

УДК 537.8

Моделирование частотной зависимости эффективных электрических характеристик насыщенных пористых сред.

Д.А. Лисицын¹, Л.Е. Довгилевич²

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)

² Научно-исследовательский центр технологической компании «Шлюмберже», (Москва)

При интерпретации данных петрофизических исследований керна материала ключевую роль играет задача определения зависимости различных характеристик пористой среды (тепловых, упругих, электромагнитных) от её структуры. В представленной работе рассматривается способ определения эффективных спектральных электромагнитных характеристик насыщенных пористых сред. Используемый в данной работе метод основывается на описанном в [1] подходе численного моделирования, позволяющем проводить исследования спектральных зависимостей диэлектрической проницаемости и электрической проводимости среды со сложной геометрией. В данной работе рассматриваются особенности применения этого подхода для определения дисперсионных характеристик реальных трёхмерных пористых сред с неоднородным распределением компонентов насыщающего поровое пространство флюида (рассматривается случай насыщения типа «нефть-вода») в широком диапазоне частот. Для проведения численного эксперимента используются построенные методами рентгеновской микротомографии численные модели пористых сред. При этом используемые в настоящей работе распределения компонентов насыщающего поровое пространство флюида получены путём прямого численного моделирования методом функционала плотности [2].

В ходе моделирования проводится решение краевой задачи нахождения в приближении малых частот пространственного распределения комплексного потенциала в среде, характеризующейся неоднородным распределением комплексной проводимости. Конечно-разностная аппроксимация уравнения непрерывности комплексного тока проводится на трёхмерной ортогональной равномерной сетке. Для решения полученной системы разностных уравнений в данной работе использовался стабилизированный метод бисопряженных градиентов [3] с многосеточным предобуславливателем. Программная реализация использованного численного метода основывается на пакете библиотек PETSc [4]. И метод, и его программная реализация допускают эффективное параллельное выполнение вычислений на системах с распределённой памятью (в том числе на ускорителях вычислений на основе GPU).

В работе проведено исследование влияния учёта реальной зависимости характеристик водной фазы от частоты на эффективные характеристики модели, а также исследовано влияние соотношения параметров различных компонентов модели на её эффективные спектральные характеристики. В ходе исследования проведен анализ сходимости использованного численного метода в зависимости от параметров модели. В работе также предложена модификация метода, позволяющая проводить оценку влияния поверхностных эффектов на эффективные характеристики модели. Представленные в работе результаты демонстрируют ранее не упоминавшиеся в литературе особенности зависимости эффективных электрических характеристик насыщенной среды от её структуры.

Литература

- [1]. *Asami K.* Dielectric dispersion in biological cells of complex geometry simulated by three-dimensional finite difference method. — J. Phys. D. Appl. Phys., 2006. — Vol. 39. — P. 492–499.
- [2]. *Демьянов А. Ю., Динариев О. Ю., Евсеев Н. В.* — Основы метода функционала плотности в гидродинамике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 312 с.
- [3]. *Sleijpen G. L., Fokkema D. R.* BiCGstab for linear equations involving unsymmetric matrices with complex spectrum. — Electronic Transactions on Numerical Analysis. — 1993. — Vol. 1. — p. 11-32.
- [4]. PETSc Users Manual : Rep.: ANL-95/11 — Revision 3.7 — Argonne National Laboratory — Executor: Satish Balay, Shrirang Abhyankar, Mark F. Adams et al. — 2016. — (<http://www.mcs.anl.gov/petsc>).