01 АЛГОРИТМ МИГРАЦИИ ДАННЫХ НВСП

В.А. Редекоп (ООО "ВимСейс Технология", Москва)

Аннотация. В докладе рассмотрен алгоритм расчета лучей применительно к миграции данных НВСП. Приведены примеры использования алгоритма для миграции модельных и реальных данных.

ALGORITHM FOR MIGRATION OF OVSP DATA

V.A. Redekop ("VimSeis Technology, Ltd.", Moskow)

Abstract. Algorithm of ray tracing calculation for the migration of OVSP data is considered. The examples of algorithm usage for the migration of model and field data are presented.

При выполнении обработки данных НВСП, направленной на изучение структурных особенностей залегания слоев, основной процедурой ответственной за достоверность результата является миграция. Цель миграции НВСП заключается в построении изображений среды. Отличие наблюдений в скважине от наблюдений на поверхности заключается в несимметричности схемы распространения волн (источник-отражающая граница-приемник). Миграции НВСП требуют более точного учета изменения направления распространения волн из-за преломления на промежуточных границах. В этом случае лучевой метод является наиболее подходящим методом для описания распространения волн в среде.

Согласно лучевому методу решение волнового уравнения для неоднородной среды представляется в виде ряда [1]:

$$u(x, y, z, t) = \sum_{i=0}^{n} u_i(x, y, z) f_i(t - \tau(x, y, z)), \qquad f_k = f_{k+1}^{\prime}; \quad (1)$$

где *и* - вектор смещения, *т* - поле времен.

Согласно теории основной вклад вносят несколько первых членов ряда, а в приближении геометрической сейсмики рассматривается только один член f_0 . Поскольку каждый предыдущий член ряда представляет собой производную от последующего, то, в принципе, мы имеем право

дифференцировать данные, и тем самым восстанавливать исходную форму сигнала. Такая операция правомочна еще и из тех соображений, что дифференцирование может рассматриваться как фильтр, который действует единообразно на каждую трассу. Выполнение такой операции показано на рис.1. Как видно из рисунка, записи при этом стали существенно более разрешенными и лучше поддаются анализу.



Рис.1. Применение дифференцирования к исходным записям. А) Слева направо. Исходные данные, падающие волны, отраженные волны.

Б) Данные после трехкратного дифференцирования.

В лучевом приближение поле времен для неоднородной изотропной среды описывается уравнением эйконала:

$$grad^2\tau = \mathbf{v}^{-2};$$
 (2)

где *т* - поле времен, v - скорость продольных или поперечных волн.

Решение уравнения эйконала определяется функционалом Ферма:

$$T = \int_{L} \frac{ds}{\mathbf{v}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z})};$$
 (3)

Здесь L - любая линяя соединяющая источник и приемник. По определению, лучом является всякая экстремаль функционала Ферма.

Для конструирования алгоритма расчета лучей рассмотрим расчет времени и точки преломления лучей в модели, состоящей из двух однородных слоев разделенной одной границей (рис.2А). Функционал Ферма в этом случае будет равен:

$$\int_{L} \frac{ds}{\mathbf{v}} = v_1^{-1} \sqrt{\left(x_0 - x_1\right)^2 + y_1^2} + v_2^{-1} \sqrt{\left(x_0 - x_2\right)^2 + y_2^2}; \qquad (4)$$

Продифференцировав это выражение и приравняв нулю производную, получим:

$$\frac{(x_0 - x_1)}{v_1 \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + y_1^2}} = \frac{(x_0 - x_2)}{v_2 \sqrt{(x_0 - x_2)^2 + y_2^2}}; \quad \text{или} \quad \frac{\sin\delta \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2}; \quad (5)$$

Выражение (5) представляет собой закон отражения-преломления Снеллиуса. Таким образом, мы убедились, что независимо от того является скорость непрерывной функцией или терпит разрыв на границах, мы можем рассчитывать лучи непосредственно, используя интегральное представления поля времен. Из закона Снеллиуса можно найти точку пересечения луча с границей, но поскольку неизвестная переменная стоит под корнем, вычисление ее сопряжено с некоторыми трудностями. Поэтому поступим по-другому, разобьем границу на дискретные точки и вычислим время по лучам в каждой точке границы (рис.2Б). Из рассчитанной совокупности выберем тот луч, время по которому минимально (рис.2В).



Рис.2. Схема расчета времени луча и координаты точки преломления.

А) Схема расчета при непрерывном изменении х-координаты.

Б) Схема расчета при изменении х-координаты в дискретных точках.

В) Кривая времени луча в зависимости от Х.

То, Хо - время и координата истинной точки отражения; *Tmin, Xmin* - время и координата расчетной точки отражения; δT , δX - погрешности определения времени и координаты.

