

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039470**

(13) **B1**

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

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.01.31

(21) Номер заявки
202090235

(22) Дата подачи заявки
2018.07.12

(51) Int. Cl. **B01D 61/02** (2006.01)
C02F 1/44 (2006.01)
G05D 11/00 (2006.01)
C02F 103/08 (2006.01)
C02F 103/10 (2006.01)

(54) **СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЕЙ СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННОЙ НАГНЕТАЕМОЙ ВОДЫ**

(31) **17181022.9**

(32) **2017.07.12**

(33) **EP**

(43) **2020.06.30**

(86) **PCT/EP2018/069044**

(87) **WO 2019/012089 2019.01.17**

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

(72) Изобретатель:
**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)**

(56) **US-A1-2013213892
WO-A1-2007138327
US-A1-2012261340**

(57) В изобретении описана комплексная система, включающая установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО) для получения подмешиваемого потока ОО-пермеата (фильтрата) и узел нанофильтрации (НФ) для получения подмешиваемого потока НФ-пермеата; смешительную систему; блок управления; нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, пробуриваемых в нефтеносный слой продуктивного пласта; и промышленное оборудование, выполненное с возможностью разделения текучих сред, получаемых из одной или более эксплуатационных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта, и подачи потока подтоварной воды (ПВ) в смешительную систему, причем смешительная система предназначена для смешивания подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата с потоком ПВ для получения составного потока слабоминерализованной воды и блок управления предназначен для динамического изменения работы смешительной системы для регулирования количества по меньшей мере одного из смешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона.

039470
B1

039470
B1

Область техники

В целом, изобретение относится к управлению минерализацией слабоминерализованной нагнетаемой воды в ходе заводнения слабоминерализованной водой, когда для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды в качестве подмешиваемого потока утилизируется изменяемое количество подтоварной воды (и/или подтоварная вода изменяемого качества). Изобретение также относится к управлению концентрацией одного или более отдельных ионов или по типам отдельных ионов в потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды, когда в качестве подмешиваемого потока для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды используется изменяемое количество подтоварной воды (и/или подтоварная вода изменяемого качества).

Уровень техники

Одна из проблем, связанных с заводнением слабоминерализованной водой, заключается в том, что вода, получаемая с помощью технологий деминерализации, имеет степень минерализации ниже оптимальной для непрерывного нагнетания в нефтесодержащий пласт. Действительно, деминерализованная вода может ухудшать коллекторские свойства нефтесодержащей породы в пласте и замедлять извлечение нефти, например, вызывая разбухание глин в этом пласте. Следовательно, существует оптимальная степень минерализации закачиваемой воды, благоприятным образом обеспечивающая повышенную нефтеотдачу и одновременно с этим снижающая риск ухудшения коллекторских свойств пласта, причем это оптимальное значение может изменяться от пласта к пласту. Как правило, при содержании в нефтесодержащем пласте большого количества разбухающих глин ухудшения коллекторских свойств пласта при продолжающемся извлечении из него нефти можно избежать, если закачиваемая вода имеет общее содержание растворенных твердых веществ (ОСРТВ) в диапазоне от 200 до 10000 миллионных долей (ppm), а отношение концентрации многовалентных катионов в слабоминерализованной нагнетаемой воде к концентрации многовалентных катионов в реликтовой воде пласта составляет менее 1, например менее 0,9.

Другая проблема, связанная с заводнением слабоминерализованной водой, состоит в том, что содержание сульфатов в слабоминерализованной нагнетаемой воде обычно регулируют до уровня менее 100 мг/л (предпочтительно менее 50 мг/л и более предпочтительно менее 40 мг/л) для снижения риска закисления пласта или осаждения в нем солей. Закисление пласта возникает из-за размножения сульфатовосстанавливающих бактерий, использующих сульфаты в своем метаболизме, с образованием сероводорода. Осаждение солей возникает из-за выпадения минерального осадка при смешивании нагнетаемой воды, содержащей фосфаты, с реликтовой водой, содержащей катионы-прекурсоры осаждения, например катионы бария.

Другие проблемы возникают на шельфе при необходимости утилизации нарастающих количеств подтоварной воды при заводнении слабоминерализованной водой. Обычно запрещается сбрасывать подтоварную воду в водную среду (например, океан). Кроме того, из-за высокой стоимости бурения скважин на шельфе обычно отсутствуют специальные скважины для сброса подтоварной воды. Поэтому может возникнуть необходимость утилизации подтоварной воды (ПВ) путем ее смешивания со слабоминерализованной нагнетаемой водой. Количество и качество ПВ, требующиеся для ее смешивания со слабоминерализованной нагнетаемой водой, могут изменяться в процессе заводнения слабоминерализованной водой.

Определения.

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.

"Модуль обратноосмотической (ОО) фильтрации" - содержит 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)" - содержит 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" - 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, два или более мембранных блоков могут быть смонтированы на раме.

"Подтоварная вода (ПВ)" - вода, отделенная от нефти и газа на промышленном оборудовании. Подтоварная 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.

"Качество подмешиваемого потока подтоварной воды (ПВ)" - общее содержание растворенных твердых веществ и/или концентрации отдельных ионов или отдельных ионов по типам ионов и/или отношения отдельных ионов или отдельных ионов по типам ионов в ПВ.

"Охваченный поровый объем" - поровый объем слоя(ев) пластовой породы, "промываемый" нагнетаемыми текучими средами (слабоминерализованной нагнетаемой водой и любой водной вытесняющей жидкостью), между нагнетательной скважиной и эксплуатационной скважиной, усредненный по всем путям прохождения потока. 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.

"ОСРТВ" - общее содержание растворенных твердых веществ в водном потоке, обычно выражающееся в мг/л.

Подробное описание осуществления изобретения

Изобретение относится к комплексной системе и способу получения смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, содержащей изменяемые количества подтоварной воды, или подтоварную воду изменяемого качества при поддержании состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в заданном рабочем диапазоне для основного этапа заводнения слабоминерализованной водой, при котором соблюдается баланс между максимальной нефтеотдачей продуктивного пласта и минимальным риском ухудшения коллекторских свойств пласта, закисления пласта или осаждения солей.

В некоторых вариантах выполнения комплексная система включает установку деминерализации, содержащую узел обратного осмоса (ОО) для получения подмешиваемого потока ОО-пермеата (фильтрата) и узел нанофильтрации (НФ) для получения подмешиваемого потока НФ-пермеата. Комплексная система также включает смесительную систему, блок управления и нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, которые пробуривают в нефтеносный слой продуктивного пласта. Комплексная система также включает промышленное оборудование для разделения текучих сред, получаемых из одной или более эксплуатационных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта, и для подачи подтоварной воды (ПВ) в смесительную систему. Смесительная система предназначена для смешивания подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата с ПВ потоком для получения составного потока слабоминерализованной воды. Блок управления предназначен для динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количеств по меньшей мере одного из смешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона. В некоторых вариантах выполнения блок управления предназначен для приема данных рабочего диапазона от источника, внешнего относительно блока управления. В некоторых вариантах выполнения для изменения работы смесительной системы блок управления должен регулировать количество ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата. В некоторых вариантах выполнения для изменения работы смесительной системы блок управления должен регулировать количество НФ-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса НФ-пермеата. В некоторых вариантах выполнения рабочий диапазон определяет верхнюю и нижнюю границы для параметра, выбранного из группы, состоящей из общего содержания растворимых твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов; концентрации ионов по типам отдельных ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов.

