии смешивания ПВ, или их комбинации, для вырабатывания составного потока слабоминерализованной воды. В некоторых вариантах осуществления, комплексная система может также включать промышленное оборудование для отделения текучих сред, добываемых из одной или более эксплуатационных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта, и для доставки потока пластовой воды (ПВ) в смесительную систему. В некоторых вариантах осуществления, (а) поток ОО-пермеата составляет примерно от 75, 80 или 85 до 99, 99,9, 99,99 или 99,995 объемных процентов (об.%) составного потока слабоминерализованной воды, а подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц может составлять примерно от 0,005, 0,008 или 0,01 до 15, 20 или 25 об.% составного потока слабоминерализованной воды. В некоторых вариантах осуществления, (б) подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц содержит хлорид кальция (CaCl_2), нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), хлорид калия (KCl), нитрат калия (KNO_3), хлорид аммония ($(\text{NH}_4)\text{Cl}$), хлорид магния (MgCl_2) или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления, комплексная система приспособлена к выполнению условий (а) и (б).

В некоторых вариантах осуществления, способ содержит вырабатывание подмешиваемого потока пермеата обратного осмоса (ОО) с использованием узла ОО установки деминерализации, подготовку подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, и смешивание подмешиваемого потока ОО-пермеата с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц в смесительной системе для получения составного потока слабоминерализованной воды. В некоторых вариантах осуществления, составной поток слабоминерализованной воды имеет минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, или менее (например, минерализацию, близкую к минерализации из мембраны ОО), и/или молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4. В некоторых вариантах осуществления, способ также включает динамическое изменение работы смесительной системой для регулирования количества

подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, или обоих потоков для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона. Заданный рабочий диапазон может включать минерализацию, меньшую или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm или менее, и/или молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4. В некоторых вариантах осуществления, составной поток слабоминерализованной воды имеет содержание двухвалентного катиона в интервале примерно от 0,01 до 20, примерно от 0,05 до 15, примерно от 0,01 до 10 миллиэквивалентов/литр (мэкв/л). В некоторых вариантах осуществления, смешивание также содержит смешивание морской воды (МВ), пластовой воды (ПВ) или обоих этих компонентов с подмешиваемым потоком ОО-пермеата и подмешиваемым потоком добавки стабилизации мелких частиц в смесительной системе для получения составного потока слабоминерализованной воды. Динамическое изменение работы смесительной системы может содержать регулирование по меньшей мере одного клапана в смесительной системе. По меньшей мере одним клапаном может быть клапан на линии подмешивания добавки стабилизации мелких частиц, подающей подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в смесительную систему, клапан на линии сброса ОО-пермеата, клапан на обводной линии сильноминерализованной воды, обходящей установку деминерализации и подающей морскую воду (МВ) в смесительную систему, клапан на линии подмешивания пластовой воды (ПВ), подающей ПВ в смесительную систему, или их комбинация.

В некоторых вариантах осуществления, комплексная система включает блок управления, несколько клапанов, управляемых блоком управления, несколько устройств мониторинга расхода и состава, позволяющих передавать измеренные данные расхода и состава, соответственно, в блок управления, узел обратного осмоса (ОО), позволяющий вырабатывать подмешиваемый поток ОО-пермеата, емкость для добавки для стабилизации мелких частиц, обеспечивающий получение подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, и смесительную систему, включающую линию, позволяющую смешивать подмешиваемый поток ОО-пермеата и подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в составной поток слабоминерализованной воды. Блок управления может быть выполнен с возможностью регулирования, при получении измеренных данных по расходу и составу, по меньшей мере одного из нескольких клапанов, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в заданном рабочем диапазоне. Составной поток слабоминерализованной воды может иметь минерализацию, меньшую или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm или менее, и/или молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4. В некоторых вариантах осуществления, данные расхода и состава относятся к составному потоку слабоминерализованной воды. Комплексная система может также включать нагнетательную систему, позволяющую подавать составной поток слабоминерализованной воды в продуктивный горизонт через нагнетательную скважину. В некоторых вариантах осуществления, в рабочем диапазоне определены верхний и нижний пределы для по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы, состоящей из: общего содержания растворенных твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по типам ионов; и отношений отдельных ионов. В некоторых вариантах осуществления, несколько клапанов включают клапан на линии сброса ОО-пермеата, а блок управления дополнительно выполнен с возможностью регулирования количества ОО-пермеата, отводимого от смесительной системы через клапан на линии сброса ОО-пермеата. Комплексная система может дополнительно включать обводную линию для морской воды (МВ), обходящую узел ОО и подводющую морскую воду к смесительной системе, линию подмешивания пластовой воды (ПВ), подводющую ПВ к смесительной системе, или обе эти линии.

Комплексная система и способ вырабатывания слабоминерализованной нагнетаемой воды

Далее приводится описание комплексной системы в соответствии с настоящим раскрытием со ссылкой на фиг. 1, где представлена блок-схема варианта осуществления комплексной системы I для вырабатывания смешанной нагнетаемой воды для использования в процессе заводнения слабоминерализованной водой, в соответствии с вариантом осуществления настоящего раскрытия. Комплексная система I может содержать узел 10 ОО, емкость 20 для концентрата, блок 30 управления и нагнетательную систему 40, содержащую по меньшей мере одну нагнетательную линию 11 и по меньшей мере один нагнетательный насос РЗ для закачивания слабоминерализованной нагнетаемой воды в нагнетательную скважину 21, пробуренную в нефтеносном слое 22 продуктивного пласта R.

В комплексной системе I на фиг. 1 показан продуктивный пласт R, имеющий нефтеносный слой 22, в который пробурена одна нагнетательная скважина 21. В вариантах применения, комплексная система может содержать по меньшей мере одну нагнетательную скважину 21 и по меньшей мере одну эксплуатационную скважину 24 (как это описано далее со ссылкой на вариант осуществления на фиг. 3). Продуктивный пласт R может, в некоторых вариантах осуществления, содержать продуктивный пласт песчаника и/или продуктивный пласт, сложенный карбонатными породами. Комплексная система I в варианте осуществления на фиг. 1 может содержать: установку деминерализации, состоящую из мембранного блока 1 для обработки питательной воды 2 (обычно морской воды (МВ)); емкость 20 для концентрата

для стабилизации мелких частиц и насос Р2 для подачи подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (например, концентрированной) в линию 8 подмешивания добавки стабилизации мелких частиц; смесительную систему, содержащую различные линии прохождения для формирования составного потока слабоминерализованной воды, как это описано в настоящем раскрытии; и блок 30 управления для управления работой установки деминерализации и для управления подмешиванием потока слабоминерализованной нагнетаемой воды в смесительной системе. Комплексная система I также содержит нагнетательную систему 40, содержащую один или более нагнетательных насосов Р3 и нагнетательные линии 11 для нагнетательной скважины 21. Как показано далее со ссылкой на вариант осуществления на фиг. 3, комплексная система в соответствии с настоящим раскрытием может дополнительно содержать промышленное оборудование 50, имеющее жидкостную связь с выкидной линией 28 эксплуатационной скважины 24. Промышленное оборудование 50 также может содержать линию 27 прохождения ПВ, которая может иметь жидкостную связь со смесительной системой.

Мембранный блок 1 может содержать нагнетательный насос Р1, узел 10 ОО, который может быть одноступенчатым или многоступенчатым узлом. Питательной водой для деминерализации в линии 2 питательной воды, подаваемой через нагнетательный насос Р1 и питательную линию 3 обратного осмоса в узел 10 ОО, может быть сильноминерализованная питательная вода. В некоторых вариантах осуществления, питательная вода для деминерализации в линии 2 питательной воды содержит морскую воду (МВ), воду эстуария, воду водоносного горизонта или их комбинацию. Узел 10 ОО вырабатывает ОО-пермеат, отводимый по линии 5 ОО-пермеата, и ОО-концентрат (также называемый ОО-"ретентатом"), отводимый по линии 4 ОО-концентрата. В некоторых вариантах осуществления, ОО-концентрат от первой ступени обратного осмоса может использоваться для формирования питательного потока для второй ступени ОО.

Узел 10 ОО содержит несколько модулей ОО. Обычно количество модулей в узле ОО выбирается, исходя из требуемой производительности ОО-пермеата для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды в ходе основной фазы заводнения слабоминерализованной водой.

Как показано на фиг. 2, представляющей блок-схему варианта осуществления комплексной системы II для выработки смешанной нагнетаемой воды для использования в качестве нагнетаемой воды в ходе заводнения слабоминерализованной водой, установка деминерализации может также включать обводную линию 3В сильноминерализованной питательной воды для питательной воды 2 с тем, чтобы первая часть питательной воды в линии 2 питательной воды вводилась в узел 10 ОО по питательной линии 3А ОО, а вторая часть питательной воды в линии 2 питательной воды обходила узел 10 ОО по обводной линии 3В сильноминерализованной питательной воды. В таких вариантах осуществления, смешанная слабоминерализованная нагнетаемая вода может также содержать сильноминерализованную питательную воду (например, МВ) вдобавок к ОО-пермеату и добавке для стабилизации мелких частиц. Обводная линия системы деминерализации сильноминерализованной питательной воды также может быть для краткости названа "обводной линией МВ". Сильноминерализованная питательная вода системы деминерализации может, однако, содержать любую подходящую сильноминерализованную питательную воду, включая, среди прочего, морскую воду (МВ), воду эстуария, воду водоносных горизонтов или их комбинацию.

Как показано на фиг. 3, представляющей блок-схему комплексной системы III для выработки смешанной нагнетаемой воды для использования в качестве нагнетаемой в ходе заводнения слабоминерализованной водой, текущие среды, добываемые из эксплуатационной скважины 24, передаются в промышленное оборудование 50 по выкидной линии 28. Добываемые текущие среды разделяются в промышленном оборудовании 50 на нефтяной поток 51, газовый поток 52 и поток пластовой воды (ПВ). В некоторых вариантах осуществления, вся ПВ или ее часть протекает в виде подмешиваемого потока ПВ через линию 27 подмешивания ПВ в смесительную систему, где она объединяется с потоком ОО-пермеата и подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц (и, опционально, сильноминерализованной обводной водой и дополнительной добавкой(ами)), протекающим по линии 9, для формирования составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. В таких вариантах осуществления, смешанная слабоминерализованная нагнетаемая вода может также содержать ПВ вдобавок к ОО-пермеату и добавке для стабилизации мелких частиц. Несмотря на то, что как обводной поток МВ, так и подмешиваемый поток ПВ показаны в варианте осуществления на фиг. 3, в некоторых вариантах осуществления подмешивание ПВ используется без обводной сильноминерализованной воды, и в этом случае обводная линия 3В, датчик S5 концентрации ионов, клапан V3 и датчик Q7 расхода (и соответствующая связь с блоком 30 управления) могут отсутствовать.

