

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039509**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.02.04

(51) Int. Cl. **C02F 1/44 (2006.01)**
E21B 43/20 (2006.01)

(21) Номер заявки
202090446

(22) Дата подачи заявки
2018.08.09

(54) **СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ НАГНЕТАЕМОЙ ВОДЫ ПРИ ВВОДЕ В
ЭКСПЛУАТАЦИЮ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ СКВАЖИНЫ**

(31) **1712847.1**

(56) **WO-A1-2007138327**
US-A1-2015083656

(32) **2017.08.10**

(33) **GB**

(43) **2020.06.30**

(86) **PCT/EP2018/071677**

(87) **WO 2019/030343 2019.02.14**

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

(72) Изобретатель:
**Коллинс Айан Ральф, Коувз Джон
Уильям, Крауч Джон Генри, Уильямс
Джон Дейл (GB)**

(74) Представитель:
**Веселицкая И.А., 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)**

(57) Описана комплексная система, включающая установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО) для выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата и узел нанофильтрации (НФ) для выработки подмешиваемого потока НФ-пермеата; смесительную систему; блок управления и нагнетательную систему для нагнетательной скважины, пробуренной в нефтеносный слой продуктивного пласта; причем смесительная система предназначена для смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока НФ-пермеата, для получения смешанного потока нагнетаемой воды, блок управления обеспечивает динамическое изменение работы смесительной системы для регулирования количества по меньшей мере одного из подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата, для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды по сравнению с начальным составом, для получения целевого состава.

B1

039509

039509

B1

Область техники

Настоящее изобретение относится к эксплуатации нагнетательных скважин, пробуренных в нефтеносный пласт.

Уровень техники

В песчаных продуктивных пластах в зависимости от содержания и состава глин в пластовой породе нагнетание слабоминерализованной воды может приводить к снижению приемистости скважины (скорости закачивания). Это связано с ухудшением коллекторских свойств пласта вблизи ствола нагнетательной скважины, вызванным набуханием глин и миграцией мелких частиц.

В US 3208528 описывается явление потери проницаемости ("закупоривание глиной"), когда глины или иные мелкие минеральные частицы рассеиваются в пресной воде, и эти рассеянные частицы образуют перемычки, частично перегородывая пустоты в породе. Было установлено, что обработка водовосприимчивого пласта с изменением минерализации нагнетаемой воды так, что содержание солей в нагнетаемой воде снижается постепенно или ступенчато, при поддержании постоянным отношения общего содержания солей к концентрации солей с двухвалентными катионами, пока концентрация солей в нагнетаемой воде не достигнет требуемой степени разведения, снижает риск ухудшения коллекторских свойств (повреждение или поражение) пласта. Таким образом, такое ступенчатое или постепенное снижение минерализации уменьшает риск "скачка минерализации" и ухудшения проницаемости, ведущих к потере скорости закачки.

Краткое описание чертежей

Подробное описание предпочтительных вариантов выполнения изобретения приводится далее со ссылкой на приложенный чертеж, на котором представлен схематичный вид комплексной (объединённой) системы для получения смешанной нагнетаемой воды переменного состава для использования в качестве нагнетаемой при вводе в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной воды.

Определения.

В приведенном ниже описании используются следующие термины.

"Сильноминерализованная питательная вода" представляет подаваемую в установку деминерализации воду, которой обычно является морская вода (МВ), вода эстуария, вода водоносного горизонта или их смеси. Обычно сильноминерализованная питательная вода имеет общее содержание растворенных твердых веществ в интервале от 17500 до 50000 ppmv.

Единица измерения "ppmv" означает "частей на миллион по объему воды" и эквивалентна единице измерения "мг/л".

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

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

"Обратноосмотическая (ОО) ступень установки деминерализации" представляет группу 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 клапанов (в частности, вентилях, задвижек и другой трубопроводной арматуры) и трубопроводов. Один или несколько мембранных блоков могут быть смонтированы на рамном основании.

"Основной этап заводнения слабоминерализованной водой" относится к этапу заводнения слабоминерализованной водой после ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной воды.

"Ввод в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной воды" относится к периоду 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.

"Платформа нагнетательной скважины" представляет место расположения нагнетательной системы и может находиться на суше или в море (например, на платформе или плавучей системе для добычи, хранения и отгрузки нефти - FPSO (от англ. Floating Production, Storage & Offloading)).

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

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

"ОСРТВ" (TDS) представляет общее содержание растворенных твердых веществ, обычно выражающееся в мг/л. В случае рассматриваемого здесь водного потока растворенными твердыми веществами являются ионы, поэтому ОСРТВ является мерой минерализации водного потока.

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

$$SAR = \frac{[Na^+]}{\sqrt{(0.5[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}])}}$$

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

Раскрытие и описание осуществления изобретения

Приведенное ниже рассмотрение относится к разным частным вариантам выполнения. Для специалистов, однако, должно быть понятно, что раскрытые здесь примеры выполнения имеют широкое применение, и что рассмотрение любого варианта выполнения служит только для использования этого варианта в качестве иллюстрации и не предполагает, что область притязаний изобретения, включая и формулу, сводится только к этому варианту.

По всему представленному описанию и формуле изобретения используются некоторые термины, относящиеся к конкретным признакам и компонентам. Понятно, что разные специалисты могут давать одним и тем же признакам или компонентам разные названия. В настоящем документе не предполагается делать различия между компонентами или признаками, отличающимися только названием, но не по своим функциям. Изображения на чертежах не обязательно выполнены с сохранением масштаба. Некоторые признаки и компоненты в настоящем раскрытии могут быть представлены в преувеличенном масштабе или в несколько схематичном виде, а некоторые детали обычных элементов могут и не быть показанными для ясности и краткости.

В приведенном далее рассмотрении и в формуле термины "включающий" и "содержащий" используются в неограничивающей форме, поэтому должны пониматься как "включающий, но не сводящийся к".

Описанные здесь варианты выполнения относятся к способам и комплексным системам для постепенного снижения минерализации нагнетаемой воды в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины до оптимальной величины для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой.

Комплексная система, включающая установку деминерализации, смесительную систему и систему управления, для получения нагнетательной воды для заводнения слабоминерализованной водой может быть выполнена с возможностью регулирования отношения, в котором смешиваются пермеат обратного осмоса (ОО) (получаемый в узле ОО установки деминерализации) и пермеат нанофильтрации (НФ) (получаемый в узле НФ установки деминерализации), которое в настоящем описании может называться "соотношением в смеси", в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной нагнетаемой воды. При этом для предотвращения скачка минерализации может осуществляться либо постепенное, либо ступенчатое снижение минерализации нагнетаемой воды от исходной величины, при которой имеется ничтожный риск ухудшения коллекторских свойств пласта, до целевой величины для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, при которой, напротив, возникает опасность такого ухудшения. Это снижение минерализации может достигнуто либо постепенным, либо ступенчатым повышением увеличением в соотношения в смеси ОО-пермеата и НФ-пермеата. Как только достигнуто целевое значение концентрации растворенных твердых веществ (ОСРТВ) для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, соотношение компонентов в смеси может поддерживаться постоянным или в основном постоянным. Поддержание соотношения компонентов смеси "в основном постоянным" означает, что это соотношение может меняться в интервале верхнего и нижнего пределов, поддерживая концентрацию ОСРТВ в пределах 5%, предпочтительно в пределах 2,5% целевой концентрации для основного этапа заводнения. В течение промежутка времени, когда происходит снижение минерализации нагнетаемой воды, излишек ОО-пермеата из модулей ОО узла ОО может отводиться из смесительной системы, например, в акваторию через "линию сброса" ОО-пермеата, оборудованную "разгрузочным клапаном". Скорость, с которой слабоминерализованная нагнетаемая вода закачивается в нагнетательную скважину, поначалу может быть ниже скорости закачивания для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, поэтому скорость закачивания увеличивается по мере приближения концентрации ОСРТВ нагнетаемой воды к целевому значению концентрации ОСРТВ или достижения этого значения для основного этапа заводнения. Соответственно, излишек НФ-пермеата из модулей НФ узла НФ также может быть отведен из установки деминерализации во время ввода нагнетательной скважины, например, в акваторию, через "линию сброса" НФ-пермеата, оборудованную "разгрузочным клапаном".

паном". Как только достигнута целевая концентрация ОСРТВ и целевое значение приемистости (скорости нагнетания) скважины для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, сброс ОО-пермеата и НФ-пермеата может быть замедлен или прекращен вовсе, потому что выходные потоки ОО-пермеата и НФ-пермеата из установки деминерализации могут быть рассчитаны так, чтобы удовлетворять соотношению ОО-пермеата и НФ-пермеата в смеси и приемистости скважины для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой.

Известно, что двухвалентные катионы могут быть полезны для стабилизации пластовой породы, которая имеет склонность к выделению мелких частиц, т.е. могут играть роль добавки(ок), стабилизирующей мелкие частицы. Вообще, понятие "мелкие частицы" может включать частицы глины и частицы кремнезема. В некоторых случаях комплексная система может иметь обводную линию для сильноминерализованной воды, используемой для питания ОО- и НФ узлов установки деминерализации, поскольку эта сильноминерализованная вода, например морская вода (МВ), обычно имеет высокий уровень двухвалентных ионов. Обводная линия может быть оборудована переменным или регулируемым клапаном и может иметь гидравлическое соединение с одной или более из линий НФ-пермеата, ОО-пермеата и линией объединенного ОО/НФ-пермеата, обеспечивая смешивание объединенного потока ОО/НФ-пермеата с различными количествами сильноминерализованной воды. Соответственно, содержанием двухвалентных катионов в нагнетаемой воде можно управлять, устанавливая различные концентрации в процессе введения в эксплуатацию нагнетательной скважины.

