

**ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОКОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ
ПРИ ОБРАБОТКЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ТРАСС**

Мак Э.Р.Э Кпата, А.А. Ислямова

Научный руководитель профессор Немирович-Данченко М.М.

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г. Томск, Россия**

Развитие методологии обнаружения трещиноватых (пористых) областей в горных породах всегда представляется актуальной проблемой для широкого круга прикладных задач геофизики [5]. В тех случаях, когда дефектные области представляют собой зоны множественного разрушения (трещиноватые зоны), действенными оказываются электромагнитные и акустические методы и их комбинации. Акустические методы, основанные на изучении свойств упругих волновых полей при активном и пассивном мониторинге сред, содержащих трещиноватые зоны, применяются особенно широко в горном деле и при поисках залежей углеводородов, причем в последнем случае развиваются как собственно акустические методы (акустический каротаж), так и сейсмические методы, использующие и продольные, и поперечные волны [5]. Для анализа реальных сейсмических разрезов необходимо корректно применять аппарат обработки временных рядов цифровыми фильтрами. Обычно такая обработка проводится в спектральной плоскости. Для отображения исходного ряда в частотную область нами используются преобразования Фурье [4] и Прони [2]. Показан пример работы оконного фильтра в случае использования спектра Фурье.

Для преобразования Фурье ограничения, связанные с теоремой Котельникова и накладываемые конечными размерами блоков обработки, не позволяют извлекать из трассы гармонические компоненты с любой наперед заданной частотой. Чтобы обойти это ограничение, ранее применялось преобразование Прони, которое не является спектральным преобразованием в чистом виде, а является способом оценивания (как метод наименьших квадратов) дискретных данных с помощью линейной комбинации экспоненциальных функций. Затем можно вычислить спектральную плотность энергии (СПЭ) для любой частоты Прони. На основе этого была показана возможность выделения трещиноватости в горной породе [3]. Ниже будут приведены некоторые алгоритмические подробности выполнения целевой фильтрации.

Приведем основные формулы для прямого и обратного преобразования Фурье.

Под спектром функции $g(t)$ будем понимать функцию $G(\omega)$, связанную с $g(t)$ парой преобразований Фурье [4]

$$g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} G(\omega) e^{j\omega t} d\omega, \quad (1)$$
$$G(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t) e^{-j\omega t} dt.$$

Здесь используются общепринятые обозначения $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, T – основной период колебаний.

Здесь используются общепринятые обозначения $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$,

T – основной период колебаний. Формулы (1) содержат переменную t . Это может быть время, что обычно и подразумевается (тогда f – временная частота с размерностью T^{-1}), но может быть и пространственная переменная (тогда вместо f пишут k , это пространственная частота с размерностью L^{-1}).

В обоих случаях – и для спектров Фурье [4], и для спектров Прони [2] – существуют различные аспекты при выполнении собственно фильтрации. В данной работе показано, как корректно применять полосно-заграждающий фильтр при работе в пакете MatLab. Под полосно-заграждающим фильтром имеется ввиду следующий алгоритм: из комплексного спектра выбираются несколько частот, они обнуляются с соблюдением симметрии относительно частоты Найквиста [1] (в случае преобразования Фурье) или её аналога (в случае преобразования Прони). Затем для полученного комплексного массива выполняется обратное преобразование.

В программе выполняется чтение файла из формата *.seg, анализ формата записи и подготовка к фильтрации. Собственно результат выполнения сравнения матриц по маске и есть фильтрация. Маска в данном случае – это вектор $M = [1, 1, 1, \dots, 0, 0, 0, \dots, 1, 1]$. Сохраняемые частоты соответствуют единицам. Если спектр трассы в выбранном окне обозначим SF, то после выполнения сравнения по маске M в строке Rez получится отфильтрованный спектр:

$$\text{Rez} = \text{SF} * M.$$

На рисунке приводятся два спектра – SF до обработки и Rez после обработки. Хорошо виден результат вырезания полосы частот в области несущей частоты.

Вообще говоря, псевдо-разрез может быть составлен и из трасс, содержащих только амплитудные спектры. И для быстрого принятия решений, для выбора стратегии адаптивного поиска зон с возможным повышенным содержанием углеводородов, этого может оказаться и достаточно. Разрез спектральных плотностей, составленный

из таких «трасс», будет содержать выдержанные по латерали лакуны в зонах, приуроченных, как показывают модельные расчеты, к продуктивным участкам геологического разреза [3].