В некоторых вариантах выполнения при осуществлении способа получают подмешиваемый поток пермеата обратного осмоса (ОО) с использованием узла ОО установки деминерализации; получают подмешиваемый поток пермеата нанофильтрации (НФ) с использованием узла НФ установки деминерализации; разделяют текучие среды, получаемые от одной или более эксплуатационных скважин, пробурен-

ных в нефтеносный слой продуктивного пласта, для формирования потока подтоварной воды (ПВ); смешивают подмешиваемый поток ОО-пермеата, подмешиваемый поток НФ-пермеата и потока ПВ в смесительной системе для получения составного потока слабоминерализованной воды; и динамически регулируют работу смесительной системы для регулирования объемов подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока НФ-пермеата для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона. В некоторых вариантах выполнения при смешивании смешивают морскую воду (МВ) с подмешиваемым потоком ОО-пермеата, подмешиваемым потоком НФ-пермеата и потоком ПВ в смесительной системе для формирования составного потока слабоминерализованной воды. В некоторых вариантах выполнения при динамическом регулировании работы смесительной системы регулируют клапан в смесительной системе. В некоторых вариантах выполнения клапаном является клапан на линии сброса ОО-пермеата. В некоторых вариантах выполнения клапаном является клапан на линии сброса НФ-пермеата. В некоторых вариантах выполнения клапаном является клапан на обводной линии высокоминерализованной воды, шунтирующей установку деминерализации и питающей морской водой смесительную систему.

В некоторых вариантах выполнения комплексная система включает блок управления; несколько клапанов, управляемых блоком управления; несколько устройств контроля расхода и состава для предоставления, соответственно, блоку управления измеренных данных по расходу и составу; и узел обратного осмоса (ОО) для выработки подмешиваемого потока ОО-пермеата. Комплексная система дополнительно включает узел нанофильтрации (НФ) для выработки подмешиваемого потока НФ-пермеата; поток подтоварной воды (ПВ) из эксплуатационной скважины; и смесительную систему, содержащую линию для смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока НФ-пермеата и потока ПВ в составной поток слабоминерализованной воды. Блок управления предназначен для регулирования в качестве реакции на измеренные данные расхода и состава по меньшей мере одного из нескольких клапанов для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона. В некоторых вариантах выполнения данные по расходу и составу относятся к составному потоку слабоминерализованной воды. В некоторых вариантах выполнения нагнетательная система предназначена для подачи составного потока слабоминерализованной воды в пласт месторождения через нагнетательную скважину. В некоторых вариантах выполнения рабочий диапазон устанавливает верхнюю и нижнюю границы для параметра, выбранного из группы, состоящей из общего содержания растворимых твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов; концентрации ионов по типам отдельных ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов. В некоторых вариантах выполнения несколько клапанов включают первый клапан на линии сброса ОО-пермеата, а другие включают второй клапан на линии сброса НФ-пермеата.

Как правило, смесительная система может смешивать подмешиваемые потоки ОО-пермеата и НФ-пермеата с подмешиваемым потоком ПВ. Соответственно, смесительная система может иметь точку сливания, к которой сходятся питательные линии ОО-пермеата и НФ-пермеата с формированием объединенной питательной линии ОО-пермеата и НФ-пермеата.

Комплексная система в соответствии с настоящим изобретением может быть расположена на платформе или плавучей системе для добычи, хранения и отгрузки нефти - FPSO (от англ. Floating Production, Storage & Offloading), и может быть использована для нагнетания составного потока слабоминерализованной нагнетательной воды по меньшей мере в один нефтеносный слой шельфового продуктивного пласта. В альтернативном случае, установка деминерализации комплексной системы в соответствии с настоящим изобретением может быть расположена на берегу, и потоки ОО-пермеата и НФ-пермеата могут быть переданы к смесительной системе, расположенной на платформе или FPSO, для смешивания с потоком ПВ.

Блок управления комплексной системы может включать центральный процессор (ЦП), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), жесткий диск (ЖД), интерфейсы ввода/вывода (I/O интерфейс), машиночитаемый код (например, программный и/или встроенный) и др.

Граничные величины для состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды на основном этапе заводнения слабоминерализованной водой могут быть введены в блок управления комплексной системой. Эти граничные величины определяют рабочий диапазон для состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. Этот рабочий диапазон может быть определен граничными величинами (верхний и нижний пределы) для одного или более ОСРТВ (минерализации), ионной силы, концентрации 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), отношений по типам отдельных ионов, или отношений отдельных ионов (например, относительный показатель адсорбции натрия).

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 слабоминерализованной воде выражается в миллиэквивалентах на литр.

Составами в пределах рабочего диапазона являются расчетные составы, обеспечивающие повышенную нефтеотдачу (ПНО) из продуктивного пласта, при использовании которых минимизируется риск ухудшения коллекторских свойств пласта. В тех случаях, когда возникает риск закисления продуктивного пласта или осаждения солей, среди составов в пределах рабочего диапазона, предпочтительно, выбираются те, что снижают закисление или подавляют осаждение солей. Специалистам известно, что не все продуктивные пласты подвержены риску закисления или осаждения солей. Так, закисление может происходить, когда пласт заселен сульфатовосстанавливающими 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).

Разные граничные величины для каждого параметра могут быть введены в блок управления, определяя, тем самым, разные рабочие диапазоны для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, где разные рабочие диапазоны обеспечивают баланс разных уровней повышенной нефтеотдачи (ПНО) с разными уровнями риска ухудшения коллекторских свойств пласта месторождения, закисления пласта и осаждения солей.

Для поддержания состава смешанной слабоминерализованной воды в пределах установленного или заданного рабочего диапазона для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды на основном этапе заводнения слабоминерализованной водой, количества потока НФ-пермеата и/или потока ОО-пермеата, смешанные с подтоварной водой, могут быть отрегулированы в реальном времени в ответ на изменения (увеличения или уменьшения) в количестве ПВ, которое должно быть введено в составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды, или изменения качества (увеличения или уменьшения ОСРТВ, концентрации одного или более отдельных ионов, концентрации ионов по одному или более типам отдельных ионов, отношения отдельных ионов или отношения по типам отдельных ионов) подтоварной воды.

В смесительной системе комплексной системы, предложенной в настоящем изобретении, количество потока НФ-пермеата или ОО-пермеата, имеющегося для смешивания с ПВ для формирования составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, может быть быстро изменено (в реальном времени) посредством сбрасывания изменяемого количества потока НФ-пермеата или потока ОО-пермеата из смесительной системы, например в акваторию (океан), через "линии сброса" НФ-пермеата или ОО-пермеата, каждая из которых оборудована "разгрузочным клапаном". Разгрузочным клапаном является регулируемый клапан (например, дроссельный клапан) который может быть установлен в разные положения (от полностью закрытого состояния до полностью открытого), для регулирования количества НФ-пермеата или ОО-пермеата, сбрасываемого из смесительной системы.

Если сброс излишка НФ-пермеата или излишка ОО-пермеата продолжается длительное время, например часы или дни, то блок управления может выполнять регулировки в установке деминерализации, вывода из эксплуатации один или более НФ модулей из узла или ОО модулей из узла ОО модулей, сокращая, тем самым, производительность выработки НФ-пермеата или ОО-пермеата соответственно. Если сброс избытка НФ-пермеата или ОО-пермеата продолжается недели или месяцы, НФ элементы одного или более из НФ модулей установки деминерализации в некоторых случаях могут быть заменены ОО элементами, или ОО элементы одного или более из ОО модулей могут быть заменены НФ элементами, для увеличения количества ОО-пермеата или НФ-пермеата, производимого установкой.

