

ПРОБЛЕМЫ ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ШЕЛЬФА АРКТИЧЕСКИХ МОРЁЙ

По расчетам, закачивание в пласт морской воды и ее смешение с пластовой водой продуктивного горизонта в любых соотношениях не приведет к образованию осадка (кальцита и гипса). Смесь пластовой и морской воды насыщена сульфатом бария и карбонатом стронция, но в полисолевых рассольных системах выпадение $BaSO_4$ и $SrCO_3$ в осадок маловероятно. Технология водоподготовки предусматривает подогрев воды Печорского моря перед ее закачкой в пласт. При нагреве возможен распад содержащегося в ней бикарбоната кальция с выделением осадка $CaCO_3$, но для таких отложений легко подобрать ингибитор. В целом технология подготовки к закачке в пласт разработана и для попутно добываемой пластовой воды, и для воды, забираемой из Печорского моря.

Calculations have shown that injecting of seawater in the reservoir and its mixing with underground water does not provoke precipitation of calcite and/or gypsum, at any mix proportions. Those mixtures of reservoir and sea waters are saturated in barium sulfate and strontium carbonate, but their precipitation is however unlikely in polysalt brine systems. In the case of their improbable deposition, a scaling inhibitor should be easily used. The water treatment scheme includes the heating of Pechora sea water before its injection into reservoir. Decay of the seawater calcium bicarbonate with precipitation of $CaCO_3$ is possible under heating. In general, the water treatment technology of injection is actually elaborated as for the Pechora sea water so for the produced bed water.

Российская Федерация обладает самым обширным в мире шельфом, площадь которого составляет почти 22 % общей площади континентального шельфа Мирового океана. Значительная часть (70 %) российского шельфа оценивается как область, перспективная на нефть и газ, но основная часть приходится на замерзающие акватории с тяжелым ледовым режимом и суровыми природно-климатическими условиями.

На морские промыслы приходится около трети общемировой добычи нефти и газа; многими компаниями накоплен большой опыт по освоению месторождений и на мелководном шельфе, и в глубоководных зонах, но лишь в регионах с жарким и умеренным климатом (Мексиканский залив, Персидский залив, Северное море, побережье Анголы и Бразилии и др.). Мировая практика пока не располагает апробированной технологией и техническими средствами для масштабной морской добычи нефти и газа в

арктических условиях. Освоение месторождений арктического шельфа является едва ли не единственным способом обеспечения роста потребления углеводородов, и решение связанных с этим технических задач имеет приоритетное значение.

Необходимость поддержания высоких дебитов скважин при ограниченном потенциале естественной пластовой энергии потребует закачки воды в пласт уже на начальном этапе разработки. Проблемы, возникающие при использовании для заводнения воды Печорского моря, условно можно подразделить на три группы:

1. Выпадение в осадок кальцита и гипса при контакте с пластовой водой продуктивных горизонтов.

2. Распад содержащихся в воде бикарбонат-ионов, и, как следствие, выпадение осадка карбоната кальция при нагревании холодной морской воды на стационарной платформе и в пласте.

3. Биообрастания в нефтепромысловом оборудовании из-за наличия в морской воде планктона.

Имеется опыт закачки воды внутренних морей (вода Каспийского моря в Азербайджане), однако Печорское море относится к открытому морю (воды открытых морей имеют практически одинаковый состав и соленость около 35 г/л; соленость воды Каспийского моря составляет 13-14 г/л). Таким образом, данные об использовании для заvodнения воды Печорского моря можно применить и к условиям других открытых морей.

Вода Печорского моря имеет следующий основной состав, мг/л: HCO_3^- 125; Cl^- 17120; SO_4^{2-} 2310; Ca^{2+} 370; Mg^{2+} 9520; Na^+ 9520; K^+ 330. Общая минерализация 30,98 г/л. Содержание микропримесей следующее, мг/л: бор 4,0; алюминий 0,5; кремний 0,22; фосфаты 1,1; литий 0,16; йод 75; бром 2,0; стронций 7,0; железо закисное 5,0; железо общее 7,0. Содержание растворенного кислорода 7-8 мг/л.

Как правило, pH поверхностных слоев морской воды, благодаря малому содержанию растворенной углекислоты, отличается большим постоянством и обычно не выходит из узких пределов (8,1-8,4). Вода Печорского моря не является исключением ($\text{pH} = 8,2$).

