

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГИИ КАРЬЕРНЫХ ВЗРЫВОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

*Сергей Александрович Ефимов*

Институт вычислительной математики и математической геофизики, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник лаборатории геофизической информатики, тел. (383)330-70-69, e-mail: [serg@opg.sccc.ru](mailto:serg@opg.sccc.ru)

В статье рассмотрена возможность использования карьерных взрывов для формирования качественных сейсмограмм. Высокое качество сейсмограмм достигается за счет использования ядра преобразования, формируемого на основе экспериментальной записи карьерного взрыва в ближней зоне.

**Ключевые слова:** карьерный взрыв, сейсмический сигнал в ближней зоне, ядро преобразования, качественная сейсмограмма.

## USE OF ENERGY QUARRY BLASTS TO STUDY THE STRUCTURE GROUND

*Sergey A. Efimov*

Institute computing mathematicians and mathematical geophysics (ICMMG SB RAS), 630090, Russia, Novosibirsk, Pr. Lavrenteva, the house 6, geophysical research laboratory informatics, tel. (383) 330-70-69, e-mail: [serg@opg.sccc.ru](mailto:serg@opg.sccc.ru)

The article describes the use of quarry blasts for forming quality seismograms. High quality seismograms is achieved through the use of nuclear transformation, formed on the basis of experimental recording career blast at close range.

**Key words:** quarry blasts, seismic signal in the near field, the core of the transformation, quality seismograms.

Постановка задачи. Вопрос использования энергии промышленных взрывов в качестве зондирующих сигналов при проведении сейсмических исследований является актуальным. Технология проведения сейсмических экспериментов включает в себя процедуру построения сейсмограмм. Качество сейсмограмм в виде непосредственной регистрации колебаний поверхности земли не всегда дает удовлетворительные результаты. Для повышения качества используется согласованный или оптимальный приемник, осуществляющий обработку данных регистрации по следующему алгоритму:

$$q(t) = \int_0^t s(\tau) \cdot R(t - \tau) \cdot d\tau \quad (1)$$

где  $s(t)$  – сигнал на входе приемника;  $R(t)$  – ядро преобразования;  $q(t)$  – сигнал на выходе приемника.

При этом ядро преобразования для оптимального фильтра должно удовлетворять условию [1]:

$$R(t - \tau) = s_0(t - \tau). \quad (2)$$

где  $s_0(t)$  – функция зондирующего сигнала, формируемого распределенным карьерным взрывом в однородной среде в волновой зоне.

Распределенный карьерный взрыв как физическое явление представляет собой сложный процесс формирования сейсмической волны. По аналогии с атомным взрывом пространство формирования ударной и сейсмической волны разделяется на две области: области нелинейных и линейных деформаций. Для получения сейсмограммы от карьерного взрыва в дальней зоне по формуле (1) необходимо иметь ядро преобразования  $R(t)$ . Построение математической модели этого ядра является задачей нетривиальной. Поэтому более конструктивным подходом для решения этой задачи, по мнению автора, является экспериментальное измерение сейсмического сигнала в ближней волновой зоне с дальнейшим использованием его в качестве функции ядра.

Исследование сейсмического сигнала. На рис.1 представлена запись карьерного распределенного взрыва в волновой зоне в районе Бачатского угольного разреза Кемеровской области. Для регистрации использована сеймостанция «РОСА» и трехкомпонентный сейсмометр СК1-П. Время регистрации – 10 августа 2001 г. Взрыв формируется из 220 скважин по 180 кг взрывчатого вещества в каждой скважине. Одновременно взрываются 10 скважин. Время между взрывами – 25-30 мс. Значение общего времени взрыва находится в диапазоне 550 – 660 мс. Среда взрыва – угольный блок.