Известно, что двухвалентные катионы могут способствовать стабилизации глин. В частности, установка деминерализации может иметь обводную линию для сильноминерализованной воды, используемой для питания ОО и НФ узлов установки, поскольку эта сильноминерализованная питательная вода (например, морская вода (МВ)) обычно характеризуется высокой концентрацией двухвалентных катионов. Эта обводная линия используется для подачи потока сильноминерализованной воды (например, подмешиваемого потока МВ) в смесительную систему. Соответственно, смесительная система в некоторых случаях содержит питательную линию МВ. Обводная линия для сильноминерализованной питательной воды может быть оборудована регулируемым клапаном (например, дроссельным клапаном), который может быть установлен в разные положения между полностью закрытым состоянием и полностью открытым, тем самым обеспечивая подачу различных количеств сильноминерализованной воды (например, МВ) для смешивания с потоком ОО-пермеата, потоком НФ-пермеата и ПВ потоком для формирования составной слабоминерализованной нагнетаемой воды. При желании, однако, любой излишек высокоминерализованной воды также может быть сброшен из смесительной системы в океан через линию

сброса сильноминерализованной воды, оборудованной регулируемым клапаном (например, дроссельным клапаном). Использование регулируемого клапана на опциональной обводной линии МВ (или линии сброса МВ, оборудованной регулируемым клапаном) также обеспечивает быструю адаптацию (в реальном времени) к составу составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды.

Блок управления таким образом может изменять количество любой сильноминерализованной воды (например, МВ), включенной в составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды, в ответ на изменения в количестве или качестве подмешиваемого потока ПВ, для поддержания состава составного потока слабоминерализованной воды в пределах заданного (выбранного) рабочего диапазона. Специалисту должно быть известно, что МВ имеет высокое содержание анионов сульфатов. Соответственно, при смешивании потока ОО-пермеата, потока НФ-пермеата и потока ПВ с МВ необходимо строго контролировать риск закисления или осаждения солей.

Риск закисления нефтеносного пласта и риск осаждения в нем солей можно контролировать введением в блок управления верхнего предела (граничной величины) для концентрации сульфата подмешиваемой слабоминерализованной нагнетаемой воды, обычно составляющего 100 мг/л; предпочтительно 50 мг/л и, в частности, 40 мг/л.

Смесительная система комплексной системы может в некоторых случаях включать резервуар (для хранения концентрата, содержащего водный раствор или суспензию одной или более добавок, стабилизирующих глины) и питательную линию для подачи концентрата. Питательная линия концентрата может иметь регулируемый клапан (например, дроссельный клапан), который может быть установлен в разные положения между полностью закрытым состоянием и полностью открытым состоянием, тем самым обеспечивая подачу различных количеств концентрата для смешивания с потоками ОО-пермеата, НФ-пермеата, ПВ и в некоторых случаях МВ для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетательной воды в пределах рабочего диапазона, который дополнительно определяется граничными величинами (верхний и нижний пределы) концентрации(ий) стабилизирующей глину добавки(ок). В альтернативном варианте, резервуар с концентратом может быть оборудован насосом-дозатором, выдающим точное количество концентрата для смешивания, и измерителем расхода, который может быть использован для регулирования расхода концентрата. При этом блок управления может осуществлять непрерывный контроль расхода потока концентрата в питательной линии концентрата в реальном времени и может производить быстрые регулировки расхода концентрата, используя регулируемый клапан, изменяя концентрацию одной или более стабилизирующих глину добавок в составном потоке нагнетаемой воды. Соответственно, блок управления может также изменять работу смесительной системы в ответ на изменения количества или состава подмешиваемого потока ПВ, для регулирования количества стабилизирующей глину концентрата в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды, поддерживая, тем самым, состав в пределах рабочего диапазона, который дополнительно определяется граничными величинами стабилизирующей глину добавки(ок).

Стабилизирующей глину добавкой(ами) может быть неорганическая соль, например соль двухвалентного катиона или соль калия. Предпочтительно, солью двухвалентного катиона может быть соль кальция или 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 выбирается из хлорида калия, бромида калия и нитрата калия. Нитрат кальция или нитрат калия могут быть также предпочтительны для предотвращения закисления, поскольку нитратный анион может способствовать развитию нитратовосстанавливающих бактерий, которые могут вытеснить сульфатовосстанавливающие бактерии (СВБ) в борьбе за питательные вещества и усвояемый органический углерод.

Блок управления может автоматически регулировать работу смесительной системы и, тем самым, количества потока ОО-пермеата, потока НФ-пермеата (и любого опционального подмешиваемого потока сильноминерализованной воды, например МВ или, при необходимости, потока концентрата стабилизатора глин), который включен в подмешиваемый поток слабоминерализованной нагнетаемой воды в ответ на изменения количества и/или качества ПВ так, чтобы поддержать состав нагнетаемой воды в пределах заданных граничных величин, определяющих рабочий диапазон для смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды. Таким образом, может осуществляться контроль расхода и состава потока ПВ в реальном масштабе времени. Аналогично, расход и состав смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды можно отслеживать в реальном времени для определения эффективности изменений, введенных блоком управления в работу смесительной системы для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона. При недостаточной эффективности блок управления может ввести дополнительные изменения в работу смесительной системы. Соответственно, блок управления обладает контуром обратной связи для управления смешиванием составного потока слабоминерализованной воды.

Управление в реальном времени количествами ОО-пермеата и НФ-пермеата, используемыми для смешивания, путем изменения количеств ОО-пермеата и НФ-пермеата, сбрасываемых из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата или НФ-пермеата, например, в акваторию (например, океан), обеспечивает надежное регулирование ОСРТВ и/или концентраций одного или более отдельных ионов в

пределах рабочего диапазона для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, которое оперативно реагирует на изменения в количестве или качестве ПВ. Таким образом, обеспечивается более быстрое реагирование, чем при попытке изменения расходов питательной воды, подаваемой в узлы ОО и НФ установки деминерализации (из-за мертвых объемов в питающих линиях, ведущих от узлов ОО и НФ к точке(ам) слияния составных потоков слабоминерализованной нагнетаемой воды).

Далее, если в качестве подмешиваемого потока используется сильноминерализованная вода (например, МВ) или концентрат стабилизатора глин, управление степенью открывания регулируемого (переменного) клапана (например, дроссельного клапана) на обводной линии высокоминерализованной воды или регулируемого клапана (например, дроссельного клапана) на питательной линии концентрата, подающей концентрат стабилизатора глин от резервуара с концентратом, поддерживает состав смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах заданного рабочего диапазона в ответ на изменения количества или качества ПВ.

Таким образом, можно заметить, что блок управления может изменять работу смесительной системы в реальном времени посредством регулирования одного или более параметров системы, а именно: степени открытия клапана на линии сброса ОО-пермеата, степени открытия клапана на линии сброса НФ-пермеата, степени открытия клапана на опциональной обводной линии сильноминерализованной воды и степени открытия клапана на опциональной питательной линии подачи концентрата стабилизации глин.

