

01 ЧАСТНОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ СЕЙСМИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СРЕДЫ ПО КОМБИНАЦИИ ВОЛН РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Л.В. Севастьянов***, А.А. Табаков*, А.В. Баев**, К.В. Баранов*
(* ОАО «ЦГЭ», г. Москва, ** МГУ, г. Москва,
*** ООО «ГЕОВЕРС», г. Москва)

PARTICULAR INVERSE DINAMIC PROBLEM SOLUTION OF REFLECTIVITY RESTORATION USING COMBINATION OF DIFFERENT TYPE WAVES

L.V. Sevastyanov***, A.A. Tabakov*, A.V. Baev**, K.V. Baranov*
(* CGE, Moscow, ** Moscow State University, *** Geovers, Ltd., Moscow)

Аннотация. Предлагается метод восстановления отражательных характеристик среды по данным ВСП – трассам однократных отражений PP- и PS-волн из нескольких пунктов взрыва. Рассматривается определение углов и азимутов границ раздела сред. Методика продемонстрирована на модельных данных.

Abstract. Method of reflectivity restoration is presented using VSP-data processing of PP- and PS-waves from several shot points. The efficiency of this method illustrated on synthetic data.

В стандартной методике обработки данных ВСП из ближних пунктов взрывов (ПВ) основным результатом обработки является трасса однократных отражений (ТОО), полученная коридорным суммированием волновых полей отраженных продольных волн. Эти трассы характеризуют акустический импеданс околоскважинной формации. Разрешенность и достоверность ТОО зависит от отношения сигнал/шум исходных материалов.

В то же время геологическим заданием на работы обычно предусматривается изучение околоскважинного пространства по волновым полям с удаленных пунктов возбуждения. Эти волновые поля содержат информацию о распределении акустического импеданса ближайшей окрестности скважины и могут быть использованы для повышения качества трасс однократных отражений. Очевидно, что ТОО дальних ПВ могут быть получены по методике, аналогичной той, что используется для ближнего ПВ.

Для повышения отношения сигнал/шум предлагается использовать комбинацию ТОО с весами. Веса рассчитываются по взаимнокорреляционным функциям (ВКФ) между каждой из пар трасс. Накапливать ТОО с ближних и удаленных ПВ напрямую невозможно, поскольку коэффициенты отражения зависят от угла падения исходной волны. В рассматриваемой методике предлагается скорректировать трассы однократных отражений Р-волн до ТОО при нормальном падении волны на границы раздела сред для каждого ПВ. После такой корректировки ТОО с ближних и удаленных ПВ можно накапливать.

Методика основана на законе сохранения потока энергии, который позволяет восстановить коэффициент отражения при нормальном падении. Этот закон для случая нормального падения на границу раздела двух однородных сред дается равенством (1) и падения под углом – равенством (2). Поскольку поток энергии падающей волны E_{DP} для этих двух частных случаев один и тот же, равенства (1) и (2) можно связать через (3), откуда получается значение E_{UP0} (4). Рассмотрим рис. 1, на котором построена зависимость от угла падения на границу суммы трех последних слагаемых равенства (4) для различных параметров сред. Замечено, что суммарный поток энергий прошедших (преломленных) волн приблизительно равен потоку энергии прошедшей (преломленной) продольной волны в случае нормального падения на границу (5) для углов падения меньше критических в значимом диапазоне изменения параметров сред (рис. 1).

$$E_{DP0} = E_{UP0} + E_{DPP0} \quad (1)$$

$$E_{DP} = E_{UP} + E_{US} + E_{DPP} + E_{DPS} \quad (2)$$

$$E_{DP0} = E_{DP} \quad (3)$$

$$E_{UP0} = E_{UP} + E_{US} + E_{DPP} + E_{DPS} - E_{DPP0} \quad (4)$$

$$E_{DPP0} \approx E_{DPP} + E_{DPS} \quad (5)$$

где E_{DP} – поток энергии падающей волны,
 E_{DPP} – поток энергии падающей продольной преломленной волны,
 E_{DPS} – поток энергии падающей обменной волны,
 E_{UP} – поток энергии отраженной продольной волны,
 E_{US} – поток энергии отраженной обменной волны,
 E_{**0} – поток энергии соответствующей волны при нормальном падении на границу.

