МЕТОД ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ТРЕЩИНОВАТОСТИ НА ОСНОВЕ РАССЕЯНИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН

Кухаренко Ю.А.¹, Сбойчаков А.М.¹, Власов С.Н.², Поляк П.Л.²
(1 - ИФЗ РАН, 2 - МГУ им. Ломоносова)

Резюме

В данной работе проводится вычисление некогерентного рассеяния сейсмических волн в трещиноватой среде со случайным распределением трещин. С помощью диаграммной техники Фейнмана проведено усреднение микроскопического уравнения движения упругой среды. Показано, что рассеяние от трещиноватой области со случайным распределением трещин описывается двухчастичной функцией Грина.

Метод

Расчет рассеяния сейсмических волн на произвольно ориентированной системе трещин производился на основе осреднения с помощью диаграммной техники Фейнмана [1, 2] уравнения движения упругой среды в виде:

$$\rho(x) \frac{\partial^2}{\partial t^2} \hat{u}(x) = \int \hat{V}(x, x') \hat{u}(x') dx' + f(x). \quad (1)$$

Здесь $\rho(x)$ - плотность, $\hat{u}(x)$ - перемещения, $f(x)$ - внешняя сила; x обозначает совокупность пространственных координат, поляризаций i и времени t , а интегрирование по x' представляет собой интегрирование по пространственным координатам, времени t' и суммирование по поляризациям i' .

Интегральное ядро $V(x, x')$ уравнения (1) выражается через тензор модулей упругости неоднородной среды как

$$\hat{V}(x, x') = \frac{\partial}{\partial x_k} \hat{C}_{iklj}(x) \frac{\partial}{\partial x_l} \delta(\bar{x} - \bar{x}') \delta(t - t'),$$

где $\hat{C}_{iklj}(x)$ - модуль упругости среды, δ - дельта-функция Дирака.

Сейсмический отклик трещиноватой среды обусловлен рассеянием сейсмических волн на случайных неоднородностях. Изучение этого отклика позволяет восстановить статистическую структуру трещиноватой среды. Информация, содержащаяся в парной корреляционной функции, представляет для выделения сейсморазведкой зон повышенной трещиноватости наибольший интерес. По ней может быть рассчитана интенсивность рассеяния, характеризующая область трещиноватости и, кроме того, анизотропия системы трещин.

Результаты

С помощью диаграммной техники получено точное уравнение, описывающее распространение сейсмических волн в трещиноватой среде. Показано, что массовый (корреляционный) оператор тесно связан с тензором C_{ijkl}^* - тензором эффективных модулей упругости. Показано, что рассеяние сейсмических волн точно описывается двухчастичной функцией Грина с двухчастичным корреляционным

оператором, который содержит в себе амплитуду рассеяния сейсмических волн на трещиноватой области. Рассмотрены рассеяние продольной волны в продольную, поперечной в поперечную и конверсия продольных волн в поперечные при рассеянии поперечных волн в продольные. Результат для рассеяния продольной волны в продольную имеет вид:

$$B^u(\omega, \bar{x}_0, \bar{x}_0) = \left(\frac{\omega}{c_l} r_c \right)^4 (4\pi r_c^2)^{-1} \frac{\exp(-4\alpha(\omega) \cdot R_0)}{8\pi^{3/2} r_c R_0^4} \times \\ \times 4V \sigma_x^2 (\lambda^M + 2\mu^M)^2 |f_l(\omega, \bar{x}_0)|^2,$$

где r_c - радиус корреляции, R_0 - расстояние до источника, V - объем области повышенного рассеяния, σ_x - среднеквадратичная дисперсия распределения трещин, λ^M и μ^M - упругие модули среды, $f_l(\omega, \bar{x}_0)$ - амплитуда сейсмического сигнала.

Аналогичный результат имеет место для интенсивности рассеяния поперечных волн с конверсией их в продольные. Полученные результаты легко распространяются на систему трещин, заполненную твердой или жидкой фазой.

В том случае, когда трещины распределены параллельно некоторому направлению, интенсивность рассеяния существенно зависит от угла падения плоской волны отсчитанного от направления трещины. Она имеет максимум при угле падения равном $\pi/2$ и обращается в нуль при углах падения равных 0. Показано, что, в случае, когда длина падающей волны значительно превосходит среднюю длину трещин, интенсивность рассеяния возрастает как ω^4 ; она переходит через максимум и, при дальнейшем возрастании частоты, экспоненциально убывает.

Заключение

Полученные данные представляют интерес при выявлении сейсморазведкой зон повышенной трещиноватости. Предлагаемый метод представляет особый интерес для данной задачи, поскольку позволяет рассчитывать рассеяние сейсмических волн от трещиноватой среды с произвольно расположенной системой трещин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967, 548с.
2. Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. Т. II. Случайные поля. - М.: Наука, 1978, 464с.