НЕЗАВИСЯЩИЙ ОТ СТРОЕНИЯ СРЕДЫ ОПЕРАТОР УДАЛЕНИЯ КРАТНЫХ ВОЛН

Орлов Ю.А.

(Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН)

Резюме. Для подавления кратных волн предлагается новый подход, основанный на сравнении двух постановок прямой задачи для сред с одинаковыми нижними и разными верхними полупространствами. В первой среде верхнее полупространство является однородной средой с прозрачной границей раздела полупространств, а во второй - границей нижнего полупространства является свободная граница, приводящая к отражению и возникновению кратных волн. Из сопоставления этих двух задач дается вывод решения для оператора удаления кратных волн, независимого от строения среды.

Рассмотрим постановку прямой динамической задачи для двух сред с одинаковыми нижними полупространствами. В первой среде верхнее полупространство однородно и отсутствуют перепады упругих параметров на границе полупространств - то есть эта граница прозрачна. Во второй среде верхняя граница полупространства является свободной. Считаем, что группированием источников или соответствующим суммированием сейсмограмм от разных источников в обеих средах формируется одинаковая плоская падающая гармоническая волна, распространяющаяся вниз с амплитудой $u_0(\omega)$, где ω - частота. Система наблюдения ограничена и дискретна.

Целью настоящей работы является получение выражений для прямого и обратного оператора, который связывает зарегистрированные поля для этих двух сред.

Для первой среды обозначим через $U \uparrow(\omega, k, \xi)$ результат дискретного преобразования Фурье по пространственной переменной от поля, зарегистрированного на границе полупространств, где k и ξ целые числа, однозначно определяющие волновые векторы падающей и регистрируемой волн.

Результат дискретного преобразования Фурье от поля, зарегистрированного на свободной границе, для второй среды обозначим $U(\omega, \xi, k)$. Для этой среды на свободной границе необходимо поставить соответствующее граничное условие. Для SH-волны такое условие приводит к отражению волн с коэффициентами: отражения $\chi=1$ и конверсии $\eta=2$. Для других типов волн или при регистрации вблизи свободной границы эти коэффициенты зависят от частоты и угла падения.

Для получения связи между волновыми полями этих двух сред используется свойство линейности уравнения упругости (акустики) и трактовка волн, отраженных от свободной поверхности, как волн, формируемых виртуальными источниками. Для того чтобы привести зарегистрированное поле для второй среды к полю для первой среды, нужно выполнить следующие преобразования:

$$U \uparrow(\omega) = u_0(\omega) Q(\omega) W(\omega) \quad (1)$$

$$Q(\omega) = (E + W(\omega))^{-1} \quad (2)$$

Квадратные матрицы в выражениях (1) и (2) имеют следующие компоненты: $U \uparrow(\omega)$ - $U \uparrow(\omega, k, \xi)$; $W(\omega)$ - $\chi U(\omega, \xi, k) / \eta u_0(\omega)$; и E - единичная матрица.

В результате такой операции поле, зарегистрированное на свободной границе, привели к полю, регистрируемому на прозрачной границе с однородным верхним полупространством, которое не содержит кратных волн. Выражение (2) можно трактовать как оператор удаления кратных волн. Важно подчеркнуть, что эти преобразования осуществляются для стационарного случая и не содержат никаких предположений и сведений о строении среды. Для построения ОУКВ необходимо знать только спектральную характеристику источника. ОУКВ является нелинейным фильтром (по временной и пространственной частоте) как это и было предсказано*.

В морской сейсмике при регистрации поля датчиками давления на глубине h_R и при расположении источников на глубине h_S компоненты матрицы $W(\omega)$ имеют вид

$$\bar{W}(\omega, \xi, k) = \chi \frac{\bar{U}(\omega, \xi, k)}{(1 + \chi \exp(2h_R k_z)) u_0(\omega)} \exp(-(h_S - h_R) \xi_z)$$

, где ξ_z и k_z - вертикальные компоненты волновых векторов падающей и регистрируемой волн соответственно. В этом выражении учтено изменение формы волны, обусловленное волной спутником.

Запись операции удаления кратных волн в пространственных координатах имеет такой же вид как и (1-2), но индексы соответствуют номерам пунктов приема и возбуждения, координаты которых должны быть одинаковы. Для SH-волны ОУКВ в пространственных координатах применим и для свободной границы с рельефом, для других типов волн возникает проблема, связанная с зависимостью коэффициентов отражения от угла падения.

В заключение отметим, что эффективность применения ОУКВ показана на синтетических данных и дано сравнение результатов работы ОУКВ и реверберационного фильтра.

Работа поддержана междисциплинарным интеграционным проектом СО РАН (№ 26).

*Гольдин С.В. Линейные преобразования сейсмических сигналов. М.: «Недра», 1974, - 351 с.