Таким образом, мы рассчитали время по лучу близкое к фактическому и получили координату точки преломления луча с погрешностью, не превышающей половины расстояния между точками. Погрешность определения времени по лучу не превысит максимума разности между найденным временем и временами вычисленными в соседних точках. Если поместить точки x_1 , x_2 в одном слое, а в качестве v_1 , v_2 принять любую комбинацию скоростей продольных и поперечных волн, то получим точку отражения и время по лучу для отраженных PP, PS, SP и SS волн. Размещая точки границы не по линии, а по поверхности, получим алгоритм для 3D расчета параметров луча. Применяя алгоритм последовательно к однородным областям с резкими границами раздела получим времена и координаты точек преломления-отражения прямых и отраженных лучей от источника до приемника. Некоторые схемы, которые могут быть реализованы алгоритмом, показаны на рис.3. Особенно отметим то, что время по лучу и координаты точек преломления отражения луча могут быть получены с наперед заданной точностью.



Рис.3. Схемы расчета лучей.

А) Отражения от крутопадающей границы.

Б) Расчет годографа головной волны.

В) Расчет годографа дифрагированной волны.

Здесь Vi - скорости в слоях;

О - область распространения отраженных волн;

D - область распространения волны дифракции от клина;

Р - область распространения проходящей через клин волны.

Среда в пределах каждой однородной области может быть и анизотропной. С учетом того, что в однородной анизотропной среде лучи распространяются прямолинейно, ввод анизотропии скоростей в вычислительную схему при расчетах не представляет трудностей.

Алгоритм позволяет:

1. Выполнять расчет годографов и вычислять местоположение лучей для кусочно-однородной, в том числе и анизотропной среды.

2. Выполнять расчет изменения амплитуды вдоль луча в рамках положений геометрической сейсмики.

Алгоритм может быть использован:

1. Для моделирования сейсмограмм НВСП в приближении геометрической сейсмики.

2. Для выполнения миграции данных НВСП.

Поскольку алгоритм предусматривает расчет не только отраженных и преломленных волн, но и волн дифракции, то по сути своей он представляет собой некоторую реализацию геометрической теории

дифракции (в части касающейся расчета времен). Согласно положениям этой теории [2], дифракционные волны порождаются не всеми лучами, а только некоторыми, которые падают, на ребра, острия, линии разрывов кривизны, что, как показано на рис.3В, и выполняет алгоритм.

На рисунках 4-6 приведены примеры миграционного преобразования выполненного по вышеописанному алгоритму. На рис.4А показана модель среды с тонкими крутопадающими слоями. Модельное поле (рис.4Б) получено по программе полноволнового моделирования Tesseral. В результате миграции (рис.4В) получены уверенно прослеживаемые изображения границ.



Рис.4. Миграция крутопадающих границ.

А) Модель включающая тонкие слои.

Б) Сейсмограмма полученная путем полноволнового моделирования (Tesseral).

В) Мигрированный глубинный разрез.

На рис.5 показана похожая ситуация, но на реальных данных. На сейсмограмме НВСП (рис.5А) хорошо видна волна от плоскости нарушения (показана стрелкой). Мигрированное изображение этой волны приведено на рис.5Б.



Рис.5. Получение изображения зоны тектонического нарушения.

А) Сейсмограмма НВСП. Стрелкой показана волна от плоскости нарушения.

Б) Мигрированный разрез. Линия проведена по нарушению.

Рис.6 демонстрирует применение 3D миграции. Наблюдения НВСП двух пунктов возбуждения. Скважина проводили ИЗ наклонная. горизонтальное отклонение забоя составляет 1500м. Глубинные разрезы, полученные в результате 3D миграции, в силу геометрии наблюдений имеют вид кривых поверхностей (рис.6А). Из рис.6А видно, что разрезы ПВ0 и ПВ1 хорошо стыкуются на скважине. Сопоставление глубинных разрезов 3D НВСП и МОГТ показано на рисунках 6Б и 6В. Как можно видеть из рисунков, в основном наблюдается хорошее совпадение фаз отражений на разрезах НВСП и МОГТ. Однако разрез НВСП позволяет выполнить геологическую интерпретацию более детально и достоверно. На разрезе НВСП (рис.6В) хорошо прослеживается зона нарушения, которая на разрезе МОГТ практически не заметна (рис.6Г).



Рис.6. 3D миграция данных НВСП для кривой скважины.

А) Мигрированные разрезы НВСП в виде кривых поверхностей.

- Б) Совместное 3D изображение разрезов НВСП и МОГТ.
- В) Выделение зоны нарушения на разрезе НВСП.
- Г) Разрез МОГТ. Красным овалом показана зона нарушения.

Опыт многолетнего тестирования алгоритма на моделях и его применение в производственной обработке с помощью программ (VimSeis2D-3D, Meikon2D-3D), созданных на его основе показали, что алгоритм является достаточно эффективным при проведении миграции данных НВСП и может быть использован, в том числе и в районах со сложным геологическим строением.

Литература

1. Сейсморазведка. Справочник геофизика /Под ред. И.И. Гурвича, В.П. Номоконова/.- М.: «Недра», 1981.

2. Боровиков В.А, Кинбер Б.Е. Геометрическая теория дифракции. М.: «Связь», 1981.