

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ЗЕМЛИ им. О. Ю. ШМИДТА

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

( материалы III Всесоюзной конференции молодых  
ученых в г. Суздале 2 - 5 апреля 1986 г. )

Ч А С Т Ь  I I

МОСКВА 1987

С.Ю.Соколов, В.Н.Ефимов  
ИФЗ АН СССР, г.Москва

# РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГРУППЫ ПНЕВМО- ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ, СОЗДАЮЩЕЙ СЛОЖНЫЙ СИГНАЛ.

В морской сейсморазведке последние 25 лет широко используют пневматические источники сейсмических волн (ПИ). Их излучение основано на том, что накопленный в камере ПИ сжатый воздух, выпущенный в окружающую среду, образует пузырь, который пульсирует и создает на границе с водой избыточное давление, переменное во времени. Характерная форма излучаемого импульса имеет вид, представленный на рис.1, амплитудный спектр его

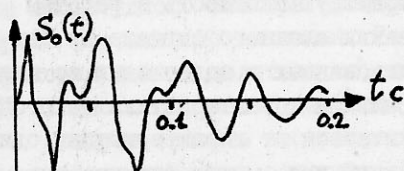


Рис.1. Характерная форма импульса ПИ с объемом камеры 1 литр, давлением в камере 120 атм и глубиной погружения 12 метров.

представлен на рис.2. Заметно, что основной вклад в энергию излучения вносит пульсация пузыря с видимой частотой, обратнопропорциональной периоду пульсации, причем частотная характеристика ПИ в общем узкополосна, с основной энергией, сосредоточенной на низких частотах. При работах методом ГСЗ на море необходимо

вести возбуждение колебаний в диапазоне от 5 до 25 Гц, так как более высокие частоты сильно поглащаются. Даже при таком малом рабочем диапазоне излучение от ПИ все равно является еще более узкополосным, чем диапазон полезной информации. Возникает необходимость улучшения спектральных свойств излучения от ПИ. Сделать это можно, группируя несколько источников определенным способом.

где  $\tau_k$  - задержки. Спектр суммарного импульса имеет вид

$$S_z(j\omega) = S_0(j\omega) \sum_{k=1}^N e^{-j\omega\tau_k} = S_0(j\omega) H(j\omega, \tau_k), \quad (2)$$

где  $H$  - функция кода. Поскольку применение подобных сигналов предполагает корреляционную обработку полученного материала с исходным импульсом, то на выходной трассе в качестве исходного импульса фигурирует АКФ сложного сигнала, и задача состоит в подборе такой функции кода, у которой спектр мощности суммарного сигнала был более равномерным, чем у одиночного. Другими словами, критерием качества группы служит равномерность амплитудного спектра в нужном диапазоне частот.

Указанные соображения позволяют сформулировать функционал, подлежащий минимизации по среднеквадратичному критерию в зависимости от набора задержек

$$F(\tau_k) = \int_{f_1}^{f_2} (c - |S_0(j\omega)| \cdot |H(j\omega, \tau_k)|)^2 df. \quad (3)$$

Физически минимизация выражения (3) означает уменьшение дисперсии амплитудного спектра суммарного сигнала относительно некоторого постоянного значения. Результатом минимизации этого выражения должно являться то, что уровень боковых лепестков АКФ сложного сигнала будет ниже, чем у АКФ одиночного импульса.

Следует сказать несколько слов о структуре данного функционала в пространстве задержек. При пробных распечатках функционала по одному из аргументов в произвольном диапазоне выяснено, что функционал имеет по каждой задержке ячеистую структуру, т.е. это как бы "многомерные соты". Отсюда следует, что функционал не имеет глобального экстремума, а имеет большое число локальных, причем каждый из них удовлетворяет выбранному критерию качества. Исходя из этих соображений, при вариации задержек никаких ограничений на фазу сигнала не накладывалось. Начальное приближение задавалось в виде ряда с шагом приблизительно 0,75 эффективной длительности импульса. При этом точка поиска минимума успевала "свалиться" в какую-нибудь из сот без сильной миграции задержек относительно начального приближения.