При смешивании с морской водой, отличающейся высоким содержанием ионов сульфата, приходится принимать во внимание риск закисления продуктивного пласта и образования отложений. Специалисту должно быть понятно, что не все продуктивные пласты подвержены риску закисления и риску образования отложений. При этом закисление может возникать, когда продуктивный пласт заселен сульфатвосстанавливающими бактериями (СВБ), получающими энергию окислением органических соединений при восстановлении сульфата до сероводорода. Осаждение солей может возникать, когда реликтовые воды, содержащие большое количество осаждающих катионов-прекурсоров, например катионов бария или стронция, смешиваются с нагнетательной водой с относительно высоким содержанием анионов сульфата, что приводит к осаждению нерастворимых солей сульфатов (минеральные отложения). Риск закисления или образования отложения в продуктивном пласте может быть снижен, например, поддержанием концентрации сульфатов в смешанной нагнетаемой воде на уровне или ниже примерно 100 ppmv, предпочтительно на уровне или ниже примерно 75 ppmv, еще более предпочтительно на уровне или ниже примерно 50 ppmv или наиболее предпочтительно на уровне или ниже примерно 40 ppmv.

Также представляется, что в слабоминерализованную нагнетаемую воду в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины слабоминерализованной воды может быть добавлена одна или более добавки(ок) для стабилизации мелких частиц, с целью стабилизации коллекторской пластовой породы, способной высвобождать мелкие частицы. Добавка(ки) для стабилизации мелких частиц может вводиться в нагнетаемую воду либо в форме порошка (например, из засыпной воронки) или в форме концентрата (например, из резервуара с концентратом). Если на платформе нагнетательной скважины отсутствует засыпная воронка или резервуар для концентрата, концентрированный раствор неорганической соли, стабилизирующей мелкие частицы, может доставляться к платформе нагнетательной скважины танкером и вводиться непосредственно с танкера в смешанную нагнетаемую воду. В случае морского продуктивного пласта танкером может быть наливное судно.

Добавкой(ми), стабилизирующей мелкие частицы, может быть неорганическая соль, например соль двухвалентного катиона или соль калия. Предпочтительно солью двухвалентного катиона является соль кальция или соль магния, например хлорид кальция, бромид кальция, нитрат кальция, хлорид магния, бромид магния или нитрат магния. Предпочтительно солью двухвалентного катиона является хлорид кальция или нитрат кальция. Предпочтительно соль калия выбирают из хлорида калия, бромида калия и нитрата калия.

Использование нитрата калия, нитрата магния или нитрата калия в качестве добавки, стабилизирующей мелкие частицы, может быть более предпочтительно, поскольку соль азотной кислоты часто добавляют в нагнетаемую воду в ходе основного этапа заводнения для защиты от закисления. При этом соли азотной кислоты способствуют развитию нитратовосстанавливающих бактерий, которые могут вытеснить сульфатовосстанавливающие бактерии в борьбе за питательные вещества и усвояемый органический углерод. Соответственно, резервуар концентрата для соли азотной кислоты может находиться на платформе нагнетательной скважины. Учитывая, что расход нагнетаемой воды в нагнетательную скважину в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины обычно ниже, чем расход в нагнетательную скважину на основном этапе заводнения слабоминерализованной водой, приемистости скважины на платформе нагнетательной скважины для нитрата кальция, нитрата магния или нитрата калия может быть достаточно для обеспечения концентрации ионов кальция или ионов калия для этапа ввода в эксплуатацию (обычно, требуется более высокая концентрация для предотвращения ухудшения коллекторских свойств пласта в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины, чем для подавления закисления или образования отложений во время основного этапа заводнения).

В процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины слабоминерализованной воды составом

смешанного потока ОО-пермеата и НФ-пермеата (который, в частности, смешан с сильноминерализованной водой, например МВ, и/или с потоком концентрата стабилизатора мелких частиц) можно управлять для изменения ОСРТВ, ионного состава (например, изменяемой концентрации отдельных ионов или изменяемой концентрации по типам отдельных ионов, что может приводить к изменяемым соотношениям отдельных ионов или изменяемым соотношениям по типам отдельных ионов), концентрации одной или более добавок для стабилизации мелких частиц, или значений рН, обычно устанавливая значение каждого из этих параметров в заданных пределах. При этом начальные величины для химических характеристик смешанной нагнетаемой воды (например, концентрация ОСРТВ, концентрации одного или более отдельных ионов, концентрации ионов одного или более типов отдельных ионов, концентрации одной или более добавок для стабилизации мелких частиц или в некоторых случаях рН) могут быть введены в блок управления комплексной системы, и эти величины в дальнейшем могут автоматически изменяться системой управления (ступенчато или постепенно), в соответствии с запланированным профилем (законом) изменения/распределения концентрации (или в некоторых случаях в соответствии с профилем изменения рН), пока не будут достигнуты целевые величины для химических характеристик смешанной нагнетаемой воды для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой. Таким образом, имеются начальная и конечная заданные точки для состава смешанной нагнетаемой воды и зависимость концентрации (и в некоторых случаях зависимость рН), которая должна соблюдаться при перемещении между начальной и конечной заданными точками. Вообще, планируемый профиль концентрации (и в некоторых случаях зависимость рН) изменяет химические характеристики смешанной нагнетаемой воды на временном интервале.

Управление соотношением компонентов смеси ОО-пермеата и НФ-пермеата путем изменения количества ОО-пермеата, сбрасываемого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, дает надежный механизм управления заданной точкой концентрации ОСРТВ для смешанного потока нагнетаемой воды, который позволяет быстро реагировать на любое снижение скорости закачивания, возникающее в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины (например, в качестве индикации ухудшения коллекторских свойств пласта). Таким образом, изменение количества ОО-пермеата, отводимого от смесительной системы, предоставляет возможность для более быстрого реагирования, чем при попытке изменения расхода питательной воды в узлы ОО и узлы НФ установки деминерализации, благодаря наличию мертвых объемов в линиях, ведущих от узлов ОО и узлов НФ к точке(ам) слияния смесительной системы.

Смесительная система для выполнения смешивания различных подмешиваемых потоков может иметь ряд компонентов и датчиков. В некоторых случаях система может иметь датчики концентрации для измерения одной или более из общих концентраций растворенных твердых веществ (C_t), концентраций одного или более отдельных ионов (C_i), концентраций ионов одного или более типов отдельных ионов ($C_{i \text{ type}}$) в одном или более из подмешиваемых потоков (потока ОО-пермеата, потока НФ-пермеата и в некоторых случаях потока сильноминерализованной воды (например, морской воды)) и в смешанном потоке нагнетаемой воды или их комбинаций. В некоторых случаях система также может содержать датчики для измерения рН одного или более из этих потоков. В некоторых случаях система также может содержать датчик для определения концентрации добавки(ок) для стабилизации мелких частиц в потоке концентрата для стабилизации мелких частиц. Для определения концентрации ОСРТВ может быть использован датчик проводимости, датчик концентрации ионов (обычно, стеклянные датчики, имеющие мембраны, проницаемые для определенных ионов или ионов определенного типа), могут быть использованы для определения концентрации отдельных ионов или отдельных ионов по типам, а датчики рН могут быть использованы для определения рН. В частности, смесительная система может иметь датчики концентрации ионов для измерения концентрации по меньшей мере одного иона из группы, включающей анион хлорида, анион бромиды, катион калия, анион нитрата, анион сульфата в одном или более подмешиваемых потоков и смешанного потока нагнетаемой воды.

Система также может включать датчики расхода для измерения расходов одного или более из потоков: подмешиваемого потока ОО-пермеата, отводимого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока НФ-пермеата, отводимого потока НФ-пермеата, подмешиваемого потока сильноминерализованной воды, потока концентрата состава для стабилизации мелких частиц и смешанного потока нагнетаемой воды.

Блок управления включает центральный процессор (ЦП), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), жесткий диск (ЖД), интерфейсы ввода/вывода (I/O интерфейс) и т.д. и обеспечивает выполнение посредством ЦП заданной программы управления, хранящейся в ПЗУ. Программа управления может конфигурировать процессор (при выполнении ее процессором) для осуществления любых описанных здесь операций и способов.

Датчики концентрации, датчики расхода и любые другие датчики, описанные здесь (например, датчики рН), могут связываться с блоком управления системы управления посредством любых средств связи, например, через непосредственное электрическое соединение, беспроводное электрическое соединение (например, Wi-Fi, Bluetooth) или посредством оптоволоконного кабеля (оптоволоконной линии передачи телеметрии).

Составом смешанной нагнетаемой воды можно управлять регулированием одного или более пара-

метров системы: степени открытия клапана линии сброса ОО-пермеата, степени открытия клапана на опциональной обводной линии сильноминерализованной воды, степени открытия клапана на НФ-линии или линии открытия клапана на опциональной линии концентрата для стабилизации мелких частиц.

