

Применение реконструкции порового пространства методами компьютерной томографии для прогнозирования петрофизических характеристик горных пород

*А.Н. Денисов (ЗАО «ЭПАК-Сервис»),
Jean-Marc Lombard, Marc Fleury (IFP Energies Nouvelle)*

В течение последних десятилетий для расчета петрофизических характеристик горных пород активно применяется численное моделирование поровой структуры пород в виде регулярной сетки поровых каналов. Однако прогнозирование характеристик по таким моделям значительно зависит от сложности геометрии порового пространства и топологии пор. Наибольшие проблемы возникают при моделировании карбонатных горных пород. Дополнительные проблемы связаны со сложностью отбора образцов керна таких пород. Применение компьютерной томографии высокого разрешения образцов произвольной формы или шлама в сочетании с новейшими алгоритмами скелетизации и оцифровки геометрии поровых каналов позволяет построить надежную 3D модель порового пространства и с высокой точностью оценить фильтрационные характеристики терригенных пород.

Цель данной работы – построение эквивалентной реальному образцу сетки пор, которая может быть применена для расчета петрофизических характеристик. Данный подход разделен на три основных шага. 1. Выделение скелета поровых каналов – построение сетки линий внутри порового канала, которые сохраняют топологию исходной структуры пор. После построения скелета выполняются расчет просветности каналов и маркирование пор по размерам. 2. Группирование скелета пор на группы трубок равного размера, эквивалентно представляющих реальную пору. 3. Геометрическое разделение и маркирование пор по размеру. В результате применения данного подхода для каждой реальной поры могут быть рассчитаны распределение пор по радиусу и координационное число поры, которое характеризует число соединяющихся пор. Полученные данные могут быть использованы для расчета капиллярного давления и проницаемости.

Предлагаемая методология была проверена на терригенных образцах керна и применена к серии образцов керна карбонатных пород различной степени гетерогенности. Рассчитаны капиллярное давление, открытая пористость и абсолютная проницаемость. Хорошее совпадение с экспериментальными данными получено для карбонатных пород с высокой степенью однородности. Модели порового пространства таких образцов по данным рентгеновской микротомографии адекватно описывают реальные образцы в терминах представительного объема и размеров пор, участвующих в фильтрации жидкостей. Для карбонатных пород с высокой степенью неоднородности совпадение между расчетными и измеренными фильтрационными характеристиками ниже. При численном моделировании сильно неоднородных образцов из-за наличия больших каверн не достигается условие представительности объема пор даже при наибольших разрешениях. При анализе низкопроницаемых образцов с большой долей кавернозной пористости важная часть порового пространства остается неразрешенной из-за большого разброса пор по размерам. Одним из способов решения данной проблемы является комбинация методов томографии различного разрешения.

Важным преимуществом данной методологии является возможность прогнозирования с достаточно высокой точностью петрофизических характеристик по образцам шлама, экстраполяции таких характеристик на скважины без отбора керна, а также исследования новых явлений, таких как растворение/выпадение карбонатов при инжекции углекислого газа.