Смешанная слабоминерализованная нагнетаемая вода в соответствии с настоящим раскрытием, таким образом, содержит ОО-пермеат и добавку для стабилизации мелких частиц, и может, опционально, также содержать сильноминерализованную обводную воду, ПВ, другую добавку (и/или их комбинацию). В некоторых вариантах осуществления, поток ОО-пермеата (или составной поток ОО/НФ-пермеата) составляет примерно от 80 до 99,995, примерно от 90 до 99,995, примерно от 97,25 до 99,995 объемных процентов (об.%) составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, а подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц составляет примерно от 0,005 до 20, примерно от 0,005 до 10,

примерно от 0,01 до 0,05 или примерно от 0,005 до 2,75 об.% составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. В некоторых вариантах осуществления, подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц может составлять до по меньшей мере 0,005, 0,008, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04 или 0,05 об.% смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, и это количество может зависеть от растворимости конкретной добавки для стабилизации мелких частиц. Как описано в настоящем раскрытии, подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц может включать добавку для стабилизации мелких частиц в количестве, достаточном для выполнения требований по минерализации, концентрации солей, концентрации двухвалентных катионов, отношению двухвалентных катионов к одновалентным, и/или общей концентрации растворенных твердых веществ, необходимых в конечном составном потоке слабоминерализованной воды.

Комплексные системы I/II/III могут содержать клапаны V1-V5 и различные линии прохождения (трубопроводы), позволяющие создать пути прохождения потоков, описанные ниже. Клапанами V1-V5 могут быть дроссельные клапаны, и степень открытия дроссельных клапанов может быть установлена блоком 30 управления (например, полностью открытое положение, полностью закрытое положение или разные промежуточные положения). Соответственно, блок 30 управления может управлять потоками и давлениями в мембранном блоке, регулируя нагнетательный насос P1, клапаны V1-V5 или любую их комбинацию (для ясности представления, электрические соединения между блоком 30 управления, нагнетательным насосом P1 и клапанами V1-V5 на фиг. 1-3 не показаны; в некоторых вариантах осуществления, связи между блоком 30 управления и нагнетательным насосом P1 и клапанами V1-V5 могут включать беспроводную связь, например, Wi-Fi или Bluetooth, проводную связь, связь пневматическими сигналами или др.).

Для определения расходов в различных линиях прохождения комплексной системы используются датчики Q1-Q9 расхода. Данные расхода могут быть направлены от датчиков Q1-Q9 расхода в блок 30 управления по линиям передачи сигнала (изображены пунктиром на фиг. 1-3), например, линиям передачи электрических сигналов, линиям беспроводной связи (например, связи с использованием Wi-Fi или Bluetooth) и др.

Также могут использоваться один или более датчики состава, например, датчики концентрации ионов (например, датчики S1-S7), для определения общей концентрации растворенных ионов (ОКРТВ) и/или концентрации и/или молярного отношения отдельных ионов или отношений по типам отдельных ионов (например, многовалентных катионов или двухвалентных катионов или молярного отношения двухвалентных катионов к одновалентным катионам) в текучих средах в разных линиях прохождения. Данные концентрации ионов также могут быть направлены от датчиков S1-S7 концентрации ионов в блок 30 управления по линиям передачи сигналов (например, пунктирными линиями на фиг. 1-3). В некоторых вариантах осуществления, один или более датчиков S1-S7 могут измерять концентрации отдельных ионов, например, одного или более двухвалентных катионов, включая кальций (Ca), магний (Mg), стронций (Sr), барий (Ba) (два последних, при их наличии, с малым уровнем) или их комбинацию, концентрации одновалентных катионов, включая натрий (Na), калий (K), другие щелочные металлы, аммиак (NH₄) (два последних, при их наличии, с малым уровнем), общую концентрацию ионов и/или их комбинацию, на основании которых блок 30 управления может вычислить молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам в виде отношения суммы концентраций двухвалентных катионов к сумме концентраций одновалентных катионов.

В блок-схеме системы, представленной на фиг. 1, нагнетательный насос P1 нагнетает питательную воду 2 в узел 10 ОО по линии 3 ОО питательной воды. В узле 10 ОО питательная вода разделяется на ОО-пермеат (протекающий по питательной линии 5 ОО-пермеата в смесительную систему) и ОО-концентрат (протекающий по линии 4 ОО-концентрата и через клапан V1). Давление питательной воды на узлы ОО можно регулировать (например, используя вспомогательный насос для ОО питательной воды) для согласования рабочих давлений модулей ОО узла 10 ОО. В частном случае, как показано на фиг. 2 для варианта осуществления, нагнетательный насос P1 нагнетает часть питательной воды (например MB) через обводную линию 3В сильноминерализованной воды в смесительную систему, и поток ОО-пермеата в линии 5 объединяется с ней для формирования в линии 7 смеси ОО-пермеата/сильноминерализованной питательной воды. В некоторых вариантах осуществления, клапан V1 по меньшей мере частично открыт для стравливания ОО-концентрата из смесительной системы по линии 4 ОО-концентрата. Датчик S1 концентрации ионов может быть использован для измерения данных, относящихся к линии 4 ОО-концентрата, а датчик Q1 расхода на линии 4 ОО-концентрата может использоваться для определения расхода в линии 4 ОО-концентрата. Опционально, датчик Q1 расхода в линии 4 ОО-концентрата может быть исключен. Опционально, может быть исключен датчик S1 на линии 4 ОО-концентрата. Обычно, стравливаемый поток ОО-концентрата отводится в акваторию (например, море) по линии 4 ОО-концентрата.

Для получения данных концентрации ионов ОО-пермеата в линии 5 ОО-пермеата может использоваться датчик S2 ионов. В некоторых вариантах осуществления, данные датчика S2, отдельно или в комбинации с другими данными датчиков, может использоваться для определения молярного отношения двухвалентных катионов к одновалентным катионам в ОО-пермеате в линии 5 ОО-пермеата. Расход ОО-

пермеата в линии 5 ОО-пермеата может быть определен датчиком Q3 расхода, и расход ОО-пермеата может быть быстро изменен регулировкой клапана V2 сброса ОО-пермеата, управляющего расходом ОО-пермеата, сбрасываемого по линии 6 сброса ОО-пермеата, для достижения требуемого расхода в линии 7 ОО-пермеата. На линии 6 сброса ОО-пермеата может быть установлен датчик Q2 расхода для измерения расхода в линии.

Подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц может быть смешан с потоком ОО-пермеата в линии 7 ОО-пермеата. Добавка для стабилизации мелких частиц может быть смешана с ОО-пермеатом добавлением в виде концентрированного раствора (например, "концентрата"), или в виде дозированного порошка. В некоторых вариантах осуществления, концентрат добавки для стабилизации мелких частиц имеет концентрацию, превышающую или равную примерно 20 весовых процентов (мас.%), 35 мас.% или 50 мас.%. В некоторых вариантах осуществления, подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц содержит водный раствор $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ и/или CaCl_2 в концентрации по меньшей мере 20 мас.%, 30 мас.%, 40 мас.%, 45 мас.% или 50 мас.%. Емкость 20 для концентрата может быть использована для хранения добавки для стабилизации мелких частиц, и добавка для стабилизации мелких частиц может нагнетаться посредством насоса P2 для добавки для стабилизации мелких частиц с требуемым расходом в линию 7 ОО-пермеата. Для измерения расхода добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц может быть использован датчик Q4 расхода. Для получения данных концентрации ионов в подмешиваемом потоке добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц может быть использован датчик S3 ионов. В некоторых вариантах осуществления, датчик S3 ионов может быть использован для определения молярного отношения двухвалентных катионов к одновалентным катионам в подмешиваемом потоке добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 добавки для стабилизации мелких частиц. Датчик S3 на питательной линии 8 концентрата добавки для стабилизации мелких частиц может быть исключен, если концентрация добавки в емкости с концентратом была предварительно измерена и остается постоянной с течением времени (в этом случае, измеренная концентрация добавки для стабилизации мелких частиц в концентрате может быть введена в блок 30 управления). Также представляется, что могут быть исключены датчики S2 и S5 на линии 5 ОО-пермеата и на опциональной обводной линии 3В сильноминерализованной воды, соответственно, когда прогнозируется, что состав ОО-пермеата и сильноминерализованной питательной воды для деминерализации останется в основном постоянным во времени.

В некоторых вариантах осуществления, добавкой для стабилизации мелких частиц может быть неорганическая соль, например, соль двухвалентного катиона, или калия или соль аммиака. В некоторых вариантах осуществления, солью двухвалентного катиона может быть соль кальция или магния, например, хлорид кальция, бромид кальция, нитрат кальция, хлорид магния, бромид магния или нитрат магния. В некоторых вариантах осуществления, солью двухвалентного катиона является хлорид кальция или нитрат кальция. В некоторых вариантах осуществления, соль калия выбирается из хлорида калия, бромида калия и нитрата калия. Преимуществом нитрата калия и нитрата калия также может быть возможность подавления закисления, поскольку анион нитрата может способствовать размножению нитратовосстанавливающих бактерий, которые могут вытеснить сульфатовосстанавливающие бактерии (СВБ), конкурируя с ними за питательную среду и усваиваемый органический углерод. В некоторых вариантах осуществления, добавка для стабилизации мелких частиц содержит хлорид кальция (CaCl_2), нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), хлорид калия (KCl), нитрат калия (KNO_3), хлорид аммония ($(\text{NH}_4)\text{Cl}$), хлорид магния (MgCl_2) или их комбинацию. В некоторых вариантах осуществления, добавка для стабилизации мелких частиц содержит одну или более солей двухвалентного катиона, например, кальция или магния. В некоторых вариантах осуществления, добавка для стабилизации мелких частиц содержит любую соль кальция с некоординирующимся анионом. Добавкой для стабилизации мелких частиц, используемой в качестве основного компонента смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в соответствии с настоящим раскрытием может быть добавка(и) для стабилизации глин. Поскольку при обратном осмосе (и нанофильтрации) существует тенденция преимущественного отсеивания двухвалентных катионов по сравнению с одновалентными катионами, в системе и способе в соответствии с настоящим раскрытием обеспечивается выборочное добавление двухвалентных катионов обратно в слабоминерализованную нагнетаемую воду посредством смешивания с добавкой для стабилизации мелких частиц, как это было описано. Выборочное добавление двухвалентных ионов обеспечивает получение более высокого отношения двухвалентных ионов к одновалентным ионам, чем это может быть получено только использованием ОО (и/или НФ) с сильноминерализованной питательной водой для деминерализации.

В некоторых вариантах осуществления, слабоминерализованная нагнетаемая вода содержит дополнительные добавки, например, помимо прочего, добавку для стабилизации глин. В таких вариантах осуществления, может быть использована другая дополнительная емкость (например, емкость 20 для концентрата) для введения этой дополнительной добавки(ок) в смешанную слабоминерализованную нагнетаемую воду. В качестве альтернативы или дополнительно, с добавкой для стабилизации мелких частиц в емкости 20 для добавки для стабилизации мелких частиц может быть объединена другая добавка(и). Такие дополнительные добавки известны специалистам в данной области и подробно описываются

не будут.

На линии 9 может быть расположен датчик S4 концентрации ионов, используемый для получения данных концентрации ионов в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде в этой линии. В некоторых вариантах осуществления, датчик S4 ионов, один или в комбинации с данными другого датчика, может использоваться для определения молярного отношения двухвалентных катионов к одновалентным катионам в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде (например, комплекс ОО-пермеата/добавки для стабилизации мелких частиц и опциональной МВ и/или ПВ) в линии 9. В линии 9 может быть установлен датчик Q5 и/или Q6 для получения данных расхода для смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в этой линии.

