

РАСЧЕТ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ НАКЛОННЫХ ТРЕЩИН НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Михаил Михайлович Немирович-Данченко

Томский Филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 4, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: michnd@mail.ru

Александра Андреевна Шатская

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, ассистент кафедры геофизики, alek.sashka@mail.ru

В работе предложена методика построения модели среды с системой наклонных трещин и проведения расчетов прямых задач сейсморазведки для такой среды. Система плоскопараллельных трещин имеет регулируемые угол наклона и флюидонасыщенность. Приводится пример построения временного разреза для модели с водонасыщенными трещинами. Сравниваются спектры падающего и проходящего сигналов.

Ключевые слова: трещиноватые среды, спектральный анализ, численное моделирование.

CALCULATION OF INFLUENCE OF INCLINED-CRACKS SYSTEM ON THE SEISMIC FIELD

Mikhail M. Nemirovich-Danchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Tomsk Affiliate, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 634055, Russia, Tomsk, Leading Researcher, Ph.D in Physics and Mathematics, e-mail: michnd@mail.ru

Alexandra A. Shatskaya

National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, Lenin Avenue, 30, Department of Geophysics, assistant, e-mail: alekasashka@mail.ru

In work the technique of creation of model of the environment with system of inclined cracks and carrying out calculations of direct problems of seismic exploration for such environment is offered. The system of plane-parallel cracks has an adjustable tilt angle and a saturated. The example of creation of a temporary section for model with water-saturated cracks is given. Spectra of incident wave and refracted wave are compared.

Key words: fractured zone, spectral analysis, numerical simulation.

На сегодняшний день все сервисные геофизические кампании мира предлагают 3D3C работы. Это позволяет сделать обычным для производственных организаций использование азимутальной анизотропии скоростей для определения параметров трещин в слоях. В тоже время становится очевидной неполнота извлекаемых из анизотропии скоростей данных и относительно невысокая помехоустойчивость алгоритмов, это было убедительно показано на защите одной из последних диссертационных работ

(Диссертация Г.А. Дугарова, см. [1]). Этим объясняется интерес к анизотропии поглощения, что хорошо видно из анализа публикаций последнего десятилетия. Так, в работе [2] рассмотрены лабораторные эксперименты с системами трещин различной насыщенности и обсуждаются возможности выявления соответствующих сейсмических атрибутов. Нами предлагается подобные эксперименты проводить на основе конечно-разностного моделирования. Подробно система уравнений и конечно-разностная схема приведены в работах [3, 4] и в данной работе не обсуждаются.

Для проведения численного эксперимента был разработан генератор моделей с управляемыми углами наклона и параметрами насыщенности трещин

Для диапазона углов наклона из первого полу-квадранта $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{4}$ удобно пользоваться следующей формулой определения текущих координат расчетной ячейки в исходной области

$$\begin{aligned} x_c &= x \cos(\alpha) + w, \\ y_c &= x \sin(\alpha) + w + (N - 1)h. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь α - угол наклона направляющего вектора системы трещин к оси ОХ, N- число трещин, h – расстояние между ними, w – толщина отдельной трещины. Последние два параметра определяются в единицах ячеек.

Для углов диапазона $\pi/4 \leq \alpha \leq \pi/2$ трещины проводятся не от оси ОХ, как в формуле (1), а от оси ОУ.

На рис. 1 приводится геометрия модели для угла 20 градусов. Этот угол – характерный для диапазона углов при анализе касательных ослабленностей по данным ВСП [1]. Очевидно, что оси x_3 из работы [1] соответствует ось ОХ нашей модели (рис. 1).