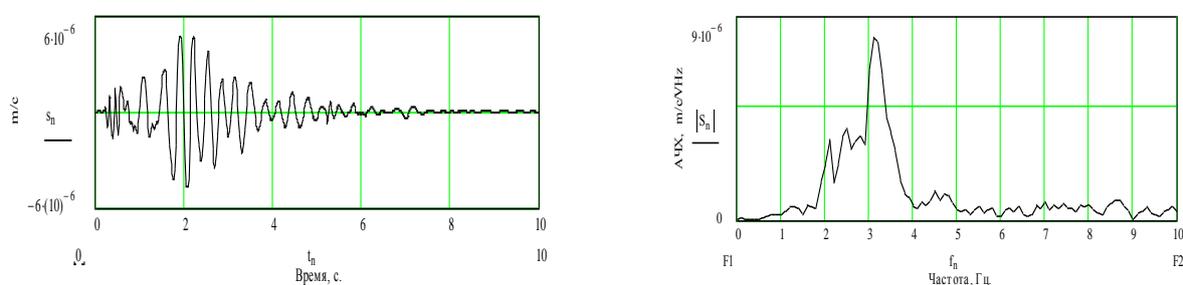


Рис. 1. Сейсмический сигнал от карьерного взрыва в волновой зоне, сейсмометр СК1-П №1, Z компонента (рис. слева); спектральная характеристика сейсмического сигнала (рис. справа)

На рис. 2 представлена запись карьерного распределенного взрыва в дальней зоне в районе Быстровского полигона Новосибирской области. Сеймостанция – ВИРС-М. Количество сейсмометров СК-1П – 5, Z компонента, расстояние между сейсмометрами 200 м. На рис.3 представлены результаты обработки по формуле (1) сейсмических сигналов в дальней зоне. При этом в качестве ядра преобразования использована экспериментальная запись карьерного взрыва в ближней зоне.

Сравнение сейсмических сигналов от карьерного взрыва в дальней зоне, представляющих собой непосредственную регистрацию сейсмического сигнала (рис.2), с результатами обработки этих сигналов в соответствии с формулой (1) и представленных на рис.3, показывает повышение отношения сигнал/шум в сейсмограммах после обработки. Таким образом, использование данного способа обработки обладает фильтрующим свойством, и как следствие этого может быть использовано для повышения точности времени вступления сейсмических волн.

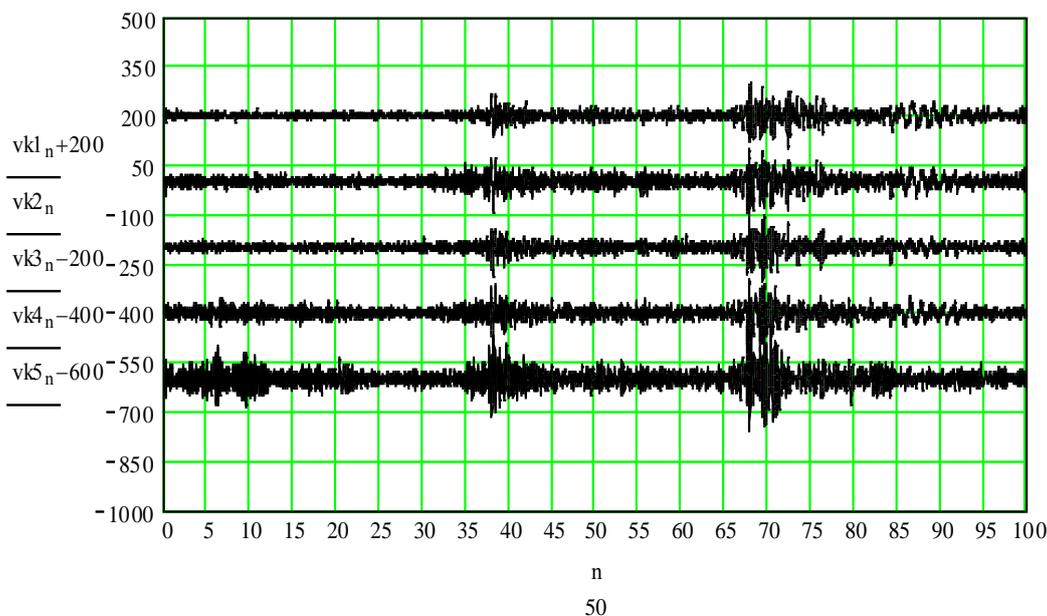


Рис. 2. Сейсмический сигнал от карьерного взрыва в дальней зоне.

