

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ САЙКЛИНГ-ПРОЦЕССА

Сайклинг-процесс успешно применяется на газоконденсатных месторождениях в Северном море (например, месторождения Smorbukk, Sleipner Ost Ty), в России его эффективность показана лишь в рамках исследовательских работ. В статье приведены результаты вычислительных экспериментов по поиску возможностей повышения энергоэффективности сайклинг-процесса для условий небольших уникальноконденсатных месторождений.

Ключевые слова: сайклинг-процесс, повышение эффективности, газоконденсат, моделирование.

Сайклинг-процесс – способ разработки газоконденсатных месторождений с поддержанием пластового давления посредством обратной закачки газа в продуктивный горизонт, который решает две очень важные задачи разработки месторождения: поддержание пластового давления, которое препятствует происходящему вследствие ретроградной конденсации выделению в продуктивном горизонте из пластового газа высококипящих углеводородов, а следовательно и их вероятной потере; позволяет законсервировать запасы газа данного месторождения до момента, пока не образуются благоприятные условия для его реализации.

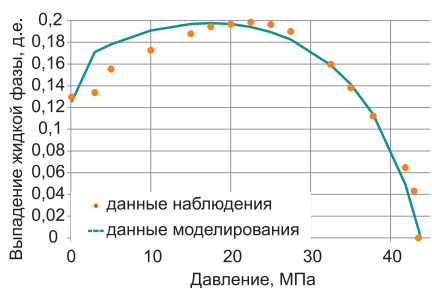


Рис. 1. Изотерма конденсации смоделированной пластовой системы.

Сайклинг-процесс успешно применяется на газоконденсатных месторождениях в Северном море (например, месторождения Smorbukk, Sleipner Ost Ty), в России его эффективность

показана лишь в рамках исследовательских работ. В работе (Брусилковский и др., 2009) приведен обзор критериев определения типов пластовых флюидов, где говорится, что, по оценке Р. Moses, начальный эксплуатационный газовый фактор для газоконденсатных залежей находится в диапазоне от 540 до 27000 см³/м³, при этом нижняя граница соответствует уникальноконденсатным залежам. Северо-Елтышевское месторождение можно отнести к уникальноконденсатным объектам.

Предпосылками осуществления сайклинг-процесса на этом месторождении являются: высокий конденсатогазовый фактор достигающий 861,4 г/м³ (1135 см³/м³); близость начального пластового давления (43,95 МПа) и давления начала конденсации (42,11 МПа); пластовая смесь имеет

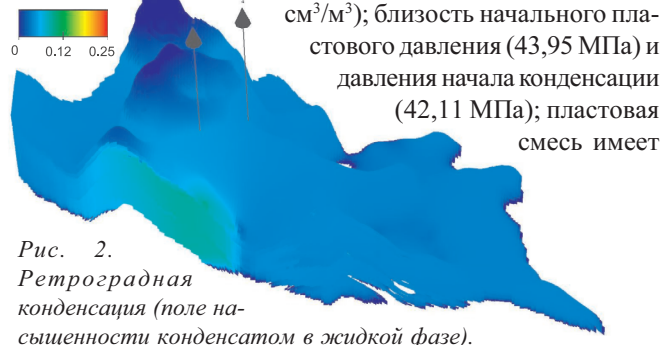


Рис. 2. Ретроградная конденсация (поле насыщенности конденсатом в жидкой фазе).

Окончание статьи А.А. Корнева, С.И. Дембицкого, М.Х. Уртенюва «Математическое...»

б). Как видно из рис.4в количество выпадающей в осадок нефти увеличивается и постепенно стабилизируется. Одновременно, концентрация нефтеокисляющих микроорганизмов сначала растет по экспоненциальному закону, затем стабилизируется, а потом линейно убывает (Рис. 4г).

Предполагаемую математическую модель можно использовать для мониторинга поведения нефти в море при решении задач по предупреждению и ликвидации реальных аварийных разливов нефтепродуктов в Азовском море при проведении буровых работ и транспортировке.

Литература

- Дембицкий С.И., Дунаев И.М., Лаврентьев А.В., Ларионов А.В., Уртенюв М.Х. Математические модели динамики и деструкции нефтяного slicka на акватории Черного моря. Краснодар. 2003.
Доценко С.А., Рясинцева Н.И., Савин И.П., Саркисова С.А.. Специфические черты гидрологического и гидрохимического режимов и уровня загрязнения прибрежной зоны моря в районе Одессы. Исследование шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. Сб. научн. тр. МГИ НАН Украины. 1995.

А.А. Kornev, S.I. Dembitskij, M.K. Urtenov. **Mathematical modeling of oil pollution destruction in Sea of Azov.**

The mathematical model of the oil pollution destruction taking into consideration convective transport, diffusion, evaporation, dissolution, emulsification, disintegration, aggregation, microbiological destruction, sedimentation as the most specific for oil transformation in Sea of Azov is introduced.