Блок управления может определять расходы потока ОО-пермеата, потока НФ-пермеата, опционального потока сильноминерализованной воды (например, МВ), опционального потока концентрата для стабилизации мелких частиц, которые должны подводиться к точке(ам) слияния смесительной системы, либо их комбинаций для получения смешанной нагнетаемой воды, состав которой соответствует профилю концентрации (или изменению концентрации по определенному профилю/закону в условиях восстановления во внештатной ситуации) на основе ионных концентраций C_b , C_i или $C_{i \text{ type}}$ и в некоторых случаях на основе концентрации любой из добавок для стабилизации мелких частиц. Контроллер может также изменять расход и состав смешанной нагнетаемой воды в ответ на любое ухудшение скорости закачивания и значит на возможное ухудшение коллекторских свойств пласта. Например, в таком случае концентрация ОСРТВ смешанной нагнетаемой воды может быть увеличена в соответствии с профилем концентрации в условиях восстановления до величины, при которой приемистость скважины стабилизируется и может удерживаться на этом уровне до того, как будет сделана дальнейшая попытка снижения концентрации ОСРТВ смешанной нагнетаемой воды.

При этом блок управления может регулировать расходы различных подмешиваемых потоков, направленных к точке(ам) слияния смесительной системы и значит отношений в смеси различных подмешиваемых потоков, для постепенного смещения состава смешанной нагнетаемой воды к целевому составу для основного этапа заводнения без ухудшения скорости закачивания (и, если применимо, без риска закисления продуктивного пласта или появления в нем отложений). Блок управления может регулировать количество ОО-пермеата (или НФ-пермеата), отводимого от смесительной системы (например, за борт) по линии сброса ОО-пермеата (или по линии сброса НФ-пермеата). Блок управления также может регулировать расход потока сильноминерализованной воды, которая может быть в некоторых случаях смешана с ОО-пермеатом и НФ-пермеатом для формирования смешанной нагнетаемой воды, посредством клапана управления расходом на обводной линии сильноминерализованной воды. При необходимости, однако, любой излишек сильноминерализованной воды также может быть отведен из смесительной системы (например, за борт) по линии сброса сильноминерализованной воды, оснащенной "разгрузочным клапаном" сильноминерализованной воды. Блок управления также может регулировать расход концентрата для стабилизации мелких частиц, который может быть в некоторых случаях смешан с ОО-пермеатом и НФ-пермеатом для формирования нагнетаемой воды, посредством клапана управления на линии концентрата для стабилизации мелких частиц в смесительной системе. В альтернативном случае, если имеется резервуар для концентрата для стабилизации мелких частиц, оборудованный насосом-дозатором для точного дозирования концентрата для стабилизации мелких частиц, подаваемого в смешанную нагнетаемую воду, то блок управления может регулировать количество добавки для стабилизации мелких частиц, отмеренное в смешанную нагнетаемую воду, используя насос-дозатор для согласования с профилем концентрации добавки(ок) для стабилизации мелких частиц. Насос-дозатор может быть соединен с измерителем расхода, который определяет количество добавки(ок) для стабилизации мелких частиц, вносимой в смешанную нагнетаемую воду.

Комплексная система дополнительно включает нагнетательную систему, содержащую нагнетательную линию и один или более нагнетательных насосов, для нагнетания смешанной нагнетательной воды в нагнетательную скважину, пробуренную в нефтеносный слой пластовой породы.

Смешивание различных потоков может быть автоматическим и управляемым в реальном времени с учетом влияния изменения состава (например, изменения концентрации ОСРТВ, изменения концентрации одного или более отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов, изменения концентрации добавки для стабилизации мелких частиц или изменения рН) смешанного потока нагнетаемой воды на приемистость скважины (что служит, например, индикатором возможного ухудшения коллекторских свойств пласта). Изменение приемистости скважины может приводить к повышению давления в нагнетательной скважине (здесь и далее называемом "давлением в скважине"), повышению давления в устьевой арматуре нагнетательной скважины (здесь и далее называемым "давлением в устье скважины"), снижению расхода смешанной нагнетаемой воды в нагнетательной линии нагнетательной системы, измеренного на выходе нагнетательного насоса(ов) (здесь и далее называемого "расходом смешанной нагнетательной воды") или комбинаций этих параметров. При необходимости, скорость снижения концентрации ОСРТВ (минерализации) смешанного потока нагнетаемой воды может быть уменьшена, либо концентрация ОСРТВ (минерализация) может временно поддерживаться неизменной, либо может быть увеличена изменением концентрации по определенному профилю в условиях восстановления, если имеется свидетельство потери приемистости скважины. Аналогично, скорость изменения ионного состава (скорость изменения концентрации одного или более отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов) или скорость изменения рН смешанной нагнетаемой воды может быть сокращена, либо изменение может временно проводиться в обратном направлении относительно профиля концентрации в условиях восстановления (или ионный состав может временно поддерживаться постоянным), если имеются признаки потери приемистости скважины.

Как было показано выше, комплексная система включает систему управления. Система управления содержит блок управления, в который могут быть введены

исходный состав нагнетаемой воды, определяемый начальными заданными величиной(ами) для одной или более химических характеристик нагнетаемой воды;

целевой состав нагнетаемой воды, определенный планируемыми заданными величинами для одной или более химических характеристик;

планируемый профиль концентрации для одной или более химических характеристик в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины;

один или более профилей концентрации в условиях восстановления для одной или более химических характеристик в нештатной ситуации, возникающей при вводе в эксплуатацию нагнетательной скважины и являющейся индикатором потери приемистости скважины;

в некоторых случаях планируемый профиль рН и профиль рН в условиях восстановления;

целевой профиль расхода нагнетаемой воды при вводе в эксплуатацию нагнетательной скважины и одно или более максимально допустимых значений давления в скважине, максимально допустимого увеличения давления в устье скважины и максимально допустимого падения расхода смешанной нагнетаемой воды в нагнетательной линии в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины.

Начальная заданная величина(ы) для химической характеристики(ик) определяет(ют) состав нагнетательной воды, обеспечивающий сниженный риск ухудшения коллекторских свойств пласта в горной породе, окружающей нагнетательную скважину, в сравнении с составом, определяемым целевой заданной величиной(ами).

Химические характеристики для смешанной нагнетаемой воды могут быть выбраны из группы, состоящей из концентрации растворенных твердых веществ (ОСРТВ), ионной силы, концентрации одного или более отдельных ионов (например, анионов сульфатов, анионов нитратов, катионов кальция, катионов магния или катионов калия), концентрации ионов по типам отдельных ионов (например, одновалентных катионов, одновалентных анионов, многовалентных анионов, многовалентных катионов или двухвалентных катионов), соотношений ионов по типам отдельных ионов, соотношений отдельных ионов (например, относительный показатель адсорбции натрия), концентрации одной или более добавок для стабилизации мелких частиц и рН смешанного потока нагнетаемой воды.

Для специалиста должно быть понятно, что повышение давления в скважине, увеличение давления в устье скважины или снижение расхода нагнетательной воды в нагнетательной линии происходит из-за потери приемистости скважины в отношении смешанной нагнетаемой воды и может служить индикатором ухудшения коллекторских свойств пласта, поэтому установление предела на повышение давления (т.е. пороговой величины давления, выше которой наступает недопустимое падение приемистости скважины) или предела на снижение расхода (т.е. пороговой величины расхода, ниже которой наступает недопустимое падение приемистости скважины) поддерживает нагнетательную скважину в безопасном режиме, когда ограничивается степень ухудшения коллекторских свойств пласта.

Планируемый профиль концентрации может включать один или более из режимов: постепенное снижение концентрации ОСРТВ; постепенное снижение концентрации одного или более отдельных ионов; постепенное снижение концентрации ионов по типам отдельных ионов; постепенное изменение соотношения отдельных ионов или постепенное изменение соотношения(ий) ионов по типам отдельных ионов, постепенное снижение рН. В альтернативном подходе профиль концентрации может включать ступенчатые снижения одного или более из параметров: концентрации ОСРТВ; концентрации одного или более отдельных ионов, концентрации ионов по типам отдельных ионов и рН; или ступенчатые изменения соотношений отдельных ионов или соотношений ионов по типам отдельных ионов. Вслед за каждым ступенчатым снижением или ступенчатым изменением следует промежуток времени без изменений состава нагнетаемой воды для определения, не произошло ли падения приемистости скважины из-за ухудшения коллекторских свойств пласта.

Давление в скважине или давление в устье скважины может быть измерено в режиме реального времени с использованием измерительного устройства, например датчика давления, связанного с блоком управления любым подходящим средством связи, для организации управления с обратной связью. В случае любого увеличения давления в скважине или любого увеличения давления в устье скважины до величины, приближающейся к максимально допустимой введенной величине, блок управления изменяет профиль концентрации (например, поддерживая постоянным отношение компонентов смеси потока ОО-пермеата и НФ-пермеата) до тех пор, пока давление в нагнетательной скважине или на устье скважины не стабилизируется или не начнет падать. В альтернативном варианте может выполняться мониторинг в реальном времени расхода нагнетаемой воды в нагнетательной линии с использованием измерительного устройства, например, датчика расхода, связанного с блоком управления любым подходящим средством связи для организации управления с обратной связью. В случае любого снижения расхода до величины, приближающейся к введенной максимально допустимой величине, блок управления изменяет профиль концентрации (например, поддерживая постоянным отношение компонентов смеси потока ОО-пермеата и НФ-пермеата) до тех пор, пока расход в нагнетательной линии не стабилизируется или не начнет расти.

