

01 ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ СРЕДЫ НА ПОВЕДЕНИЕ ФАЗОВЫХ И ГРУППОВЫХ СКОРОСТЕЙ В ПЛОТНОМ КАРБОНАТНОМ КОЛЛЕКТОРЕ

Ю.А. Алхименков*, И.О. Баяук**

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

** *Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН*

EFFECT OF MEDIUM'S ANISOTROPY ON BEHAVIOR OF PHASE AND GROUP VELOCITIES IN LOW-POROUS CARBONATE RESERVOIR ROCKS

Y.A. Alkhimenkov*, I.O. Bayuk**

* *Lomonosov Moscow State University*

** *Russian Academy of Sciences, Institute of Physics of the Earth*

Аннотация.

В настоящее время большое внимание стало уделяться нетрадиционным коллекторам, которые часто проявляют анизотропию физических свойств.

В данной работе проведено моделирование эффективных анизотропных упругих свойств плотного карбонатного коллектора с помощью методов теории эффективных сред (ТЭС). Проведена сравнительная характеристика методов теории ТЭС, обоснованы критерии их использования, оценены различия в определении упругих постоянных. Показано, что для применимости каждого метода ТЭС существуют ограничения на модель среды. Используемые в работе методы ТЭС позволили детально проанализировать поведение параметров Томсена и скоростей упругих волн (как фазовых, так и групповых) в трансверсально-изотропной среде при изменении формы трещин и свойств флюида. Помимо широко используемых параметров Томсена ε , γ , δ , рассмотрен параметр σ , который показывает особенности поведения волн S_V .

Abstract.

Recently enhanced attention is paid to unconventional reservoir rocks whose physical properties are usually anisotropic. In this work the methods of effective medium theory (EMT) are applied to model the elastic properties of low-porous carbonate reservoir rock. The difference in results obtained with different EMT methods is analyzed, and criteria of applicability of the methods are formulated. For applicability of each EMT method used in this study bounds for the model parameters are revealed. The EMT methods make it possible to perform a detailed analysis of the Thomsen parameters and elastic wave

velocities (the both phase and group) in TI medium at varying crack shape and fluid properties. In addition to commonly used Thomsen parameters ε , γ , δ , the parameter σ responsible for behavior of Sv wave is considered.

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. В силу особенностей внутреннего строения таких коллекторов их физические свойства часто бывают анизотропными.

В данной работе теоретическое моделирование анизотропных упругих свойств коллекторов проводилось с использованием методов теории эффективных сред: обобщенного сингулярного приближения (ОСП) [1, 2], Хадсона [5,6] и Эшелби-Ченга [3] (рис. 1). В данном моделировании рассматривались включения, заполненные пластовой водой и газом (метан). Показано, что для применимости каждого метода ТЭС существуют ограничения на модель среды. Было получено, что при аспектном отношении трещин 0,01 метод Эшелби-Ченга применим, если пористость менее 0,4%. Однако, при аспектном отношении 0,005 и менее этот метод применим при пористости не превышающей 0,2%. Применимость метода Хадсона при аспектном отношении трещин 0,01 обоснована для пористости менее 0,6%. При меньших аспектных отношениях метод Хадсона может привести к нефизичным результатам.

По рассчитанным упругим постоянным модели плотного карбонатного коллектора строились индикатрисы фазовых и групповых скоростей продольных и поперечных волн по точным формулам (решение уравнения Кристоффеля) и приближенным формулам - аппроксимация с использованием параметров Томсена.

Групповые (лучевые) скорости в трансверсально-изотропной среде (VTI) для всех трех типов волн – qP , qSV и SH можно выразить в параметрическом виде [10]:

$$v_g(\theta) = v(\theta) \sqrt{1 + \left[\frac{1}{v} \frac{dv}{d\theta} \right]^2},$$

$$i(\theta) = \arctg \left[\frac{\tan \theta + \frac{1}{v} \frac{dv}{d\theta}}{1 - \frac{\tan \theta}{v} \frac{dv}{d\theta}} \right],$$

где θ – угол между осью симметрии и нормалью к фронту волны, v_g – групповая скорость, $v(\theta)$ – фазовая скорость, $i(\theta)$ – групповой угол.

В работе проведен анализ индикатрис скоростей в зависимости от применяемых методов теории эффективных сред. Показано, что в зависимости от порозаполняющего флюида наблюдается различное поведение индикатрис скоростей даже при использовании одного и того же метода моделирования упругих свойств среды. Рассмотрены особенности поведения фазовых и групповых скоростей и проанализировано их различие в зависимости от параметров среды. Показано, что даже при пористости менее 1% в малопористых плотных карбонатных коллекторах расхождение фазовых и групповых скоростей может быть существенным и превышать 15% (рис. 2), что необходимо учитывать при интерпретации полевых данных (ГИС, ВСП, наземной сейсмоки).

Использование методов теории эффективных сред для моделирования эффективных упругих свойств коллектора, позволило более детально рассмотреть особенности поведения параметров Томсена, а так же оценить различия в поведении фазовых и групповых скоростей в зависимости от параметров модели среды и типа порозаполняющего флюида.

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. Cheng, C.H. Crack models for a transversely anisotropic medium // J. Geophys. Res. 1993, 98, 675–684.
4. Berryman, J. G. Exact seismic velocities for transversely isotropic media and extended Thomsen formulas for stronger anisotropies // Geophysics 2008, 73, P.D1-D10.
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. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. 2nd Edition. Cambridge Univ. Press., 2009. 511 p.
8. Rüger, A. Reflection coefficients and azimuthal AVO analysis in anisotropic media: SEG Geophysical Monographs 10, 2002.
9. Thomsen L. Weak elastic anisotropy // Geophysics 1986. Vol. 51. P. 1954–1966.
10. 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