

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ФАЗО-ЧАСТОТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕЙСМОГРАММ**

В. П. ИВАНЧЕНКОВ, В. А. ШЛОТГАУЭР

(Представлена научным семинаром НИИ ядерной
физики, электроники и автоматики)

Спектральные представления стали использоваться в сейсморазведке с момента применения метода отраженных волн, когда обнаружилась необходимость частотной фильтрации для выделения отражений на фоне других колебаний. Но при интерпретации данных сейсмических наблюдений долгое время использовали преимущественно кинематические характеристики волн: времена пробега и определяемые по ним скорости распространения. Динамические характеристики, под которыми понимается совокупность зависимостей, определяющих характер колебаний частиц среды во времени и пространстве при распространении волн, в процессе интерпретации почти не использовались. Но развитие сейсмических методов разведки в условиях более сложных типов сред обусловило необходимость привлечения при интерпретации наряду с кинематическими также и динамических характеристик [1]. Амплитудные и фазовые спектры сейсмической волны являются ее наиболее важной динамической характеристикой. Спектры сейсмической волны и форма ее записи связаны известными соотношениями Фурье, согласно которым всякую функцию, удовлетворяющую условиям Дирихле, можно представить при помощи интегралов Фурье в комплексной форме:

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1)$$

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Функция $S(\omega)$ является комплексной функцией аргумента ω и носит название комплексного спектра колебания $F(t)$.

$$S(\omega) = \Phi(\omega) e^{j\varphi(\omega)}. \quad (2)$$

Модуль комплексного спектра $\Phi(\omega)$ называется амплитудным, а аргумент $\varphi(\omega)$ — фазовым спектром колебания $F(t)$.

$$\Phi(\omega) = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}, \quad (3)$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{B(\omega)}{A(\omega)}, \quad (4)$$

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cos \omega t dt, \quad (5)$$

$$B(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \sin \omega t dt. \quad (6)$$

В большинстве практически встречающихся в сейсморазведке случаев кривая колебаний записывается в виде графика и аналитическое решение интегралов Фурье затруднительно, поэтому большое значение приобретают способы приближенного вычисления интегральных соотношений (1). Можно значительно упростить вычисление интегралов (5) и (6), если предположить, что колебание $F(t)$ ограничено во времени интервалом $(0, \tau)$, а главная часть его комплексного спектра заключена в области $(0, \omega_g)$. Этим допущением хорошо удовлетворяют сейсмические импульсы. С учетом этих допущений вычисление спектра сейсмического колебания сводится к вычислению интегралов в конечных пределах. Кроме того, согласно теореме Котельникова функцию с ограниченным спектром и ограниченной длительностью можно полностью охарактеризовать $n+1$ значениями комплексного спектра для дискретных значений частот $0, \Delta\omega, 2\Delta\omega, \dots, n\Delta\omega$ [2].

Учитывая все вышеизложенное, расчет амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик участков реальной сейсмограммы производился по следующим формулам:

$$A_k = \frac{2}{t'' - t'} \int_{t'}^{t''} F(t) \cos \frac{2k\pi t}{t'' - t'} dt, \quad (7)$$

$$B_k = \frac{2}{t'' - t'} \int_{t'}^{t''} F(t) \sin \frac{2k\pi t}{t'' - t'} dt,$$

$$\Phi_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2},$$

$$\varphi_k = \operatorname{arctg} \frac{B_k}{A_k},$$

где $t'' - t'$ — длительность анализируемого участка сейсмограммы.

Целью расчетов было получение спектральных характеристик участка сейсмотрассы, содержащего отраженную волну, и последующий анализ этих характеристик для выявления возможности использования их как для обнаружения отраженной волны, так и для определения ее временных параметров. Особое внимание при анализе спектральных характеристик уделялось фазо-частотному спектру. Это объясняется тем, что при регистрации сейсмических колебаний чаще всего приходится иметь дело с наложенными или интерферируемыми волнами, поскольку приходящие к сейсмоприемнику волны распространяются по различным путям, с различной скоростью и при этом накладываются друг на друга. Это явление вызывает наибольшие затруднения при выделении отраженных волн. В настоящее время для выделения полезной волны применяется частотная фильтрация сейсмических колебаний, основанная на знании амплитудных спектров волн. Но если спектры накладывающихся волн близки друг к другу, то их разрешение средствами частотной фильтрации становится весьма затруднительным.