Keywords: mathematical modeling, destruction, oil pollution, convection carry, diffusion, microbiological decomposition.

Алексей Александрович Корнев
Генеральный директор ООО "Прогрейс".

350007, Россия, г. Краснодар, ул. Песчаная, 9.
Тел.: (905)4387786.

Станислав Иосифович Дембицкий
Зав. каф. геофизических методов поисков и разведки,
проф., д.физ.-мат.н.

Махамед Хусеевич Уртенюв
Зав. каф. прикладной математики, проф., д.физ.-мат.н.

Кубанский государственный университет
350007, Россия, г. Краснодар, ул. Ставропольская, д.149.
Тел.: (961)5038918.

крутую изотерму пластовых потерь конденсата (Рис. 1).

Наиболее привлекательным средством мониторинга пластовой системы и инструментом визуализации происходящих явлений для газоконденсатных месторождений можно считать композиционное моделирование, именно поэтому модель, выполненная на основе этого инструмента и адаптированная по истории разработки, была выбрана для проработки высказанной гипотезы. Композиционное моделирование позволило охарактеризовать масштабы негативных последствий изменения пластовой системы и получить основу для принятия решений по их предотвращению. На рисунке 2 отображено возможное состояние пласта T_1 Северо-Елтышевского месторождения в результате процесса ретроградной конденсации.

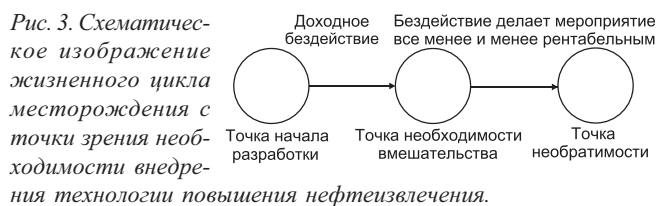
Объемы потерь конденсата при этом значительны. Насыщенность конденсатом в жидкой фазе ниже границы его подвижности, следовательно без применения вторичных и третичных методов увеличения нефтеотдачи извлечь его не представляется возможным. Исследование возможности реализации сайклинг-процесса на Северо-Елтышевском месторождении проведенное специалистами ТатНИПИнефть показало его высокую эффективность, которая достигается значительным сокращением потерь связанных с ретроградной конденсацией и более рациональным использованием пластовой энергии (Зубарев и др., 2009).

Целью дальнейших исследований стал поиск возможностей повышения энергоэффективности сайклинг-процесса для условий небольших уникальноконденсатных месторождений. Для повышения энергоэффективности процесса необходимо ответить на следующие вопросы: когда лучше начать воздействие чтобы получить максимальную отдачу; какую часть ресурсов во время осуществления процесса можно высвободить без потери его эффективности и на каком этапе; насколько агрессивную стратегию разработки мы можем себе позволить?

Для ответа на первый вопрос постараемся отобразить жизненный цикл месторождения с точки зрения необходимости внедрения технологии повышения нефтеизвлечения (Рис. 3). Первой точкой жизненного цикла месторождения будет начало разработки. Эта точка служит началом периода «доходного бездействия», когда отказ от применения технологий воздействия на пласт приводит лишь к повышению эффективности разработки или, как минимум, не усугубит ее. Период завершается «точкой необходимости вмешательства», когда дальнейшие проволочки могут стоить существенных потерь. Начиная с этого момента эффективность технологии начинает снижаться с каждым днем, пока не достигнет «точки необратимости», при которой эффективность технологии нулевая.

Для нахождения основных вех жизненного цикла Северо-Елтышевского месторождения был проведен ряд вычислительных экспериментов отличающихся временем инициации сайклинг-процесса. При этом, для наглядности результатов, были приняты следующие допущения: все 5 скважин вводились одновременно в начале расчета; при эксплуатации добывающих скважин, в соответствии с рекомендациями по Оренбургским месторождениям, снижение забойного давления ниже 70 % от давления начала выпадения конденсата не допускалось; в пласт нагнетался весь добываемый на месторождении газ.

Эксперименты проводились с шагом шесть месяцев,



потому очень хорошо отображен крутой характер кривой изменения накопленной добычи конденсата и видно, что истощение позволяет достичь более высокой конденсатоотдачи, чем сайклинг-процесс на поздней стадии (Рис. 4).

В качестве параметра технологической эффективности сайклинг-процесса выбрана дополнительная добыча конденсата приходящаяся на единицу нагнетаемого газа. Примечательно, что даже для месторождений с высоким конденсатогазовым фактором существует период «доходного бездействия», который предоставляет время для всестороннего анализа месторождения и принятия верных решения, позволяющие избежать потерь ценных ресурсов.