Колебания солености воды в Печорском море обусловлены главным образом влиянием стока воды из реки Печоры, создающей крупнейший пресный водосброс на севере России. В период весеннего снеготаяния вода с пониженной соленостью распространяется за пределы Печорской губы, перемешиваясь с поверхностными течениями.

На основе многолетних наблюдений были установлены следующие параметры: максимальная соленость морской воды в придонном слое 34,72 г/л, минимальная – 32,13 г/л; максимальная соленость воды в поверхностном слое 33,46 г/л; минимальная – 12,67 г/л; плотность воды в придонном слое 1026 кг/м³.

Средний уровень содержания взвеси в воде Печорского моря составляет 3,5 мг/л.

Однако значение этой величины меняется в зависимости от глубины и сезона, достигая высшего уровня в поверхностном слое воды (в среднем 4,2 мг/л). В период весеннего таяния снега, при максимальном стоке из Печоры, повышенное количество взвешенного вещества выносится в прибрежную часть моря.

Уровни содержания планктона в Печорском море характеризуются следующими значениями, мг/л: бактериопланктон 0,003-0,004; фитопланктон 0,02-0,30, зоопланктон 0,05-0,09.

Сезонное развитие фитопланктона обычно отмечается максимумом в мае-июне, для зоопланктона таким периодом является июль-август, и самые высокие концентрации планктона наблюдаются в прибрежной части моря. Соответственно, в районе Приразломного месторождения концентрация планктона является незначительной, так как в удалении от берега из-за низкого содержания питательных веществ в морской воде благоприятные условия для его развития отсутствуют.

При закачке в пласт морской воды и смешении вод с разной минерализацией возможно образование осадков: чаще всего из раствора выпадают соединения типа кальцита CaCO_3 и гипса CaSO_4 . Пластовая вода Приразломного месторождения (по данным скв. № 4) имеет следующий состав, мг/л: HCO_3^- 555; Cl^- 34410; SO_4^{2-} 365; Ca^{2+} 4460; Mg^{2+} 985; Na^+ 15970; K^+ 210. Минерализация 57,28 г/л; плотность 1,044 г/см³. Активная реакция среды нейтральная ($\text{pH} = 7,0$). Содержание микропримесей, мг/л: бром 15,0; стронций 320; барий 31; закисное железо 8,0; общее железо 99; бор 49,0; алюминий 1,0; йод 99,0. Присутствует сероводород; растворенного кислорода нет.

По этим данным можно сделать вывод, что морская вода – соленая, пластовая – рассольная. По классификации природных вод Сулина, морская вода относится к хлормагниевой, пластовая вода – к хлоркальциевой. Был выполнен расчет совместимости пластовой и морской воды по кальциту и гипсу.

При смешении различных типов воды высокой минерализации происходит изме-

нение состава и индекса стабильности вновь образованной воды. Склонность исследуемой воды к выделению гипса рассчитывали по степени насыщения S_{CaSO_4} . При $S_{\text{CaSO}_4} > 1$ вода склонна к выделению гипса в виде твердой взвеси. Склонность воды к выделению кальцита была рассчитана по степени насыщения S_{CaCO_3} . При $S_{\text{CaCO}_3} > 1$ вода склонна к выделению кальцита.

Результаты расчетов для смешения закачиваемой морской воды и пластовой воды продуктивного горизонта показали, что при любых соотношениях воды осадок кальцита и гипса не образуется.

Смесь пластовой и морской воды насыщена по сульфату бария и карбонату стронция. Однако в полисолевых рассольных системах выпадение BaSO_4 и SrCO_3 маловероятно. При появлении соответствующих отложений подбирается ингибитор солеотложений.

Температура воды Печорского моря колеблется от -2 до $+10$ $^{\circ}\text{C}$. По технологии водоподготовки предусмотрен подогрев морской воды перед закачкой в пласт. При нагреве возможен распад содержащегося в морской воде бикарбоната кальция с выделением осадка CaCO_3 .

Были проведены расчеты по стабильности морской воды к выпадению кальцита при нагреве ее от 0 до $+60$ $^{\circ}\text{C}$. При этом константа второй ступени диссоциации угольной кислоты K_2 изменялась от $2,3 \cdot 10^{-11}$ до $7,4 \cdot 10^{-11}$; произведение растворимости карбоната кальция – от $9,5 \cdot 10^{-9}$ до $1,8 \cdot 10^{-9}$. Расчеты показали, что выделения кальцита при нагреве морской воды не ожидается.

