МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БАЖЕНОВСКУЮ СВИТУ С УЧЕТОМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Н.Н. Диева, М.Н. Кравченко, Н.М. Дмитриев, А.В. Мурадов,
Сун Баоджанг, Сян Хуа
РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, Москва,
e-mail: dep.ngipg@yandex.ru

Исследованиям воздействий на баженовскую свиту и моделированию этих процессов посвящено большое количество работ, значительная часть которых проведена в 20-м столетии. Опыт разработки месторождений баженовской свиты показал успешное совмещение тепловых, волновых и химических методов воздействия на залежи для извлечения высоковязких нефтей за счет улучшения фильтрационно-емкостных свойств коллектора и увеличения подвижности насыщающих его флюидов.

Одним из основополагающих качеств баженовской свиты является её принадлежность к особенному классу трудноизвлекаемого сырья, из которого складывается огромный объем мировых запасов углеводородов, а также потенциальных запасов углеводородов России, а именно запасов, сосредоточенных в керогеносодержащих коллекторах. В эту группу входят сланцевые месторождения, месторождения баженовской и других нефтегазоматеринских свит. Особенность рассматриваемых залежей состоит в том, что содержащийся в составе их пласта (в твердой фазе) кероген обладает нефтегенерационным потенциалом, за счет которого он способен преобразовываться в подвижные углеводороды при искусственном внешнем воздействии. Таким образом, главной задачей при разработке обсуждаемого класса месторождений является добыча их потенциальных запасов, сокрытых в керогене и не учтенных при подсчете геологических запасов.

Для получения углеводородов из органического вещества керогена необходимо дополнительное внешнее воздействие на керогеносодержащую породу, которое, по [1, 2], возникает в условиях повышенной температуры в пласте (порядка 300–520 °С), а также при наличии в структуре порового пространства системы трещин, обеспечивающих пути миграции образующихся продуктов разложения керогена [1, 3–4]; в противном случае генерация жидких углеводородов из керогена тормозится, вне зависимости от уровня температур [3] и давлений [4]. В то же время в ряде работ [3, 5–6] отмечается факт формирования или увеличения размеров и количества миграционных каналов и пор в результате термического воздействия на керогеносодержащие породы. Обобщение результатов исследований в этой области [8, 10] показывает, что процесс преобразования органического

вещества керогена безусловно связан с термодинамическими условиями (температурой, скоростью нагревания, размерами формаций керогена, наличием кислорода в составе керогеносодержащих пород и др.) и, в зависимости от них, может протекать по-разному.

В настоящее время в мировой практике реализуются в основном тепловые методы воздействия на керогеносодержащие породы, сочетаемые с гидроразрывом пласта и бурением горизонтальных скважин. Главной задачей данных методов является разогрев пород и увеличение их пропускной способности. В России наиболее перспективным считается термогазовый метод, применяемый на залежах баженовской свиты. Метод сопоставим с внутрипластовым горением, но вместо процессов горения в нем реализуются реакции низкотемпературного окисления. Все применяемые технологии в большей или меньшей степени могут сопровождаться процессами генерации углеводородов из керогена. Однако нередко авторы при описании сути технологии основное внимание уделяют добыче малоподвижных углеводородов, сосредоточенных в низкопроницаемой матрице рассматриваемого типа пород, а не процессам генерации. Данная ситуация вытекает из проблемы гидродинамического описания фильтрации в условиях керогеносодержащих коллекторов.

Математическое описание многофазной фильтрации в керогеносодержащих коллекторах, организованной в ходе разработки с применением какого-либо метода, осложняется ввиду необходимости учета особенностей состава пород и протекающих в них процессов, таких как приток подвижной фазы, увеличение объема порового пространства, изменение фильтрационно-емкостных свойств и термодинамического состояния системы в целом за счет поглощения и выделения энергии при физико-химических реакциях перехода керогена в углеводороды и др. Целью авторов настоящего исследования являлось создание математической модели многофазной фильтрации в сложнопостроенном анизотропном пласте, которая бы учитывала наличие в нем физико-химических реакций и дополнительного притока углеводородов за счет генерации их из керогена.

При анализе имеющихся результатов промысловых и численных исследований выявлено отсутствие единого представления о кинетике нефтегенерационных реакций. На первом этапе была построена изотермическая модель многофазной фильтрации с кинетикой химической реакции, качественно задающей переход керогена в жидкие углеводороды путем ввода в модель химически активного агента, обеспечивающего запуск реакции разложения керогена [7]. В качестве тестового анализа было проведено сравнение результатов фильтрации в керогеносодержащем пласте в присутствии процессов генерации (рис.

1, задача 3) и без них (рис. 1, задача 2). На данном этапе модель также позволила проанализировать особенности фильтрации в условиях увеличения пористости, а также дополнительного притока нефти.