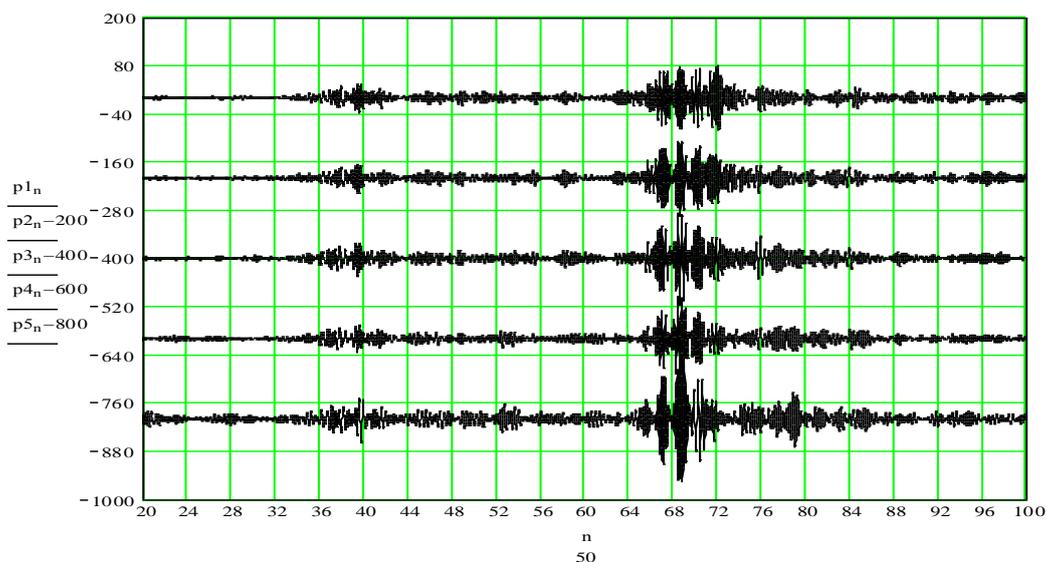


Рис. 3. Результаты обработки сейсмического сигнала в дальней зоне

Для успешного использования записей взрыва в ближней зоне при формировании сейсмограммы необходимо провести регистрацию взрыва в волновой зоне. Граница раздела нелинейных и линейных деформаций находится на определенном расстоянии от точки или области взрыва. Исследователь расставля-

ет сейсмометры для регистрации взрыва в ближней зоне, учитывая мощность, геометрию взрывных скважин и характеристику среды. При этом всегда существует неопределенность, которая может привести к ситуации, когда часть сейсмометров регистрируют сигнал в нелинейной зоне, а часть сейсмометров – в линейной (волновой) зоне. Для анализа данных регистрации с целью определения: относится сигнал к волновой зоне или зоне деформации, - можно использовать следующую функцию:

$$G(\omega, \tau) = [ \operatorname{Re} \{ S(\omega) \cdot e^{j \cdot \omega \cdot \tau} \} ]^2. \quad (3)$$

Использование этой функции для анализа записей взрыва позволяет формировать своеобразную «голограмму», вид которой достаточно точно идентифицирует область регистрации – волновая или область деформации. В качестве примера рассмотрим «голограммы» записи карьерного взрыва двух сейсмометров, полученных в соответствии с формулой (3). При этом один сейсмометр располагался ближе к точке взрыва. На рис.4 показаны «голограммы» карьерных распределенных взрывов и соответствующие им временные сигналы в волновой зоне (слева) и на границе нелинейная - линейная область (справа). Место регистрации: район Бачатского угольного разреза Кемеровской области, сейсмостанция «РОССА», трехкомпонентный сейсмометр СК1-П, Z компонента, дата регистрации – 10.08.2001. Ось ординат рис.4 соответствует аргументу  $\omega$  и имеет масштаб 0,1\*Гц. Ось абсцисс рис.5 соответствует аргументу  $\tau$  и имеет масштаб 0,02\*с.