Как правило, ПВ поток необходимо нагнетать в нефтеносный пласт, поскольку законодательством запрещен сброс подтоварной воды в акваторию (например, океан). По меньшей мере, на раннем этапе заводнения слабоминерализованной водой может потребоваться подмешивание подтоварной воды (ПВ) в составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды в отсутствие специальной скважины для сброса ПВ. Соответственно, может не быть возможности регулирования количества ПВ в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды. Однако по мере развития заводнения слабоминерализованной водой и нагнетания пробки малого порогового объема (ПО) смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (см. ниже) по меньшей мере в одну нагнетательную скважину, по меньшей мере часть ПВ может быть использована в качестве вытесняющей рабочей жидкости для инжектированной пробки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды низкого порогового объема. Специалисту должно быть понятно, что по мере пробуривания и сдачи в эксплуатацию новых нагнетательных скважин для слабоминерализованной воды в ходе заводнения слабоминерализованной водой из нефтеносного пласта будет поступать все большее количество подтоварной воды, так что утилизация ПВ в виде вытесняющей жидкости необязательно устранит необходимость ее утилизации путем подмешивания в пробки слабоминерализованной нагнетательной воды. Если изменяемые количества ПВ могут быть утилизированы путем нагнетания в скважины для обратной закачки воды или в качестве водной вытесняющей жидкости (или как компонент водной вытесняющей жидкости), блок управления может регулировать количество ПВ, включенное в составной поток слабоминерализованной нагнетаемой воды, для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах заданного (заранее установленного) рабочего диапазона. Соответственно, блок управления может, при необходимости, направлять команды для увеличения количества ПВ, которое должно быть утилизировано путем нагнетания в скважину для обратного закачивания подтоварной воды, или для использования увеличенного количества ПВ в качестве водной вытесняющей жидкости.

В комплексную систему, предложенную в настоящем изобретении, в частности в смесительную систему, могут быть включены различные датчики. Эти датчики могут быть использованы для определения ОСРТВ составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды. Например, ОСРТВ составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды может быть определено по его проводимости, в то время как концентрации отдельных ионов или ионов по типам отдельных ионов могут быть определены с использованием стеклянных датчиков с мембранами, проницаемыми для конкретных отдельных ионов или конкретных ионов по типам отдельных ионов. Аналогично, датчики могут быть установлены на питательных линиях ОО-пермеата и НФ-пермеата, любой объединенной питательной линии ОО/НФ-пермеата, питательной линии ПВ и, в некоторых случаях, на обводной линии сильноминерализованной воды, для получения данных, относящихся к ОСРТВ и ионному составу потока ОО-пермеата, потока НФ-пермеата, потока ПВ и/или опционального потока сильноминерализованной воды (и любого объединенного потока ОО/НФ-пермеата). Датчики расхода могут также устанавливаться для определения расходов различных подмешиваемых потоков (потока ОО-пермеата, потока НФ-пермеата, любого комбинированного потока ОО/НФ-пермеата, потока ПВ, опционального потока сильноминерализованной питательной воды и опционального потока концентрата стабилизатора глин) и для определения расходов ОО-пермеата в линии сброса ОО-пермеата и НФ-пермеата в линии сброса НФ-пермеата.

Соответственно, смесительная система может содержать:

(а) датчики концентрации ионов для измерения минерализации или общего содержания растворимых твердых веществ (St), концентрации отдельных ионов (Si) или ионов по разным типам отдельных ионов в ОО пермеате, НФ пермеате, любом объединенном потоке ОО/НФ-пермеата, потоке ПВ, опциональном обводном потоке сильноминерализованной воды (например, морской воды), опциональном по-

токе концентрата стабилизатора глин и составном потоке нагнетательной воды. В частности, смесительная система может иметь датчики концентрации ионов для измерения в потоках по меньшей мере одной из концентраций: ОСРТВ, анионов хлоридов, анионов бромидов, катионов кальция, катионов магния, катионов калия, анионов нитратов и анионов сульфатов для ОО-пермеата, НФ-пермеата, любой комбинации ОО/НФ-пермеата, ПВ и, в некоторых случаях, потоков МВ;

(b) датчики расхода для измерения одного или более из расходов: подмешиваемого потока ОО-пермеата, сбросового потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока НФ-пермеата, сбросового потока НФ-пермеата, любого комбинированного подмешиваемого потока ОО/НФ-пермеата, потока ПВ, опционального обводного потока сильноминерализованной воды (например, морской воды), опционального потока концентрата стабилизатора глин и составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды.

Датчики концентрации ионов, датчики расхода и любые другие описанные здесь датчики могут связываться с блоком управления с использованием любой техники связи, например прямым электрическим соединением или беспроводным электрическим соединением (например, Wi-Fi, Bluetooth).

В некоторых случаях из-за наличия риска ухудшения коллекторских свойств пласта при заводнении слабоминерализованной водой в блок управления вводится значение максимально допустимого повышения давления в скважине или на устье скважины (или максимально допустимого снижения расхода потока нагнетаемой воды после нагнетательного насоса(ов)), за пределами которого происходит недопустимое снижение скорости закачивания. Повышение давления в скважине или на устье скважины и снижение расхода после нагнетательного насоса(ов) указывает на снижение скорости закачивания, возникающее от ухудшения коллекторских свойств пласта.

В некоторых случаях давление в нагнетательной скважине вблизи нефтеносного слоя продуктивного пласта или давление на устье скважины (или расход составной слабоминерализованной нагнетательной воды после нагнетательного насоса(ов) нагнетательной системы продуктивного пласта) можно наблюдать в реальном времени. Контроль давления в нагнетательной скважине может проводиться с использованием скважинного измерительного устройства, например датчика давления, соединенного с блоком управления, например волоконно-оптической линии передачи телеметрических данных.

Если блок управления обнаруживает падение скорости закачивания, он может выбрать другой рабочий диапазон для состава составного потока нагнетаемой воды, который, предположительно, характеризуется меньшим риском ухудшения коллекторских свойств пласта (при поддержании приемлемого уровня повышения нефтеотдачи (ПНО) для нефтеносного(ых) слоя продуктивного пласта) и может далее отрегулировать соотношение компонентов смеси разных подмешиваемых потоков так, чтобы состав нагнетаемой воды попадал в этот другой рабочий диапазон. Блок управления продолжает в реальном времени выполнять контроль давления в скважине или на устье скважины (или расхода после нагнетательного насоса(ов)), чтобы определить, как происходит стабилизация давления (или расхода) в ответ на нагнетание составного потока слабоминерализованной воды, состав которой находится в предпочтительном рабочем диапазоне. Если этого не происходит, блок управления может осуществить дальнейшие изменения в работе смесительной системы для адаптации состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды к другому предпочтительному рабочему диапазону, для которого, по расчетам, риск ухудшения коллекторских свойств пласта еще ниже. Это итерационный процесс, который может повторяться многократно. В некоторых случаях блок управления может принять решение снижения расхода нагнетаемой воды или прекращения нагнетания воды в нагнетательную скважину, если давление продолжает нарастать. Затем блок управления может принять решение о нагнетании стабилизирующего глину состава в нефтеносные слои продуктивного пласта на срок в несколько дней, перед возобновлением заводнения слабоминерализованной водой.

Как правило, в блок управления вводятся корреляции между соотношениями составляющих смеси различных подмешиваемых потоков и составом составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды (например, корреляция между соотношениями составляющих смеси различных подмешиваемых потоков и одного или более из параметров: ОСРТВ, осмотический потенциал, концентрация отдельных ионов, концентрация отдельных ионов по типам ионов, соотношения отдельных ионов и соотношения отдельных ионов по типам ионов в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды). Эти корреляции могут быть основаны на допущении, что составы НФ-пермеата, ОО-пермеата и подмешиваемого потока сильноминерализованной воды (например, морской воды) остаются, в основном, постоянными (в пределах заданных допусков) в ходе работы установки деминерализации. Состав потока ПВ, напротив, как было показано выше, может изменяться в течение процесса заводнения слабоминерализованной водой. Составляющие смешивания различных подмешиваемых потоков зависят от расходов различных подмешиваемых потоков, подводимых в точку(и) слияния (смешивания) смесительной системы, для формирования составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды.