Однако же, если давление или расход не стабилизируются, блок управления может изменить состав

нагнетаемой воды либо смещением вдоль планируемого профиля концентрации обратно к начальной заданной величине(ам) для химической характеристики(ам), либо может следовать профилю концентрации в условиях восстановления для нештатной ситуации или состоянию. Этот профиль концентрации в условиях восстановления может быть введен в блок управления, и его соблюдение должно обеспечивать выполнение плана увеличения одного или более параметров из концентрации ОСРТВ, концентраций одного или более отдельных ионов, концентраций ионов по одному или более типам отдельных ионов, или концентрации(й) добавки(ок) для стабилизации мелких частиц в случае, если не стабилизируется давление в скважине или в устье скважины (или не стабилизируется расход в нагнетательной линии). Таким образом, блок управления может изменять состав нагнетаемой воды в соответствии с планируемым профилем концентрации или профилем концентрации в условиях восстановления путем одного или более способов: увеличения количества ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы, увеличения количества опционального подмешиваемого потока сильноминерализованной воды в смешанной нагнетаемой воде или количества опционального потока концентрата для стабилизации мелких частиц в смешанной нагнетаемой воде.

В некоторых случаях начальная заданная точка для концентрации ОСРТВ нагнетаемой воды в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины может составлять в интервале от 10000 до 22500 мг/л, предпочтительно от 15000 до 17500 мг/л. Целевая заданная точка для концентрации ОСРТВ нагнетаемой воды для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой обычно составляет в интервале от 500 до 5000 ppm, предпочтительно от 500 до 3000, в частности от 1000 до 2000 ppm. Концентрацию ОСРТВ предпочтительно снижают в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины на период времени до одной недели, например от двух до пяти дней.

Когда учитывается концентрация отдельных ионов, концентрация ионов кальция в нагнетаемой воде может быть снижена относительно величины начальной заданной точки, составляющей примерно 400 мг/л, до целевой заданной точки с величиной в интервале от 5 до 25 мг/л. Кроме того, концентрация ионов сульфата может быть снижена от начальной установленной точки примерно 2000 мг/л до целевой установленной точки менее 40 мг/л.

Минерализация может снижаться постепенно, либо ее изменение может быть ступенчатым.

В случае постепенного снижения концентрации ОСРТВ нагнетаемой воды профиль концентрации обычно представляет асимптотическую кривую, падающую от начальной концентрации ОСРТВ к целевой концентрации ОСРТВ для основного этапа заводнения, причем скорость спадания снижается по мере приближения концентрации ОСРТВ к уровню, при котором ухудшение коллекторских свойств пласта произошло, если бы пластовая порода испытала "скачок минерализации" в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины (например, при вводе скважины в эксплуатацию либо с быстрым изменением минерализации нагнетаемой воды, либо в начале нагнетания воды нагнетаемой водой с концентрацией ОСРТВ, равной целевой величине). Обычно скорость снижения может падать при уменьшении концентрации ОСРТВ ниже 10000 ppmv.

Начальная скорость снижения концентрации ОСРТВ может, таким образом, составлять в интервале от 100 до 1000 мг/л в час. Когда минерализация упадет ниже 10000 мг/л, скорость снижения концентрации ОСРТВ может сократиться до 50-500 мг/л в час. Когда минерализация упадет ниже 7000 мг/л, скорость снижения может сократиться до 20-200 мг/л в день. Специалисту, однако, должно быть понятно, что для каждого этапа минерализация будет ниже, чем предыдущая минерализация.

В случае ступенчатого изменения минерализации начальная минерализация может составлять в интервале от 15000 до 22000 мг/л и может снижаться ступенями величиной в интервале от 1000 до 5000 мг/л, пока концентрация ОСРТВ не составит примерно 10000 мг/л. Затем степень убывания минерализации может быть уменьшена до величины в интервале от 250 до 500 мг/л. Когда минерализация упадет ниже 7000 мг/л, ступени снижения могут быть еще уменьшены, например, до 100-250 мг/л. На каждом уровне минерализация обычно может поддерживаться в течение от 1 до 10 ч, предпочтительно от 1 до 5 ч. При возникновении нештатной ситуации концентрация ОСРТВ может быть увеличена, например, до предыдущей величины или промежуточной величины, и может проводиться мониторинг давления в скважине или на устье скважины для определения того, произошла ли стабилизация давления, либо мониторинг расхода в нагнетательной линии для определения того, произошла ли стабилизация расхода.

Как было показано выше, планируемый профиль концентрации для одной или более химической характеристики нагнетаемой воды также может содержать снижение концентрации одного или более отдельных ионов или ионов одного или более типов отдельных ионов, изменения отношений отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов, изменения концентрации(ий) одной или более добавок для стабилизации мелких частиц или комбинацию перечисленного. Блок управления может определять расходы НФ-пермеата, ОО-пермеата и в некоторых случаях сильноминерализованной воды, концентрата для стабилизации мелких частиц или их комбинаций у точки(ек) слияния смесительной системы и в некоторых случаях расходы НФ-пермеата и ОО-пермеата в линиях сброса, на основе первоначально заданных величин, целевых заданных величин и планируемого профиля концентрации для одной или более из этих дополнительных химических характеристик так, чтобы концентрации одного или более отдельных ионов, концентрации ионов одного или более типов отдельных ионов, отношения отдельных ионов, от-

ношения ионов по типам отдельных ионов или концентрации добавки(ок) для стабилизации мелких частиц в нагнетаемой воде соответствовали профилю концентрации.

При наличии риска закисления продуктивного пласта или образования в нем отложений блок управления также изменяет концентрацию анионов сульфата нагнетаемой воды от начальной величины (например, менее 200 мг/л) до целевой величины для основного этапа заводнения, составляющей менее 40 г/л.

В комплексной системе из-за необходимости быстрого изменения концентрации ОСТРВ смешанной нагнетаемой воды при вводе в эксплуатацию нагнетательной скважины общая концентрация C_t (и в некоторых случаях концентрация отдельных ионов) и расход Q_t нагнетаемой воды (и расходы Q_i отдельных подмешиваемых потоков и отводимых потоков ОО и НФ) могут подвергаться постоянному мониторингу (в реальном времени) вместе с давлением в нагнетательной скважине вблизи нефтеносного продуктивного пласта или давлением в устье скважины, измеренным датчиком давления (или расходом нагнетательной воды в линии нагнетательной системы на выходе нагнетательного насоса, измеренным датчиком расхода). Планируемый профиль концентрации смешанной нагнетаемой воды может быть скорректирован с учетом давления в нагнетательной скважине или в устье скважины (или с учетом расхода в нагнетательной линии на выходе нагнетательного насоса(ов)) с целью борьбы с нарастанием давления (или падением расхода) а значит с потерей приемистости скважины на заданном уровне из-за ухудшения коллекторских свойств пласта. Таким образом, управляя давлением в нагнетательной скважине или в устье скважины (или расходом в нагнетательной линии) посредством регулирования состава смешанной нагнетаемой воды в реальном времени согласно профилю концентрации или профилю концентрации в условиях восстановления, можно избежать попадания в режим, где существует риск ухудшения коллекторских свойств пласта, либо снизить до приемлемого уровня степень ухудшения коллекторских свойств пласта, происходящего при вводе в эксплуатацию нагнетательной скважины. В частности, концентрацию ОСРТВ (минерализацию) смешанной нагнетаемой воды можно изменять в ответ на увеличение давления в нагнетательной скважине или устье скважины (или в ответ на падение расхода в нагнетательной линии) в реальном времени, либо поддерживая концентрацию ОСРТВ на уровне концентрации, достигнутой при движении вдоль планируемого профиля концентрации, либо поднимая концентрацию ОСРТВ до более высокой величины смещением назад вдоль планируемого профиля концентрации или вдоль профиля концентрации для условий восстановления, пока давление в скважине не стабилизируется или не начнет падать. Использование линий сброса ОО и НФ, оборудованных регулирующими клапанами, обеспечивает быстрые регулировки (в реальном времени) к заданным точкам для концентрации ОСРТВ и состава отдельных ионов в потоке нагнетаемой воды.

