

ВЛИЯНИЕ ПОРИСТОСТИ ПЛАСТА НА АМПЛИТУДНЫЙ СПЕКТР СЕЙСМИЧЕСКОГО СИГНАЛА

¹Ислямова А.А., ^{1,2}Немирович-Данченко М.М.

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

²Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, Новосибирск

В работе изучено влияние пористого слоя во вмещающей однородной среде на сейсмический сигнал. Поры распределены случайным образом. Для отраженной волны анализируются спектры Прони и Фурье. Показано, что и для пористых слоев, как и для слоев с трещинами, существенно уменьшаются амплитуды некоторых частот. Аналогичное изменение спектра было отмечено ранее при лабораторном моделировании прохождения сейсмической волны через образец песчаника. В целом можно говорить о спектральном проявлении зон с повышенным затуханием в определенной полосе частот. Это позволяет построить алгоритм фильтрации реальных временных разрезов для выявления потенциальных зон с повышенным затуханием (поглощением) сигнала.

Введение

Ранее [1, 2] нами был предложен спектральный метод анализа в скользящем окне временных разрезов для выделения трещиноватых зон. Методика анализа амплитудных спектров сейсмических полей основывалась на результатах численного конечно-разностного моделирования прямых задач механики деформируемого твердого тела для тел с трещинами [1] и на результатах лабораторного эксперимента, выполненного Грегори и опубликованного в [3].

Ненормированные спектры, полученные в лабораторном эксперименте и в численном расчете приведены на рис. 1, а и 1, б. Их сравнение показывает, что спектр волны, отраженной от трещиноватой области, резко теряет часть высоких частот и уверенно отличается от спектра волны в сплошной среде.

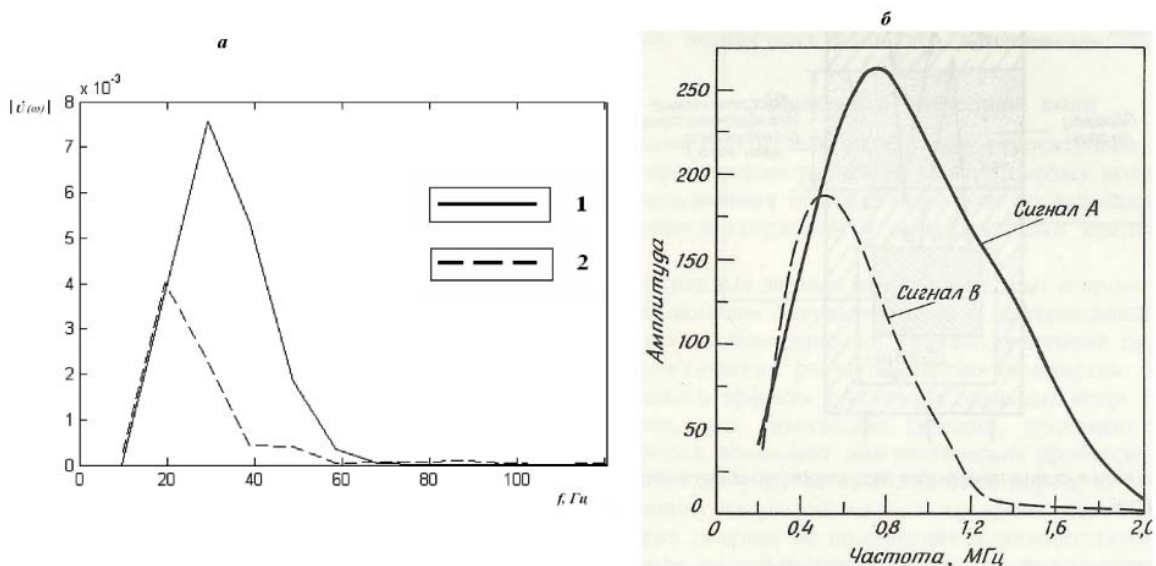


Рис. 1. а – ненормированные спектры падающей (1) и отраженной (2) волн для слоя с трещинами [1,2]; б – из работы [3]: спектры падающего (А) и отраженного (В) от образца песчаника сигналов

Численное моделирование для пористого слоя

В процессе обработки результатов численного моделирования были вычислены спектры для волны до достижения ею пористого слоя и для волны в пористом слое. Модули амплитудных спектров совмещены на рис. 2.