Как изображено на схеме варианта осуществления на фиг. 2 и отмечено выше, может использоваться обводная линия 3В для введения в смесительную систему сильноминерализованной питательной воды для минерализации, при этом слабоминерализованная нагнетательная вода может также содержать обводную питательную воду (например, морскую воду). В таких вариантах осуществления, может быть использован датчик S5 концентрации ионов для получения данных концентрации ионов сильноминерализованного обводного потока в обводной линии 3В сильноминерализованной воды. На обводной линии 3В сильноминерализованной воды может быть расположен датчик Q7 расхода, используемый для получения данных расхода в обводном потоке сильноминерализованной питательной воды в этой линии. Для регулирования расхода обводного сильноминерализованного потока в обводной линии 3В сильноминерализованной воды может быть использован байпасный клапан V3.

Как показано на схеме варианта осуществления на фиг. 3 и отмечалось выше, добываемые из эксплуатационной скважины 24 текучие среды передаются в промышленное оборудование 50 по выкидной линии 28. Добытые текучие среды разделяются в промышленном оборудовании 50 на нефтяной поток 51, газовый поток 52 и поток пластовой воды (ПВ). В некоторых вариантах осуществления, вся ПВ или ее часть протекает в виде подмешиваемого потока ПВ через линию 27 подмешивания ПВ в смесительную систему, где она вводится в объединенный подмешиваемый поток ОО-пермеата/добавки для стабилизации мелких частиц (и, опционально, обводной воды и дополнительной добавки(ок), протекающий по линии 9, для формирования составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. В таких вариантах осуществления, для получения данных концентрации ионов в ПВ на линиях 27 подмешивания ПВ может быть использован датчик S6 концентрации ионов, и/или для получения данных концентрации ионов в слабоминерализованной нагнетаемой воде после введения подмешиваемого потока ПВ может быть использован датчик S7 концентрации ионов. Для измерения расхода ПВ в линии 27 подмешивания ПВ может быть использован датчик Q8 расхода. Для измерения расхода слабоминерализованной нагнетаемой воды после введения подмешиваемого потока ПВ может быть использован датчик Q9 расхода. Для регулирования расхода ПВ в линии 27 подмешивания ПВ может быть использован клапан V5 ПВ. В таких вариантах осуществления, слабоминерализованная нагнетаемая вода в линии 9 может также содержать пластовую воду, вводимую по линии 27 подмешивания ПВ.

Предусмотрено, что подмешиваемые потоки ОО-пермеата, опциональной ПВ, опциональной МВ и опциональной дополнительной добавки для стабилизации мелких частиц (например, концентрата для стабилизации глин) могут быть использованы в любой комбинации, в том числе и в одной точке слияния. Составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды может быть закачан в нагнетательную скважину 21 посредством одного или более нагнетательных насосов P3 и нагнетательных линий 11 нагнетательной системы 40.

Комплексная система в соответствии с настоящим раскрытием может быть расположена на основании или на платформе плавучего нефтеналивного хранилища (ПНХ) и может быть использована для нагнетания составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды в по меньшей мере один нефтеносный слой шельфового продуктивного пласта. В альтернативном варианте, установка деминерализации комплексной системы в соответствии с настоящим раскрытием может быть расположена на берегу и поток ОО-пермеата может подаваться в смесительную систему, расположенную на основании или ПНХ, для смешивания с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц.

Блок 30 управления комплексной системы может включать ЦП (центральный процессор), ОЗУ (оперативное запоминающее устройство), ПЗУ (постоянное запоминающее устройство), дисковод для жестких дисков, интерфейсы, исполняемый компьютером код (например, программное обеспечение и/или встроенное программное обеспечение) и т.п.

Граничные значения для состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, закачиваемого через нагнетательную линию 11 в главной фазе заводнения слабоминерализованной водой, могут быть введены в блок 30 управления комплексной системы I/II/III. Эти граничные значения определяют рабочий диапазон состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. Рабочий диапазон может быть определен граничными значениями (верхним и нижним пределами) для одного или более ОСРТВ (минерализации), ионной силы, концентраций отдельных ионов (например, анионов сульфатов, анионов нитратов, катионов кальция, катионов магния или катионов калия), концентраций отдельных ионов по типам ионов (например, одновалентных катионов, одновалентных анионов, многовалентных анионов, многовалентных катионов, или двухвалентных катионов), отношений отдельных

ионов по типам ионов (например, отношения двухвалентных катионов к одновалентным катионам), или отношений отдельных ионов (например, относительного показателя адсорбции натрия).

В некоторых вариантах осуществления, смешанная слабоминерализованная нагнетаемая вода соответствует рабочему диапазону, характеризуемому минерализацией, менее или равной 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm или менее, и/или минерализацией в диапазоне примерно от 150 до 5000 ppm, примерно от 150 до 1000 ppm или примерно от 150 до 500 ppm. В некоторых вариантах осуществления, смешанная слабоминерализованная нагнетаемая вода соответствует рабочему диапазону, характеризуемому молярным отношением двухвалентных катионов к одновалентным катионам в диапазоне примерно от 0,1 до 0,4, примерно от 0,1 до 0,3, примерно от 0,2 до 0,2; и/или превышающим или равным примерно 0,1, 0,2, 0,3 или 0,4.

Относительный показатель адсорбции натрия (SAR) может быть использован для оценки состояния флокуляции или дисперсии глин в породе продуктивного пласта. Обычно, катионы натрия облегчают дисперсию частиц глины, в то время как кальций и магний способствуют их флокуляции. Вычисление относительного показателя адсорбции натрия (SAR) выполняется по формуле:

$$SAR = [Na^+] / \{ \sqrt{0,5 * ([Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])} \},$$

где концентрация катионов натрия, кальция и магния в смешанной нагнетательной воде выражается в миллиэквивалентах на литр. В некоторых вариантах осуществления, слабоминерализованная нагнетаемая вода имеет SAR, менее или равный примерно 5, 4, 3, 2 или 1,5, превышающий или равный примерно 0,1, 0,2 или 0,3, и/или в интервале примерно от 0,2 до 5, примерно от 0,2 до 4, примерно от 0,2 до 3, примерно от 0,2 до 2.

Составами в пределах рабочего диапазона являются составы, согласно прогнозу, обеспечивающие повышенную нефтеотдачу (ПНО) продуктивного пласта с одновременным исключением или минимизацией риска ухудшения коллекторских свойств пласта. В случаях, когда существует риск закисления или образования отложений в продуктивном пласте, составы выбираются в пределах рабочего диапазона из тех, что согласно прогнозу, снижают риск закисления и подавляют образование отложений. Специалист в данной области понимает, что не все продуктивные пласты подвержены риску закисления или образования отложений. При этом закисление может происходить, когда продуктивный пласт заселен сульфатовосстанавливающими бактериями (СВБ), получающими энергию окислением органических соединений с восстановлением сульфата до сульфида водорода. Отложение солей может возникать, когда реликтовая вода, имеющая высокое содержание катионов-прекурсоров осаждения, например, катионов бария и стронция, смешивается с нагнетаемой водой, содержащей относительно большие количества анионов сульфата, что приводит к осаждению нерастворимых солей серной кислоты (минеральные осадки). В некоторых вариантах осуществления, использование добавки для стабилизации мелких частиц, содержащей, состоящей из, или преимущественно состоящей из нитрата кальция, при приготовлении слабоминерализованной нагнетаемой воды в соответствии с настоящим раскрытием, может обеспечить подавление закисления.

В блок 30 управления могут быть введены различные граничные значения для каждого параметра, определяющие разные рабочие диапазоны для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, где разные рабочие диапазоны обеспечивают компромисс разных уровней повышенной нефтеотдачи (ПНО) с разными уровнями ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта, закисления пласта или образования отложений.

Для поддержания состава смешанной слабоминерализованной воды в пределах заранее установленного или заданного рабочего диапазона для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды для главной фазы заводнения слабоминерализованной водой, количество потока ОО-пермеата и/или подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц может регулироваться в реальном времени в ответ на изменения (увеличения или уменьшения) в составе (увеличения или уменьшения) в общем содержании растворенных твердых веществ, концентрации одного или более отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по одному или более типам ионов, отношения отдельных ионов или отношения отдельных ионов по типам ионов) ОО-пермеата, опциональной сильноминерализованной обводной воды, опциональной подмешиваемой ПВ воды и/или смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды.

В некоторых вариантах осуществления, в смесительной системе комплексной системы в соответствии с настоящим раскрытием, количество ОО-пермеата, имеющегося для смешивания с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц (и/или опциональным обводным потоком МВ и/или опциональным подмешиваемым ПВ потоком) для формирования составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, может быть быстро отрегулировано (в реальном времени) отведением изменяющихся количеств потока ОО-пермеата от смесительной системы, например, в акваторию (океан), через "линию сброса" 4, оснащенную "разгрузочным клапаном" V1. В некоторых вариантах осуществления, разгрузочным клапаном V1 является регулируемый клапан (например, дроссельный клапан), который может быть установлен в разные положения (между полностью закрытым и полностью открытым положениями) для регулирования количества ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы.

Если отведение излишка ОО-пермеата продолжается длительное время, например, часы или дни, блок 30 управления может произвести изменения в установке 1 деминерализации выведением из эксплуатации одного или более модулей ОО из узла 10 ОО, снизив производительность приготовления ОО-пермеата. Если отведение излишка ОО-пермеата происходит неделями или месяцами, то, опционально, элементы ОО одного или более модулей ОО могут быть отключены.

Известно, что двухвалентные катионы могут способствовать стабилизации глин. В частности, установка деминерализации в соответствии с настоящим раскрытием может включать обводную линию 3В для сильноминерализованной воды, используемой в качестве питательной для узлов 10 ОО установки, поскольку эта сильноминерализованная вода (например, морская вода (МВ)) обычно имеет высокое содержание двухвалентных катионов. Как было показано выше, эта обводная линия 3В может быть использована для отклонения подмешиваемого потока сильноминерализованной воды (например, МВ подмешиваемого потока) в смесительную систему. Соответственно, смесительная система опционально имеет обводную линию для сильноминерализованной питательной воды. Обводная линия 3В для сильноминерализованной питательной воды может быть оснащена регулируемым клапаном (например, дроссельным клапаном) V3, который может быть установлен в разные положения между полностью закрытым и полностью открытым положением, что позволит обеспечивать подачу изменяемых количеств сильноминерализованной воды (например, МВ) для смешивания с потоком ОО-пермеата в линии 5 ОО-пермеата и подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц, для формирования смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды. При желании, однако, любой избыток сильноминерализованной воды также может быть отведен из смесительной системы в океан через линию сброса сильноминерализованной воды, оснащенную регулируемым клапаном (например, дроссельным клапаном). Использование регулируемого клапана V3 на опциональной обводной линии 3В морской воды (или на линии сброса МВ, оборудованной регулируемым клапаном) также обеспечивает быстрые регулировки (в реальном времени) состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды.

Блок 30 управления может, таким образом, изменять количество любой сильноминерализованной воды (например, МВ), включенной в составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды, в ответ на изменения в количестве или качестве подмешиваемого потока ОО-пермеата, опционального обводного потока МВ, опционального подмешиваемого потока ПВ, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц или составного потока слабоминерализованной воды для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в заданном (заранее выбранном) рабочем диапазоне. Для специалиста должно быть понятно, что МВ имеет высокое содержание анионов сульфатов. Соответственно, при смешивании потока ОО-пермеата в линии 5 ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц с МВ, может обеспечиваться управление любым риском закисления или отложений в продуктивном пласте R.