В блок управления также могут вводиться корреляции между степенью открытия разгрузочного клапана НФ, степенью открытия разгрузочного клапана ОО, степенью открытия регулируемого клапана на опциональной обводной линии сильноминерализованной воды и степенью открытия регулируемого клапана на опциональной питательной линии концентрата стабилизатора глин, с одной стороны, и расходами НФ-пермеата, ОО-пермеата, опциональной сильноминерализованной воды и опциональными

подмешиваемыми потоками концентрата стабилизатора глин. При этом блок управления может управлять соотношениями компонентов смеси и, тем самым, составом составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, посредством изменения степени открытия одного или более упомянутых выше регулируемых клапанов, для получения состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, соответствующего заданному (выбранному или заранее определенному) рабочему диапазону. В результате, расходы различных подмешиваемых потоков, предназначенных для подачи в точку(и) смешивания, могут регулироваться в реальном времени, обеспечивая, тем самым, нахождение состава смешанной слабоминерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона.

Как правило, граничные величины для ОСРТВ нагнетаемой воды в ходе основного этапа заводнения слабоминерализованной водой могут находиться в интервале от 200 до 10000 мг/л, предпочтительно, от 500 до 10000 мг/л. Обычно, более низкие значения интервала для ОСРТВ обеспечивают более высокую ПНО, в то время как более высокие значения интервала для ОСРТВ снижают риск ухудшения коллекторских свойств пласта, особенно в нефтеносных пластах, имеющих породу с большим содержанием разбухающих глин. Альтернативные граничные величины для ОСРТВ могут находиться, например, в интервале от 500 до 5000 мг/л, от 500 до 3000 мг/л, от 1000 до 2000 мг/л, от 2000 до 5000 мг/л или от 3000 до 7000 мг/л (в зависимости от риска ухудшения коллекторских свойств пласта). Блок управления может управлять составом смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды так, чтобы поддерживать его в выбранном интервале граничных величин для ОСРТВ.

Обычно, блок управления поддерживает концентрацию анионов сульфатов в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде на уровне менее 100 мг/л; предпочтительно менее 50 мг/л и наиболее предпочтительно менее 40 мг/л.

Обычно, блок управления поддерживает общее содержание многовалентных катионов в смешанной нагнетаемой воде в пределах интервала от 1 до 25 мг/л; предпочтительно от 3 до 150 мг/л и, в частности, от 50 до 150 мг/л при условии, что отношение содержания многовалентных катионов в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде и содержания многовалентных катионов в реликтовой воде составляет менее 1.

Обычно, блок управления поддерживает концентрацию катионов кальция в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде в пределах интервала от 1 до 200 мг/л; предпочтительно от 5 до 150 мг/л и, в частности, от 50 до 150 мг/л при условии, что отношение содержания катионов кальция в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде и содержания катионов кальция в реликтовой воде составляет менее 1.

Обычно, блок управления поддерживает концентрацию катионов магния в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде в пределах интервала от 2 до 400 мг/л; предпочтительно от 10 до 300 мг/л и, в частности, от 100 до 300 мг/л при условии, что отношение содержания катионов магния в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде и содержания катионов магния в реликтовой воде составляет менее 1.

Обычно, блок управления поддерживает концентрацию катионов калия в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде в пределах интервала от 10 до 2000 мг/л и, в частности, от 250 до 1000 мг/л при условии, что ОСРТВ в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде остается в пределах граничных величин для установленного рабочего диапазона.

Граничные величины для ОСРТВ и концентраций отдельных ионов и концентраций любых стабилизирующих глины добавок изменяются в зависимости от реакции повышения нефтеотдачи (ПНО) на низкую минерализацию нефтеносного пласта и состава породы нефтеносных слоев продуктивного пласта и, в частности, от содержания поддающихся разбуханию и миграции глин и минералов, имеющих отношение к ухудшению коллекторских свойств пласта.

Эти граничные величины могут быть определены анализом образца породы, взятого из нефтеносного слоя продуктивного пласта. Образцами коллекторской пластовой породы могут быть, например, осколки породы или керн, отбираемый из стенки ствола скважины. В альтернативном случае, анализ коллекторской пластовой породы, окружающей нагнетательную скважину, может быть выполнен геофизическим каротажем с использованием скважинного каротажного оборудования. Анализ породы может включать, помимо прочего, определение наличия (и количества) глин и идентификацию типов глин (и их количества). Аналитические методы для количественных оценок глин могут включать геофизический каротаж, рентгеновскую дифракцию (РД), сканирующую электронную микроскопию (СЭМ), сцинтилляционный счетчик в ИК диапазоне или ситовый анализ. В некоторых других вариантах выполнения изобретения анализ горных пород может включать определение количества глин в интервале примерно от 2 до 20 мас.%. Анализ породы может также включать определение содержания минеральных веществ глиняной фракции породы, в частности смектитовых глин (например, монтмориллонит), пиррофиллитовых глин, каолинитовых глин, иллитовых глин, хлоритовых глин и глауконитовых глин и может быть выполнен методом рентгеновской дифракции (РД) или сканирующей электронной микроскопией (СЭМ). Оптимальная минерализация для основного этапа заводнения может быть определена установлением связи ухудшения коллекторских свойств пласта, возникающего при разных граничных величинах минерализации нагнетаемой воды для ряда различных образцов породы с разным содержанием глин и разным составом.

вом глин, и выбором граничных величин для минерализации образца породы, наиболее близко соответствующего по составу породе (т.е. используя данные за прошедшие периоды) продуктивного пласта, который должен подвергнуться заводнению слабоминерализованной водой. В альтернативном варианте, могут быть выполнены эксперименты на образцах породы, взятых в части продуктивного пласта, где была пробурена нагнетательная скважина, с использованием других граничных величин для минерализации и состава отдельных ионов для смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, для определения оптимального диапазона для минерализации и состава нагнетательной воды для основного этапа заводнения.

Как правило, скорость закачки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды ограничена производительностью установки деминерализации или необходимостью утилизации нарастающих количеств подтоварной воды за время заводнения слабоминерализованной водой. Соответственно, заводнение слабоминерализованной водой может предусматривать нагнетание пробки (оторочки) низкого порового объема (ПО) смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в нефтеносный слой продуктивного пласта в первой нагнетательной скважине в количестве, равном по меньшей мере 0,3 порового объема и, предпочтительно, по меньшей мере 0,4 порового объема, поскольку пробки с такими минимальными поровыми объемами склонны сохранять свою целостность внутри пласта. Для ограничения количества воды, нагнетаемой в продуктивный пласт через нагнетательную скважину, желательно, чтобы поровый объем смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды составлял менее 1, более предпочтительно был менее или равен 0,9 ПО, наиболее предпочтительно менее или равен 0,7 ПО, в частности менее или равен 0,6 ПО, например менее или равен 0,5 ПО.