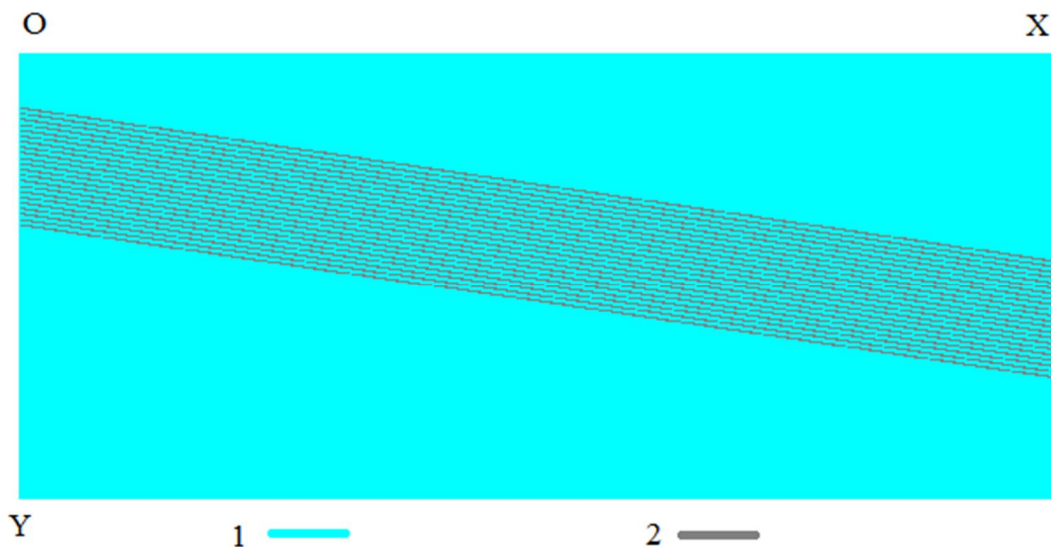


Рис. 1. Модель среды с системой наклонных трещин. Цифрами обозначено:

1 – вмещающая среда, 2 – флюид в трещинах

В модели, представленной на рис. 1 $N=22$, $h=5$, $w=3$ (см. формулу (1)). Вмещающая среда имеет параметры $V_p=3000$ м/с, $V_s=2000$ м/с, $\rho=2000$ кг/м³. Параметры флюида $V_p=1500$ м/с, $V_s=0$ м/с, $\rho=1000$ кг/м³,

Для этой модели был рассчитан временной разрез от падения плоской волны, возбуждение и регистрация на линии ОХ. Фрагмент этого разреза приведена на рис. 2.

А на рис. 3 сравниваются спектры падающего сигнала и волны, прошедшей через систему трещин.