С учетом вышесказанного разработана технология подготовки попутно добываемой пластовой воды и забираемой воды Печорского моря. Технологическая схема подготовки пластовой воды следующая: гидроциклоны – сепараторы пластовой воды – фильтр тонкой очистки – насосная станция. Пластовая вода из системы подготовки нефти поступает на гидроциклоны, где происходит отделение большей части оставшейся нефти и более крупных твердых частиц. Максимально допустимое рабочее давление гидроциклона $2,6$ МПа. Отделенная в гид-

роциклонах нефть подается в систему подготовки нефти. Пластовая вода поступает в горизонтальные сепараторы пластовой воды, используемые для удаления оставшихся в воде газа и нефти. Максимально допустимое рабочее давление пластовой воды $0,9$ МПа.

Внутренняя регулируемая перегородка слива устанавливается в сепараторе пластовой воды для задания границы между нефтью и водой. Отделенная вода с помощью насосов перекачивается в систему фильтрования, где производится удаление из нее взвешенных механических примесей. Для фильтрования используются фильтры тонкой очистки с автоматической электронной промывкой обратного потока с сеткой размером 5 мкм.

После очистки пластовая вода будет иметь следующие показатели: концентрация взвешенных твердых примесей – до 5 мг/л; содержание твердых примесей с размером частиц более 5 мкм – менее 2 % от общего содержания частиц; содержание нефти – менее 2 мг/л.

Технологическая схема подготовки морской воды следующая: фильтр грубой очистки – теплообменники – фильтр тонкой очистки – деаэратор. Фильтр грубой очистки с автоматической электронной промывкой оборудован сеткой размером 80 мкм. После первичного фильтрования в морскую воду при помощи дозировочных насосов подается гипохлорит натрия для предотвращения биообразования, после чего вода подогревается до $+35$ $^{\circ}\text{C}$. Для нагрева воды используются горизонтальные резервуары, оборудованные электрическими нагревателями.

После нагрева морская вода поступает на фильтр тонкой очистки с автоматической электронной промывкой обратного потока с сеткой размером 5 мкм. Содержание механических примесей после очистки – до 5 мг/л. Перед деаэратором дозируется пеногаситель. Для полного удаления кислорода после деаэратора предусмотрена подача при помощи насосов-дозаторов поглотителя кислорода Servo UCA 602 с дозировкой до 80 мг/л.

Балластная вода подготавливается по схеме подготовки морской воды.

Степень коррозионного воздействия на нефтепромысловое оборудование при закачке воды зависит от наличия и концентрации агрессивных компонентов, температуры, минерализации, pH водной фазы. Определяющим коррозионным фактором в этих системах является наличие основных деполяризующих агентов (O_2 , CO_2 , H_2S), участвующих непосредственно в коррозионном процессе. Пластовые воды месторождения содержат сероводород. Прогнозируемая скорость коррозии в присутствии кислорода – до 1,5 мм/год. Морская вода агрессивна, скорость коррозии по Ст-3 до 1,3 мм/год.

Определяющим фактором снижения коррозионной агрессивности сред является недопущение попадания в систему кислорода с морской и балластной водой и предупреждение заражения пласта сероводородными бактериями.

В пластовом флюиде максимальное содержание сероводорода составляет 200 мг/л. Прогнозируемое содержание сероводорода в добываемой пластовой воде составляет 10-40 мг/л (по многолетним наблюдениям за принятым аналогом – пермо-карбоновой

залежью Возейского месторождения). Одновременно пластовая вода содержит ионы железа (99 мг/л), что приведет к образованию сульфида железа, вызывающего определенные трудности при подготовке нефти и воды, и к увеличению скорости коррозии. Необходима закачка ингибитора солеотложений. Наличие сульфида железа компенсируется корректным подбором деэмульгаторов, реагентов очистки воды и ингибиторов коррозии.

Перед насосной станцией в смесь пластовой и морской воды подают ингибитор коррозии и бактерицид.

Таким образом, можно сделать следующие основные выводы:

1. Пластовая вода Приразломного нефтяного месторождения и вода Печорского моря по кальциту и гипсу совместимы.

2. Нагревание морской воды не должно приводить к выпадению кальцита.

3. Вода Печорского моря содержит незначительное количество планктона. Для предотвращения развития планктона в нефтепромысловой системе в воду следует добавлять 0,8 мг/л гипохлорита натрия из расчета на активный хлор (ударная доза 5,0 мг/л).