Рис. 1. Динамика изменения удельного расхода флюидов на нагнетательной и добывающей скважинах в разных задачах

Достаточно обширный блок входных параметров модели позволил выявить эффекты взаимосвязи получаемых в результате воздействия (способа разработки) промысловых выходных данных (суммарный объем дополнительного притока, время его достижения, расход вложений) с параметрами, отражающими свойства пласта (например, нефтегенерационный потенциал керогена) и процесса флюидовытеснения (например, скорости продвижения фронта фаз) [7]. В частности, были определены зависимости времени разложения всей массы керогена, что соответствует реализации полного потенциала керогена, а также количества нужных для этого поровых объемов модельного образца от параметра кинетики, т. е. от скорости процессов разложения и от скорости закачки. На рис. 2 приведена зависимость необходимых для полного разложения поровых объемов вытесняющей жидкости от скорости фильтрации для разных величин кинетической константы.

Рис. 2. Взаимосвязь количества прокаченных поровых объемов вытесняющей жидкости с кинетической константой и скоростью фильтрации

Рис. 3. Динамика изменения полей распределения пористости и проницаемости в расчете, моделирующем химическое воздействие на баженовскую свиту

Динамика изменения порового пространства отслеживалась в виде изменяющихся полей распределения пористости и проницаемости. На рис. 3 приведены результаты моделирования химического воздействия на баженовскую свиту. Модель включает два пропластка разной проницаемости и одинаковой пористости; кроме этого, в составе верхнего слоя присутствуют керогеновые включения, с которыми реагирует химическое вещество,

заставляя их разлагаться на подвижные углеводороды. Процесс разложения твердой фазы (керогена) приводит к увеличению пористости и, следовательно, проницаемости. Согласно результатам работ [3, 4], в модели принято скачкообразное увеличение проницаемости до значений, соответствующих порядку проницаемости трещин.

Результаты моделирования показали качественное совпадение с результатами реального промыслового эксперимента. Обоснован стадийный подход к анализу моделируемого технологического процесса. На основе обобщения результатов теоретических, экспериментальных и промысловых исследований по волновому, тепловому и взрывному воздействиям на кероген обоснована возможность эффективного применения методов термогазохимического воздействия на керогеносодержащие пласты типа баженовской свиты [9].

Настоящая работа является обобщением проблемы выбора метода воздействия на месторождения нетрадиционных углеводородов с использованием термохимических технологий, а также результатов совместных обсуждений данной проблемы авторами статьи и исследователями Нефтяного университета Китая (China University of Petroleum).

Исследования выполнялись на кафедре нефтегазовой и подземной гидромеханики РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нестеров И.И., Симоненко Б.Ф., Ларская Е.С., Калинин М.К., Рыльков А.В.* Влияние температуры на количество и состав нафтидов при катагенезе ОВ (по экспериментальным данным) // Геология нефти и газа. – 1993. – № 11. – С. 26–30.
2. *Баженова О.К., Бурлин Ю.К., Соколов Б.А., Хаин В.Е.* Геология и геохимия нефти и газа. – М.: Изд-во Моск. ун-та; Изд. центр «Академия», 2004. – 415 с.
3. *Коровина Т.А., Кропотова Е.П., Гультияев С.В.* и др. Генетические аспекты формирования баженовской свиты и критерии прогноза ее промышленной продуктивности // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы развития: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, 12–14 нояб. 2013 г. – М., 2013. – С. 116–119.
4. *Нестеров И.И., Симоненко Б.Ф., Ларская Е.С., Калинин М.К., Рыльков А.В.* Влияние геостатического давления на образование углеводородных флюидов в процессе тер-

- мокатализа ОВ (по экспериментальным данным) // Геология нефти и газа. – 1993. – № 12. – С. 22–25.
5. *Каюкова Г.П., Киямова А.М., Косачев И.П.* и др. Состав продуктов гидротермальной деструкции органического вещества доманиковых пород // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы развития: материалы Всеросс. конф. с междунар. участием, 12–14 нояб. 2013 г. – М., 2013 – С. 91–94.
 6. *Вольф А.А., Петров А.А.* Особенности инициирования процесса внутрислового горения в низкопроницаемых керогеносодержащих породах // Нефт. хоз-во. – 2006. – № 4. – С. 56–58.
 7. *Вольпин С.Г., Диева Н.Н., Кравченко М.Н.* Построение модели процесса разработки керогеносодержащего коллектора // Повышение эффективности разработки нефтяных месторождений: сб. науч. тр. ОАО «Всероссийский нефтегазовый научно-исследовательский институт им. акад. А.П. Крылова». – 2010. – Вып. 143. – С.78–85.
 8. *Вольпин С.Г., Саитгареев А.Р., Смирнов Н.Н., Кравченко М.Н., Корнаева Д.А., Диева Н.Н.* Перспективы применения волновой технологии термогазохимического воздействия для повышения нефтеотдачи пластов // Нефт. хоз-во.– 2014.– №1.– С. 62– 66.
 9. *Dieva N.N., Dmitriev N.M., Kravchenko M.N., Muradov A.V.* Possibility of kerogen decomposition using termo-gas wave stimulation in Bazhenov formation // Российская нефтегазовая техническая конференция SPE (6–28 окт., 2015). – М., 2015. – 9 с. – SPE-176705-MS.
 10. *Прохоров А.А., Кравченко М.Н., Диева Н.Н.* Тепловое воздействие на пласты методом циркуляционной закачки теплоносителя в горизонтальные нагнетательные скважины // Газовая пром-сть. – 2016. – № 5/6. – С. 74–78.