

УДК 537.8

Моделирование эффективных спектральных электромагнитных характеристик насыщенных пористых сред.

А.Ю. Демьянов¹, Д.А. Лисицын², О.Ю. Динариев¹

¹Научно-исследовательский центр технологической компании «Шлюмберже», (Москва)

²Московский физико-технический институт (государственный университет)

В настоящее время в процессе изучения свойств насыщенных коллекторов наряду с экспериментальными методами исследования активно применяются методы численного моделирования. Так, использование цифровых моделей, полученных методами рентгеновской микротомографии, позволяет проводить моделирование различных эффективных характеристик неоднородных сред: тепловых, электромагнитных, упругих и др.

В данной работе рассматривается применение этого подхода для проведения прямого расчета спектров частотной дисперсии диэлектрической проницаемости и электрической проводимости пористых сред с неоднородным распределением компонент насыщающего поровое пространство флюида (рассматривается случай насыщения «нефть-вода»). В ходе моделирования были использованы распределения компонент флюида, полученные в ходе численного моделирования методом функционала плотности [1].

В процессе моделирования производится решение краевой задачи нахождения пространственного распределения комплексного потенциала в приближении малых частот в среде, характеризующейся неоднородным распределением комплексной проводимости [2].

Для аппроксимации дифференциальных уравнений используется разностная схема второго порядка точности по пространству. Для решения системы разностных уравнений использовался предобусловленный стабилизированный метод бисопряженных градиентов[3]. Метод реализован с использованием технологии CUDA и оптимизирован для работы на кластере, оборудованном ускорителями вычислений NVIDIA Tesla.

В работе также рассматривается модификация метода, позволяющая проводить оценку влияния поверхностных эффектов на эффективные характеристики модели.

Предлагаемый подход является новым в области приложений численного моделирования диэлектрической проницаемости насыщенных пород, поскольку он впервые позволяет оценить влияние насыщенности и смачиваемости поверхности пор

(гидрофильности, гидрофобности или гетерогенной смачиваемости) на характер дисперсионных зависимостей.

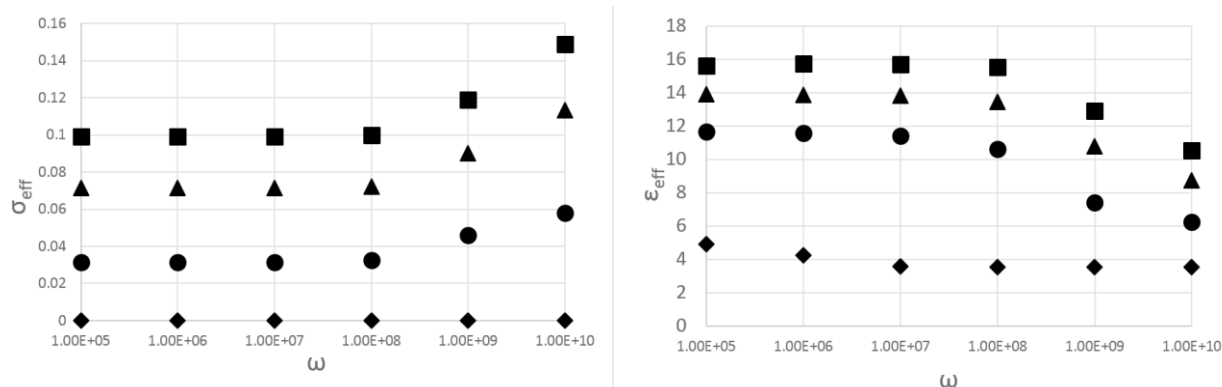


Рис.1. Пример расчета спектральных зависимостей эффективной электрической проводимости σ_{eff} (См/м) и относительной диэлектрической проницаемости ϵ_{eff} от циклической частоты ω (Гц) для водонасыщенностей: 100% (квадраты), 70% (треугольники), 40% (круги) и 0% (ромбы). Размер модели 400^3 .

Литература

- [1]. Демьянов А. Ю., Динариев О. Ю., Евсеев Н. В. — Основы метода функционала плотности в гидродинамике. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 312 с.
- [2]. 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.
- [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.