Заметим, что спектры сейсмических волн при прохождении ими трещиноватых (рис. 1, а) и пористых (рис. 2) сред ведут себя (по результатам нашего моделирования) сходным образом.

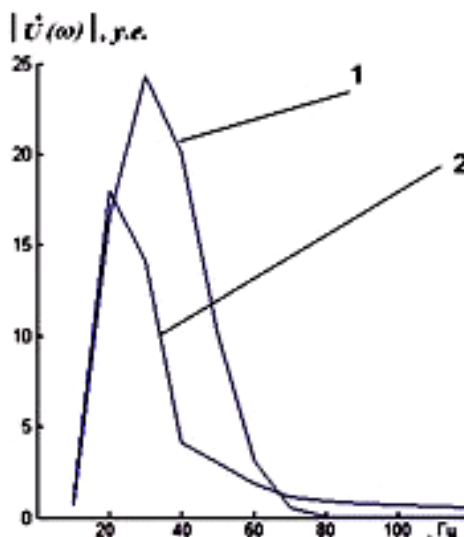


Рис. 2. Спектры падающей (1) и преломленной (2) волн для пористого слоя

Различия в спектральной характеристике исходной волны и волны, прошедшей через трещиноватые или пористые области, очевидны. Поэтому следующим шагом работы стало определение зон ослабления и изменения спектров на реальных сейсмограммах. Для этого при дальнейшей обработке реальных временных разрезов использовались преобразования Прони и Фурье в скользящем окне.

Для анализа реальных разрезов необходим аппарат обработки цифровыми фильтрами. При этом 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, обратимся к преобразованию Прони [4], 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.

Метод Прони позволяет оценить n -й элемент выборки $y(1), \dots, y(N)$ с помощью экспоненциальной модели порядка p следующим образом:

$$y(n) = \sum_{k=1}^p h_k z_k^{n-1}, \quad (1)$$

где множители h_k и z_k в общем случае комплексны и определяются выражениями

$$h_k = A_k \exp(j\theta_k), \quad z_k = \exp[(\alpha_k + j2\pi f_k)T].$$

Здесь A_k – амплитуда, α_k – коэффициент затухания (размерность с^{-1}) k -й комплексной экспоненты, f_k (Гц), θ_k (рад) – частота и начальная фаза k -й синусоиды.

Для значений $N = 64$ и $p = 15$ на рис. 3 приводятся первые 4 члена ряда (1). Первый член (p_1 , жирная линия) – затухающая экспонента, остальные 3 члена – затухающие синусоиды. Для большинства обычных сигналов (в том числе акустических), ряд (1) сходится значительно быстрее, чем ряд Фурье.

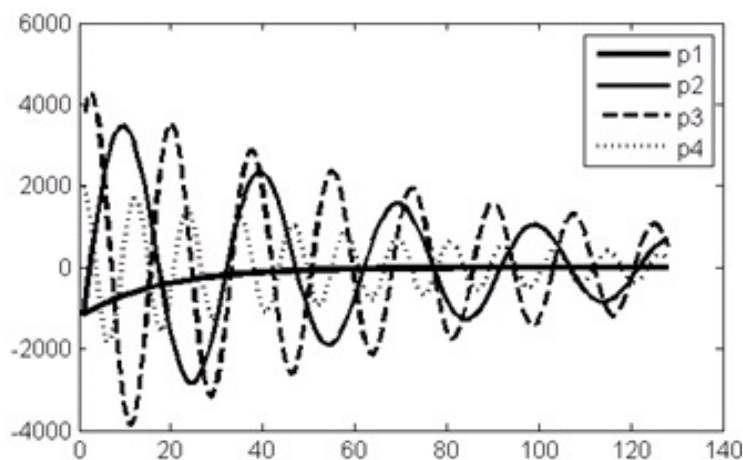


Рис. 3. Первые члена ряда Прони. Пояснения в тексте

Вычислив массивы значений h_k и z_k , можно вычислить СПЭ для любой частоты f_k из диапазона $-(2\Delta t)^{-1} \leq f_k \leq (2\Delta t)^{-1}$, где $(2\Delta t)^{-1}$ – аналог частоты Найквиста.

Для выбранного размера окна обработки N , в случае преобразования Фурье, частота Найквиста равна $f_N = N/2$. Это безразмерная величина, она определяет количество гармоник. 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 и 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.