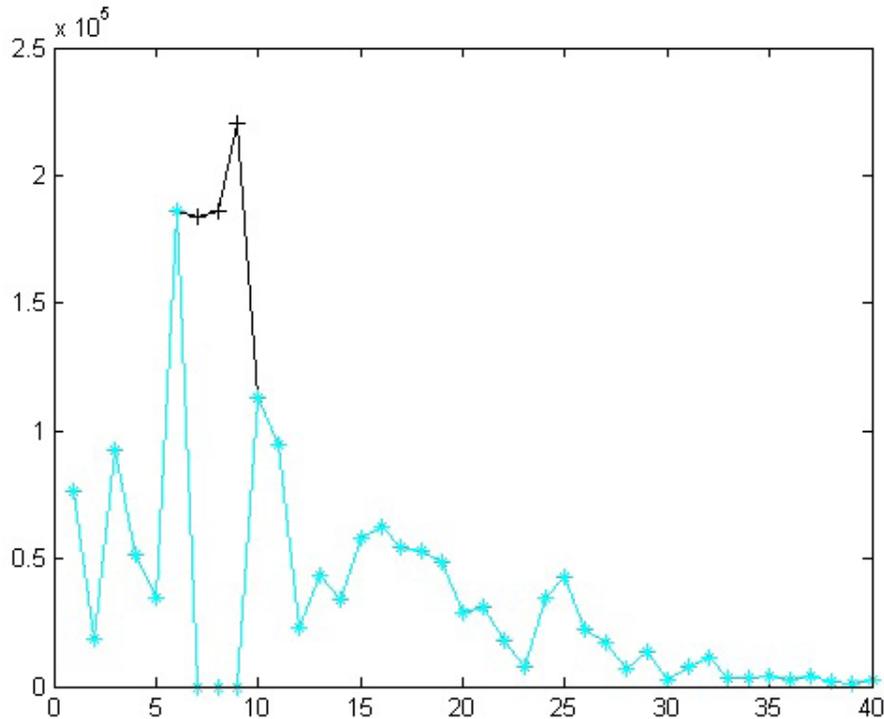


Рис. Спектр SF до обработки (кривая с «+») и Rez после обработки (кривая с «*»)

Здесь важно помнить, что (как правило) мы имеем дело с алгоритмами быстрого преобразования Фурье. Поэтому следует учитывать, что для выбранного размера окна обработки N в случае преобразования Фурье частота Найквиста равна $f_N = N/2$ (это безразмерная величина, она определяет количество гармоник, то есть штук); в то же время при заданной величине отсчета Δt граничная частота $f_{гр} = 1/(2\Delta t)$ (это величина размерная, Гц). Например, если размер окна $N=64$ и $\Delta t=0.002$ с, то $f_N = 32$, $f_{гр} = 250$ Гц и одной гармонике окна обработки соответствует $250/32=7,8125$ Гц. И для выбранного окна при фиксированной величине отсчета это число 7,8125 Гц не меняется.

В случае же преобразования Прони сам метод подбора частот из диапазона $-(2\Delta t)^{-1} \leq f_k \leq (2\Delta t)^{-1}$ предопределяет варьирование значений частот при изменении свойств сигнала. При этом каждому номеру («гармонике») в ряде Прони будет соответствовать не конкретная частота в Гц, а некоторая полоса частот. Поведение этих полос пропускания представляет отдельный методологический интерес при обработке и интерпретации геофизических данных.

Необходимо также добавить, что интерпретатор всегда имеет дело только с оконными преобразованиями, даже когда работает со всей трассой.

Нужно учитывать эти особенности при построении полосно-заграждающих (режекторных) фильтров (в английской терминологии *notch filter*).

Литература

1. Nyquist H. Certain topics in telegraph transmission theory // Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. – 1928. – Т. 47. – №. 2. – С. 617-644.
2. Марпл-мл. С. Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
3. Немирович-Данченко М.М. Возможности обнаружения множественной трещиноватости сплошной среды на основе оценки спектральной плотности энергии отраженного сигнала // Физическая мезомеханика – 2013. – Т. 16. – № 1. – С. 105-110.
4. Харкевич А.А. Спектры и анализ. – М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1957. – 236 с.
5. Хромова И. Ю. Практическое сравнение методик прогноза трещиноватости по сейсмическим данным // Технологии сейсморазведки. – 2010. – №2. – С. 62-69.