Особенностью «голограммы» распределенного карьерного взрыва в точке регистрации, соответствующей волновой зоне, является наличие определенной структурности рисунка - единства структурного рисунка, - и концентрация энергии сигнала в небольшом частотном диапазоне, в данном случае в диапазоне от 2 до 4 Гц. На «голограмме» распределенного карьерного взрыва на границе нелинейная - линейная область видно нарушение единства рисунка структуры и расширение частотного диапазона. В качестве примера «голограммы» записи карьерного взрыва в зоне деформации (нелинейная область), рассмотрим запись карьерного взрыва в районе поселка Таштагол Кемеровской области, дата регистрации – 26.06.2004. На рис.5 показаны «голограммы» карьерного распределенного взрыва, соответствующие точке регистрации в зоне деформации (нелинейная область).

Представленные на рис.5 «голограммы» карьерного взрыва объективно характеризуют место расположения сейсмометров как нелинейную область – зону деформации. На всех «голограммах» распределенного карьерного взрыва, зарегистрированного в нелинейной зоне деформаций, видны нарушения единства рисунка структуры и существенное расширение частотного диапазона.

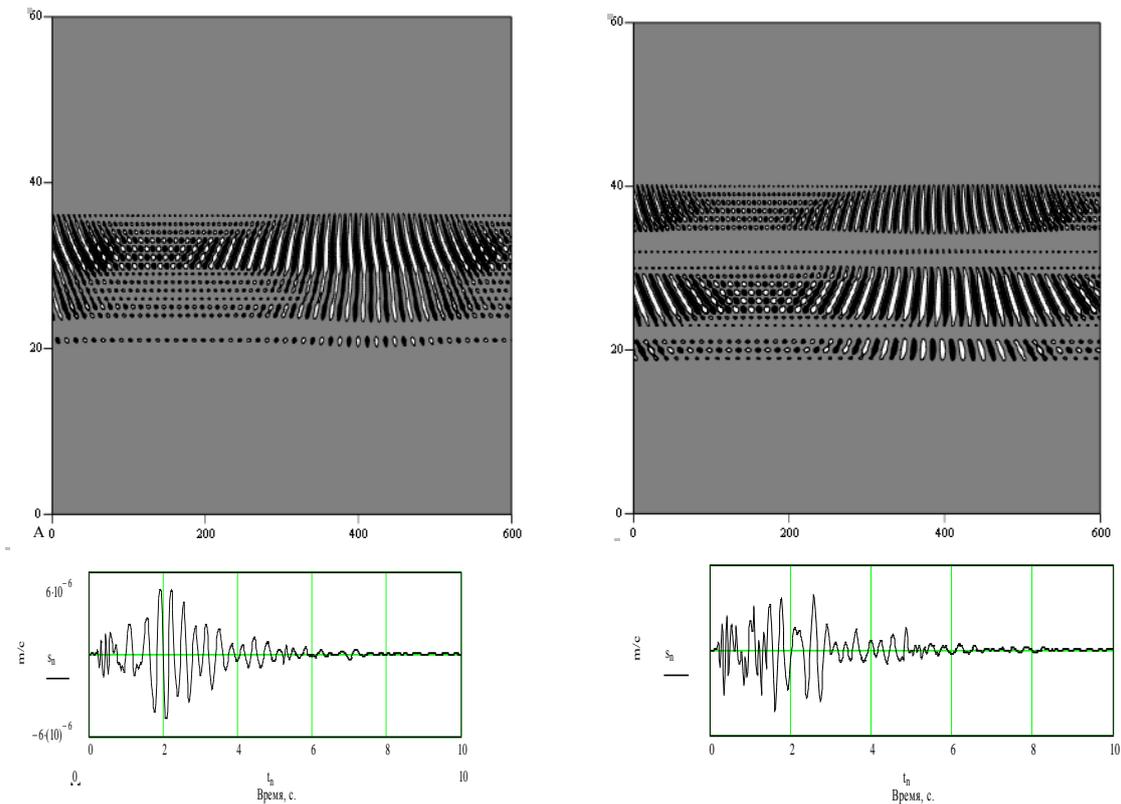


Рис. 4. «Голограммы» карьерного распределенного взрыва и соответствующие им временные сигналы в волновой зоне (слева) и на границе нелинейная - линейная область

