УДК 004.942

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОТРАЖЕНИЯ В СВЁРТОЧНОЙ МОДЕЛИ АДАПТИВНЫМ МЕТОДОМ

Косьянов А.Н.
Научный руководитель доктор тех. наук Ченцов С.В.
Сибирский Федеральный Университет

Для изучения объектов внутри Земли проводят наблюдения естественных и искусственных физических полей. Полученные данные необходимо обработать, после этого появляется возможность использования их для получения информации об изучаемом объекте.

Чтобы получить представления о свойствах объекта, необходимо создать его модель с некоторыми параметры. Зная, эти параметры модели и используя математические зависимости между моделью и полем, можно вычислить теоретические значения поля для заданных условий наблюдения. Процесс перехода от модели к полю называют решением прямой задачи. Переход от значения поля к параметрам модели среды – решением обратной задачи.

$$\begin{cases} U_0 = s_0 H_0 \\ U_{\mathbf{1}} = s_{\mathbf{1}} H_0 + s_0 H_{\mathbf{1}} \\ U_2 = s_2 H_{\mathbf{0}} + s_{\mathbf{1}} H_{\mathbf{1}} + s_0 H_2 \\ U_3 = s_3 H_0 + s_2 H_{\mathbf{1}} + s_{\mathbf{1}} H_2 + s_0 H_3 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ U_i = \sum_j^{n-i} s_j h_{(i-j)} \end{cases} \tag{1}$$

где U – сейсмическая трасса;

H – импульсная характеристика среды, определяемая последовательностью коэффициентов отражения от всех границ;

S – сигнал, излучаемый источником сейсмических волн;

n – количество точек в сигнале.

i – может принимать значения от 0 до m.

Используя такую модель и зная или предполагая некоторое аналитическое выражение для сигнала и зная коэффициенты отражения по данным акустических наблюдений в глубоких скважинах, мы можем рассчитать модельную трассу (синтетическую, так часто называют её сейсморазведчики). Сопоставляя её с реально, делаются выводы об адекватности предположений. результаты многочисленных вариаций вида сигнала позволяют выбрать такой, который даёт модельную трассу похожую на реальную. Эта процедура подбора сигнала даёт возможность отождествить (увязать) данные геофизического исследования скважин с сейсмическими данными.

Но используя уравнения и имея известные U_i - по сейсмическим данным и h_i - по акустическим данным, решая систему уравнений, можно получить оценку вектора s (т.е. отсчётов сигнала, т.к. n<<m), то на наиболее выраженных участках опорных отражений задачу удаётся решать, если импульсная трасса, определённая по аналитическим данным, не искаженна сильными помехами. Если мы будем использовать не одну трассу, а несколько ближайших к скважине. В результате получим несколько сигналов, а из них выберем наилучший по определённым критериям. Зная вектор s, мы можем, используя систему уравнений оценивать коэффициенты отражения на всей совокупности трасс.

Для решения обратных задач используется адаптивный метод (Обоснование адаптивного метода в классе итерационных впервые сделано в 1977 г. и в 1983 г.

Опубликовано в работе Кочнева В.А. «Адаптивное прослеживание сейсмических волн и оценка их параметров. Геология и геофизика»). Адаптивный метод позволяет решать большие системы уравнений и учитывать априорную информацию.

Каждое неизвестное на k+1 шаге будет равно:

$$x_j^{k+1} = x_j^k + \frac{a_{ij}(D_{xj})^k}{D_{ui} + \sum_{j-1}^{m} a_{ij}^2 (D_{xj})^k}(u_i - f(X^k)), \tag{2}$$

где $k = i + n(l-1)$ – номер шага уточнения (не является показателем степени),

i – порядковый номер уравнения,

l – номер итерации,

n – число уравнений в системе,

j – порядковый номер неизвестного,

m – число неизвестных,

a_{ij} – коэффициент в l-ом уравнении j-го неизвестного. В случае нелинейной системы он будет зависеть от k,

$D_{xj}^k = (\sigma_{xj}^2)^k$ – оценка дисперсии неизвестного на k-ом шаге,

$D_u = \sigma_{uj}^2$ – дисперсия ошибки измерения параметра u в i-ом уравнении.

В адаптивном методе оценка дисперсии x_j на каждом шаге уменьшается следующим образом:

$$D_{xj}^{k+1} = D_{xj}^k (1 - \frac{a_{ij}^2 (D_{xj})^k}{\Delta D_{j-1}^2 + D_{ui}^2 + \sum_{j-1}^{m} a_{ij}^2 (D_{xj})^k} \tag{3}$$

Если $\sigma_{ui}^2 = 0$, а $\sigma_{xi}^2 = 1$, то получим:

$$x_j^{k+1} = x_j^k + \frac{a_{ij}}{\sum_{j-1}^{m} a_{ij}^2}(u_i - f(X^k)) \tag{4}$$

В частности, в нашей работе адаптивный метод применяется для определения последовательности коэффициентов отражения от всех границ среды.

В ходе проведённых опытов удалось выяснить следующие закономерности:

- Мультипликативная помеха той же величины, как и аддитивная, даёт на деле большую погрешность полученных результатов.
- Прямой зависимости между количества итераций и качества получаемых результатов нет, адаптивный метод может как сойтись на 3 итерации, так и начать расходиться. При разных входных параметрах лучшее результаты могут получаться на разных итерациях. Изучая только 1 профиль, оправдано использовать большее количество итераций.
- Количество периодов сигнала не влияет на получаемые результаты.
- Увеличение длительности периода самого сигнала приводит к ухудшению, в отличие от коэффициента затухания. Происходит это вследствие перемножения плавных волн сигнала и резких всплесков коэффициентов отражения, что приводит к потере некоторых данных об этих коэффициентах.
- $Sigma_0$ и Sigma необходимо подбирать для каждого конкретно случая отдельно. Это основные коэффициенты, с их помощью производиться регулирование получаемых результатов. Они дают возможность уменьшить СКН (среднеквадратичную невязку), это уменьшает разницу между рассчитанными и существующими параметрами среды.

Очень часто мы сталкиваемся с тем, что в реальных условиях мы не знаем точную форму сигнала, и нам приходиться использовать примерный, рассчитанный сигнал, что может ощутимо влиять на получаемые результаты.

Решение систем уравнений адаптивным методом применяется во многих областях науки и техники.