Риском закисления или риском возникновения отложений для продуктивного пласта R можно управлять введением в блок 30 управления верхнего предела (граничного значения) для концентрации сульфата в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде и использованием датчиков ионов, выполняющих измерения сульфатов в различных подмешиваемых потоках. Таким верхним пределом для концентрации сульфатов в слабоминерализованной нагнетаемой воде может быть, например, 100 мг/л, 50 мг/л или 40 мг/л.

Смесительная система комплексной системы (например, комплексной системы I/II/III), в соответствии с настоящим раскрытием, может включать по меньшей мере одну емкость (например, для хранения концентрата, представляющего водный раствор или эмульсию добавки для стабилизации мелких частиц) и по меньшей мере одну питательную линию 8 для подачи концентрата. Питательная линия 8 концентрата может быть оснащена регулируемым клапаном V4 (например, дроссельным клапаном), который может быть установлен в разные положения между полностью закрытым и полностью открытым положением, что обеспечивает подачу изменяемого количества концентрата для смешивания с ОО-пермеатом (и, опционально, с МВ обводным потоком и/или ПВ подмешиваемым потоком в обводной линии 3В и подмешиваемой линии 27 ПВ, соответственно), для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона. В качестве альтернативы или дополнительно, емкость 20 для концентрата может быть оборудована дозирующим насосом P2, обеспечивающим точную подачу необходимых количеств концентрата для смешивания, и измерителем Q4 расхода, который может быть использован для регулирования расхода концентрата. Блок 30 управления может, таким образом, осуществлять мониторинг расхода потока концентрата в питательной линии 8 концентрата в реальном времени и может осуществлять быстрые регулировки расхода концентрата, используя регулируемый клапан, меняя, тем самым, концентрацию добавки для стабилизации мелких частиц в составном потоке нагнетаемой воды. Соответственно, блок управления также может изменять управление смесительной системой в ответ на изменения в количестве или качестве подмешиваемого потока ОО-пермеата (и/или опционального обводного потока МВ и опционального подмешиваемого потока ПВ), и/или составного потока слабоминерализованной воды для регулирования количества добавки для стабилизации мелких

частиц в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды, тем самым поддерживая состав в пределах рабочего диапазона.

Использование смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, содержащей или преимущественно содержащей, в основном состоящей из, или состоящей из ОО-пермеата и добавки для стабилизации мелких частиц, как это было показано выше, причем количество подмешанного ОО-пермеата может быть быстро изменено, в вариантах осуществления, посредством линии 6 сброса ОО-пермеата и связанным с ней клапаном V2 сброса ОО-пермеата, и количество подмешанной добавки для стабилизации мелких частиц может быть быстро изменено посредством регулируемого клапана V4 (например, дроссельного клапана) и/или дозирующего насоса P2 на питательной линии 8 концентрата добавки для стабилизации мелких частиц, подающего концентрат добавки для стабилизации мелких частиц из емкости 20 для концентрата, может, в некоторых вариантах осуществления, обеспечить быструю регулировку состава полученной в результате смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, что необходимо при заводнении слабоминерализованной водой.

Как отмечалось выше, смесительная система комплексной системы, в соответствии с настоящим раскрытием, может также содержать дополнительную емкость, как описано выше, для введения других компонентов (например, одной или более добавок для стабилизации глины) или, в альтернативном варианте, такие другие добавки могут быть введены через емкость 20 для концентрата, приспособленную для введения добавки для стабилизации мелких частиц. В таких вариантах осуществления, рабочий диапазон может быть дополнительно определен граничными значениями для дополнительных компонентов (например, опциональной дополнительной добавки(ок) для стабилизации глин).

Блок управления может автоматически регулировать работу смесительной системы и, тем самым, количества потока ОО-пермеата в линии 5 ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц (и любого опционального подмешиваемого потока сильноминерализованной воды, например, обводного потока МВ в обводной линии 3В сильноминерализованной воды, подмешиваемого потока ПВ в линии 27 подмешивания ПВ, и/или любого потока опциональной дополнительной добавки), включенного в составной потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, в ответ на изменения количества и/или качества ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации и мелких частиц (и, опционально, обводного потока МВ, подмешиваемого потока ПВ и/или любых других потоков добавок), и/или составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды так, чтобы сохранить состав нагнетаемой воды в пределах введенных граничных значений, определяющих рабочий диапазон смешанной слабоминерализованной воды. Таким образом, может осуществляться мониторинг в реальном времени расхода и состава потока ОО-пермеата. Аналогично, может осуществляться мониторинг в реальном времени расхода и состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды для определения эффективности изменений, внесенных блоком управления в работу смесительной системы для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона. При недостаточной эффективности, блок 30 управления может сделать дальнейшие изменения в работе смесительной системы. Соответственно, в некоторых вариантах осуществления блок 30 управления имеет контур обратной связи для управления смешиванием составного потока слабоминерализованной воды.

В некоторых вариантах осуществления, управление в реальном времени количеством ОО-пермеата, имеющегося для смешивания, посредством изменения количества ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию 6 сброса ОО-пермеата, например, в акваторию (например, в океан), обеспечивает грубое управление ОСРТВ и/или концентрациями одного или более отдельных ионов в пределах рабочего диапазона для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, которое быстро реагирует на изменения в количестве или качестве смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды. При этом может обеспечиваться более быстрая реакция, чем в случае, когда пытаются изменить расходы питательной воды в узлы 10 ОО установки деминерализации (из-за мертвых объемов в питательных линиях, проходящих от узлов 10 ОО в точку(и) слияния для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды).

Кроме того, если в качестве подмешиваемого потока имеется сильноминерализованная вода (например, МВ в обводной линии 3В) или ПВ, для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в заданном рабочем диапазоне может быть использовано управление степенью открытия регулируемого (изменяемого) клапана V3 (например, дроссельного клапана) на обводной линии 3В сильноминерализованной воды или линии 27 подмешивания ПВ.

Таким образом, можно видеть, что блок 30 управления может менять работу смесительной системы в реальном времени путем регулирования одного или более из параметров: степени открытия клапана V2 на линии 6 сброса ОО-пермеата, степени открытия клапана на линии 8 добавки для стабилизации мелких частиц, степени открытия клапана V3 на опциональной обводной линии 3В сильноминерализованной воды или степени открытия клапана V5 на опциональной линии 27 подмешивания ПВ.

Как отмечалось выше, в комплексную систему в соответствии с настоящим раскрытием, в частности, в смесительную систему, могут быть включены различные датчики. Эти датчики могут быть использованы для определения ОСРТВ и/или ионного состава составного потока слабоминерализованной на-

гнетаемой воды. Например, ОСРТВ составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды может быть определено по его проводимости, в то время как концентрации отдельных ионов или отдельных ионов по типам ионов могут быть определены с использованием стеклянных датчиков с мембранами, проницаемыми для конкретных отдельных ионов или конкретных ионов по типам отдельных ионов. Такие датчики могут находиться на линиях 5 ОО-пермеата, линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц, опциональной обводной линии 3В сильноминерализованной воды, и/или опциональной линии 27 подмешивания ПВ, для получения данных, относящихся к ОСРТВ и ионному составу потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для мелких частиц, опционального обводного потока сильноминерализованной воды и/или подмешиваемого потока ПВ, соответственно. В некоторых вариантах осуществления, датчики используются для определения отношения двухвалентных катионов к одновалентным катионам. Как отмечалось выше, для определения расходов различных подмешиваемых потоков (потока ОО-пермеата в линии 5 подмешивания ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в линии 8 подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц, опционального потока сильноминерализованной питательной воды в обводной линии 3В, опционального подмешиваемого потока ПВ в линии 27 подмешивания ПВ, и/или любых опциональных потоков дополнительных добавок) и/или для определения расхода ОО-пермеата в опциональной линии 6 сброса ОО-пермеата могут быть также использованы датчики расхода.

Соответственно, смесительная система может иметь:

(а) Датчики концентрации (например, датчики концентрации ионов) для измерения минерализации или общей концентрации растворенных твердых веществ (С_t), концентраций отдельных ионов (С_i) или отдельных ионов по типам ионов, или отношений ионов (например, молярного отношения двухвалентных ионов к одновалентным ионам) в одном или более из: ОО-пермеате, подмешиваемом потоке добавки для стабилизации мелких частиц, опциональном обводном потоке сильноминерализованной воды (например, МВ), опциональном подмешиваемом потоке ПВ, опциональном потоке(ах) дополнительной добавки, и составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды. В частности, смесительная система может иметь датчики концентрации ионов для измерения по меньшей мере одного из параметров: концентрации ОСРТВ, концентрации аниона хлоридов, концентрации аниона бромидов, концентрации катиона кальция, концентрации катиона магния, концентрации катиона калия, концентрации катиона натрия, концентрации аниона нитрата и концентрации аниона сульфата для одного или более из потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды и опциональных подмешиваемых потоков МВ и/или ПВ. Если, в некоторых вариантах осуществления, не предполагается изменения состава подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, регулярные измерения состава подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц могут не проводиться.

(б) Датчики расхода для измерения расходов одного или более из: подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, опционального обводного потока сильноминерализованной воды (например, МВ), опционального подмешиваемого потока ПВ, любых других опциональных потоков добавок и составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. Датчики концентрации ионов, датчики расхода, и любые другие описанные здесь датчики могут обмениваться данными с блоком 30 управления с использованием любого подходящего средства связи, например, прямого электрического соединения или беспроводного электрического соединения (например, Wi-Fi, Bluetooth).

Опционально, из-за существования риска ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта при заводнении слабоминерализованной водой, в блок 30 управления может быть введено максимально допустимое повышение скважинного давления или давления на устье скважины (или максимально допустимое снижение расхода потока нагнетаемой воды (например, в нагнетательной линии 11) после нагнетательного насоса(ов) (например, нагнетательного насоса Р3)), сверх которого происходит неприемлемое снижение приемистости. Повышение скважинного давления или давления на устье скважины, и снижение расхода после нагнетательного насоса(ов) Р3 указывает на потерю приемистости из-за ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта.

При необходимости, скважинное давление в нагнетательной скважине 21 вблизи нефтеносного слоя 22 продуктивного пласта R, или давление на устье скважины (или расход смешанной слабоминерализованной воды на выходе нагнетательного насоса Р3) может подвергаться мониторингу в реальном времени. Расход смешанной слабоминерализованной воды на выходе нагнетательного насоса Р3 может быть измерен, например, датчиком Q6 расхода. Мониторинг давления в нагнетательной скважине может выполняться скважинным измерительным устройством, например, датчиком 23 давления, связанного с блоком 30 управления, например, волоконно-оптической телеметрической линией.

В случае, если блок 30 управления определит, что имеется снижение приемистости, блок 30 управления может выбрать другой рабочий диапазон для состава потока слабоминерализованной воды, который по прогнозу имеет пониженный риск ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта (при сохранении приемлемого уровня ПНО от нефтеносного слоя(ев) 22 продуктивного пласта R, и может далее отрегулировать соотношение компонентов смеси разных подмешиваемых потоков так, что состав

нагнетаемой воды соответствует другому рабочему диапазону. Блок 30 управления продолжает осуществлять мониторинг скважинного давления или давления на устье скважины (или расхода после нагнетательного насоса(ов) РЗ) в реальном времени, чтобы определить, происходит ли стабилизация давления (или расхода) в ответ на нагнетание смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, состав которой находится в пределах предпочтительного рабочего интервала. Если нет, блок 30 управления может выполнить дальнейшие изменения в работе смесительной системы для регулирования состава составного потока слабоминерализованной воды для соответствия состава еще другому предпочтительному рабочему диапазону, который, согласно прогнозу, имеет еще меньший риск ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта. Это итерационный процесс, который может быть повторен многократно. Опционально, блок 30 управления может принять решение о сокращении расхода (например, измеренного датчиком Q6 расхода) нагнетаемой воды, или остановить закачивание нагнетаемой воды в нагнетательную скважину 21, если давление продолжает расти. Блок 30 управления затем может принять решение о нагнетании состава для стабилизации глин в нефтеносные слои продуктивного пласта на период в несколько дней, перед возобновлением заводнения слабоминерализованной водой.

