1. Малюгин Роман, тема моей проектной работы по курсу – Расчет гистерезиса относительных фазовых проницаемостей (сокращено – ОФП). Эта тема является одной из тематик, которыми я занят на текущем месте работы.

2. Итак.

Моделирование пласта необходимо для инженеров-нефтяников, чтобы получить информацию о текущем состояние пласта, содержащем углеводороды, и спрогнозировать его поведение при различных условиях эксплуатации. Одним из параметров, характеризующих свойства пласта является относительная фазовая проницаемость.

Относительная фазовая проницаемость – отношение фазовой проницаемости флюида к абсолютной проницаемости породы. Это безразмерный параметр, характеризующий проницаемость породы для конкретной фазы в присутствии других фаз.

3. Точное определение значений относительной проницаемости и их гистерезиса имеет решающее значение для получения надежного прогноза эффективности закачки воды и газа в нефтеносные пласты.

При заводнении гидрофильной породы вода движется через пористую среду достаточно равномерным фронтом. Закачанная вода имеет тенденцию впитываться в любые поры малого или среднего размера, перемещая нефть в большие поры, где она легко вытесняется. Впереди фронта движется только нефть. Во фронтальной зоне каждая жидкость движется через собственную сеть пор, но в каждой поре находится некоторое количество смачивающей жидкости. В этой зоне, где текут и нефть, и вода, часть нефти находится в каналах с некоторым количеством мертвых (концевых) разветвлений, какая-то часть нефти может быть изолирована в крупных поровых каналах (как показано на рисунке). Поверхность породы преимущественно смачивается водой, поэтому вода будет продвигаться вдоль стенок поры, вытесняя нефть перед собой. В какой-то момент перемычка, соединяющая нефть в поре с оставшейся нефтью, станет нестабильной и отломится, оставив сферическую масляную каплю в центре поры. После прохождения водного фронта почти вся оставшаяся нефть остается неподвижной. Из-за такой неподвижности в этом случае добыча нефти после прорыва воды практически отсутствует. Несвязная остаточная нефть существует в двух основных формах: (1) маленькие сферические шарики в центре более крупных пор и (2) более крупные участки, распространяющиеся на множество пор, которые полностью окружены водой.

В сильно смачиваемой нефтью породе порода преимущественно контактирует с нефтью, а расположение двух флюидов меняется на противоположное по сравнению с предыдущим случаем. Нефть обычно находится в мелких порах и в виде тонкой пленки на поверхности породы, тогда как вода располагается в центрах более крупных пор. Поровая водонасыщенность, по-видимому, расположена в виде отдельных капель в центрах порового пространства в гидрофобных коллекторах. Заводнение в таких породах гораздо менее эффективно, чем в гидрофильных. Когда начинается заводнение, вода образует непрерывные каналы через центры более крупных пор, выталкивая нефть перед собой. Нефть остается в меньших порах. По мере продолжения закачки вода проникает в более мелкие поры, образуя дополнительные непрерывные каналы. Когда образуется достаточное количество заполненных водой каналов, обеспечивающих неограниченный поток воды, поток нефти практически прекращается. Оставшаяся нефть обнаруживается, заполняющей более мелкие поры, в виде сплошной пленки на поверхности пор и в виде более крупных карманов нефти, захваченных и окруженных водой.

Это означает, что относи­тельная проницаемость является функцией ис­тории насыщения, а также значений насыще­ния. Другими словами, относительная проница­емость для флюида при данном насыщении за­висит от того, получается ли это насыщение пу­тем приближения к нему от более высокого или более низкого значения. Такое поведение относительной проницаемости известно как эффект гистерезиса.

4. Программа имеет минимальный функционал, достаточный для взаимодействия с ней пользователя.

На рисунке представлены исходные данные, уже импортированные из формата екселя. Зеленым цветом обозначена не смачивающая фаза, красным – смачивающая.

После импорта данных пользователем указывается точка, в которой происходит реверс зависимости (или точка разворота). Также предусмотрена возможность сброса расчетных и импортированных данных.

Для расчета используются две модели гистерезиса – модель Killough и модель Beattie.

5. Основные уравнения первой модели представлены на слайде.

На рисунке показано точка разворота (A) ОФП несмачивающей фазы на кривой D, соответственно уменьшение насыщенности приведет к изменению ОФП по траектории кривой I. При этом эффект гистерезиса является обратимым, т.е. при повторном реверсе насыщенности значения ОФП возвратятся по кривой I в точку А и выше точки А продолжат движение по кривой D.

6. Результаты расчетов представлены на слайде, расчет гистерезиса ОФП приведен для трех случаев – реверс происходит при водонасыщенности 0,85 (рисунок а), 0,55 (рисунок б) и 0,25 (рисунок в).

5. Основные уравнения второй модели представлены на слайде.

Отличие этой модели от предыдущей в том, что эффект гистерезиса является необратимым, т.е. многократная смена направления изменения водонасыщенности приведет к тому, что в точках с отной водонасыщенностью ОФП фазы может значительно различаться.

6. Результаты расчетов представлены на слайде, расчет гистерезиса ОФП приведен для случая, когда точкам реверса соответствует водонасыщенности 0.2, 0.125, 0.385, 0.235, 0.495 и 0.39.

Из рисунка видно, что понимается под необратимостью гистерезиса – многократное смена направления изменения водонасыщенности приводит к тому, сто значения ОФП все дальше и дальше отдаляются от исходной кривой.