Расчет задержек проводил методом сопряженных направлений

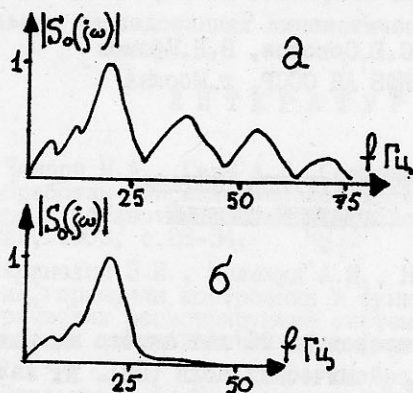


Рис.2. Амплитудный спектр импульса ПИ:  
 а - без фильтрации;  
 б - с фильтрацией от 5 до 25 Гц фильтром Баттерворта.

Поскольку сигнал от ПИ по сравнению со взрывными источниками обладает небольшой мощностью, то обычный вариант группирования заключается в том, что несколько источников как правило, с одинаковыми параметрами, подрываются одновременно. Этим достигается повышение суммарной мощности излучения, но улучшения спектральных свойств сигнала не получается. При наличии фиксированного числа пушек одинакового объема представляется возможным

создать более равномерную спектральную плотность в рабочем диапазоне частот путем формирования сложного сигнала из одиночных импульсов от пушек, реализованных с задержками во времени по некоторому коду. Спектральная характеристика такого кодированного сигнала будет отличаться от характеристики одиночного импульса и, подбирая нужный код, можно формировать более оптимальную характеристику излучения. Полученный таким образом материал должен впоследствии подвергаться корреляционной обработке с известным опорным сигналом.

Физически такая асинхронная группа состоит из конечного числа одинаковых источников, расположенных в пространстве практически без ограничения на минимальное расстояние между отдельными излучателями. С выбранным периодом следования трасса серия пушек срабатывает по заданному коду. При этом суммарный сигнал от группы в дальней зоне определяется выражением

$$S_{\Sigma}(t) = \sum_{k=1}^N S_0(t - \tau_k), \quad (I)$$

Пауэлла, разработанным для оптимизации квадратичных функционалов. Процесс поиска экстремума сошелся за 700 итераций, что на машине ЕС-1033 занимает приблизительно 3,5 минуты процессорного времени.

Рассмотрим пример расчета задержек группы. Для указанного на рис.1 излучения пушки объемом рабочей камеры 1 литр, давлением в камере 120 атмосфер и глубиной погружения 12 метров

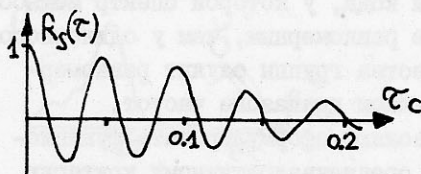


Рис.3. АКФ одиночного импульса. Уровень боковых лепестков 0,76.

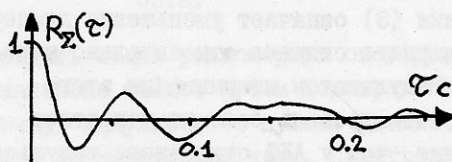


Рис.4. АКФ сложного сигнала, состоящего из 5 импульсов, срабатывающих по коду 0,087, 0,115, 0,200, 0,241 и 0,273 секунды. Уровень боковых лепестков.

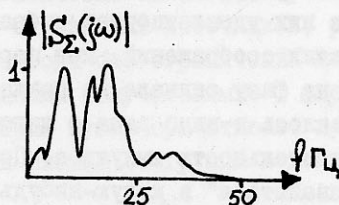


Рис.5. Амплитудный спектр сложного сигнала, полученного в результате оптимизации задержек.

для группы, состоящей из 5 излучателей, получен ряд задержек, показанных на рис.4, где изображена АКФ группы, срабатывающей по этому коду. При сравнении с АКФ одиночного импульса (рис.3) видно, что уровень боковых лепестков улучшился более чем в два раза. Это хорошее достижение, принимая во внимание тот факт, что ширина полосы, в которой решается задача, всего 20 Гц. Спектр, соответствующий данному сложному сигналу, приведен на рис.5.

Этот результат дает возможность сделать вывод, что использование кодовых сигналов имеет большое преимущество при вариации и улучшении спектральных свойств, используемых в качестве дискретов составного сигнала одиночных импульсов, не обладающих желаемыми свойствами.