Обычно, в блок 30 управления вводятся корреляции между соотношениями смешивания различных подмешиваемых потоков и составом составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды (например, корреляции между соотношениями смешивания различных подмешиваемых потоков и одним или более из параметров: ОСРТВ, осмотического потенциала, концентрации отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по типам ионов, отношений отдельных ионов и отношений отдельных ионов по типам ионов составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды). Эти корреляции могут быть основаны на предположении, что составы для ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (и/или опционального подмешиваемого потока сильноминерализованной воды (например, МВ)) остаются в основном постоянными (в пределах заданных допусков) во время работы установки деминерализации. В отличие от этого, как было показано выше, состав опционального потока ПВ может меняться в течение всей продолжительности заводнения слабоминерализованной водой. Соотношения смешивания различных подмешиваемых потоков зависят от расходов различных подмешиваемых потоков, подводимых к точке(ам) смешивания (слияния) смесительной системы для формирования составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды.

В блок 30 управления также могут вводиться корреляции между степенью открытия клапана V2 сброса ОО на линии 6 сброса ОО, степенью открытия регулируемого клапана V4 на линии 8 стабилизации мелких частиц, степенью открытия регулируемого клапана V3 на опциональной обводной линии 3В сильноминерализованной воды, и/или степенью открытия регулируемого клапана V5 на опциональной линии 27 подмешивания ПВ и расходами ОО-пермеата, добавки для стабилизации мелких частиц и опциональных подмешиваемых потоков сильноминерализованной воды и ПВ. Блок 30 управления может, таким образом, управлять соотношением компонентов смеси, а значит, и составом составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, посредством изменения степеней открытия одного или более из вышеперечисленных регулируемых клапанов, для получения состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах (заранее выбранных или определенных) рабочего диапазона. В результате, расходы различных подмешиваемых потоков, которые должны подводиться к точке(ам) смешивания, могут регулироваться в реальном времени, благодаря чему состав смешанной слабоминерализованной воды будет находиться в пределах заданного рабочего диапазона.

Обычно, при более низких интервалах ОСРТВ достигаются более высокие ПНО, в то время как более высокие ОСРТВ снижают риск ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта, особенно в продуктивных пластах, включающих породу с высоким содержанием разбухающих глин. Однако использование слабоминерализованной нагнетаемой воды в соответствии с настоящим раскрытием, содержащей добавку для стабилизации мелких частиц в сочетании с ОО-водой, может обеспечить использование меньшей общей минерализации, или ОСРТВ, чем обычно. В некоторых вариантах осуществления настоящего раскрытия, граничные значения для ОСРТВ раскрытой здесь слабоминерализованной нагнетаемой воды в ходе главной фазы заводнения слабоминерализованной водой могут находиться в интервале от 100 до 500 мг/л, от 100 до 5000, или от 100 до 10000 мг/л. Альтернативные граничные значения для ОСРТВ могут составлять, например, в интервале от 500 до 10000 мг/л, от 300 до 10000 мг/л, от 100 до 9000 мг/л, от 100 до 8000 мг/л или от 100 до 7000 мг/л (в зависимости от риска ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта). В некоторых вариантах осуществления, граничные значения для ОСРТВ раскрытой в настоящем описании слабоминерализованной нагнетаемой воды в ходе главной фазы заводнения слабоминерализованной водой могут составлять менее или равняться примерно 10000, 9000, 8000, 7000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 1000 или 500 ppm, превышать или равняться 100, 200, 300, 400 или 500 ppm, или представлять комбинацию этих значений. Блок 30 управления может управлять составом смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, поддерживая его в пределах выбранного диапазона для граничных величин для ОСРТВ.

Как правило, блок 30 управления регулирует концентрацию аниона сульфатов в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде для получения значения концентрации менее 100 мг/л; менее 50 мг/л или менее 40 мг/л.

Как правило, блок 30 управления регулирует общую концентрацию многовалентного катиона в смешанной нагнетаемой воде так, чтобы она попадала в интервал от 1 до 250 мг/л; от 3 до 150 мг/л, или от 50 до 150 мг/л с условием, что отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам соответствует описанному выше (например, превышает или равно примерно 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1), и/или с опциональным условием, что отношение содержания многовалентного катиона в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде к содержанию многовалентного катиона в реликтовой воде составляет менее 1.

Как правило, блок 30 управления регулирует отношение концентрации катиона кальция в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде к одновалентным катионам в интервале, превышающем или равном примерно 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1, опционально, с условием, что отношение содержания катиона кальция в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде к содержанию катиона кальция в реликтовой воде менее 1.

Как правило, блок 30 управления регулирует отношение концентрации катиона магния в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде к одновалентным катионам в интервале, превышающем или равном примерно 0,4, 0,3, 0,2 или 0,1, опционально, с условием, что отношение содержания катиона магния в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде к содержанию катиона магния в реликтовой воде менее 1.

В вариантах осуществления, блок 30 управления регулирует содержание катиона калия в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде так, чтобы оно находилось в интервале от 10 до 2000 мг/л и, в частности, от 250 до 1000 мг/л, с условием, что ОСРТВ смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды остается в пределах граничных значений для заданного рабочего диапазона.

Граничные значения для ОСРТВ и концентраций отдельных ионов меняются в зависимости от реакции ПНО продуктивного пласта при заводнении слабоминерализованной водой и состава породы нефтеносных слоев продуктивного пласта и, в частности, от уровней разбухающих и мигрирующих глин и минералов, которые могут вызвать ухудшение коллекторских свойств пласта.

Граничные значения могут быть определены анализом образца породы, извлеченного из нефтеносного слоя 22 продуктивного пласта R. Образцами породы продуктивного пласта могут быть, например, обломки породы или керн, извлеченный из боковой стенки скважины. В альтернативном варианте, порода продуктивного пласта, окружающая нагнетающую скважину 21, может быть подвергнута анализу посредством геофизического каротажа с использованием скважинного каротажного оборудования. Анализ породы может включать, среди прочего, идентификацию наличия (и количества) глин, и идентификацию глин по типам (и их количеству). Методы количественного анализа глин могут включать геофизический каротаж, рентгеноструктурный анализ (XRD - от англ. x-ray diffraction), санирующую электронную микроскопию (SEM - от англ. scanning electron microscopy), сцинтилляционный счетчик в инфракрасном диапазоне, или ситовый анализ. В некоторых других вариантах осуществления раскрытия, анализ породы продуктивного пласта может включать определение количества глин в интервале примерно от 2 мас.% до 20 мас.%. Анализ породы также может включать определение содержания минералов глинистой фракции породы, в частности, глин смектитового типа (например, монтмориллонитовая глина), пиррофиллитового типа, каолинитового типа, иллитового типа, хлоритного типа и глауконитового типа, которые могут быть идентифицированы рентгеноструктурным анализом (XRD) или сканирующей электронной микроскопией (SEM). Оптимальная минерализация для главной фазы заводнения слабоминерализованной водой может быть определена из корреляций ухудшения коллекторских свойств пласта, возникающего с другими граничными значениями минерализации для нагнетаемой воды, для ряда образцов породы с разным содержанием глин и составом глин, и выбора граничных значений для минерализации для образца породы, который наиболее близко соответствует по составу породы (используя, например, исторические данные) для продуктивного пласта, подвергаемого заводнению слабоминерализованной водой. В альтернативном варианте, могут быть проведены эксперименты на образцах породы, взятой из зоны продуктивного пласта, где была пробурена нагнетательная скважина, с использованием различных граничных значений для минерализации и состава отдельных ионов для смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, для определения оптимального диапазона для минерализации и состава (например, молярного отношения двухвалентных катионов к одновалентным) для нагнетаемой воды для главной фазы заводнения.

Обычно производительность закачки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды ограничена из-за ограниченной производительности установки деминерализации или необходимости утилизации возрастающих количеств пластовой воды за время осуществления заводнения слабоминерализованной водой. Соответственно, заводнение слабоминерализованной водой может быть рассчитано на закачивание пробки низкого порового объема (ПО) смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в нефтеносный слой продуктивного пласта через первую нагнетательную скважину в количестве по меньшей мере 0,3 порового объема или по меньшей мере 0,4 порового объема, так как пробки, имеющие эти минимальные поровые объемы, как правило сохраняют свою целостность внутри продуктивного пласта. Для ограничения количества воды, закачиваемой в продуктивный пласт через нагнетательную скважину, в некоторых вариантах осуществления поровый объем смешанной слабоминерализованной

нагнетаемой воды составляет менее 1 ПО, менее или равен 0,9 ПО, менее или равен 0,7 ПО, менее или равен 0,6 ПО, менее или равен 0,5 ПО, или менее или равен 0,4 ПО.

После закачивания низкого (например, составляющего долю 1) порового объема смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в нагнетательную скважину, в нагнетательную скважину в нефтеносном слое 22 продуктивного пласта R может быть закачана вытесняющая вода для обеспечения движения пробки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (а значит, и перемещаемой вытесняемой нефтяной зоны) через нефтеносный слой 22 продуктивного пласта R к эксплуатационной скважине 24. Кроме того, нагнетание вытесняющей воды может понадобиться для поддержания давления в продуктивном пласте. Обычно вытесняющая вода имеет больший ПО, чем пробка нагнетаемой жидкости (например, водной вытесняющей жидкости).

В некоторых вариантах осуществления вытесняющей водой является пластовая вода или смесь морской воды и пластовой воды, в зависимости от количества пластовой воды, отделенной на промышленном оборудовании 50. Использование пластовой воды в качестве вытесняющей воды имеет преимущество благодаря ограничениям на сброс пластовой воды в море. Соответственно, вслед за закачиванием пробки слабоминерализованной нагнетаемой воды, первая нагнетательная скважина может быть использована в качестве утилизационной скважины пластовой воды. Однако, как было показано выше, благодаря нарастающему количеству ПВ, отделяемой от газа и нефти на промышленном оборудовании 50 по ходу заводнения слабоминерализованной водой, может возникнуть необходимость утилизации части ПВ в последующей пробке смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, закачиваемой в одну или более последующих нагнетательных скважин для слабоминерализованной воды. Этими нагнетательными скважинами могут быть скважины, которые ранее были использованы для закачивания МВ, или могут быть нагнетательные скважины для слабоминерализованной воды, введенные в эксплуатацию во время или после закачивания пробки слабоминерализованной нагнетаемой воды в первую нагнетательную скважину для слабоминерализованной воды.

Как было показано выше, граничные значения для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (например, граничные значения для ОСРТВ, концентраций одного или более отдельных ионов, концентраций отдельных ионов по типам ионов, отношений концентраций отдельных ионов, отношений концентраций отдельных ионов по типам ионов, или концентраций одной или более добавок для стабилизации глин в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде) вводятся в блок 30 управления, что определяет рабочий диапазон (например, первый рабочий диапазон), обеспечивающий максимум ПНО из нефтеносного слоя 22 продуктивного пласта R, при одновременном снижении риска ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта, закисления пласта или отложений в нем.

