**Образование гидратов при моделировании условий вытеснения нефти из осинского горизонта Талаканского месторождения последовательными оторочками воды и газа**

Д.А. Абрамов, А.С. Абрамов, А.Г. Малышев

Разработка осиновского горизонта Талаканского месторождения не исключает возможности вытеснения нефти пресными водами, а также применения водогазового воздействия. Проведение этих мероприятий в условиях месторождений Республики Саха (Якутия) может осложняться образованием гидратов в поровом пространстве, стволах нагнетательных и добывающих скважин.

Гидраты образуются преимущественно на границе раздела газ - вода, следовательно, при вытеснении нефти образование гидратов возможно из-за прорыва воды в призабойную зону пласта (ПЗП) добывающих скважин с давлением ниже давления насыщения и при поступлении воды в газовую шапку.

При содержании гидратов в поровом пространстве пласта более 30 % объема существенно изменяются его фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС). При вытеснении воды газом в поровом пространстве накапливаются гидраты, образованные как на границе раздела газ - вода при продвижении фронта смены фаз (динамические), так и из остаточной воды (статические). Количество динамических гидратов определяется скоростью продвижения границы вытеснения, характерным размером порового пространства и скоростью их образования. Последняя на границе газ - вода определяется степенью переохлаждения системы (разностью равновесной температуры гидратообразования и температуры пласта), скоростью движения фронта раздела газ -вода, минерализацией воды, влиянием (активностью поверхностных сил) скелета породы и др. Объем статических гидратов висит от остаточной водонасыщенности коллектора после (хождения фронта вытеснения воды газом и минерализации остаточной воды. Пресная остаточная вода переходит в гидрат полностью, при этом объем гидрата на 10 % превышает объем остаточной воды.

Температура образования гидратов из газа осиновского горизонта и растворов NaCl определяется по формуле где р - давление, МПа; С - массовая концентрация соли, %.

Экспериментальное исследование влияния процессов образования гидратов на фильтрацию воды и газа через образцы керна проводилось при термобарических условиях пласта на экспериментальной установке по изучению процессов многофазной фильтрации. Установка состояла из кернодержателя высокого давления, помещенного в термостат. Газ и вода подавались системой прессов, обеспечивающих прокачку заданных объемов фильтрующейся жидкости и газа при контролируемом перепаде поровых давлений, измеряемых манометрами на входе и выходе из кернодержателя. Методика исследований состояла в контроле изменения проницаемости образца керна (проницаемость для газа равна 0,15 мкм2, пористость - 15 %, водоудерживающая способность - 21 %) при безгидратных и гидратоопасных режимах последовательной подачи воды и сжатого газа.

На этапе 1 определялась проницаемость керна для воды; на этапе 2 высокоминерализованная вода замещалась пресной при постоянном перепаде давления в кернодержателе (рис. 1); на этапе 3 вода вытеснялась газом высокого давления при уменьшении температуры с 20 до пластовой 12 °С. Установлено, что при постоянном расходе газа перепад давления увеличивался незначительно и в последующем практически не менялся. Следовательно, образование гидратов на фронте вытеснения незначительно изменило проницаемость коллектора, т.е. скорость образования гидратов на фронте вытеснения газ - вода существенно меньше скорости продвижения фронта. Поэтому количество образующегося гидрата незначительно влияет на фильтрацию. В последующем отмечаются снижение проницаемости на 5 % и ее стабилизация. Это обусловлено тем, что при образовании гидрата объем водной фазы возрастает на 7 %, т.е. переход остаточной воды в гидрат уменьшает свободную пористость на 2,3 % и приводит к некоторому росту перепада давления. Необходимо особенно отметить, что при исследовании линейная скорость движения флюида составила 1,5 см/мин, или 21 м/сут, это характерно для призабойной зоны нагнетательной скважины. Возможно, что на более отдаленных участках (более 20 м), где линейная скорость значительно меньше, образование гидратов способно оказывать более сильное сопротивление фильтрации или блокировать ее полностью.

Образованные в порах гидраты в последующем не разлагаются, и повтор циклов нагнетания порций воды и газа только увеличит слой гидрата в поровом пространстве. В результате со временем происходят накопление гидрата, блокирование им свободного объема керна и резкое снижение проницаемости. Накопление гидратов и снижение проницаемости коллектора отмечаются по всему объему промытой зоны, поэтому в процессе реализации водогазового воздействия при выявлении тенденции снижения приемистости нагнетательных скважин по воде и газу необходимо активно проводить мероприятия по профилактике гидратообразования.

Результаты экспериментов доказали, что образование гидратов из остаточной воды или газа при установленных в ходе эксперимента скоростях фильтрации несущественно изменило фильтрационные сопротивления. Это обусловлено тем, что даже при переходе всей остаточной воды в гидрат газонасыщенность уменьшается на 5 %, что не оказывает заметного влияния на проницаемость. При характерных для удаленных от ПЗП нагнетательных скважин скоростях движения границы фаз газ - вода возможно значительное влияние образования гидратов на проницаемость коллектора, что должно быть установлено при специальных экспериментальных исследованиях.