После нагнетания низкого порового объема смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в первую нагнетательную скважину вытесняющая вода может быть закачана из нагнетательной скважины в нефтеносный слой продуктивного пласта для обеспечения продвижения пробки смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (а значит, и нефтяной зоны, перемещаемой вытесняющим агентом) через нефтеносный слой пласта к эксплуатационной скважине. Кроме того, закачивание вытесняющей воды может потребоваться для поддержания давления в продуктивном пласте. Обычно, вытесняющая вода имеет ПО больше, чем пробка водной вытесняющей текучей среды.

Предпочтительно, вытесняющей водой является подтоварная вода или смесь морской воды и подтоварной воды в зависимости от количества подтоварной воды, отделенной на промысловом оборудовании. Использование подтоварной воды в качестве вытесняющей воды предпочтительно в связи с ограничениями на утилизацию подтоварной воды в морскую акваторию. Соответственно, после закачивания пробки слабоминерализованной нагнетаемой воды первая нагнетательная скважина может быть использована в качестве утилизационной скважины подтоварной воды. Однако, как было показано выше, благодаря росту количества ПВ, отделяемой от газа и нефти на промысловом оборудовании по мере развития заводнения слабоминерализованной водой, может сохраняться необходимость в утилизации части ПВ в другой пробке смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, которая закачивается в одну или более следующих скважин для нагнетания слабоминерализованной воды. Этими нагнетательными скважинами могут быть скважины, ранее использованные для нагнетания МВ или скважины для нагнетания слабоминерализованной воды, сданные в эксплуатацию либо во время, либо после закачивания пробки смешанной слабоминерализованной нагнетательной воды в первую нагнетательную скважину для слабоминерализованной воды.

Далее изобретение будет рассмотрено со ссылкой на фигуру.

На фигуре показана комплексная система для получения слабоминерализованной нагнетаемой воды для продуктивного пласта с нефтеносным слоем 22, пробуриваемого по меньшей мере одной нагнетательной скважиной 20, и по меньшей мере одной эксплуатационной скважиной 21. Комплексная система включает установку деминерализации, содержащую мембранный блок 1 для обработки питательной воды 2 (обычно, морской воды); смесительную систему, содержащую различные линии прохождения, для формирования смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, в некоторых случаях резервуар 50 для концентрата и насос 25 для стабилизирующего глину концентрата; и блок 52 управления для управления работой установки деминерализации и для управления смешиванием потока слабоминерализованной нагнетаемой воды в смесительной системе. Комплексная система также включает нагнетательную систему, содержащую один или более нагнетательных насосов 24 для нагнетательной скважины 20, и промысловое оборудование 54, соединенное трубопроводами с выкидной линией 28 эксплуатационной скважины 21. Промысловое оборудование 54 также имеет линию 27 прохождения для ПВ, соединенную со смесительной системой.

Мембранный блок 1 имеет подающий насос 3, узел 4 ОО и узел 5 НФ (каждый узел может быть как одноступенчатым узлом, так и многоступенчатым). Как узел ОО, так и узел НФ могут иметь одну питательную воду (например, морскую воду), как это показано на фигуре. Однако также предполагается, что ОО концентрат (также называемый в технике "ретентатом") из первой ступени ОО может быть разделен для формирования питающего потока для второй ступени ОО и для узла НФ.

Узел 4 ОО содержит несколько модулей ОО. Узел 5 НФ содержит несколько модулей НФ. Обычно количество модулей узла ОО и количество модулей узла НФ выбирается так, чтобы соответствовать тре-

буемому объему выработки ОО-пермеата и НФ-пермеата для составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды на основном этапе заводнения слабоминерализованной водой. Установка деминерализации также может быть оснащена обводной линией 6 для питательной воды 2 (например, морской воды).

Комплексная система включает клапаны V1-V7 и различные линии прохождения (патрубки), формирующие пути прохождения потока, описанные ниже. Клапанами V1-V7 могут быть дроссельные клапаны, а степень открытия дроссельных клапанов может устанавливаться блоком управления (т.е. полностью открытое положение, полностью закрытое положение или различные промежуточные положения). Соответственно, блок 52 управления может управлять потоками и давлениями через мембранный блок, управляя подающим насосом 3, клапанами V1-V5 или любой их комбинацией (для простоты представления, на фигуре не показаны электрические соединения между блоком 52 управления, подающим насосом 3, и клапанами V1-V5). В некоторых вариантах выполнения связь между блоком 52 управления и подающим насосом 3 и клапанами V1-V5 может включать беспроводные средства связи, например Wi-Fi или Bluetooth.

Датчики Q1-Q11 расхода используются для определения расхода в различных линиях прохождения комплексной системы. Данные расхода могут быть направлены от датчиков Q1-Q11 расхода в блок 52 управления по линиям передачи электрических сигналов (пунктирные линии на фигуре) или по беспроводным каналам связи, например Wi-Fi или Bluetooth. В некоторых случаях датчики Q1 и Q2 на линиях 8 и 7 для концентрата ОО и концентрата НФ, соответственно, могут не использоваться.

Также используются датчики S1-S9 для определения общего содержания растворимых твердых ионов (ОСРТВ) и/или концентрации отдельных ионов или отдельных ионов по типам ионов (например, многовалентных катионов или двухвалентных катионов) в различных линиях прохождения. Данные о концентрации ионов также направляются от датчиков S1-S9 концентрации ионов к блоку 52 управления по линиям передачи электрических сигналов (пунктирные линии, показанные на фигуре) или по беспроводным каналам связи, например Wi-Fi или Bluetooth. В некоторых случаях датчики S4 и S6 на линиях 7 и 8 для концентрата НФ и концентрата ОО, соответственно, могут не использоваться. Датчик S6 на опциональной линии 26 прохождения концентрата стабилизатора глины также может быть исключен, если концентрация этой добавки в резервуаре с концентратом была ранее измерена и остается неизменной во времени (в этом случае измеренная концентрация добавки в концентрате может быть введена в блок 52 управления). Также предполагается, что датчики S1, S2 и S3 на опциональной обводной линии 6 для морской воды, на питательной линии 9 ОО-пермеата, и питательной линии 13 НФ-пермеата, соответственно, могут не использоваться, когда можно прогнозировать, что составы МВ, ОО-пермеата и НФ-пермеата останутся в основном постоянными во время процесса.

В показанной на фигуре схеме подающий насос 3 накачивает питательную воду 2 в узел 4 ОО, в котором питательная вода разделяется на ОО пермеат (протекающий по питательной линии 9 ОО-пермеата) и ОО концентрат (протекающий по питательной линии 8 ОО концентрата), и в узел 5 НФ, в котором питательная вода разделяется на НФ пермеат (протекающий по питательной линии 13 НФ-пермеата) и НФ концентрат (протекающий по питательной линии 7 НФ концентрата), в смесительную систему. Давление питательной воды на узлы ОО и НФ может регулироваться (например, с использованием подпорного насоса для входящего ОО потока или клапана снижения давления для входящего НФ потока) для согласования рабочих давлений ОО модулей ОО узла 4 и НФ модулей НФ узла 5 (модули НФ обычно работают при более низких давлениях, чем модули ОО). В некоторых случаях подающий насос 3 закачивает в смесительную систему часть питательной воды (например, МВ) через обводную линию 6. Клапаны V1 и V2, по меньшей мере, частично открыты для отведения, соответственно, ОО концентрата и НФ концентрата из смесительной системы. Обычно отведенные потоки ОО концентрата и НФ концентрата сливаются в акваторию (например, морскую) по линиям 8 и 7 соответственно. НФ пермеат может быть далее закачан в ОО пермеат для формирования объединенного потока ОО/НФ пермеата, протекающего по линии 16. В некоторых случаях поток ОО/НФ пермеата также включает МВ и/или концентрат стабилизатора глины (добавляется по питательным линиям 6 и/или 26, соответственно).