Как правило, различные составы смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (ОСРТВ, концентраций одного или более отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по типам ионов, отношений концентраций отдельных ионов, отношений концентраций отдельных ионов по типам ионов, или концентраций одной или более добавок для стабилизации глин) коррелированы с различными соотношениями компонентов смеси потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (и, опционально, сильноминерализованного обводного потока и/или подмешиваемого потока ПВ), или различными расходами потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (и, опционально, сильноминерализованного обводного потока и/или подмешиваемого потока ПВ) в точке слияния, или различных объемных содержаний потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (и, опционально, сильноминерализованного обводного потока и/или подмешиваемого потока ПВ) в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды. Различные составы могут быть также коррелированы с различными составами потока ПВ и различными составами объединенного потока ОО-пермеата/подмешиваемого потока добавки (включая составы, содержащие МВ и одну или более дополнительных добавок). Эти корреляционные данные могут вводиться в блок управления с тем, чтобы блок 30 управления мог управлять работой смесительной системы для изменения соотношения компонентов смеси потока ОО-пермеата с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц, или расхода объединенного потока ОО-пермеата/подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, или объемного содержания потока ОО-пермеата в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды) для получения состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона.

Как было показано выше, количество (расход) и/или качество (состав) ОО-пермеата может меняться во времени. Блок 30 управления может направить команду в реальном времени для изменения работы смесительной системы, в ответ на изменения количества и/или качества ОО-пермеата, на изменение расхода и/или состава потока ОО-пермеата, смешанного с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц так, что состав составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды остается в пределах рабочего диапазона (например, первого рабочего диапазона). Например, соотношение компонентов смеси потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (и, следовательно, состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды) и расхода (количества) потока ОО-пермеата и/или подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц может быть отрегулировано блоком 30 управления, направляющим команды на изменение степени от-

крытия дроссельного клапана V2 на линии 6 сброса ОО-пермеата и/или клапана V4 на линии 8 добавки для стабилизации мелких частиц.

Блок 30 управления может также изменить работу смесительной системы в реальном времени для корректировки расходов (количеств) опциональной МВ, опциональной подмешиваемой ПВ воды и/или других добавок (например, стабилизаторов глины), включенных в составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды. При этом, например, блок 30 управления может направить команды для изменения степени открытия дроссельных клапанов V3 и/или V5 на опциональной обводной линии 3В МВ и опциональной подмешиваемой линии 27 ПВ, соответственно.

В некоторых вариантах осуществления, блок 30 управления может проводить мониторинг расхода и состава опционального подмешиваемого потока ПВ в реальном времени, используя в реальном времени датчик Q8 расхода и датчик S6, соответственно, на линии 27 прохождения ПВ, и также расхода и состава объединенного потока ОО-пермеата/подмешиваемого потока 9 добавки для стабилизации мелких частиц (с обводным потоком МВ или без него) в реальном времени, используя датчик Q5 или Q6 расхода и датчик S4, соответственно, для определения эффективности изменений, введенных в работу установки, для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона. При недостаточной эффективности, блок 30 управления может сделать дальнейшие корректировки работы смесительной системы.

Таким образом, в некоторых вариантах осуществления комплексная система согласно блок-схемам на фиг. 1-3 для выработки составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды может включать блок 30 управления, имеющий контур обратной связи, позволяющий комплексной системе непрерывно корректировать состав составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, для поддержания его в пределах рабочего диапазона в ответ на изменения, например, изменения в количестве или качестве потока ОО-пермеата и/или подмешиваемого потока ПВ.

Также представляется, что в блок 30 управления могут быть введены альтернативные граничные значения, определяющие альтернативные рабочие диапазоны (второй, третий и т.д. рабочие диапазоны) для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, которые могут далее снизить риск ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта, закисления или образования отложений, при поддержании приемлемой ПНО для продуктивного пласта.

Соответственно, в дополнение к поддержанию состава смешанной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона (например, первого рабочего диапазона), блок 30 управления может осуществлять мониторинг датчика 23 давления для любого повышения давления вблизи нефтеносного интервала 22 нагнетательной скважины 21 или мониторинг датчика Q6 расхода, расположенного после нагнетательного насоса(ов) P3 нагнетательной системы 40, для любого падения расхода (показания обоих датчиков могут указывать на недопустимое падение приемистости вследствие ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта). Значения для максимально допустимого повышения давления и/или максимально допустимого снижения расхода могут быть введены в блок 30 управления (в котором выполняется корреляция этих значений с допустимым снижением приемистости). Если давление в нагнетательной скважине 21, прилегающей к нефтеносному интервалу 22, увеличивается до значения, приближающегося или достигающего максимально допустимого увеличения давления, или расход после нагнетательного насоса(ов) P3 падает до значения, приближающегося или достигающего максимально допустимого падения расхода, блок 30 управления может выбрать альтернативный рабочий диапазон для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (например, один из второго, третьего и т.д. рабочих диапазонов), который, согласно расчетам, снижает риск ухудшения коллекторских свойств продуктивного пласта. Например, альтернативный рабочий диапазон для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды может быть определен одним или более из параметров: более высоких граничных значений для ОСРТВ; более высоких граничных значений для содержания двухвалентных катионов (в частности, содержания катиона кальция); или более высоких граничных значений для одной или более добавок для стабилизации глины. Далее, блок 30 управления может управлять работой смесительной системы для корректирования состава и расхода комбинации ОО-пермеата/подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц так, чтобы составной поток нагнетаемой воды имел состав, попадающий в пределы альтернативного рабочего диапазона. Это, например, может быть достигнуто блоком 30 управления, направляющим команды на увеличение количества ОО-пермеата, отведенного через линию 6 сброса ОО-пермеата, для повышения содержания двухвалентного катиона в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды путем увеличения количества подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц (когда он содержит больше двухвалентных катионов) и/или опциональной МВ в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде или, для увеличения количества дополнительной добавки концентрата для стабилизации глины в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды (путем изменения степени открытия одного или более дроссельных клапанов V2, V4 или V3, соответственно). Блок 30 управления может осуществлять мониторинг влияния изменений в работе смесительной системы на расход или состав составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды (используя датчик Q6 расхода и датчик S4, соответственно) с тем, чтобы определить, попадают ли расход и состав составного потока нагнетаемой воды в результате этих изменений в работе установки в

пределы альтернативного рабочего диапазона и, при необходимости, сделать дальнейшие корректировки в работе смесительной системы для достижения состава, соответствующего альтернативному рабочему диапазону. При этом комплексная система по любому из вариантов на фиг. 1-3 включает блок 30 управления с контуром обратной связи, позволяющим смесительной системе вырабатывать составной поток 9 слабоминерализованной нагнетаемой воды, соответствующий альтернативным рабочим условиям.

Представляется, что при наличии большого числа нагнетательных скважин 21, могут существовать специальные линии 11 нагнетаемой воды для каждой нагнетательной скважины 21, а комплексная система в соответствии с настоящим раскрытием может быть использована для вырабатывания составных потоков нагнетаемой воды, составы которых специально приспособлены для каждой нагнетательной скважины.

Представляется, что если пробка малого порового объема (например, менее 1 ПО) смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды была закачана в по меньшей мере одну из нескольких нагнетательных скважин, например, в нагнетательную скважину 21, то специальная нагнетательная линия 11 для нагнетательной скважины может быть использована для закачивания ПВ (например, из линии 27 прохождения ПВ) или смеси МВ и ПВ (из обводной линии 3В сильноминерализованной воды и линии 27 прохождения ПВ) в качестве водной рабочей жидкости для вытеснения пробки малого порового объема смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, а значит и нефтяной залежи, перемещаемой вытесняющим агентом к эксплуатационной скважине 21. Соответственно, подмешиваемые потоки ОО-пермеата и добавки для стабилизации мелких частиц больше не требуются для нагнетательной скважины 21 и могут быть отведены для вырабатывания одного или более составных потоков слабоминерализованной нагнетаемой воды для одной или более других нагнетательных скважин.

Отличительные признаки и потенциальные преимущества раскрытых здесь системы и способа приготовления слабоминерализованной нагнетаемой воды

Поскольку раскрытые здесь система и способ вырабатывания слабоминерализованной нагнетаемой воды обеспечивают использование установки деминерализации, содержащей мембрану одного типа (например, для обратного осмоса, без нанофильтрации) и не требуют смешивания двух различных пермеатов для деминерализации (например, ОО-пермеата и НФ-пермеата), то тем самым достигается упрощение вырабатывания слабоминерализованной нагнетаемой воды. Использование добавки для стабилизации мелких частиц в комбинации с ОО-пермеатом для получения слабоминерализованной нагнетаемой воды, в соответствии с настоящим раскрытием, может обеспечить, в некоторых вариантах осуществления, более быструю регулировку и точное управление составом (например, молярным отношением двухвалентных катионов к одновалентным катионам) получающейся слабоминерализованной нагнетаемой воды. Использование смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, содержащей ОО-пермеат и добавку для стабилизации мелких частиц, в соответствии с настоящим раскрытием, может обеспечить заводнение слабоминерализованной водой для повышенной нефтеотдачи (ПНО) при меньшей общей минерализации (например, менее или равной примерно 500, 400, 300, 200, 150 или 100 ppm) по сравнению с обычно используемой (например, от 1000 до 5000 или 10000 ppm), что может обеспечить повышенную нефтеотдачу без ухудшения приемистости и/или проницаемости продуктивного пласта.

В то время как были показаны и описаны различные варианты осуществления, специалистами могут быть предложены их модификации в рамках существа и принципов настоящего раскрытия. Описанные здесь варианты осуществления носят исключительно иллюстративный характер, не ограничивая изобретение. Возможны многие вариации и модификации раскрытого здесь предмета изобретения, не выходящие за пределы области притязаний настоящего раскрытия. В тех случаях, когда численные диапазоны или ограничения приведены в явно выраженной форме, эти диапазоны или ограничения следует воспринимать как включающие итеративные диапазоны или ограничения близкой величины, попадающие в пределы диапазонов или ограничений (например, от, примерно, 1 до, примерно, 10 включает 2, 3, 4 и т.д.; более 0,10 включает 0,11, 0,12, 0,13 и т.д.), выраженных в явной форме. Например, если раскрыт числовой интервал с нижним пределом R_L и верхним пределом R_U , то определенно раскрытым считается любое число, попадающее в пределы этого интервала. В частности, определенно раскрытыми в пределах этого интервала являются следующие числа: $R=R_L + k*(R_U - R_L)$, где k является переменной величиной, заключенной от 1 процента до 100 процентов с приращением в 1 процент, т.е., 1 процент, 2 процента, 3 процента, 4 процента, 5 процентов, ..., 50 процентов, 51 процент, 52 процента, ..., 95 процентов, 96 процентов, 97 процентов, 98 процентов, 99 процентов или 100 процентов. Более того, любой числовой диапазон, определенный двумя числами R , как было показано выше, также является определенно раскрытым. Использование термина "опциональный" применительно к любому элементу заявки предполагает, что заявленный элемент необходим, либо, наоборот, в нем нет необходимости. Обе альтернативы должны быть в пределах области притязаний заявки. Использование более широких терминов, например, содержит, включает, имеющий и т.д. следует понимать как основание для более узких терминов, например, состоящий из, состоящий исключительно из, основанный на, и т.д.