При этом давление в нагнетательной скважине или в устье скважины может быть измерено измерительным устройством, например датчиком давления, связанным с блоком управления любым подходящим техническим средством связи для обеспечения управления с использованием обратной связи в случае, когда приемистость при закачивании нагнетательной воды в горную породу, окружающую нагнетательную скважину, начинает падать из-за ухудшения коллекторских свойств пласта. Снижение приемистости скважины может также приводить к снижению расхода нагнетаемой воды после нагнетательного насоса(ов) в нагнетательной системе нагнетательной скважины. Соответственно, датчик расхода должен быть расположен после нагнетательного насоса(ов), и блок управления может получать данные расхода, при этом в блок управления вводится максимально допустимое падение расхода. Блок управления также может измерять концентрацию ОСРТВ посредством датчика концентрации ионов и может изменять концентрацию ОСРТВ в потоке нагнетаемой воды до более низкого значения согласно профилю концентрации путем снижения количества ОО-пермеата, отводимого через линию сброса, и поддерживать концентрацию ОСРТВ на меньшем уровне в течение заданного промежутка времени, для определения, не приближается ли рост давления нагнетательной воды к максимально допустимому росту, или не приближается ли снижение расхода нагнетаемой воды к максимально допустимому снижению. Если это происходит, блок управления может принять решение продолжать поддерживать концентрацию ОСРТВ на более низком уровне, увеличивая заданный промежуток времени. В альтернативном варианте, блок управления может принять решение увеличить концентрацию ОСРТВ нагнетаемой воды до большей величины согласно профилю концентрации в условиях восстановления, путем увеличения количества ОО-пермеата, отводимого через линию сброса ОО, и удерживать концентрацию ОСРТВ на более высоком уровне с одновременным мониторингом давления в скважине или давления в устье скважины, для определения, происходит ли стабилизация давления, или оно начинает снижаться к своей первоначальной величине. Затем блок управления может сделать новую попытку снизить минерализацию потока нагнетательной воды в соответствии с планируемым профилем концентрации (профилем концентрации). В некоторых случаях блок управления может принять решение снизить расход потока нагнетаемой воды или остановить закачивание потока нагнетаемой воды в нагнетательную скважину, если давление продолжает подниматься. Блок управления может тогда принять решение о нагнетании концентрата для стабилизации мелких частиц вблизи ствола нагнетательной скважины, перед возобновлением ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины.

Когда давление в нагнетательной скважине стабилизируется, блок управления может выбрать но-

вую нижнюю заданную точку для концентрации ОСТРВ смешанной нагнетаемой воды и принять профиль снижения концентрации ОСРТВ для достижения новой нижней заданной точки, снова проводя мониторинг давления в скважине или в устьевой арматуре скважины. Профиль/закон снижения концентрации определяет, насколько открыт клапан сброса ОО-пермеата (например, степень открытия). Этим определяется корреляция между концентрацией ОСРТВ (или ионным составом) смешанного потока нагнетаемой воды и соотношением смешивания для НФ-пермеата и ОО-пермеата и количеством любой опциональной сильноминерализованной воды и концентрата для стабилизации мелких частиц, включенного в смешанный поток воды. Эта корреляция основана на предположении, что составы НФ-пермеата, ОО-пермеата, опциональной сильноминерализованной воды и опционального концентрата для стабилизации мелких частиц остаются в заранее установленных пределах. Соотношение смешивания ОО-пермеата и НФ-пермеата вместе с расходом потока нагнетаемой воды определяет расход ОО-пермеата (или любого НФ-пермеата) для отведения через линию сброса ОО (и линию сброса НФ) и расхода ОО-пермеата и НФ-пермеата для подачи к точке слияния НФ-пермеата и ОО-пермеата, для формирования смешанного потока нагнетаемой воды. В блоке управления (например, в памяти блока управления) может быть заранее сохранена корреляция между степенями открытия разгрузочного клапана ОО (и разгрузочного клапана НФ), а значит и расходами ОО-пермеата и НФ-пермеата к точке слияния для смешанной нагнетаемой воды, и составом потока нагнетаемой воды (концентрацией ОСРТВ и концентрациями отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов). Также может сохраняться корреляция между степенью открытия клапана на опциональной обводной линии сильноминерализованной воды (например, МВ) и степенью открытия клапана на линии концентрата для стабилизации мелких частиц (или регулировки насоса-дозатора на линии концентрата для стабилизации мелких частиц) и составом потока нагнетаемой воды. Далее блок управления регулирует степень открытия клапана сброса ОО так, чтобы установить заданную степень открытия для достижения состава смешанной нагнетаемой воды согласно профилю концентрации (или профилю концентрации в условиях восстановления). В результате, в точку(и) слияния смесительной системы подводится ОО-пермеат и НФ-пермеат с скорректированными расходами для формирования смешанной нагнетаемой воды с составом, соответствующим профилю концентрации.

Если имеет место потеря приемистости нагнетательной скважины, о чем свидетельствует рост давления в скважине, может быть увеличена концентрация ОСРТВ (минерализация) смешанной нагнетаемой воды согласно профилю концентрации в условиях восстановления, предназначенного для восстановления приемистости скважины (скорости закачивания), путем увеличения степени открытия разгрузочного клапана ОО, пока не стабилизируется давление в скважине или в устье скважины и не начнет снижаться (или не стабилизируется и не начнет повышаться расход нагнетаемой воды). Путем непрерывного мониторинга давления в скважине или на арматуре устья скважины (или расхода нагнетаемой воды) в реальном времени возможно предотвратить значительное увеличение давления (или значительное падение расхода) и значит предотвратить значительную потерю приемистости скважины. Таким образом, можно постепенно снижать или делать ступенчатые изменения в концентрации ОСРТВ (минерализации) (или в концентрации отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов) в воде, нагнетаемой в нагнетательную скважину, в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины, путем использования профиля/закона снижения минерализации (или профиля снижения концентрации отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов), который устанавливается заранее и, согласно оценкам, может снизить риск ухудшения коллекторских свойств пласта. Также возможно провести в реальном времени регулировки минерализации и состава нагнетаемой воды, если имеется свидетельство о неприемлемом снижении скорости закачки, что обеспечит надежное введение в эксплуатацию нагнетательной скважины со слабоминерализованной водой в стабильном состоянии, для нагнетания слабоминерализованной воды с целевой минерализацией (или ионным составом) на основном этапе заводнения слабоминерализованной водой.

Может быть предпочтительно, чтобы расход НФ-пермеата к точке слияния при формировании смешанной нагнетаемой воды поддерживался постоянным в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины со слабоминерализованной водой и повышался для достижения расхода для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой только тогда, когда была достигнута целевая минерализация для основного этапа для нагнетательной скважины. При этом часть НФ-пермеата может постоянно отводиться через линию сброса НФ-пермеата в процессе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины. Также может быть предпочтительно временно снизить расход потока нагнетаемой воды в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины слабоминерализованной воды, если обнаружен значительный рост давления в скважине или давления на устьевой арматуре скважины, указывающий на значительную потерю приемистости (т.е. увеличение давления по меньшей мере на 5%, например по меньшей мере на 10% выше введенного максимально допустимого превышения давления).

Следует понимать, что планируемый профиль концентрации и профиль концентрации в условиях восстановления для изменения минерализации (концентрация ОСРТВ), ионной силы, концентрации отдельных ионов, концентрации ионов по типам отдельных ионов и концентрации(ий) опциональных добавок для стабилизации мелких частиц изменяется в зависимости от состава пластовой породы углеводородосодержащих слоев продуктивного пласта и, в частности, от уровней содержания разбухающих и

мигрирующих мелких частиц (например, глины и частиц кремнезема), которые, как известно, имеют отношение к ухудшению коллекторских свойств пласта.

Планируемые профили концентрации и профили концентрации в условиях восстановления, используемые с любыми из описанных здесь системами и способами, могут быть определены посредством анализа образца породы, взятого из нефтеносного слоя продуктивного пласта вблизи нагнетательной скважины. Анализ породы может включать, помимо прочего, определение наличия мелких частиц, их количества и типов. В некоторых вариантах выполнения анализ пластовой породы может содержать определение состава глины в интервале от примерно 2 мас.% до примерно 20 мас.%. Аналитические методы количественных оценок могут включать геофизический каротаж, точечный анализ на шлифах, рентгеновскую дифракцию или ситовый анализ. Планируемый профиль концентрации может быть определен с использованием корреляции ухудшения коллекторских свойств пласта, возникающего при различных профилях концентрации для нагнетаемых вод для ряда образцов породы с различным содержанием глины и составом глины. Оптимальный профиль концентрации может быть выбран для образца породы, наиболее близко совпадающего по составу с пластовой породой, окружающей нагнетательную скважину (т.е. используя статистические промысловые данные). В альтернативном варианте, на образцах породы, отобранных из нефтеносного слоя продуктивного пласта в окрестностях нагнетательной скважины, могут быть проведены эксперименты с использованием различных вариантов минерализации нагнетаемой воды для определения оптимального профиля концентрации для ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины.

Системы и способы в соответствии с описанными принципами будут проиллюстрированы далее со ссылкой на чертеж.

На чертеже показана комплексная система для получения смешанной нагнетаемой воды переменного состава для использования в качестве нагнетательной воды при вводе в эксплуатацию нагнетательной скважины для слабоминерализованной воды. В данном варианте комплексная система включает: установку деминерализации; смесительную систему, содержащую разные линии для разных подмешиваемых потоков, для формирования смешанной нагнетательной воды изменяемого состава; нагнетательную систему, содержащую нагнетательную линию 17 и один или более насосов 18 для нагнетания нагнетаемой воды в нагнетательную скважину 20 для слабоминерализованной воды, пробуренную в нефтеносный слой 22 продуктивного пласта; и систему управления, содержащую блок управления 50 для управления работой комплексной системы.