Текущие среды, добываемые из эксплуатационной скважины 21, проходят в промысловое оборудование 54 по выкидной линии 28. Добываемые текущие среды разделяются в промысловом оборудовании 54 на поток нефти, поток газов и подмешиваемый поток подтоварной воды (ПВ). Смешиваемый поток ПВ протекает в смесительную систему по линии 27, где он нагнетается в комбинированный подмешиваемый поток ОО/НФ-пермеата, протекающий по линии 16, для формирования составного слабоминерализованного нагнетаемого водного потока. Затем составной слабоминерализованный нагнетаемый водный поток нагнетается в нагнетательную скважину 20 по нагнетательной линии 18. Представляется, однако, что подмешиваемые потоки НФ-пермеата, ОО-пермеата, ПВ, опциональной МВ и опционального концентрата стабилизатора глины могут быть скомбинированы в любом порядке, в том числе и в одной точке слияния.

Как показано выше, граничные величины для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (например, граничные величины для ОСРТВ, концентраций одного или более отдельных ионов, концентрации ионов по типам отдельных ионов, соотношения концентраций отдельных ионов, соотношения концентраций ионов по типам отдельных ионов или концентрации одной или более доба-

вок для стабилизации глин в смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воде) вводятся в блок 52 управления, определяя, тем самым, рабочий диапазон (например, первый рабочий диапазон), который максимизирует повышение нефтеотдачи (ПНО) нефтеносного слоя 22 продуктивного пласта, при этом снижая риск ухудшения коллекторских свойств пласта, его закисления или образования в нем твердых отложений.

Как правило, различные составы для смешанной слабоминерализованной нагнетательной воды (ОСРТВ, концентраций одного или более отдельных ионов, концентрации ионов по типам отдельных ионов, соотношения концентраций отдельных ионов, соотношения концентраций ионов по типам отдельных ионов или концентрации одной или более добавок для стабилизации глин) коррелированы с соотношением компонентов в смеси в объединенном потоке ОО/НФ-пермеата и потоке ПВ (или различными расходами объединенного потока ОО/НФ-пермеата и потока ПВ к точке слияния, или различными процентами объемной доли потока ОО/НФ-пермеата и доли потока ПВ в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды). Различные составы также коррелированы с различными составами потока ПВ и различными составами для объединенного потока ОО/НФ-пермеата (включая составы для объединенного потока ОО/НФ-пермеата, включающего МВ и одну или более добавку стабилизатора глин). Эти корреляции могут быть введены в блок управления, благодаря чему блок 52 управления может управлять работой смесительной системы для изменения соотношения компонентов смеси объединенного потока ОО/НФ-пермеата с потоком ПВ и/или состава объединенного потока ОО/НФ-пермеата, смешанного с ПВ (или расходом объединенного потока ОО/НФ-пермеата или процентами объемной доли объединенного потока ОО/НФ-пермеата в составном потоке слабоминерализованной нагнетаемой воды), для получения состава смешанного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды, соответствующего требованиям рабочего диапазона.

Как было показано выше, количество (расход) и/или качество (состав) подтоварной воды могут меняться со временем. Блок 52 управления может направлять команды для изменения работы смесительной системы в реальном времени, реагируя на изменения в количестве и/или качестве ПВ, для изменения расхода и/или состава объединенного потока ОО/НФ-пермеата, смешанного с ПВ так, что состав составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды остается в пределах рабочего диапазона (например, первого рабочего диапазона). Например, соотношение компонентов смеси потоков НФ- и ОО-пермеата (а значит, и состава объединенного состава ОО/НФ-пермеата) и расход (количество) объединенного потока ОО/НФ-пермеата могут быть отрегулированы блоком 52 управления, направляющим команды на изменение степени открытия дроссельного клапана V4 на линии 11 сброса ОО-пермеата, или степени открытия дроссельного клапана V3 на линии 10 сброса НФ-пермеата.

Блок 52 управления также может изменять работу смесительной системы в реальном времени, реагируя на изменения в количестве и/или качестве ПВ, для изменения расходов (количеств) опциональной МВ и/или концентрата стабилизатора глин, включенных в объединенный поток ОО/НФ-пермеата. Так, например, блок 52 управления может направлять команды на изменение степени открытия дроссельных клапанов V5 и/или V6 на опциональной обводной линии 6 и опциональной питательной линии 26 концентрата стабилизатора глин соответственно.

Блок 52 управления может следить в реальном времени за расходом и составом потока ПВ, используя датчик Q10 расхода и датчик S8, соответственно, на линии 27 прохождения ПВ, и также за расходом и составом объединенного потока ОО/НФ, используя датчик Q11 расхода и датчик S7, соответственно, для определения эффективности изменений работы установки, для поддержания состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона. При недостаточной эффективности блок 52 управления может выполнить дальнейшие регулировки работы смесительной системы. Таким образом, представленная на фигуре комплексная система для изготовления составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды включает блок 52 управления, имеющий контур обратной связи, обеспечивающий непрерывную регулировку состава составного потока слабоминерализованной нагнетаемой воды для поддержания его в рабочем диапазоне, в ответ на изменения количества и качества подтоварной воды (ПВ).

Также предусмотрено, что в блок 52 управления могут быть введены альтернативные граничные величины, определяющие альтернативные рабочие диапазоны (второй, третий и т.д. рабочие диапазоны) для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды, которые могут еще более снизить риск ухудшения коллекторских свойств пласта, его закисления или образования в нем твердых отложений, при сохранении приемлемой повышенной нефтеотдачи продуктивного пласта.

Соответственно, в дополнение к поддержанию состава смешанной нагнетаемой воды в пределах рабочего диапазона (например, первого рабочего диапазона) в ответ на изменение количества или качества подтоварной воды (ПВ) блок 52 управления может наблюдать показания датчика 23 давления, отслеживая увеличения давления вблизи нефтеносного интервала 22 нагнетательной скважины, либо может наблюдать показания датчика Q9 расхода, расположенного после нагнетательного насоса(ов) 24 нагнетательной системы, отслеживая падение расхода (оба этих параметра могут свидетельствовать о недопустимом падении скорости закачивания вследствие ухудшения коллекторских свойств пласта). Величины максимально допустимого увеличения давления и/или максимально допустимого падения расхода