Из равенств (4) и (5) следует, что сумма потока энергий отраженных волн (продольных и поперечных) приблизительно равна потоку энергии отраженной продольной волны при нормальном падении (6).

$$E_{UPPO} \approx E_{UPP} + E_{UPS}, \alpha_{\text{пад}} < \alpha_{\text{крит}}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{пад}}$ – угол падения продольной волны на границу, $\alpha_{\text{крит}}$ – критический угол. На рис. 1 показано, что сумма потока энергий отраженных волн слабо зависит от угла падения до критических значений.

Для случая распространения и преломления продольной волны в изотропных однородных средах приближенное равенство (6) можно записать через амплитуды рассеянных волн и скоростные параметры с учетом изменения сечения лучевых трубок при преломлении на границе:

$$A_{UP0}^2 = A_{UP}^2 + \frac{v_{s1} \cos(\alpha_{US})}{v_{p1} \cos(\alpha_{UP})} A_{US}^2, \quad (7)$$

где α_{UP} – угол отражения продольной волны,

α_{US} – угол отражения обменной волны,

v_{s1} – скорость распространения обменных волн в верхнем полупространстве,

v_{p1} – скорость распространения продольных волн в верхнем полупространстве,

A – амплитуда вектора смещения соответствующей волны.

Для вычисления коэффициент отражения при нормальном падении на основе равенства (7) необходимо априорное значение v_{s1}/v_{p1} (можно положить равным 0,6) и углы рассеивания отраженных волн (α_{UP} , α_{US}). Эти углы можно рассчитать по трехкомпонентным трассам рассеянных волн одновременно с углами наклона и азимутами границ раздела сред.

Реальные данные имеют ограниченный спектр и шумы, которые не позволяют определить значения углов рассеивания в каждой точке по глубине, поэтому по исходным трассам рассчитывается усредненная трасса по методу главных компонент. Значениями этой трассы являются собственные вектора автокорреляционной матрицы, построенной по интервалу исходной трехкомпонентной трассы. Интервал выбирается равным длине волны (в масштабе глубин). При этом каждой точке соответствует вес (собственное значение), по которому можно исключить недостаточно точные значения. Углы рассеивания нужно рассчитывать по

усредненной трехкомпонентной трассе. Углы наклона границ и азимуты можно получать с нескольких ПВ, повышая, таким образом, точность.

Таким образом, методика восстановления характеристик среды по рассеянным волнам выглядит следующим образом:

- получение трасс однократных отражений продольных и обменных волн по всем ПВ в масштабе глубин,
- получение трассы собственных векторов (усредненной трассы) на базе длины волны,
- оценка углов рассеивания и векторов нормали границ раздела сред по нескольким ПВ,
- комбинация трасс однократных отражений продольных и обменных волн индивидуально для каждого ПВ – коррекция коэффициентов отражения за угол падения,
- расчет ВКФ между скорректированными трассами однократных отражений,
- весовое суммирование трасс однократных отражений всех ПВ.

Для демонстрации методики получена эталонная трасса однократных отражений путем свертки идеальной импульсной сейсмограммы с заданным сигналом по модели среды. Модель среды включает в себя наклоны границ.

Применение данной методики к синтетическим трассам однократных отражений рассеянных волн восстанавливает коэффициент отражения продольной волны при нормальном падении (рис. 3), значения на этом рисунке восстановлено с -0,0886 до -0,0911, точное значение -0,0909. Процент восстановления, в данном случае, составляет 91%. Так же восстановлена геометрия границ модели. На рис. 2(А) – Z-компонента исходной ТОО и Z-компонента скорректированной ТОО, рис. 2(Б) – углы и азимуты, восстановленные по скорректированной ТОО.

Список рисунков

1. Линии 1б, 2б, 3б - разница энергий прошедших волн и прошедшей волны при нормальном падении, линии 1а, 2а, 3а - суммарная энергия отраженных волн при различных соотношениях скоростей сред – V_{p1}/V_{p2} , где V_{p1} – скорость распространения продольной волны в верхнем полупространстве, V_{p2} – в нижнем.
2. А – ТОО (Z-компонента) и собственные вектора ТОО (Z-компонента) на базе длины волны,
Б – Восстановленные углы и азимуты границ.
Пунктиром изображен уровень границ на скважине
Вертикальные отсечки на графиках азимутов и углов - истинные значения углов и азимутов
3. ТОО и скорректированная ТОО в окрестностях границы раздела сред.