

Крупномасштабные флуктуации потенциала при протекании постоянного электрического тока через анизотропную фрактальную среду

Е.П. Курочкина*, О.Н. Соболева**, М.И. Эпов***

* ИТ СО РАН,
пр. Лаврентьева, 1,
630090 Новосибирск, Россия
E-mail: kurochkina@itp.nsc.ru

** ИВММГ СО РАН,
пр. Лаврентьева, 6,
630090 Новосибирск, Россия
E-mail: olga@nmsf.ssc.ru

*** ИНГГ СО РАН
пр. Ак. Коптюга, 3,
630090 Новосибирск, Россия
E-mail: mepov@uiggm.nsc.ru

Работа первого автора, второго и третьего авторов была поддержана СО РАН (проект 75)

Теория электрического каротажа по методу сопротивления основана на решении уравнений потенциала для сред с регулярными неоднородностями разного вида и решении обратной задачи электрических зондирований. Последняя в общем случае является некорректно поставленной, поэтому для ее решения необходима регуляризация. Обычно мелкомасштабные аномалии поля в таких подходах не рассматриваются, что, безусловно, приводит к потере информации о строении геологической среды. Мелкомасштабные детали в распределении электрического поля и электропроводности среды учитываются в рамках статистической теории введением эффективных параметров [1]. Полевые и лабораторные исследования показали, что существует и другой аспект проблемы - существенная гетерогенность геологической среды, причем неоднородности существуют в широком диапазоне масштабов характеризуются иерархической структурой организации, или другими словами фрактальностью. Выход был найден в применении статистического подхода к решению задачи. Построена теория перколяции. Извлечение нужной геофизической информации при использовании перколяционных моделей не простая задача. Поскольку дистанция между измеряемыми геофизическими величинами и параметрами, используемыми в теории перколяции достаточна велика. В работе [2] был развит подход использующий идеи ренормализационной группы Вилсона, который позволил учесть вклад мелкомасштабных неоднородностей в средние значения полей в рамках корреляционного анализа и теории дифференциальных уравнений, при этом поле проводимости моделируется полем близким к мультифрактальному. В настоящей работе этот подход используется для исследования анизотропной среды в случае, когда удельная проводимость в точке изотропна, а корреляционная функция поля анизотропна. Как правило, реальные пласты вследствие слоистости обладают анизотропией именно такого рода. Рассматривается уравнение:

$$\nabla_i \sigma(\mathbf{x}) \nabla_i U(\mathbf{x}) = 0, \quad U(\mathbf{x})|_{\Gamma} = U_0(\mathbf{x}), \quad (1)$$

где коэффициент проводимости $\sigma(\mathbf{x})$ моделируется анизотропным, однородным, случайным полем с логарифмически нормальным распределением вероятностей. Исследуемые поля $\sigma(\mathbf{x})$, $U(\mathbf{x})$ делятся на две компоненты - мелкомасштабную (подсеточную) и крупномасштабную (надсеточную) по отношению к некоторому разделительному масштабу. С использованием теории возмущений, выведены подсеточные уравнения, решение которых дает зависимость эффективных параметров от разделительного масштаба. Это позволяет вывести уравнения для постоянного тока только для плавной компоненты полей, которая зависит от конкретных деталей задачи. Эффективные коэффициенты в этих уравнениях учтут влияние случайной мелкомасштабной компоненты. В работе получены эффективные коэффициенты для вычисления средних значений напряженности электрического поля и вектора плотности электрического поля. Теоретические формулы сравниваются с формулами полученными в "обычной" теории возмущений и результатами численного моделирования трехмерной задачи.

Список литературы

- [1] Швидлер М.И. Статистическая гидродинамика пористых сред. М: Недра, 1985.
- [2] Кузьмин Г. А., Соболева О. Н. Моделирование фильтрации в пористых автомодельных средах // Приклад. мех. и тех. физика. 2002. Т. 43. № 4. стр. 571–584. 115–126