МЕТОД ПОДАВЛЕНИЯ КРАТНЫХ ВОЛН ДЛЯ СЛОЖНО ПОСТРОЕННЫХ СРЕД

Фатьянов А.Г.

(Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН)

Вопросам распознавания и подавления кратных волн посвящены многочисленные теоретические и экспериментальные работы, которые полностью не решают эту проблему [1]. В данной работе для решения этой задачи предлагается использовать функциональные характеристики от зарегистрированного на свободной поверхности волнового поля. В работе построен функционал, не требующий никакой априорной информации о строении среды, который ослабляет кратные волны. Теоретически и численно показана устойчивость и сходимость метода для модельных 3D плоско-слоистых сред. Алгоритм разработан также для обработки данных только по вертикальной компоненте волнового поля для произвольных моделей (поглощающей, анизотропной, пористой и т.п.) сред. Приведены примеры подавления кратных волн для реальных сейсмограмм и временных разрезов.

Основные этапы метода иллюстрируются на примере скалярной задачи распространения продольных сейсмических волн в 3D плоско-слоистых средах в цилиндрической системе координат:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} = \frac{1}{c^2(z)} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2},$$

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=0} = \frac{1}{2\pi} f(t) \cdot \frac{\delta(r)}{r}, \quad u = \left. \frac{\partial u}{\partial t} \right|_{t=0} = 0 \quad (1)$$

По аналогии с видом решения прямой задачи (1) искомый функционал для нахождения поля однократных волн $u_{одн}$ в спектральной области строится в следующем явном виде:

$$u_{одн}(k, \omega) = \Phi(u_0)_{(k, \omega)} = p \cdot \{a_1 p + a_2 u_0(k, \omega)\} / \{a_3 p + a_4 u_0(k, \omega)\}. \quad (2)$$

Здесь $u_0(k, \omega)$ - спектр зарегистрированного волнового поля, $p = F(\omega) / \sqrt{k^2 - \omega^2 / c_0^2}$ - прямая волна от источника, $F(\omega)$ - спектр входного сигнала $f(t)$.

Коэффициенты $a_1, \dots, a_4$ выбираются из условия отсутствия кратных волн для слоя на полупространстве. С учётом [2] получено следующее выражение для (2).

$$u_{одн}(k, \omega) = \Phi(u_0)_{(k, \omega)} = -p \cdot \{3p + u_0(k, \omega)\} / \{p + u_0(k, \omega)\}. \quad (3)$$

Из (3) видно, что так построенный алгоритм не требует никакой априорной информации о строении среды. Для выяснения эффективности метода, был развит алгоритм точного расчёта сферических однократных волн, и создано программное обеспечение, которое позволяет одновременно рассчитывать в физической области полное поле, поле однократных волн и выдавать результат подавления кратных волн. Визуальное сравнение полей однократных волн и результата их подавления говорит об их хорошем совпадении для любых моделей слоистых сред. В качестве примера работы алго-

ритма для модельных слоистых сред на рисунке 1 приведено сравнение точного поля однократных сферических волн и результата работы алгоритма подавления кратных волн (3), которое показывает его хорошую точность.

Рис. 1. Точное поле однократных волн и результат работы алгоритма подавления кратных волн (справа).

Численное моделирование показало устойчивость алгоритма подавления кратных волн (3) по отношению к случайным и регулярным помехам. Прямую волну в источнике

$p = F(\omega) / \sqrt{k^2 - \omega^2 / c_0^2}$ можно взять для поглощающей, анизотропной, пористой и т.п. сред. Это позволяет использовать алгоритм подавления кратных волн (3) для произвольных возможных моделей.

Рис. 2. Реальная сейсмограмма (слева). Результат подавления кратных волн (справа).

Предложенный метод также разработан для векторных уравнений. В качестве примера его практического использования на рисунке 2 (справа) приводится результат подавления кратных волн по одной компоненте реального волнового поля (U_z).

Работа выполнена при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 26.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козлов Е.А. Распознавание и подавление многократных волн в сейсмозвездке. - М.: Недра, 1982.
2. Fatyanov A.G. Mathematical Simulation of Wave Fields in Media with Arbitrary Curvilinear Boundaries // Applied Mathematics Letters, v.18, i.11, 2005. - p. 1216-1223.