В этих условиях возрастает информационное значение фазо-частотного спектра, причем задача рассмотрения фазовых спектров состоит в том, чтобы найти дополнительные признаки, пользуясь которыми, можно было бы по фазовому спектру функции судить о ее форме во временном представлении. Для сопоставления результатов спектрального анализа на сейсмограмме было взято два типа участков: участок, фиксирующий отраженную волну, и участок, о котором заведомо известно, что он не содержит отраженной волны. С учетом полосы пропускания

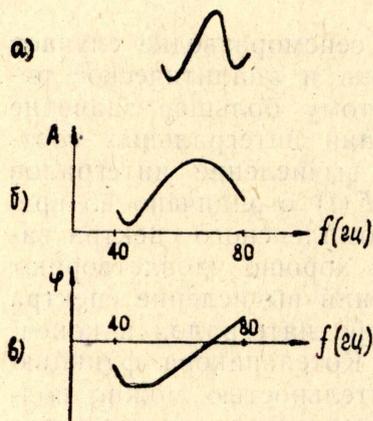


Рис. 1. Участок сейсмограммы с полезной волной и его спектральные характеристики.

входных фильтров сейсмоприемников, разложение производилось в диапазоне от 40 до 100 гц. Временной интервал брался равным 40 мсек, что приблизительно равняется длительности отраженной волны. Все расчеты были произведены по формулам (7) с использованием БЭСМ-4 по материалам Томского геофизического треста. Были получены спектральные характеристики для 10 участков, содержащих отраженную волну, и 10 участков, не содержащих отраженной волны. Анализ полученных результатов показал, что спектральные характеристики участков, содержащих полезную волну, отличается постоянство формы графиков, то есть соотношение амплитуд и фаз гармоник, составляющих отраженную волну, неизменно.

На рис. 1, а показан участок сейсмограммы, содержащий отраженную волну, на рис. 1, б показана его обобщенная амплитудно-частотная, а на рис. 1, в фазо-частотная характеристика.

И, напротив, спектральные характеристики участков, не содержащих полезной волны, не отличаются какой-либо повторяемостью формы. На рис. 2, а и б приведены два участка, не содержащих отражен-

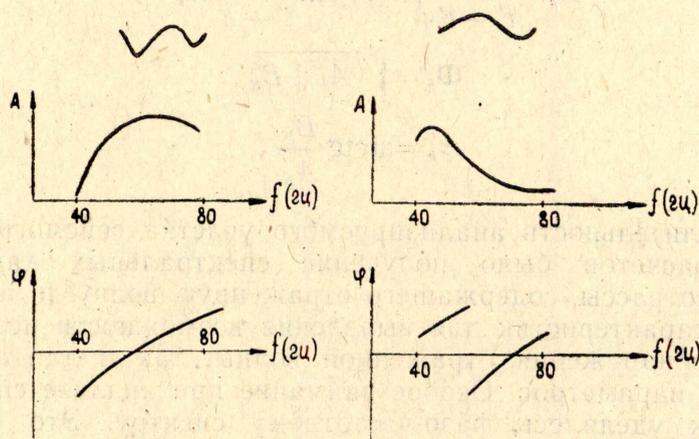


Рис. 2. Участки сейсмограммы, не содержащие полезной волны, и их спектральные характеристики.

ной волны и их спектральные характеристики. Сравнение амплитудно-частотных характеристик различных участков показало, что в некоторых случаях амплитудный спектр участка, не содержащего полезной волны, совпадает по форме с амплитудным спектром отраженной волны. Однако такого совпадения не наблюдалось для фазовых спектров.

Следует также отметить, что фазо-частотная характеристика отраженной волны имеет характерный вид, который показан на рис. 1, в. Проведенные эксперименты по обнаружению полезной волны на реальной сейсмограмме с помощью слежения за формой фазо-частотной кривой, а также определение ее временных параметров дали хорошие результаты.

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Амплитудно-частотная характеристика не может однозначно указывать на присутствие полезной волны.

2. Фазо-частотная характеристика отраженной волны имеет характерную форму, дающую возможность использовать ее для обнаружения полезной волны и определения ее временных параметров.

В заключение следует сказать, что изложенные результаты являются попыткой использования фазо-частотной характеристики при обработке сейсмической информации. Проведение исследований на более обширном материале позволит в дальнейшем уточнить границы применимости фазовых характеристик при интерпретации сейсмограмм.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Берзон, А. М. Епинатьева, Г. Н. Парийская, С. П. Стародубровская. Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. М., изд-во АН СССР, 1962.

2. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. М., Физматгиз, 1962.