Основной вывод который позволяет сделать проведенное исследование – это необходимость осуществления сайклинг-процесса на максимально раннем этапе разработки уникальноконденсатных месторождений. То есть с момента получения первых пластовых проб, позволяющих характеризовать месторождение как уникальноконденсатное, у компании недропользователя будет год или два (в зависимости от темпов разбуривания и агрессивности стратегии разработки) для инициации сайклинг-процесса на месторождении, если основной целью является добыча конденсата. В нашем случае «точка необратимости» определена с точки зрения эффективности технологии, но на практике она будет определяться экономическими показателями и оставит куда меньшее время для принятия решения и успешного применения сайклинг-процесса. Со временем нагнетаемый газ прорывается к забоям добывающих скважин, но он сходен по составу с попутным и потому единственной проблемой становится возрастающий объем попутного газа без ухудшения его качества.

Увеличение мощностей системы поддержания пластового давления на завершающей стадии становится нерентабельно. К этому времени пластовая смесь обеднена, что значительно снижает ее чувствительность к изменению термодинамических условий и позволяет снижать пластовое давление. Поэтому часть газа сверх пропускной возможности системы поддержания пластового давления направляется на реализацию, при этом сайклинг-процесс становится частичным и характеризуется снижением пластового давления.

Возможно ли на завершающей стадии сайклинг-процесса высвободить ресурсы газа и направить их потребителю без снижения газоотдачи? Возможно, если нагнетать в пласт вместо попутного газа дымовой. При этом часть попутного газа будет сжигаться с получением электроэнергии и дымовых газов, а остальная часть пойдет на реализацию.

Процесс вытеснения метана не углеводородным газом исследовался на физических и цифровых моделях в работе (Sim et al., 2008). В качестве агента вытеснения использовался дымовой газ с высоким содержанием CO_2 и незначительным содержанием SO_2 и N_2 . Показано, что газоотдача достигает 70 – 90 %, и что механизм процесса может быть довольно точно описан в коммерческих симуляторах (в работе использовался CMG GEM).

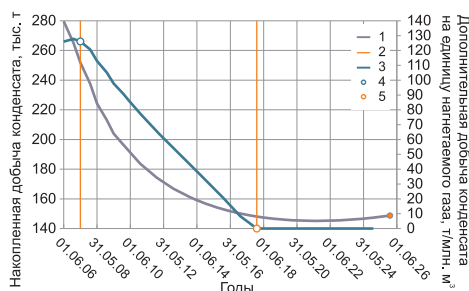


Рис. 4. Результаты экспериментов по изучению зависимости эффективности сайклинг-процесса от времени его инициации. 1 – Накопленная добыча конденсата в зависимости от времени начала сайклинг-процесса; 2 – л2; 3 – Дополнительная добыча конденсата приходящаяся на единицу нагнетаемого газа; 4 – Точка необходимости вмешательства; 5 – Точка необратимости.

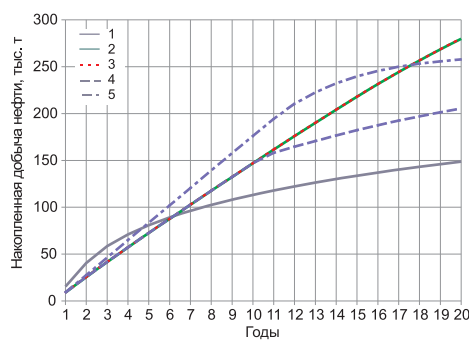


Рис. 5. Результаты экспериментов по поиску возможности высвобождения ресурсов газа. 1 – Разработка на истощении; 2 – Сайклинг-процесс с начала разработки; 3 – Сайклинг-процесс с переходом на нагнетание дымового газа; 4 – Сайклинг-процесс с переходом на истощение при забойных давлениях не ниже 70 % давления начала конденсации; 5 – Сайклинг-процесс с переходом на истощение при дебите 10 % от свободного дебита скважины.

на нагнетание дымового газа; 4 – Сайклинг-процесс с переходом на истощение при забойных давлениях не ниже 70 % давления начала конденсации; 5 – Сайклинг-процесс с переходом на истощение при дебите 10 % от свободного дебита скважины.

Особое внимание следует уделить эксперименту по вытеснению метана дымовым газом (Turta et al., 2008), в ходе которого установлено, что газатдача при нагнетании дымового газа, состоящего на 84 % из N_2 и на 14 % из CO_2 , на 6 % выше, чем при нагнетании чистого углекислого газа. В случае с чистым углекислым газом прорыв нагнетаемого газа наблюдался после прокачки 0,6 поровых объемов, а при использовании дымового газа – 0,66 поровых объемов, и при этом CO_2 в составе добываемой смеси появляется лишь после прокачки 0,81 порового объема.