Установка деминерализации включает мембранный блок 1 для обработки сильноминерализованной питательной воды (обычно морской воды). Мембранный блок 1 содержит основную питательную линию 2, подающий насос 3, узел 4 ОО и узел 5 НФ (каждым узлом 4, 5 может быть одноступенчатый или многоступенчатый узел). Как на узел 4 ОО, так и на узел 5 НФ может подаваться одна и та же питательная вода (например, МВ), как это показано на чертеже. В этом случае основная питательная линия разделяется, образуя питательную линию 14 для узла 4 ОО и питательную линию 12 для узла 5 НФ. Представляется, однако, что концентрат ОО (также называемый "ретентатом") из первой ОО-ступени, также может разделяться для формирования питающего потока для второй ОО-ступени и питающего потока для узла НФ.

Узел 4 ОО содержит несколько модулей ОО. Узел 5 НФ содержит несколько модулей НФ. Как правило, число модулей в узле 4 ОО и в узле 5 НФ выбирается в соответствии с требуемым объемом производства ОО-пермеата и НФ-пермеата для нагнетаемой воды для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой. Установка деминерализации также должна быть оборудована обводной линией 6 для сильноминерализованной воды (например, МВ).

Комплексная система включает клапаны (трубопроводную арматуру) V1-V5 и различные линии (трубопроводы), формирующие пути прохождения потока, описанные ниже. Клапанами V1-V5 могут быть дроссельные клапаны, устанавливаемые в различные положения между полностью открытым положением и полностью закрытым положением. Потоками через мембранный блок 1 и давлениями на нем можно управлять подающим насосом 3, клапанами V1-V5 или любой их комбинацией. Датчики Q1-Q9 расхода используются для определения расходов в разных линиях прохождения и передачи данных расхода в блок управления по линиям передачи электрического сигнала (пунктирные линии на чертеже). Однако датчики Q1 и Q2 расхода на линии 7 концентрата НФ и линии 8 концентрата ОО могут не использоваться. Также используются датчики S1-S7 концентрации ионов для определения одного или более параметров из группы, включающей общую концентрацию растворенных ионов (т.е. концентрацию ОСРТВ), концентрацию одного или более отдельных ионов или концентрацию ионов по одному или более типам отдельных ионов в различных линиях потока или комбинацию этих параметров. Данные концентрации ионов также могут быть переданы в блок 50 управления по линии передачи сигналов управления, как это описано в настоящем раскрытии. Датчики S4 и S6 на линии 7 концентрата НФ и линии 8 концентрата ОО, соответственно, могут не использоваться.

В варианте выполнения, показанном на фиг. 1, подающий насос 3 передает сильноминерализованную воду к узлу 4 ОО по линиям 2 и 14, где сильноминерализованная вода разделяется на ОО-пермеат и ОО-концентрат, и к узлу НФ по линиям 2 и 12, где сильноминерализованная вода разделяется на НФ-

пермеат и НФ-концентрат. Давления сильноминерализованной питательной воды на узел 4 ОО и узел 5 НФ могут быть отрегулированы (например, с использованием подпорного насоса для входящего потока ОО или клапаном с понижением давления для входящего потока НФ) для согласования их с рабочим давлением модулей ОО узла 4 ОО и модулей НФ узла 5 НФ (модули НФ обычно работают при более низком давлении, чем модули ОО). В некоторых случаях подпорный насос 3 может накачивать часть сильноминерализованной питательной воды по обводной линии 6.

Клапаны V1 и V2 на дренажных линиях 8 и 7, соответственно, по меньшей мере частично, открыты для отведения концентрата ОО и НФ-концентрата из смесительной системы. Протекающий по линии 13 НФ-пермеат далее объединяется с ОО-пермеатом, протекающим по линии 9, образуя объединенный ОО/НФ-пермеат, протекающий по линии 15.

Соотношение в смеси между НФ-пермеатом и ОО-пермеатом можно изменять изменением степени открытия дроссельных клапанов на линии 11 сброса ОО-пермеата и/или линии 10 сброса НФ-пермеата для изменения состава объединенного ОО/НФ-пермеата. В некоторых случаях изменяемые количества сильноминерализованной воды (например, морской воды (МВ)) могут нагнетаться из обводной линии 6 сильноминерализованной воды в объединенный ОО/НФ-пермеат, протекающий по линии 15 для регулирования состава смешанной нагнетаемой воды. В некоторых случаях концентрат для стабилизации мелких частиц хранится в резервуаре 30 для концентрата. Как правило, резервуар 30 для концентрата оборудован дозирующим насосом 25, благодаря чему из линии 16 могут нагнетаться изменяемые количества концентрата для стабилизации мелких частиц в ОО/НФ-пермеат, протекающий по линии 15, для регулирования состава смешанной нагнетаемой воды.

Полученная смешанная нагнетаемая вода далее закачивается в нагнетательную скважину 20 по нагнетательной линии 17 одним или более нагнетательными насосами 18.

Как было показано выше, планируемый профиль концентрации для изменения состава смешанной нагнетаемой воды в ходе ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины вводится в блок 50 управления. Изменение состава автоматизировано в реальном времени либо в соответствии с планируемым профилем концентрации (вводимым в блок управления) для получения целевого состава слабоминерализованной воды для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, либо, в случае нештатной ситуации или происшествия, в соответствии с профилем концентрации в условиях восстановления (вводимым в блок управления) для урегулирования нештатной ситуации или проблемы. Нештатной ситуацией или происшествием может быть снижение приемистости скважины, о чем свидетельствует датчик Q9 падения расхода, или рост давления в нагнетательной линии 20 вблизи углеводородного несущего слоя продуктивного пласта, отмечаемый датчиком 23 (или рост давления в устьевой арматуре). Как правило, минимальная величина расхода или максимальная величина давления в нагнетательной скважине (или устьевой арматуре) вводится в блок 50 управления при возникновении нештатной ситуации или происшествия, если расход падает до величины, равной введенному минимальному расходу, или приближающейся к нему, или давление возрастает до величины, равной максимальному введенному давлению, или приближающейся к нему.

Блок 50 управления направляет команды на изменение отношение смешивания ОО-пермеата и НФ-пермеата посредством изменения степени открытия дроссельных клапанов V4 и/или V3 (и в некоторых случаях команды на изменение количества сильноминерализованной воды или концентрата для стабилизации мелких частиц, дозировано добавляемого в объединенный ОО/НФ-пермеат, посредством изменения степени открытия дроссельного клапана на обводной линии 6 сильноминерализованной воды или изменения в работе насоса-дозатора 25) для получения состава в соответствии с планируемым профилем концентрации для получения целевого состава для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, либо в случае нештатной ситуации или происшествия состава в соответствии с профилем концентрации в условиях восстановления в случае нештатной ситуации.

Блок 50 управления может, таким образом, осуществлять мониторинг датчика 23 давления на увеличение давления в скважине (либо может осуществлять мониторинг датчика давления, установленного в устьевой арматуре, на увеличение давления устьевой скважины) и/или может осуществлять мониторинг датчика Q9 расхода, расположенного в нагнетательной линии 17, на падение расхода нагнетаемой воды (где увеличение давления или падение расхода свидетельствует о приемистости закачивания из-за ухудшения коллекторских свойств пласта). Если увеличение давления или снижение расхода остается в допустимых пределах, блок управления продолжит регулирование состава смешанной нагнетаемой воды в соответствии с планируемым профилем концентрации. Если же, однако, увеличивающееся давление достигает введенного максимального давления и/или расход в линии потока достигает введенного минимального расхода, блок 50 управления изменяет состав нагнетаемой воды в соответствии с планируемым профилем концентрации для нештатной ситуации или происшествия, одним или более способами из

увеличивает концентрацию ОСРТВ нагнетаемой воды путем увеличения отношения НФ-пермеата к ОО-пермеату, увеличивает содержание двухвалентных катионов в нагнетаемой воде (в частности, содержание катионов кальция) путем добавления увеличенного количества МВ в объединенный поток ОО/НФ-пермеата; или

добавляет увеличенное количество концентрата для стабилизации мелких частиц в объединенный

поток ОО/НФ-пермеата.

Хотя были показаны и описаны предпочтительные варианты выполнения изобретения, специалист может предложить его модификации, не выходящие за пределы области его притязаний и приведенного раскрытия. Описанные здесь варианты выполнения носят исключительно иллюстративный характер и не предполагают ограничения изобретения. Большое число вариаций и модификаций описанных здесь систем, оборудования и способов могут быть реализованы и попадают в область притязаний изобретения. Например, могут быть изменены относительные размеры различных частей, материалы, из которых выполнены различные части и другие параметры. Соответственно, область защиты изобретения не сводится к представленным здесь вариантам выполнения, а ограничивается только следующей далее формулой изобретения, область защиты которой должна включать все эквиваленты объекта изобретения согласно его формуле. Если не указано иначе, шаги в способе могут осуществляться в любом порядке. Перечисление идентификаторов (a), (b), (c) или (1), (2), (3) перед шагами в пункте формулы на способ не предполагает и не определяет определенный порядок шагов, а скорее используется для упрощения последующих ссылок на эти шаги.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комплексная система для получения смешанного потока нагнетаемой воды для нагнетательной скважины, включающая

установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО) для получения подмешиваемого потока ОО-пермеата и узел нанофильтрации (НФ) для получения подмешиваемого потока НФ-пермеата;

смесительную систему;

блок управления и

нагнетательную систему для нагнетательной скважины, пробуренной в нефтеносный слой продуктивного пласта, содержащую нагнетательную линию и по меньшей мере один нагнетательный насос,

причем смесительная система выполнена с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока НФ-пермеата для получения смешанного потока нагнетаемой воды и для передачи смешанного потока нагнетаемой воды в нагнетательную систему,

блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количества по меньшей мере одного из подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды по сравнению с начальным составом для получения целевого состава, и

блок управления выполнен с возможностью мониторинга в реальном времени давления в нагнетательной скважине или в устьевой арматуре нагнетательной скважины для повышения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, и в случае обнаружения блоком управления увеличения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, блок управления либо останавливает динамическое изменение состава смешанного потока нагнетаемой воды, либо динамически изменяет состав смешанного потока нагнетаемой воды, пока давление не упадет ниже пороговой величины, или

блок управления выполнен с возможностью мониторинга в реальном времени расхода смешанного потока нагнетаемой воды в нагнетательной линии нагнетательной системы по потоку после по меньшей мере одного нагнетательного насоса, для снижения расхода до пороговой величины или ниже ее, и в случае обнаружения блоком управления уменьшения расхода до величины, равной пороговой величине, или ниже нее, блок управления либо останавливает динамическое изменение состава смешанного потока нагнетаемой воды, либо динамически изменяет состав смешанного потока нагнетаемой воды, пока расход не вырастет выше пороговой величины.