могут быть введены в блок 52 управления (где эти величины сопоставляются с допустимым падением скорости закачивания). Если давление в скважине вблизи нефтеносного интервала увеличивается до величины, приближающейся к максимально допустимому росту давлению или достигающей его, или расход после нагнетательного насоса(ов) 24 падает до величины, приближающейся к максимально допустимому падению расхода или достигающей его, блок 52 управления может выбрать другой рабочий диапазон для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды (например, один из второго, третьего и т.д. рабочих диапазонов), которые могут согласно прогнозу снизить риск ухудшения коллекторских свойств пласта. Например, альтернативный рабочий диапазон для состава смешанной слабоминерализованной нагнетаемой воды может быть определен одним или более параметрами: более высокими граничными величинами для ОСРТВ; более высокими граничными величинами для содержания двухвалентных катионов (в частности, содержания катионов кальция); или более высокими граничными величинами для одной или более добавок стабилизатора глин. Блок 52 управления далее может управлять работой смесительной системы для регулирования состава и расхода объединенного потока ОО/НФ так, чтобы состав составного потока нагнетательной воды попал в пределы альтернативного рабочего диапазона. Например, для этого блок 52 может направлять команды на увеличение количества ОО-пермеата, выпущенного через линию 11 сброса ОО-пермеата, для увеличения содержания двухвалентных катионов в объединенном потоке ОО/НФ-пермеата путем увеличения количества морской воды (МВ) в объединенном потоке ОО/НФ-пермеата, или на увеличение количества концентрата стабилизатора глин в объединенном потоке ОО/НФ (путем изменения степени открытия одного или более дроссельных клапанов V4, V5 или V6 соответственно). Блок 52 управления может отслеживать влияние изменения в работе смесительной системы на расход или состав объединенного потока ОО/НФ-пермеата (используя датчик Q11 расхода и датчик S7 соответственно) и на расход или состав составного потока нагнетаемой воды, используя датчик Q9 расхода и датчик S9, соответственно, для определения того, попали ли расход и состав составного потока нагнетаемой воды в пределы альтернативного рабочего диапазона под влиянием изменений в работе установки, и, при необходимости, может сделать дальнейшие изменения в работе смесительной системы для получения состава в пределах альтернативного рабочего диапазона. Таким образом, комплексная система согласно фигуре имеет блок 52 управления с контуром обратной связи, который позволяет смесительной системе вырабатывать составной поток 18 слабоминерализованной нагнетаемой воды с параметрами в пределах альтернативного рабочего диапазона.

В том случае, если существует несколько нагнетательных скважин, то для каждой нагнетательной скважины имеется своя линия для нагнетательной воды, и комплексная система в соответствии с настоящим изобретением может быть использована для получения составных потоков нагнетаемой воды, имеющих составы, специально разработанные для каждой нагнетательной скважины.

Если пробка смешанной слабоминерализованной нагнетательной воды была закачана по меньшей мере в одну из нескольких нагнетательных скважин, например в нагнетательную скважину 20, предусматривается, что может быть использована специальная нагнетательная линия для этой нагнетательной скважины для нагнетания ПВ (из линии 27 прохождения ПВ) или смеси МВ и ПВ (из обводной линии 6 и линии 27 прохождения ПВ) в качестве водной вытесняющей текучей среды для перемещения пробки смешанной слабоминерализованной нагнетательной воды, а значит и отсоединенной нефтяной зоны, перемещаемой вытесняющей текучей средой в направлении эксплуатационной скважины 21. Соответственно, потоки ОО-пермеата и НФ-пермеата больше не требуются для нагнетательной скважины 20 и могут быть направлены для получения одного или более составных потоков слабоминерализованной нагнетательной воды для одной или более альтернативных нагнетательных скважин.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Комплексная система для получения потока слабоминерализованной воды, 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;
 нагнетательную систему для одной или более нагнетательных скважин, пробуриваемых в нефтеносный слой продуктивного пласта; и
 промышленное оборудование, выполненное с возможностью разделения текучих сред, получаемых из одной или более эксплуатационных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта, и подачи потока подтоварной воды (ПВ) в смесительную систему,
 причем смесительная система выполнена с возможностью смешивания подмешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата с потоком ПВ для получения составного потока слабоминерализованной воды, и
 блок управления выполнен с возможностью динамического изменения работы смесительной системы для регулирования количества по мень-

шей мере одного из смешиваемых потоков ОО-пермеата и НФ-пермеата для поддержания состава составного потока слабominерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона; и

динамического регулирования количества, по меньшей мере, ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, или НФ-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса НФ-пермеата.

2. Система по п.1, в которой блок управления выполнен с возможностью приема данных рабочего диапазона от источника, внешнего относительно блока управления.

3. Система по любому из предыдущих пунктов, в которой рабочий диапазон определяет верхнюю и нижнюю границы для параметра, выбранного из группы, состоящей из общего содержания растворимых твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов; концентрации по типам отдельных ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов.

4. Способ получения потока слабominерализованной воды посредством комплексной системы по п.1, при осуществлении которого

получают подмешиваемый поток пермеата обратного осмоса (ОО) с использованием узла ОО установки деминерализации;

получают подмешиваемый поток пермеата нанофильтрации (НФ) с использованием узла НФ установки деминерализации;

разделяют текущие среды, получаемые от одной или более эксплуатационных скважин, пробуренных в нефтеносный слой продуктивного пласта, для получения потока подтоварной воды (ПВ);

смешивают подмешиваемый поток ОО-пермеата, подмешиваемый поток НФ-пермеата и поток ПВ в смесительной системе для получения составного потока слабominерализованной воды;

динамически регулируют работу смесительной системы для регулирования количества подмешиваемого потока ОО-пермеата и подмешиваемого потока НФ-пермеата для поддержания состава составного потока слабominерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона; и

динамически регулируют количество, по меньшей мере, ОО-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, или НФ-пермеата, отводимого из смесительной системы через линию сброса НФ-пермеата.

5. Способ по п.4, в котором при смешивании смешивают в смесительной системе морскую воду (МВ) с подмешиваемым потоком ОО-пермеата, подмешиваемым потоком НФ-пермеата и потоком ПВ для получения составного потока слабominерализованной воды.

6. Способ по п.4 или 5, в котором при динамическом регулировании работы смесительной системы регулируют клапан в смесительной системе.

7. Способ по п.6, в котором клапаном является клапан на линии сброса ОО-пермеата.

8. Способ по п.6 или 7, в котором клапаном является клапан на линии сброса НФ-пермеата.

9. Способ по любому из пп.6-8, в котором клапаном является клапан на обводной линии сильноминерализованной воды, которая шунтирует установку деминерализации и подает МВ в смесительную систему.

10. Комплексная система для получения потока слабominерализованной воды, включающая блок управления;

несколько клапанов, управляемых блоком управления;

несколько устройств контроля расхода и состава текущей среды, выполненных с возможностью предоставления данных измерения расхода и состава текущей среды, соответственно, в блок управления;

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

узел нанофильтрации (НФ), выполненный с возможностью выработки подмешиваемого потока НФ-пермеата; и

смесительную систему, содержащую линию, выполненную с возможностью смешивания подмешиваемого потока ОО-пермеата, подмешиваемого потока НФ-пермеата и потока подтоварной воды (ПВ) в составной поток слабominерализованной воды,

причем блок управления выполнен с возможностью

регулирования на основе данных измерения расхода и состава текущей среды работы по меньшей мере одного из клапанов для поддержания состава составного потока слабominерализованной воды в пределах заданного рабочего диапазона; и

регулирования количества, по меньшей мере, ОО-пермеата, отведенного из смесительной системы через линию сброса ОО-пермеата, или НФ-пермеата, отведенного из смесительной системы через линию сброса НФ-пермеата.

11. Система по п.10, в которой данные расхода и данные состава относятся к составному потоку слабominерализованной воды.

12. Система по п.10 или 11, дополнительно включающая нагнетательную систему, выполненную с возможностью доставки составного потока слабominерализованной воды к пласту месторождения через нагнетательную скважину.

13. Система по любому из пп.10-12, в которой рабочий диапазон определяет верхний и нижний

пределы для параметра, выбранного из группы, состоящей из общего содержания растворимых твердых веществ (ОСРТВ); ионной силы; концентрации отдельных ионов; концентрации по типам отдельных ионов; отношений по типам отдельных ионов; и отношений отдельных ионов.

14. Система по любому из пп.10-13, в которой несколько клапанов содержат первый клапан на линии сброса ОО-пермеата и дополнительно содержат второй клапан на линии сброса НФ-пермеата.

