

# Применение теории эффективных сред для моделирования эффективных упругих свойств коллекторов углеводородов<sup>1</sup>

Ю.А. Алхименков\*

\* *Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

## Введение

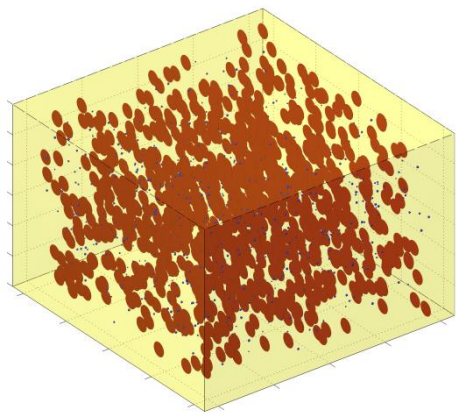
В настоящее время большое внимание уделяется нетрадиционным коллекторам, которые, как правило, являются низкопористыми и малопроницаемыми. С целью повышения добычи углеводородов из таких коллекторов их подвергают специальным воздействиям, для успешного применения которых необходимы надежные знания о физических свойствах этих коллекторов (направление главных напряжений). В силу особенностей внутреннего строения таких коллекторов их физические свойства часто бывают анизотропными.

Основой для проведения данного исследования являлось теоретическое моделирование эффективных упругих свойств карбонатного коллектора, содержащего субвертикальные трещины. Такой коллектор является примером горизонтально-трансверсально-изотропной среды (НТИ). Модель плотного карбонатного коллектора представляет собой минеральную матрицу, содержащую субвертикальные трещины (рис. 1). В качестве исходной матрицы использовалась матрица кальцита. Предполагалось, что включения имеют форму эллипсоидов вращения, заполненных флюидом. В данном моделировании рассматривались включения, заполненные пластовой водой и газом (метан).

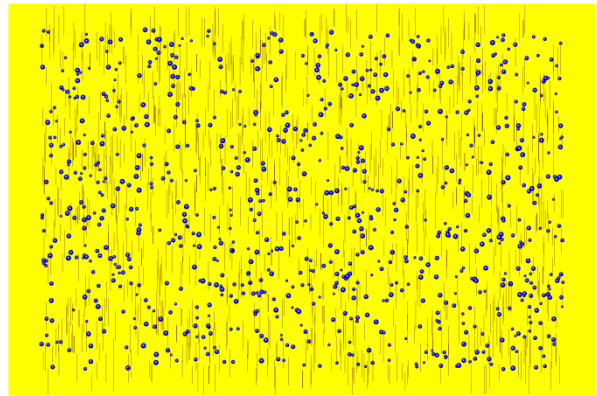
## Теоретическое моделирование анизотропных упругих свойств коллекторов с использованием методов теории эффективных сред

Основной проблемой при расчете упругих постоянных микронеоднородных сред является учет многочастичных взаимодействий. Эта задача может быть решена лишь приближенно, поэтому существует много методов теории эффективных сред (ТЭС), основанных на различных предположениях о взаимодействии в среде. В данной работе расчет эффективного тензора упругости анизотропного плотного карбонатного коллектора выполнен различными методами теории эффективных сред: optical potential approximation (ОРА, метод «Г-матрицы») [7, 8], Мори-Танака [3, 9, 10], обобщенного сингулярного приближения (ОСП) [1, 2, 13], Хадсона [5,6] и Эшелби-Ченга [4]. Проведена сравнительная характеристика методов, обоснованы критерии их использования, оценены различия в определении упругих постоянных (рис. 2). Показано, что для применимости каждого метода ТЭС существуют ограничения на модель среды.

1. Коллектор углеводородов - горная порода, содержащая пустоты (поры, каверны или системы трещин) и способная вмещать и фильтровать флюиды (нефть, газ, воду). В данном моделировании коллектор представляет собой матрицу с эллипсоидальными включениями.



а).



б).

**Рис. 1.** Пример модели карбонатного коллектора. Трещины – эллипсоиды вращения с маленьким аспектным отношением (0.1-0.001), поры представляют собой сферы.

### Список литературы

1. Баяк И.О. Междисциплинарный подход к определению эффективных физических свойств коллекторов // Технологии сейсморазведки. 2011. №4. С.10–17.
2. Шермергор Т.Д. Теория упругости микронеоднородных сред. –М.: Наука, 1977.
3. Benveniste, Y., 1987. A new approach to the application of the Mori-Tanaka's theory in composite materials. Mech. Mater. 6,147-157.
4. Cheng, C.H. Crack models for a transversely anisotropic medium // J. Geophys. Res. 1993, 98, 675–684.
5. Hudson, J.A. Overall properties of a cracked solid // Math. Proc. Camb. Phil. Soc. 1980, 88, 371–384.
6. Hudson, J.A. Wave speeds and attenuation of elastic waves in material containing cracks // Geophys. J. R. Astron. Soc. 1981, 64, 133–150.
7. Jakobsen M., Hudson J., and Johansen T.A. T-matrix approach to shale acoustics // Geophys. J. Int. 2003. Vol. 154. P. 533–558.
8. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. 2nd Edition. Cambridge Univ. Press., 2009. 511 p.
9. Mori, T., Tanaka, K. Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions. Acta Metall. 21, 571-574. , 1973.
10. Mura, T. Micromechanics of Defects in Solids. Martinus Nijhoff, Zoetermeer, Netherlands, 1982.
11. Ponte Castaneda, P., Willis, J.R. The effect of spatial distribution on the effective behavior of composite materials and cracked media. J. Mech. Phys. Solids 43, 1919-1951., 1995.
12. Tsvankin, I., Seismic signatures and analysis of reflection data in anisotropic media: Handbook of geophysical exploration: Seismic exploration, Vol. 29, Elsevier Science Publ. Co., Inc., 40–4. 2005
13. Willis J. Bounds and self-consistent estimates for the overall properties of anisotropic composites // J. Mech. Phys. Sol. 1977. Vol. 25. P. 185–202.