Соответственно, область защиты ограничена не приведенным выше описанием, а следующей далее формулой изобретения, и включает все эквиваленты предмета изобретения формулы. Все без исключения пункты формулы включены в описание в качестве варианта осуществления настоящего раскрытия.

Таким образом, формула изобретения является добавочным описанием и представляет собой дополнение к вариантам осуществления настоящего раскрытия. Рассмотрение ссылки не является признанием того, что она представляет уровень техники, противопоставляемый настоящему раскрытию, тем более, любой ссылки, которая могла быть опубликована после даты приоритета данной заявки. Раскрытия всех цитированных патентов, патентных заявок и публикаций включены в настоящее описание посредством ссылки в той мере, в которой они содержат иллюстративные, процедурные или иные сведения, дополняющие настоящее рассмотрение.

Дополнительное описание

Описанные здесь частные варианты осуществления носят исключительно иллюстративный характер, поскольку настоящее раскрытие может быть подвергнуто модифицированию и реализации другим, но эквивалентным образом, очевидным специалистам, ознакомившимся с настоящим раскрытием. Кроме того, для элементов представленных конструкции или замысла не устанавливается ограничений, кроме тех, что описаны в приложенной формуле изобретения. Поэтому очевидно, что раскрытые выше частные иллюстрирующие варианты осуществления могут быть изменены или модифицированы, и все подобные изменения и модификации считаются охватываемыми областью притязаний и существом настоящего раскрытия. В то время как составы и способы описаны в более общих терминах "имеющий", "содержащий", "вмещающий" или "включающий" различные компоненты или шаги, составы и способы также могут "состоять в основном из" или "состоять из" различных компонентов или шагов. Использование термина "опциональный" применительно к любому элементу заявки означает, что этот элемент не обязателен, либо, наоборот, в нем нет необходимости, причем обе альтернативы должны быть в пределах области притязаний заявки.

Раскрытые выше числа и диапазоны могут быть изменены в некоторой мере. В случае если раскрывается числовой диапазон с нижним пределом и верхним пределом, определенно раскрывается любое число и любой включенный диапазон, попадающий внутрь данного диапазона. В частности, каждый раскрытый здесь диапазон значений (вида "от, примерно, а до, примерно, b" или, эквивалентно "примерно от а до b", или, эквивалентно, "примерно a-b") должен пониматься, как представляющий каждое число или диапазон охватываемым внутри более широкого диапазона значений. Кроме того, термины в формуле имеют свое общеупотребительное, обычное значение, если, в противном случае, они ясно и исчерпывающе не определены патентообладателем. Более того, формы единственного числа при их использовании в формуле изобретения должны означать один или более чем один, из элементов, которые они вводят. При возникновении какого-либо противоречия в использованиях слова или термина в настоящем описании и одном или более патенте и других документах, должны приниматься определения, согласующиеся с настоящим описанием.

Раскрытые в настоящем изобретении варианты осуществления включают:

А: Комплексную систему, включающую: установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО), выполненный с возможностью выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата; смесительную систему, содержащую линию прохода для подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц и выполненную с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц, для получения составного потока слабоминерализованной воды, имеющей минерализацию, менее или равную 8000, 7000, 6000, 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее примерно 0,2, 0,3 или 0,4; блок управления, выполненный с возможностью управления работой смесительной системы; и нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта.

Б. Способ, в котором: вырабатывают подмешиваемый поток пермеата обратного осмоса (ОО), используя узел ОО установки деминерализации; подготавливают подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц; смешивают подмешиваемый поток ОО-пермеата и подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в смесительной системе для получения составного потока слабоминерализованной воды, имеющей минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4.

В. Комплексную систему, включающую: блок управления; несколько клапанов, управляемых блоком управления; несколько устройств контроля расхода и состава, выполненных с возможностью передачи измеренных данных расхода и состава, соответственно, в блок управления; узел обратного осмоса (ОО), выполненный с возможностью выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата; емкость для добавки для стабилизации мелких частиц, приспособленную для получения подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц; и смесительную систему, содержащую линию, выполненную с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в составной поток слабоминерализованной воды, имеющей минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4, причем блок управления выполнен с возможностью регулирования, в ответ на получение данных

измерения расхода и состава, по меньшей мере одного из нескольких клапанов, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона.

Г: Слабоминерализованную нагнетаемую жидкость для использования в повышенной нефтеотдаче (ПНО), содержащую: поток пермеата обратного осмоса (ОО), причем поток пермеата обратного осмоса может составлять примерно от 80 до 99,995 объемных процентов (об.%) слабоминерализованной нагнетаемой жидкости, и добавку для стабилизации мелких частиц, составляющую примерно от 0,005 до 20 об.% слабоминерализованной нагнетаемой жидкости, причем добавка для стабилизации мелких частиц содержит соль двухвалентного катиона.

Каждый из вариантов А, Б, В и Г может иметь один или более из следующих дополнительных элементов: Элемент 1: в котором блок управления выполнен с возможностью: динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количеств по меньшей мере одного из подмешиваемого потока ОО-пермеата или подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона, который включает минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее примерно 0,2, 0,3 или 0,4. Элемент 2: в котором блок управления выполнен с возможностью получения рабочего диапазона от источника, внешнего относительно блока управления. Элемент 3: в котором рабочий диапазон определяет верхний и нижний пределы для по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы, состоящей из: общего содержания растворенных твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентраций отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по типам ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов. Элемент 4: в котором по меньшей мере один параметр содержит молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам. Элемент 5: который дополнительно содержит линию сброса ОО-пермеата, обводную линию морской воды (МВ), линию подмешивания пластовой воды (ПВ), или их комбинацию, и в котором блок управления дополнительно выполнен с возможностью динамического регулирования количества ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, количества обводного потока сильноминерализованной воды, обходящего установку деминерализации по обводной линии МВ и подводящего МВ в смесительную систему, количества потока ПВ, подводящего ПВ в смесительную систему по линии подмешивания ПВ, или их комбинации. Элемент 6: в котором: (а) составной поток слабоминерализованной воды содержит поток ОО-пермеата, составляющий примерно от 80 до 99,995 объемных процентов (об.%) составного потока слабоминерализованной воды, и подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц, составляющий примерно от 0,005 до 20 об.% составного потока слабоминерализованной воды; (б) подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц содержит хлорид кальция (CaCl_2), нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), хлорид калия (KCl), нитрат калия (KNO_3), хлорид аммония ($(\text{NH}_4)\text{Cl}$), хлорид магния (MgCl_2) или их комбинацию; или (в) оба (а) и (б). Элемент 7: в котором смешивание дополнительно включает смешивание морской воды (МВ), пластовой воды (ПВ) или обоих этих компонентов с подмешиваемым потоком ОО-пермеата и подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц в смесительной системе, для получения составного потока слабоминерализованной воды. Элемент 8: дополнительно содержащий динамическое регулирование работы смесительной системы для регулирования количеств подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, или обоих компонентов, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона, включающего минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4. Элемент 9: в котором динамическое регулирование работы смесительной системы содержит регулирование по меньшей мере одного клапана в смесительной системе. Элемент 10: в котором по меньшей мере один клапан включает клапан на линии подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц, подающей подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в смесительную систему, клапан на обводной линии сильноминерализованной воды, которая обходит установку деминерализации и подает морскую воду (МВ) в смесительную систему, клапан на линии подмешивания пластовой воды (ПВ), подводящей ПВ в смесительную систему, клапан на линии сброса ОО-пермеата, выполненной с возможностью отведения ОО-пермеата от смесительной системы, или их комбинацию. Элемент 11: в котором составной поток слабоминерализованной воды содержит двухвалентный катион в диапазоне примерно от 0,01 до 20 миллиэквивалентов/литр. Элемент 12: в котором: (а) поток ОО-пермеата (или смесь ОО/НФ) составляет примерно от 80 до 99,995 объемных процентов (об.%) составного потока слабоминерализованной воды, и подмешиваемый поток добавки стабилизации мелких частиц составляет примерно от 0,005 до 20 об.% составного потока слабоминерализованной воды; (б) подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц содержит преимущественно хлорид кальция (CaCl_2), нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), хлорид калия (KCl), нитрат калия (KNO_3), хлорид аммония ($(\text{NH}_4)\text{Cl}$), хлорид магния (MgCl_2) или их комбинацию; или (в) оба (а) и (б). Элемент 13: в котором данные расхода и данные состава относятся к составному потоку слабоминерализованной воды. Элемент 14: дополнительно содержащий нагнетательную систему, выполненную с возможностью подачи составного потока слабо-

минерализованной воды в продуктивный горизонт через нагнетательную скважину. Элемент 15: в котором рабочий диапазон определяет верхний и нижний пределы для по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы, состоящей из: общего содержания растворенных твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов; концентрации отдельных ионов по типам ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов. Элемент 16: дополнительно содержит обводную линию морской воды (МВ), обходящую узел ОО и подающую морскую воду (МВ) в смешительную систему, линию подмешивания пластовой воды (ПВ), подающую ПВ в смешительную систему, или оба компонента. Элемент 17: имеет общее содержание растворенных твердых веществ (ОСРТВ), менее или равное примерно 500, 400 или 300 мг/л. Элемент 18: имеет молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4.

В то время как были показаны и описаны некоторые варианты осуществления, специалисты могут предложить их модификации, не выходящие за пределы принципов данного раскрытия.

Описанные здесь варианты осуществления служат только для иллюстрации изобретения и не ограничивают его. Возможны многие вариации и модификации приведенного раскрытия, которые охватываются областью притязаний изобретения.

Многие другие модификации, эквиваленты и альтернативы будут очевидны специалистам при внимательном ознакомлении с приведенным выше раскрытием. Подразумевается, что следующая далее формула должна восприниматься как охватывающая эти модификации, эквиваленты и альтернативы там, где они применимы. Соответственно, область защиты ограничена не приведенным выше описанием, а только следующей далее формулой, область притязаний которой включает эквиваленты объекта согласно формуле изобретения. Все без исключения пункты формулы включены в описание в качестве варианта осуществления настоящего изобретения. При этом формула изобретения является добавочным описанием и представляет собой дополнение к подробному описанию настоящего раскрытия. Раскрытия всех цитированных патентов, патентных заявок и публикаций включены в настоящее описание посредством ссылки.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комплексная система для получения составного потока слабоминерализованной воды, включающая:

установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО), выполненный с возможностью вырабатывания подмешиваемого потока ОО-пермеата;

смесительную систему, содержащую линию для подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, которая сообщается по текучей среде с установкой деминерализации, и при этом смешительная система выполнена с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата с подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц для получения составного потока слабоминерализованной воды, включающего в себя, в основном, подмешиваемый поток ОО-пермеата и поток добавки для стабилизации мелких частиц и имеющего минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 частей на миллион (ppm), и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее примерно 0,2, 0,3 или 0,4, причем подмешиваемый поток добавок для стабилизации мелких частиц содержит химическое вещество для уменьшения образования мелких частиц и/или разбухания глин;

блок управления, выполненный с возможностью управления работой смешительной системы; и

нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта, содержащую по меньшей мере одну нагнетательную линию, сообщаемую по текучей среде со смешительной системой, так что обеспечивается возможность закачивания составного потока слабоминерализованной воды в одну или более нагнетательных скважин.