2. Система по п.1, в которой смесительная система выполнена с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока НФ-пермеата с подмешиваемым потоком сильноминерализованной воды, имеющей минерализацию от 17500 до 50000 мг/л, для получения смешанного потока нагнетательной воды, и

блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количества по меньшей мере одного из подмешиваемых потоков ОО-пермеата, НФ-пермеата и сильноминерализованной воды для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды по сравнению с начальным составом, для получения целевого состава.

3. Система по п.1 или 2, в которой блок управления предназначен для динамического изменения работы смесительной системы для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды от начального состава до целевого состава, следуя профилю концентрации, для снижения минерализации или ионной силы смешанного потока нагнетаемой воды.

4. Система по п.3, в которой блок управления выполнен с возможностью приема профиля концентрации от источника, внешнего относительно блока управления.

5. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой блок управления выполнен с возможно-

стью приема профиля концентрации в условиях восстановления от источника, внешнего относительно блока управления.

6. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количества по меньшей мере одного из подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата посредством регулирования количества по меньшей мере ОО-пермеата или НФ-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата или линию сброса НФ-пермеата соответственно.

7. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой смесительная система выполнена с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока НФ-пермеата с подмешиваемым потоком стабилизатора мелких частиц для получения смешанного потока нагнетаемой воды, причем подмешиваемый поток для стабилизации мелких частиц содержит водный раствор по меньшей мере одной добавки для стабилизации мелких частиц, и

блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для изменения количества подмешиваемого потока для стабилизации мелких частиц для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды от начального состава к целевому составу.

8. Система по п.7, в которой блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количества подмешиваемого потока для стабилизации мелких частиц для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды, следуя профилю концентрации или профилю концентрации в условиях восстановления, который включает изменения в концентрации добавки для стабилизации мелких частиц в смешанном потоке нагнетаемой воды.

9. Способ управления работой комплексной системы для получения смешанного потока нагнетаемой воды для нагнетательной скважины, включающей

установку деминерализации, включающую узел обратного осмоса (ОО) и узел нанофильтрации (НФ);

смесительную систему;

блок управления;

нагнетательную систему для нагнетательной скважины, пробуренной в нефтеносный слой продуктивного пласта, при осуществлении которого

подают в установку деминерализации сильноминерализованную питательную воду;

получают подмешиваемый поток ОО-пермеата, используя узел ОО установки деминерализации;

получают подмешиваемый поток НФ-пермеата, используя узел НФ установки деминерализации;

смешивают подмешиваемый поток ОО-пермеата и подмешиваемый поток НФ-пермеата в смесительной системе и

динамически изменяют работу смесительной системы во время ввода нагнетательной скважины в эксплуатацию для регулирования количества по меньшей мере одного из подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды от начального состава к целевому составу для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, следуя профилю концентрации, для снижения минерализации или ионной силы смешанного потока нагнетаемой воды,

осуществляют мониторинг в реальном времени давления в нагнетательной скважине или в устьевой арматуре нагнетательной скважины для повышения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, или мониторинга в реальном времени расхода смешанного потока нагнетаемой воды в нагнетательной линии нагнетательной системы по потоку после по меньшей мере одного нагнетательного насоса для снижения расхода до пороговой величины или ниже ее, и

останавливают динамическое изменение состава смешанного потока нагнетаемой воды, либо динамически изменяют состав смешанного потока нагнетаемой воды в случае обнаружения блоком управления увеличения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, или уменьшения расхода до величины, равной пороговой величине, или ниже нее, пока давление не упадет ниже пороговой величины или пока расход не вырастет выше пороговой величины.

10. Способ по п.9, в котором установка деминерализации имеет обводную линию для сильноминерализованной воды, выполненную с возможностью пропускания части питательного потока сильноминерализованной воды в качестве подмешиваемого потока в смесительную систему, причем общее содержание растворенных твердых веществ в питательном потоке сильноминерализованной воды составляет от 17500 до 50000 мг/л, а при динамическом изменении работы смесительной системы во время ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины регулируют количество подмешиваемого потока сильноминерализованной воды для изменения состава смешанного потока нагнетательной воды.

11. Способ по п.9 или 10, в котором при динамическом изменении работы смесительной системы во время ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины дополнительно регулируют количество по меньшей мере одной добавки для стабилизации мелких частиц в смешанном потоке нагнетаемой воды, следуя профилю концентрации, который включает изменения в концентрации добавки для стабилизации мелких частиц.

12. Способ по п.11, в котором смесительная система дополнительно содержит резервуар для хране-

ния концентрата для стабилизации мелких частиц, содержащего водный раствор по меньшей мере одной добавки для стабилизации мелких частиц, соединенный с линией, выполненной с возможностью передачи подмешиваемого потока концентрата для стабилизации мелких частиц, а при динамическом изменении работы смесительной системы во время ввода в эксплуатацию нагнетательной скважины дополнительно регулируют количество подмешиваемого потока концентрата для стабилизации мелких частиц для изменения состава смешанного потока нагнетаемой воды.

13. Способ по любому из пп.9-12, в котором при динамическом регулировании работы смесительной системы управляют регулируемым клапаном в смесительной системе.

14. Способ по п.13, в котором регулируемый клапан выбирают из клапана на линии сброса ОО-пермеата, клапана на линии сброса НФ-пермеата, клапана на обводной линии сильноминерализованной воды, клапана на линии концентрата для стабилизации мелких частиц или любой их комбинации.

15. Комплексная система для получения смешанного потока нагнетаемой воды для нагнетательной скважины, включающая установку деминерализации, смесительную систему и блок управления, в которой

установка деминерализации содержит

впускную линию воды;

узел обратного осмоса, гидравлически соединенный с впускной линией воды и выполненный с возможностью приема питательной воды и вырабатывания пермеата обратного осмоса;

узел нанофильтрации, гидравлически соединенный с впускной линией воды и выполненный с возможностью приема питательной воды и вырабатывания пермеата нанофильтрации, минерализация которого выше минерализации пермеата обратного осмоса, а

смесительная система содержит

линию для подмешиваемого водного потока пермеата обратного осмоса;

линию для подмешиваемого потока нанофильтрации;

линию для смешанного потока нагнетаемой воды;

по меньшей мере одну из линии сброса обратного осмоса, выполненную с возможностью выведения неиспользованной части пермеата обратного осмоса из смесительной системы, и линии сброса нанофильтрации, выполненную с возможностью выведения неиспользованной части пермеата нанофильтрации из смесительной системы; и

один или более регулируемых клапанов,

причем блок управления выполнен с возможностью регулирования, в ответ на полученные данные измерения расхода, давления или состава текучей среды, работы одного или более регулируемых клапанов смесительной системы, для выборочного объединения по меньшей мере части пермеата обратного осмоса по меньшей мере с частью пермеата нанофильтрации, для получения смешанного потока нагнетаемой воды, имеющего заданный состав, и

блок управления выполнен с возможностью мониторинга в реальном времени давления в нагнетательной скважине или в устьевой арматуре нагнетательной скважины для повышения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, и в случае обнаружения блоком управления увеличения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, блок управления либо останавливает динамическое изменение состава смешанного потока нагнетаемой воды, либо динамически изменяет состав смешанного потока нагнетаемой воды, пока давление не упадет ниже пороговой величины, или

блок управления выполнен с возможностью мониторинга в реальном времени расхода смешанного потока нагнетаемой воды в нагнетательной линии нагнетательной системы по потоку после по меньшей мере одного нагнетательного насоса, для снижения расхода до пороговой величины или ниже ее, и в случае обнаружения блоком управления уменьшения расхода до величины, равной пороговой величине, или ниже нее, блок управления либо останавливает динамическое изменение состава смешанного потока нагнетаемой воды, либо динамически изменяет состав смешанного потока нагнетаемой воды, пока расход не вырастет выше пороговой величины.

16. Система по п.15, в которой блок управления выполнен с возможностью регулирования регулируемого клапана на линии сброса ОО или на линии сброса НФ.