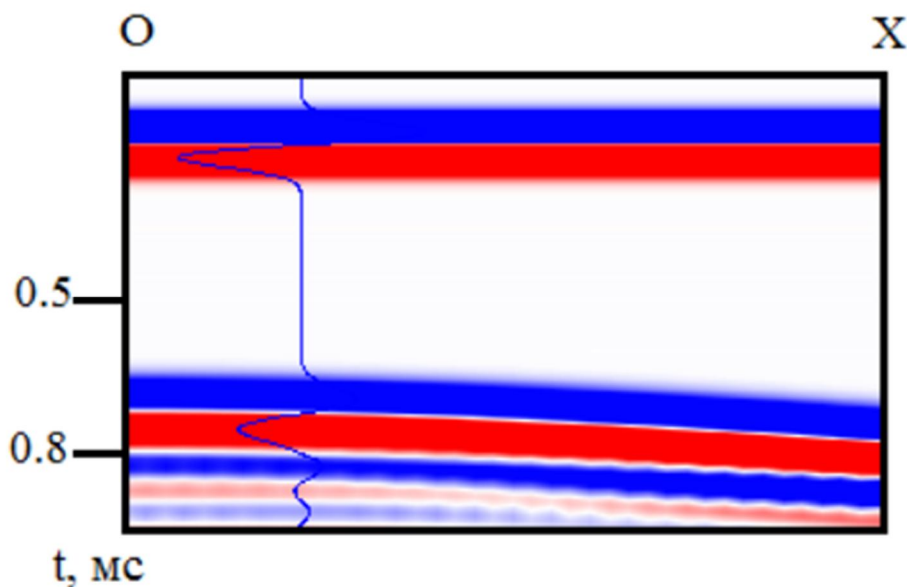


Рис. 2. Синтетический временной разрез. Выделена отдельная трасса

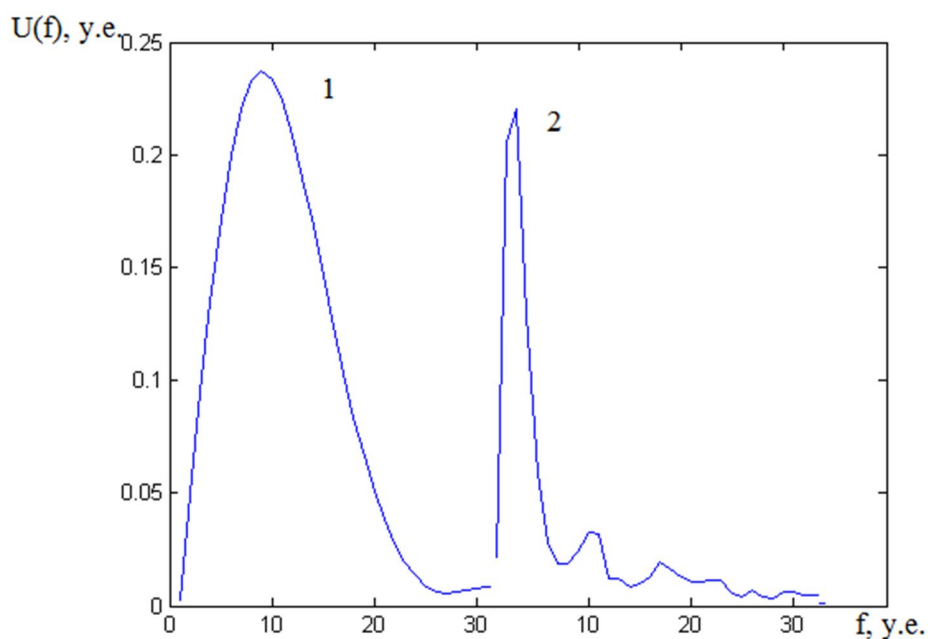


Рис. 3. Спектры падающего сигнала и проходящей волны
Частоты (ось абсцисс) и модули амплитудных спектров (ось ординат)
приведены в условных единицах. Цифрами обозначено:
1 – спектр исходного сигнала, 2 – спектр прошедшей волны

Сравнение спектров говорит о следующем. Как и для случая ненасыщенных трещин (см. работы [5, 6]), происходит видимое смещение несущей частоты в низкочастотную часть спектра. Кроме того, происходит обогащение правой части кривой высокими частотами, отвечающими как за дифракционную картину на всем семействе трещин, так и за собственные моды колебаний трещин в отдельности. Влияние ступенчатой аппроксимации криволинейной в общем случае границы было подробно рассмотрено в работе [7]. Как показали наши расчеты, затухание высоких частот спектра волны, прошедшей через пачку трещин, обусловлено (в отсутствие механизмов трения) волновым сопротивлением. Это связано, в свою очередь, с системой неоднородных поверхностных волн, возникающей на границах раздела [5].

Обнаруженные закономерности могут быть далее использованы для выявления сейсмических атрибутов, ответственных за зоны поглощения с учетом ориентированности систем трещин.

Работа выполнена при финансовой поддержке СО РАН, междисциплинарный интеграционный проект № 127 и при поддержке РФФИ, грант № 12-05-00337-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дугаров Г.А. Оценка эффективных параметров сред с ориентированными трещинами в модели линейного проскальзывания по данным об анизотропии скоростей и поглощения сейсмических волн : Автореф... дис. канд. физ-мат. наук. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2013. – 18 с.
2. Pyrak-Nolte L.J. Fracture anisotropy: the role of fracture-stiffness gradients // *The Leading Edge* — 2007. — V. 26. — №9. — P. 1124–1127.
3. Немирович-Данченко М.М., Стефанов Ю.П. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для численного расчета волновых полей в сложнопостроенных средах// *Геология и геофизика*. - № 11. - 1995. - С. 96-105
4. Nemirovich-Danchenko M.M. A model for the brittle hypoelastic medium: application to computation of deformations and failure in rock, *Phys. Mesomech.*, 1, No. 2 (1998) 101-108
5. *Немирович-Данченко М.М.* Возможности обнаружения множественной трещиноватости сплошной среды на основе оценки спектральной плотности энергии отраженного сигнала // *Физ. мезомех.* - 2013. - Т. 16. - № 1. - С. 105-110
6. Гик Л.Д., Конторович В.А., Канаков М.С., Лапковский В.В., Лунев Б.В., Немирович-Данченко М.М. Использование спектральных характеристик сейсмической записи для прогноза зон улучшенных коллекторов // *Технологии сейсморазведки*. - 2013. - № 3. - С. 16-20
7. Nielsen P. Numerical modelling of seismic waves: on the elimination of grid artifact / *Norsk Hydro Research Center, N-5020, Bergen, Norway, 1994*. - 47 p.

© М. М. Немирович-Данченко, А. А. Шатская, 2014