

Движение нефти в зонах пониженных скоростей фильтрации с позиции теории квантового транспорта

*В.А. Капитонов, И.Г. Хамитов,
В.И. Попков, В.П. Шакин, П.А. Маньшин
(ООО «СамараНИПИнефть»)*

Целью работы является моделирование гидродинамически устойчивых областей фильтрации (зоны дренирования вертикальных скважин). Между дренируемым и недренируемым объемами постулируется смена качественного характера фильтрации. Для описания эффектов на границе зоны дренирования используется аналогия между поведением флюида в области пониженных скоростей фильтрации и поведением электрона при переходе на новую орбиталь (излучение – поглощение фотона соответствует отрыву – прилипанию минимального объема, участвующего в среднем движении). С помощью данного подхода можно рассчитать объем и получить геометрическое пространство дренируемого пространства в модели нефтяного пласта. В качестве метода исследования используется конечно-разностный подход.

Область дренирования в модели сопоставлена с оценкой влияния скважины, получаемой при интерпретации кривой восстановления давления (КВД). На застойную зону, выделяемую на КВД, и ее динамическое «запирание» (описанное в работах А.Т. Ахметова) при малых капиллярных числах влияют следующие факторы: 1) капиллярные силы; 2) гравитационные силы; 3) структура порового пространства и дисперсность движущихся фаз. Рассматриваемый физический эффект регулируется, с использованием математического аппарата, описывающего феномен «квантовой энергетической ямы».

В рамках данной работы проведено численное исследование модели фильтрации пласт – скважина с введением зависимости относительных фазовых проницаемостей от скорости движения флюида. Проанализировано влияние распределения проницаемости, равновесного давления, плотности фильтруемых флюидов и соотношения их объемов в каждой ячейке модели на формирование области дренирования, и ее чувствительности к фациальной структуре коллектора. Сопоставлена динамика фактических и расчетных параметров (дебиты нефти и жидкости, накопленные показатели добычи и закачки). Результаты расчетов представлены в виде карт текущей и остаточной плотности подвижных запасов в объемах пор.

На созданной численной модели получены решения тестовых радиальных задач для симметричной и антисимметричной областей дренирования одной скважины. Проведена адаптация исторического периода работы пласта C_1 Мухановского месторождения (средняя проницаемость нефтяной части коллектора – $1,7 \text{ мкм}^2$, вязкость нефти в пластовых условиях – $2,7 \text{ мПа} \cdot \text{с}$). Предлагаемый подход проходит апробацию на модели пласта A_4 Боровского месторождения (средняя проницаемость нефтяной части коллектора – $0,163 \text{ мкм}^2$, вязкость нефти в пластовых условиях – $93,33 \text{ мПа} \cdot \text{с}$).

Потенциальная область применения данного метода: 1) исследование характера фильтрации в районе горизонтальных и многозабойных скважин; 2) уточнение фильтрационных потоков в пластах с высоковязкой нефтью.