Вариантом водогазового воздействия является закачка водо-газовых смесей в пласт. Для оценки степени влияния образования гидратов на двухфазную фильтрацию (этап 4) в керн закачивались совместно газ и вода, что привело к быстрому (за 33 мин) увеличению перепада давления и полному прекращению фильтрации из-за образования гидратов в пористой среде. При нагреве кернодержателя (этап 5) до температуры в термостате 20 °С (температура в кернодержателе не измерялась) проницаемость резко увеличилась до первоначальной. Это показывает, что образование и последующее разложение гидратов практически не изменили структуру порового пространства. Следовательно, условиях Талаканского месторождения применение водогазового воздействия реально только при использовании методов, исключающих возможность образования гидратов. Для отработки технологии предупреждения осложнений при водогазовом воздействии был проведен повторный цикл исследований на модернизированной установке, обеспечивающей возможность контроля температуры внутри кернодержателя, подогрева подводящих трубок, смены режима подачи с пресной воды на солевой раствор. Параметры эксперимента и режимы его проведения представлены на рис.2. На начальном этапе керн заполнялся водой минерализацией 150 г/л и определялась проницаемость для воды (температура f=18 °C, р=8,8 МПа). Рост проницаемости во времени обусловлен стабилизацией солевого состава при промывке образца. Конечная проницаемость для воды равна 0,029 мкм2, что составляет 60 % абсолютной.

Минерализация пластовых вод Талаканского месторождения составляет 340 г/л. При закачке пресной воды концентрация соли на фронте вытеснения определяется механизмом взаимодействия остаточной и нагнетаемой вод: при диффузионном взаимодействии неподвижной остаточной и подвижной нагнетаемой вод концентрация соли на фронте постепенно снижается с максимальной до нуля. При замещении остаточной воды нагнетаемой изменение концентрации должно быть резким, причем на фронте вытеснения должна формироваться оторочка высококонцентрированного рассола.

Для оценки степени изменения концентрации соли в керне при вытеснении минерализованной воды пресной определено изменение перепада давления Ар от объема закачанной в керн пресной воды. Изменение проницаемости по мере продвижения фронта вытеснения хорошо описывается моделью поршневого вытеснения минерализованной воды пресной

Следовательно, механизм взаимодействия нагнетаемой и остаточной вод можно представить как процесс замещения.

При образовании гидратов в помещенном в замкнутый объем керне происходят поглощение большого количества газа и снижение давления, что позволяет уточнить условия образования гидратов из минерализованной воды и установить объем гидратной фазы. С этой целью в кернодержателе без фильтрации температура снижалась до 7 °С и давление повысилось до 10 МПа. Затем для установления возможности образования гидратов в керн подавался газ, выход перекрывался и поддерживалось давление, равное 10,5 МПа. Однако оценки выполнить не удалось из-за большого соотношения объема свободного газа (более 10 л) и незначительного объема газа, который могла поглотить остаточная вода при образовании гидратов (объем воды не более 1 мл, объем поглощенного газа не более 100 мл).

При двухфазной фильтрации газа и рассола при условиях образования гидратов не обеспечивался режим стабильной фильтрации газа и воды через керн. Передавления со временем менялся на противоположный знак периодически отмечался обратный приток газа в кернодер-жатель из сепаратора с неконтролируемым образованием гидратов в керне. При фильтрации в безгидратном режиме (снижение давления) резко увеличивалась подвижность флюида, при последующем повышении давления и переходе в гидратный режим подвижность вновь снижалась. Наблюдаемое снижение подвижности флюида в образце керна обусловлено образованием гидратов: скорость роста количества гидратов повышается с увеличением расхода флюидов (жидкости и газа) и степени переохлаждения системы относительно температуры образования гидратов.

Увеличение температуры в кернодержателе и перевод условий фильтрации в безгидратный режим привели к начальной непродолжительной стабилизации проницаемости (0,003 мкм2) и ее росту до 0,038 мкм2. Это обусловлено выделением газа при разложении гидрата и уменьшением фазовой проницаемости для воды. После разложения всего гидрата, вытеснения и растворения остаточного газа подвижность флюида резко возросла до первоначальных (до опыта) значений.

Результаты исследований показывают, что в поровом пространстве при прямом контакте газа и воды в пластовых условиях Талаканского месторождения происходит образование гидратов, способное блокировать фильтрацию. При высоких скоростях фильтрации, наблюдаемых в ПЗП нагнетательных скважин, в начальный период образование гидратов на фронте вытеснения воды газом незначительно влияет на проницаемость коллектора, однако при малых скоростях перемещения фронта, характерных для удаленных от нагнетательной скважины областей, это влияние может быть существенным. Образование гидратов на фронте вытеснения газа водой может быть полезным для блокирования поступления воды в газовую часть пласта.

**Выводы**

1. При фильтрации водогазовой смеси через насыщенный минерализованной водой керн при условиях образования гидратов происходят разбавление минерализованной воды пресной, формирование и накопление в керне гидратов, быстрый рост перепада давления, снижение проницаемости и полная блокировка фильтрации. Предупреждение образования гидратов достигается применением ингибиторов-электролитов.

2. Процесс разбавления минерализованной воды пресной характеризуется резким увеличением концентрации соли и может рассматриваться как замещение. В связи с этим при разработке залежи заводнением степень опасности образования гидратов в ПЗП добывающих скважин значительно снижается, так как на забой в первую очередь поступает оторочка воды высокой минерализации, являющаяся ингибитором образования гидратов.

3. Образование и разложение гидрата в керне практически не изменило проницаемость образца, т.е. не привело к деструктивным преобразованиям коллектора. Следовательно, применение метода снижения забойного давления в ПЗП добывающих скважин для ликвидации гидратных отложений в этих зонах не приведет к обрушению стенок скважин.

4. Гарантированным средством профилактики образования гидратов из газа и воды при водогазовом воздействии при разработке Талаканского месторождения является использование в качестве вытесняющего агента рассолов концентрацией не менее 130 г/л.

**Список литературы**

Журнал «Нефтяное хозяйство» № 5, 2006