

**Математическое моделирование эффективных характеристик
порово-трещиноватых сред**

Алхименков Юрий Александрович

Студент (магистр)

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Геологический факультет, Кафедра сейсмологии и геоакустики, Москва, Россия

E-mail: ura.msu@gmail.com

Введение

Методы теории эффективных сред позволяют моделировать эффективные упругие характеристики порово-трещиноватых сред. В настоящее время существует огромное количество различных методов, и порой, достаточно трудно определить приемлемость того или иного подхода. В настоящей работе рассмотрены самые популярные методы для моделирования порово-трещиноватых сред, сделаны выводы о применимости каждого метода. Практическое применение методов теории эффективных сред показано на примере сравнения аналитических методов с численными расчетами.

Методы

Рассмотрены различные методы теории эффективных сред для моделирования эффективных упругих характеристик порово-трещиноватых сред Т-матрицы (оптической потенциальной аппроксимации и когерентной потенциальной аппроксимации ОРА, СРА) [Jakobsen et al., 2003; Mavko et al., 2009], Мори-Танака [Mori, Tanaka, 1973], обобщенного сингулярного приближения [Shermergor, 1977; Bayuk et al, 2008] и другие. Показана связь различных подходов теории возмущений, методов самосогласования и вариационных принципов. Продемонстрировано фундаментальное различие в подходах теорий эффективного поля [Kanaun, Levin, 2008; Buryachenko, 2007] и эффективной среды [Willis, 1977; Hornby et al., 1994]. Предложена классификация методов по степени сложности решения обратной задачи. Было установлено, что метод Т-матрицы принадлежит к классу так называемых одноточечных методов аппроксимации. Более того, показано, что в основе всех аппроксимаций лежат три гипотезы эффективного поля [Buryachenko, 2007].

Выводы

Метод Т-матрицы позволяет объединить множество различных подходов и сформулировать различные методы ТЭС в единой терминологии квантовой теории рассеяния. В методах эффективного поля [Buryachenko, 2007; Kanaun, Levin, 2008] взаимовлияние включений учитывается в композите с произвольной геометрией. Эти методы являются самыми перспективными в микромеханике неоднородных сред и значительно более сложными, чем одноточечные методы. Однако для моделирования порово-трещиноватых сред с заранее слабо изученной внутренней геометрией при определенных допущениях можно остановиться на подходе Т-матрицы. Согласно проведенному исследованию можно заключить, что одним из главных факторов в одноточечных методах аппроксимации, является выбор тела сравнения. Удачный выбор тела сравнения позволяет получить удовлетворительный результат практически любым методом ТЭС. Следующим по важности (но не последним) является выбор аспектного отношения двухточечной корреляционной функции для учета пространственного влияния неоднородностей друг на друга. Пространственное расположение неоднородностей, как показано в данном исследовании, влияет и на эффективный тензор упругости, и на скорости продольных и поперечных волн в композите. Кроме этого, в рамках данной работы расширено понятие связанности включений.

То есть, введен тензор четвертого ранга

$$\mathbb{F} = f_{ijkl} e_i \otimes e_j \otimes e_k \otimes e_l,$$

который позволяет детально учесть особенности связанности внутреннего пространства композита. В данном моделировании показана связь параметра связанности включений с теорией пороупругости [Jiang, 2013]. Кроме этого, показана связь тензора связанности и пространственного расположения включений. Теоретическое моделирование эффективных характеристик трещиноватой среды позволило объяснить влияние пространственного расположения включений на поведение скоростей V_p , V_{sv} и V_{sh} . Для моделирования трещиноватых сред продемонстрирована связь методов Т-матрицы, Хадсона и модели Шёнберга.

Источники и литература

- 1) Alkhimenkov Yu.A., «T-matrix approach to mathematical modelling of effective elastic properties of hydrocarbon reservoirs». *Izvestiya, Physics of the Solid Earth Journal* (submitted, 10/2014).
- 2) Bayuk I, Ammerman M., Chesnokov E. Upscaling of elastic properties of anisotropic sedimentary rocks // *Geophys. J. Int.*, 172, 842–860, 2008.
- 3) Buryachenko V.A. *Micromechanics of Heterogeneous Materials*. Springer, 2007.
- 4) Hornby B.E., Schwartz L.M., Hudson, J.A. Anisotropic effective-medium modeling of the elastic properties of shales // *Geophysics*, 1994, 59, 1570–1583.
- 5) Jakobsen M., Hudson J., Johansen T.A. T-matrix approach to shale acoustics. *Geophys. J. Int.*, 2003, 154, 533–558.
- 6) Jiang T., Connection of elastic and transport properties: effective medium study in anisotropic porous media // *PhD Thesis*. University of Houston. 2013. 117 p.
- 7) Kanaun K.K., Levin V.M. *Self-Consistent Methods for Composites*. 1, 2. Springer, Dordrecht, 2008.
- 8) Mori T., Tanaka K. Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions // *Acta Metall.*, 1973, 21, 571-574.
- 9) Shermeger T.D. *Theory of Elasticity of Inhomogeneous Media*. Nauka, Moscow, Russia, 1977. [in Russian]
- 10) Willis J. Bounds and self-consistent estimates for the overall properties of anisotropic composites // *J. Mech. Phys. Sol.*, 1977, 25, 185–202.

Слова благодарности

Автор благодарен своему научному руководителю д.ф-м. наук И.О.Баюк за постоянную поддержку и помощь в подготовке данной работы.