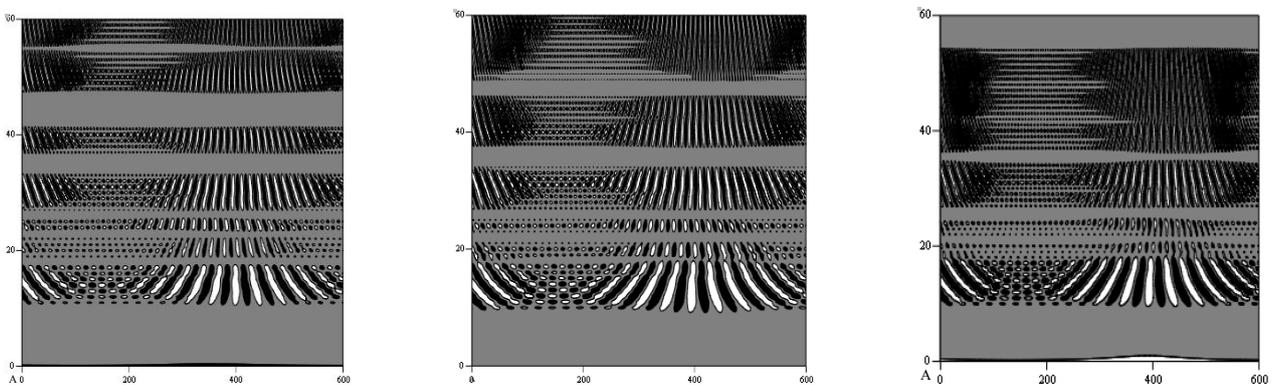


Рис. 5. «Голограммы» карьерного распределенного взрыва

Выводы. Предложенный способ обработки позволяет формировать более качественные «взрывные» сейсмограммы с использованием функции ядра преобразования, полученной на основе экспериментальных данных. Увеличение качества сейсмограмм для точек регистрации в дальней зоне обусловлено дополнительной фильтрацией за счет использования процедуры свертки. «Голограммы» карьерных взрывов, полученные с использованием функции (4), представляют для исследователя полезный и оперативный инструмент анализа качества сейсмических данных. Представленный в данной работе способ обработки

позволяет более эффективно использовать энергию промышленных взрывов для проведения исследовательских геофизических работ, связанных с изучением литосферы земли.

Благодарности. Автор выражает благодарность всем участникам научных семинаров лаборатории геофизической информатики ИВМиМГ СО РАН, в атмосфере которых формировалась постановка задач и проблем обработки сигналов в геофизике.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.
2. Трахтман А.М. Введение в обобщенную спектральную теорию сигналов. М. Изд-во «Советское радио», 1972, 352 с.
3. Сильвия М.Т. Робинсон Э.А. Обратная фильтрация геофизических временных рядов при разведке на нефть и газ. – Пер. с англ. М.: Недра, 1983, 1983, - 447 с.

© С.А. Ефимов, 2013