Ввиду того, что основным продуктом на Северо-Елтышевском месторождении является конденсат, а газ вторичен, то необходимо четко представлять, как переход на нагнетание неуглеводородного газа отразится на конденсатотдаче. Влияние неуглеводородного газа на испарение выпавшего конденсата зависит от его состава (Абасов и др., 2003). В ходе экспериментов в бомбе PVT по исследованию процесса испарения конденсата путем воздействия на него газом с различным содержанием азота и углекислого газа установлено, что с ростом процентного содержания азота в составе «сухого» газа с 20 до 100 % количество испарившегося конденсата снизилось с 22 до 2,5 %. А с ростом содержания в системе углекислого газа в интервале 10–30 % количество испарившегося конденсата выросло и при 30 % содержании углекислого газа достигло 37,7 %.

С учетом вышесказанного на модели был поставлен эксперимент по переходу на нагнетание дымового газа после прорыва нагнетаемого попутного газа. Результаты показывают (Рис. 5), что переход на нагнетание дымового газа в 2016 г. позволяет не только высвободить 425 млн. м³ газа и направить на генерацию электроэнергии, но и повысить на 5 т/млн.м³ дополнительную добычу на единицу нагнетаемого газа. В эксперименте накопленная добыча конденсата при переходе на нагнетание дымового газа возросла лишь на 1 тыс. т, более высокие результаты были достигнуты при

больших объемах нагнетания (Ибатуллин и др., 2009).

Также для сравнения были рассчитаны варианты предусматривающие переход на истощение после осуществления сайклинг-процесса после прорыва нагнетаемого попутного газа к забоям добывающих скважин. Данное мероприятие оказалось менее успешным, чем переход на нагнетание дымового газа. Оно позволило высвободить значительные ресурсы газа (528 млн. м³) ценой существенного снижения накопленной добычи конденсата и дополнительной добычи на единицу нагнетаемого газа (Рис. 5).

Также актуальным оказалось исследование возможности применения более агрессивных технологий разработки. Так переход на работу на постоянном дебите равном 10 % от свободного дебита скважины, который оказался крайне негативным при работе на истощении, оказался применимым при поддержании пластового давления (сайклинг-процессе). Применение подобной технологии привело к снижению накопленной добычи конденсата на 21 тыс. т, но при этом повысило показатель дополнительной добычи на единицу нагнетаемого газа на 52 т/млн.м³ и высвободило более 700 млн. м³ газа.

Литература

Абасов М.Т., Абасов З.Я. и др. Проблемы повышения производительности газоконденсатных скважин на поздней стадии разработки месторождений. *Геология нефти и газа*. 2003. № 3. 48-51.
 Брусиловский А.И., Нугаева А.Н., Хватов И.Е. Критерии определения типов пластовых углеводородных флюидов. *Газовая промышленность*. Приложение. 2009. 13-18.
 Зубарев В.В., Ибатуллин Р.Р., Насыбуллин А.В., Лифантьев А.В. Предпосылки и перспективы применения сайклинг-процесса на Северо-Елтышевском месторождении. Анализ на основе гидродинамического моделирования. *Сб. тр. «ТатНИПИнефть. ОАО «Татнефть»*. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2009.
 Ибатуллин Р.Р., Зубарев В.В., Насыбуллин А.В., Лифантьев А.В. Исследование возможности перехода на нагнетание неуглеводородного газа на заключительной стадии сайклинг-процесса. *Сб. тр. «ТатНИПИнефть. ОАО «Татнефть»*. М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». 2009.
 Steve S.K. Sim, Patric Brunelle, Alex T. Turta, Ashok K. Sigal. Enhanced Gas Recovery and CO2 Sequestration by Injection of Exhaust Gases from Combustion of Bitumen. *SPE/DOE Improved Oil Recovery Symposium*. U.S.A. 2008. SPE 113468.
 Turta A.T., Sim S.S.K. et al. Basic Investigations on Enhanced Gas Recovery by Gas-Gas Displacement. *Journal of Canadian Petroleum Technology*. 2008. № 10. 39-44.

V.V. Zubarev. Numerical simulation results of cycling process efficiency improvement.

Cycling Process is successfully used to increase gas condensate reservoirs recovery in the North Sea (Smorbukk, Sleipner Ost TY, etc.). In Russia efficiency of this technology has been approved through many researches, but field examples are still lacking. This paper considers numerical simulation of cycling process efficiency improvement for small very rich gas condensate fields.

Keywords: cycling process, efficiency improvement, gas condensate.

Виктор Владимирович Зубарев
 Инженер отдела РИТ и МПС. Научные интересы: газовые и водогазовые методы увеличения нефтеотдачи, технологии повышения энергоэффективности процессов при разработке месторождений.

Институт ТатНИПИнефть ОАО "ТАТНЕФТЬ". 423236, РТ, Бугульма, ул. Мусы Джалиля, 32. Тел. : (85594) 7-85-28.