2. Комплексная система по п.1, в которой блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смешительной системы для регулирования количеств по меньшей мере подмешиваемого потока ОО-пермеата или подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона, включающего минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее примерно 0,2, 0,3 или 0,4.

3. Комплексная система по п.2, в которой блок управления выполнен с возможностью получения рабочего диапазона от источника, внешнего относительно блока управления.

4. Комплексная система по п.2, в которой рабочий диапазон определяет верхний и нижний пределы для по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы, состоящей из: общего содержания растворенных твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентраций отдельных ионов, концентрации отдельных ионов по типам ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов.

5. Комплексная система по п.4, в которой по меньшей мере один параметр содержит молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам.

6. Комплексная система по п.1, дополнительно включающая линию сброса ОО-пермеата, обводную линию морской воды (МВ), линию подмешивания пластовой воды (ПВ) или их комбинацию, и в которой блок управления дополнительно выполнен с возможностью динамического регулирования количества ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, количества обводного потока сильноминерализованной воды, обходящего установку деминерализации по обводной линии МВ и подводящего МВ в смесительную систему, количества потока ПВ, подводящего ПВ в смесительную систему по линии подмешивания ПВ, или их комбинацию.

7. Комплексная система по п.1, в которой:

(а) поток ОО-пермеата составляет от примерно 80 до примерно 99,995 объемных процентов (об.%) составного потока слабоминерализованной воды, и подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц составляет от примерно 0,005 до примерно 20 об.% составного потока слабоминерализованной воды;

(б) подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц содержит хлорид кальция (CaCl_2), нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), хлорид калия (KCl), нитрат калия (KNO_3), хлорид аммония ($(\text{NH}_4)\text{Cl}$), хлорид магния (MgCl_2) или их комбинацию; или

(в) оба (а) и (б).

8. Способ получения составного потока слабоминерализованной воды, в котором:

вырабатывают, посредством комплексной системы по п.1, подмешиваемый поток пермеата обратного осмоса (ОО) с использованием узла ОО установки деминерализации;

подготавливают подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц;

формируют составной поток слабоминерализованной воды посредством смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в смесительной системе, причем составной поток слабоминерализованной воды имеет минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4, при этом подмешиваемый поток добавок для стабилизации мелких частиц содержит химическое вещество для уменьшения образования мелких частиц и/или разбухания глин.

9. Способ по п.8, в котором составной поток слабоминерализованной воды имеет содержание двухвалентного катиона в диапазоне примерно от 0,01 до 20 миллиэквивалентов/литр, и/или при смешивании дополнительно смешивают морскую воду (МВ), пластовую воду (ПВ) или оба этих компонента с подмешиваемым потоком ОО-пермеата и подмешиваемым потоком добавки для стабилизации мелких частиц в смесительной системе для получения составного потока слабоминерализованной воды.

10. Способ по п.8, в котором дополнительно динамически регулируют работу смесительной системы для коррекции количеств подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц или обоих этих компонентов, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона, включающего минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4.

11. Способ по п.10, в котором при динамическом регулировании работы смесительной системы регулируют по меньшей мере один клапан в смесительной системе.

12. Способ по п.11, в котором по меньшей мере один клапан включает клапан на линии подмешивания добавки для стабилизации мелких частиц, подающей подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц в смесительную систему, клапан на обводной линии сильноминерализованной воды, обходящей установку деминерализации и подающей морскую воду (МВ) в смесительную систему, клапан на линии подмешивания пластовой воды (ПВ), подводящей ПВ в смесительную систему, клапан на линии сброса ОО-пермеата, выполненной с возможностью отведения ОО-пермеата от смесительной системы, или их комбинацию.

13. Способ по п.8, в котором составной поток слабоминерализованной воды имеет содержание двухвалентного катиона в диапазоне примерно от 0,01 до 20 миллиэквивалентов/литр.

14. Способ по п.8, в котором:

(а) поток ОО-пермеата составляет от примерно 80 до примерно 99,995 объемных процентов (об.%) составного потока слабоминерализованной воды, и подмешиваемый поток добавки стабилизации мелких частиц составляет от примерно 0,005 до примерно 20 об.% составного потока слабоминерализованной воды;

(б) подмешиваемый поток добавки для стабилизации мелких частиц содержит преимущественно хлорид кальция (CaCl_2), нитрат кальция ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$), хлорид калия (KCl), нитрат калия (KNO_3), хлорид аммония ($(\text{NH}_4)\text{Cl}$), хлорид магния (MgCl_2) или их комбинацию; или

(в) оба (а) и (б).

15. Комплексная система для получения составного потока слабоминерализованной воды, включающая:

блок управления;

несколько клапанов, управляемых блоком управления;

несколько устройств контроля расхода и состава, выполненных с возможностью передачи измеренных данных расхода и данных состава, соответственно, в блок управления;

узел обратного осмоса (ОО), выполненный с возможностью выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата;

емкость для добавки для стабилизации мелких частиц, выполненную с возможностью получения подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц; и

смесительную систему, сообщающуюся по текучей среде с узлом ОО и содержащую линию, выполненную с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока добавки для стабилизации мелких частиц в составной поток слабоминерализованной воды, включающий в себя, в основном, подмешиваемый поток ОО-пермеата и поток добавки для стабилизации мелких частиц и имеющий минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm, и молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4, при этом подмешиваемый поток добавок для стабилизации мелких частиц содержит химическое вещество для уменьшения образования мелких частиц и/или разбухания глин,

причем блок управления выполнен с возможностью регулирования, в ответ на получение измеренных данных расхода и данных состава, по меньшей мере одного из нескольких клапанов, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона.

16. Комплексная система по п.15, в которой данные расхода и данные состава относятся к составному потоку слабоминерализованной воды.

17. Комплексная система по п.15, дополнительно включающая нагнетательную систему, выполненную с возможностью подачи составного потока слабоминерализованной воды в продуктивный горизонт через нагнетательную скважину и содержащую по меньшей мере одну нагнетательную линию, сообщающуюся по текучей среде со смесительной системой.

18. Комплексная система по п.15, в которой данные расхода и данные состава относятся к составному потоку слабоминерализованной воды, и/или рабочий диапазон определяет верхний и нижний пределы для по меньшей мере одного параметра, выбранного из группы, состоящей из: общего содержания растворенных твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов; концентрации отдельных ионов по типам ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов.

19. Комплексная система по п.15, дополнительно содержащая обводную линию морской воды (МВ), обходящую узел ОО и подающую морскую воду (МВ) в смесительную систему, линию подмешивания пластовой воды (ПВ), подающую ПВ в смесительную систему, или обе.

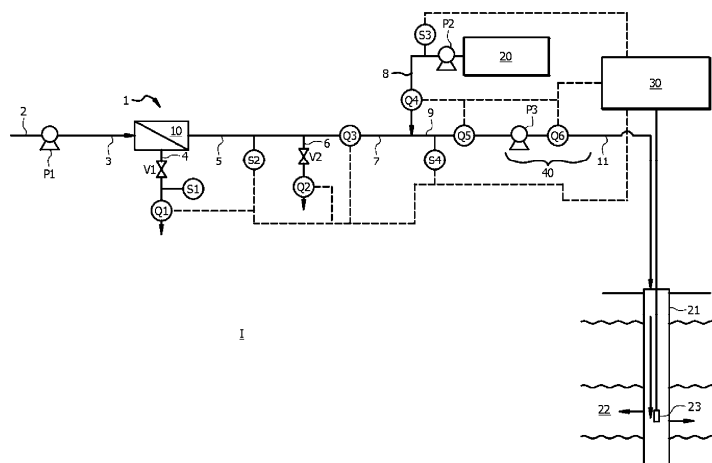
20. Слабоминерализованная нагнетаемая жидкость для применения в повышении нефтеотдачи (ПНО), содержащая:

слабоминерализованную воду, полученную посредством комплексной системы по п.15 и включающую в себя пермеат обратного осмоса (ОО), составляющий от примерно 80 до примерно 99,995 объемных процентов (об.%) слабоминерализованной нагнетаемой жидкости;

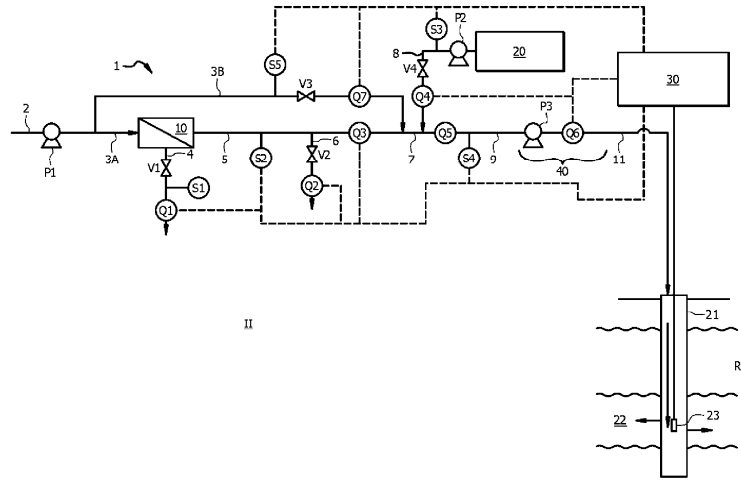
добавку для стабилизации мелких частиц, составляющую от примерно 0,005 до примерно 20 об.% слабоминерализованной нагнетаемой жидкости, причем добавка для стабилизации мелких частиц содержит соль двухвалентного катиона для уменьшения образования мелких частиц и/или разбухания глин,

причем слабоминерализованная нагнетаемая жидкость имеет молярное отношение двухвалентных катионов к одновалентным катионам, превышающее или равное примерно 0,2, 0,3 или 0,4, и минерализацию, менее или равную 5000, 4000, 3000, 2000, 1000, 500, 400 или 300 ppm.

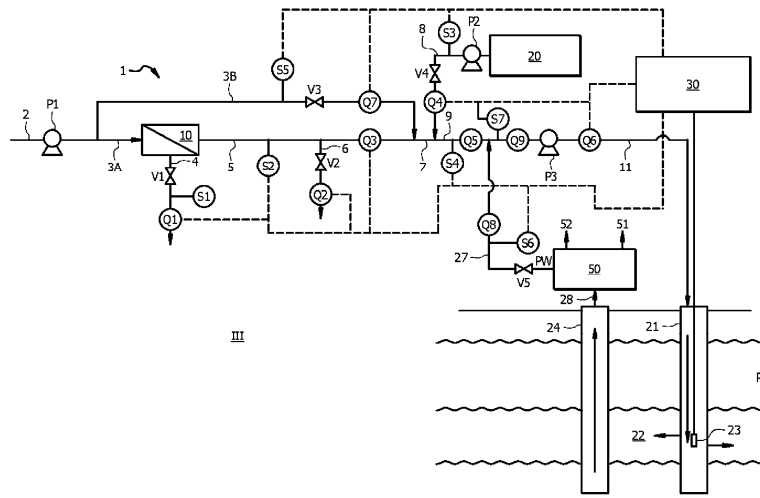
21. Слабоминерализованная нагнетаемая жидкость по п.20, имеющая общее содержание растворенных твердых веществ (ОСРТВ), менее или равное примерно 500, 400 или 300 мг/л.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