Фильтрация сейсмического разреза

Ниже на рис. 4 показаны результаты применения режекторного фильтра (*notch filter*) Прони в скользящем окне к временному разрезу «№ 95» по площади «С».

Благодаря примененному нами графу обработки разреза, зоны с более высоким затуханием сигнала (возможно, повышенной трещиноватости/пористости и/или флюидонасыщенности) должны выделяться на разрезе меньшими амплитудами волны, по сравнению с окружающими трассами. Такой эффект мы наблюдаем в средней части профиля 95 на временах 2100–2300 мс, где среди четких фаз юрских горизонтально-слоистых отложений осадочного чехла появляется лакуна с нарушением чередования и прослеживания фаз, низкими амплитудами волн. Необходимо отметить, что найденная зона (лакуна) соответствует реальному продуктивному интервалу.

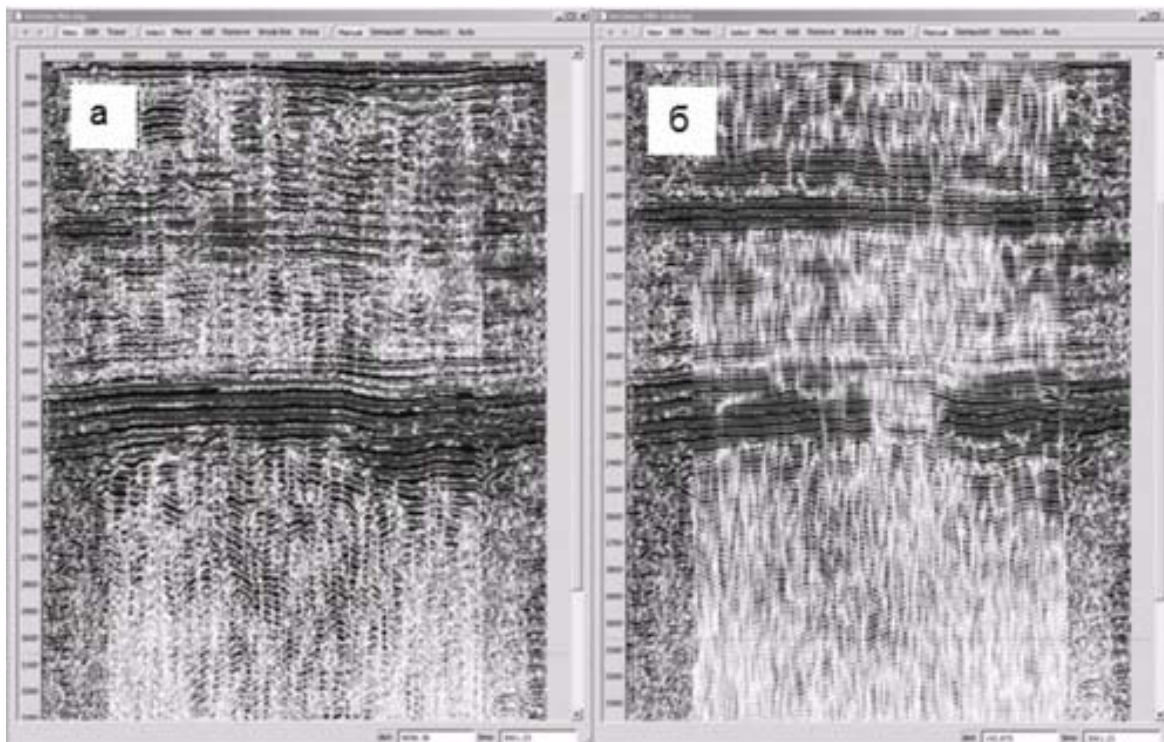


Рис. 4. Исходный сейсмический разрез «№ 95» по площади «С» до (а) и после (б) применения оконного преобразования

Заключение

Изложенная методология может быть использована на стадии камеральной обработки временных сейсмических разрезов, при интерпретации акустического каротажа, при картировании продуктивных площадей.

Литература

1. 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.
2. Немирович-Данченко М.М., Шатская А.А. Численное моделирование влияния трещиноватости пласта на амплитудный спектр сейсмического сигнала // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2013. – Т. 2. – № 2. – С. 141–144.
3. Сейсмическая стратиграфия. Использование при поисках и разведке нефти и газа Ч. 1 / под ред. Ч. Пейтона. – М.: Мир, 1982. – 375 с.
4. Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.