17. Система по п.15 или 16, в которой установка деминерализации дополнительно включает обводную линию, соединенную с впускной линией воды, для пропускания по меньшей мере части питательной воды в смесительную систему, причем блок управления выполнен с возможностью регулирования клапана на обводной линии, для выборочного объединения части питательной воды из обводной линии по меньшей мере с частью пермеата обратного осмоса и по меньшей мере частью пермеата нанофильтрации, для получения смешанного потока нагнетаемой воды, имеющего заданный состав.

18. Система по п.15 или 16, в которой установка деминерализации дополнительно включает обводную линию, соединенную с впускной линией воды, для пропускания по меньшей мере части питательной воды в смесительную систему, причем обводная линия дополнительно соединена с линией сброса питательной воды, а блок управления выполнен с возможностью регулирования клапана на линии сброса питательной воды, для выборочного объединения части питательной воды из обводной линии по меньшей

мере с частью пермеата обратного осмоса и по меньшей мере частью пермеата нанофильтрации, для получения смешанного потока нагнетаемой воды, имеющего заданный состав.

19. Система по любому из пп.15-18, в которой смесительная система дополнительно включает резервуар для хранения концентрата для стабилизации мелких частиц, содержащего водный раствор по меньшей мере одной добавки для стабилизации мелких частиц, соединенный с линией подмешиваемого потока концентрата для стабилизации мелких частиц, а блок управления выполнен с возможностью регулирования клапана на линии концентрата для стабилизации мелких частиц, для выборочного объединения концентрата для стабилизации мелких частиц по меньшей мере с одним из подмешиваемых потоков пермеата обратного осмоса, пермеата нанофильтрации, питательной воды или любой их комбинации, для получения смешанного потока нагнетаемой воды, имеющего заданный состав.

20. Система по любому из пп.15-19, в которой данные расхода, давления или состава относятся к смешанному потоку нагнетаемой воды.

21. Система по любому из пп.15-20, дополнительно включающая несколько датчиков концентрации ионов, выполненных с возможностью измерения по меньшей мере одного из параметров минерализации, концентрации отдельных ионов (С_г) или концентрации ионов по типам отдельных ионов в пермеате нанофильтрации, пермеате обратного осмоса или смешанном потоке нагнетаемой воды, и передачи измеренных данных состава в блок управления.

22. Система по любому из пп.15-21, дополнительно включающая один или более датчиков расхода, выполненных с возможностью измерения по меньшей мере одного из параметров расхода пермеата обратного осмоса, расхода пермеата нанофильтрации, расхода смешанного потока нагнетаемой воды, расхода обводного потока питательной воды или расхода потока концентрата для стабилизации мелких частиц, и передачи данных расхода в блок управления.

23. Система по любому из пп.15-22, в которой блок управления выполнен с возможностью регулирования, в ответ на измеренные данные расхода потока, давления и состава, одного или более клапанов смесительной системы, для регулирования состава смешанного потока нагнетаемой воды от начального состава к целевому составу, следуя профилю концентрации.

24. Способ получения смешанного потока нагнетаемой воды для нагнетательной скважины, при осуществлении которого

получают поток пермеата обратного осмоса;

получают поток пермеата нанофильтрации;

смешивают по меньшей мере часть потока пермеата обратного осмоса по меньшей мере с частью потока пермеата нанофильтрации для получения смешанного потока нагнетаемой воды, имеющего первую минерализацию;

увеличивают отношение в смеси потока пермеата обратного осмоса по сравнению с потоком пермеата нанофильтрации для снижения минерализации смешанного потока нагнетаемой воды от первой минерализации до второй минерализации;

отводят уменьшающуюся часть потока пермеата обратного осмоса при увеличении отношения в смеси; и

осуществляют мониторинг в реальном времени давления в нагнетательной скважине или в устьевой арматуре нагнетательной скважины для повышения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, или мониторинга в реальном времени расхода смешанного потока нагнетаемой воды в нагнетательной линии нагнетательной системы по потоку после по меньшей мере одного нагнетательного насоса, для снижения расхода до пороговой величины или ниже ее, и

останавливают динамическое изменение состава смешанного потока нагнетаемой воды, либо динамически изменяют состав смешанного потока нагнетаемой воды, в случае обнаружения блоком управления увеличения давления до величины, равной пороговой величине или превышающей ее, или уменьшения расхода до величины, равной пороговой величине, или ниже нее, пока давление не упадет ниже пороговой величины или пока расход не вырастет выше пороговой величины; и

поддерживают отношение в смеси при достижении второй минерализации в процессе нагнетания смешанного потока нагнетаемой воды в нагнетательную скважину, пробуренную в нефтеносный слой продуктивного пласта.

25. Способ по п.24, в котором при первой минерализации поток нагнетаемой воды имеет общее содержание растворенных твердых веществ (ОСРТВ) в интервале от 10000 до 22500 мг/л, а при второй минерализации смешанный поток нагнетаемой воды имеет общее содержание растворенных твердых веществ в интервале от 500 до 5000 мг/л.

26. Способ по п.24 или 25, в котором дополнительно

увеличивают расход смешанного потока нагнетаемой воды от первого расхода до второго расхода с одновременным увеличением отношения в смеси потока пермеата обратного осмоса по сравнению с потоком пермеата нанофильтрации путем отведения уменьшающейся части потока пермеата обратного осмоса и уменьшающейся части потока пермеата нанофильтрации, по мере увеличения отношения в смеси; и

поддерживают расход и отношение в смеси, когда расход смешанного потока нагнетаемой воды до-

стигает второго расхода, и минерализация нагнетаемого потока достигает второй минерализации.

27. Способ по любому из пп.24-26, в котором поток пермеата обратного осмоса и поток пермеата нанофильтрации вырабатывают из питательной воды, имеющей ОСРТВ в интервале от 17500 до 50000 мг/л, и концентрацию двухвалентных катионов в интервале от 500 до 3500 мг/л, а при осуществлении способа дополнительно

смешивают по меньшей мере часть питательной воды по меньшей мере с частью потока пермеата обратного осмоса и по меньшей мере частью потока пермеата нанофильтрации для получения смешанного потока нагнетаемой воды; и

снижают концентрацию двухвалентных катионов в смешанном потоке нагнетаемой воды от первой концентрации двухвалентных катионов до второй концентрации двухвалентных катионов путем смешивания уменьшающейся части питательной воды по меньшей мере с частью потока пермеата обратного осмоса и по меньшей мере с частью потока пермеата нанофильтрации.

28. Способ по п.27, в котором дополнительно

определяют концентрацию анионов сульфата в смешанном потоке нагнетаемой воды и регулируют количество питательной воды, смешиваемой с потоком пермеата обратного осмоса и с потоком пермеата нанофильтрации, для поддержания концентрации анионов сульфата в смешанном потоке нагнетаемой воды ниже пороговой концентрации сульфата.

29. Способ по любому из пп.24-28, в котором дополнительно

смешивают по меньшей мере часть потока концентрата для стабилизации мелких частиц, содержащего по меньшей мере одну добавку для стабилизации мелких частиц, по меньшей мере с одной из частей потоков пермеата обратного осмоса, пермеата нанофильтрации, питательной воды или любой их комбинации, для получения смешанного потока нагнетаемой воды; и

увеличивают концентрацию добавки для стабилизации мелких частиц в смешанном потоке нагнетаемой воды в ответ на снижение приемистости нефтеносного слоя продуктивного пласта в отношении смешанного потока нагнетаемой воды.

30. Способ управления составом смешанного потока нагнетаемой воды для нагнетательной скважины, при осуществлении которого

получают посредством системы управления один или более параметров состава для смешанного потока нагнетаемой воды;

автоматически регулируют посредством системы управления один или более клапанов в смесительной системе;

смешивают пермеат обратного осмоса с пермеатом нанофильтрации в смесительной системе для получения смешанного потока нагнетаемой воды, в ответ на автоматическое регулирование одного или более клапанов;

управляют посредством системы управления одним или более параметрами состава смешанного потока нагнетаемой воды для достижения, соответственно, одного или более целевых параметров состава нагнетаемой воды, посредством автоматического управления одним или более клапанами для изменения расхода смешанного потока нагнетаемой воды и изменения отношения в смеси пермеата обратного осмоса к пермеату нанофильтрации, для получения смешанной нагнетаемой жидкости, один или более параметров состава которой соответствует одному или более целевому параметру состава нагнетаемой жидкости;

нагнетают нагнетаемую жидкость в скважину через нагнетательную линию,

причем управление одним или более параметрами состава основано на давлении в скважине, давлении в устьевой арматуре или расходе в нагнетательной линии.

31. Способ по п.30, в котором один или более параметров состава включает общее содержание растворенных твердых веществ смешанного потока нагнетаемой воды, а при управлении одним или более параметрами состава регулируют общее содержание растворенных твердых веществ смешанного потока нагнетаемой воды на соответствие планируемому профилю общей концентрации растворенных твердых веществ, который определяет один или более целевых параметров состава нагнетаемой воды на определенный период времени.

32. Способ по п.30 или 31, в котором дополнительно смешивают по меньшей мере часть питательной воды с пермеатом обратного осмоса и пермеатом нанофильтрации для получения нагнетаемой жидкости в результате автоматического регулирования одного или более клапанов в смесительной системе.

