

Численное моделирование четочного течения нефти и воды в системе капилляров

*С.В. Степанов, Г.С. Бембель
(ООО «Тюменский нефтяной научный центр»)*

Как показывает практика гидродинамического моделирования, обеспеченность и корректность относительных фазовых проницаемостей (ОФП) часто является проблемным моментом. В частности, такая ситуация связана с недостаточным количеством лабораторных исследований, поэтому актуальным является развитие расчетных способов получения ОФП. Очевидно, что разработка таких способов должна основываться на представлении о механизмах многофазного течения в системе капиллярных поровых каналов. Представлены численная модель и результаты численного моделирования четочного течения нефти и воды.

Основная цель исследований заключалась в создании расчетного метода получения ОФП, который позволял бы имитировать физический эксперимент по методу стационарной фильтрации и при этом был бы достаточно быстродействующим. Созданная модель состоит из трех частей: модели порового пространства, метода задания граничных условий и физико-математической модели четочного течения. Модель порового пространства представляет собой совокупность (кластер) различных капиллярных каналов переменного сечения, причем функции распределения диаметров каналов одинаковы, но сами каналы в кластере различаются. Метод задания граничных условий предполагает такое чередование капель на входе в кластер, чтобы обеспечить стационарность фильтрации.

Основной трудностью при математическом описании четочного течения является наличие в многофазной системе разрывов фаз. Для описания такого многофазного течения применена модель «четкой границы». В рамках этой модели двухфазная система представляется в виде подобластей, в каждой из которых течение описывается системой уравнений Навье – Стокса, причем на менисках выполняются условия неразрывности среды и потока импульса. Это сделано с использованием дельта-функции Дирака. Моделирование стационарной фильтрации в пористой среде при четочном течении в отдельных капиллярах обуславливает пульсирующий перепад давления. В результате исследований получено, что интенсивность пульсаций с увеличением числа каналов в кластере быстро уменьшается.

С использованием разработанного метода получены ОФП, а также исследовано влияние некоторых факторов на двухфазный поток, в частности, влияние градиента давления. Обнаружено, что уменьшение капиллярного числа приводит не только к смещению, но и к деформации зависимостей градиента давления от насыщенности. Поскольку во всех расчетах задан одинаковый расход жидкости, увеличение градиента давления означает уменьшение ОФП. Для рассматриваемого примера это отражается в способности модели четочного течения описывать динамические ОФП, зависящие от капиллярного числа.