

В. П. Матус, Восточно-Украинская ГРЭ
ГПП «Укргеофизика», г. Полтава

Полная корреляция сейсмического сигнала виброграммы будет лишь тогда, когда выполняется основной принцип вибрационной сейсморазведки – генерируемый сигнал вибратором и зарегистрированный сигнал от одиночного отражающего горизонта должны быть подобны, и соответствовать опорному сигналу (свипу). Отличие может быть только в амплитуде сигнала, связанное с его пространственным затуханием и отражающей способностью горизонтов.

В действительности это условие практически никогда не выполняется. Из-за поглощения высоких частот геологической средой и резонансных свойств отражающих горизонтов имеет место неравномерность частотного спектра сигнала; в генерируемом сигнале вибраторами присутствуют в той или иной мере нелинейные искажения; в зоне малых скоростей зондируемый сигнал осложняется волнами – спутниками; закон изменения сигнала, который регистрируется, часто не совпадает с законом изменения опорного сигнала. Поэтому полной свёртки сигнала вибротрассы не происходит, и ещё хуже – возникают корреляционные помехи, которые маскируют полезный сигнал.

Больше всего корреляционных помех возникает при неравномерности АЧХ отражённого сигнала, и меньше всего на это обращают внимание при обработке полевых наблюдений. Степень поглощения высоких частот зависит от площади работ. Однако почти повсеместно, в той или иной мере, в начале коррелограмм видно корреляционные помехи в виде гармонических колебаний, из-за которых невозможно точно определить первые вступления.

Реальная функция автокорреляции всегда имеет корреляционные шумы, связанные с конечностью диапазона частот генерации зондирующего сигнала. Они выражаются в виде дополнительных периодов слева и справа относительно основного импульса нуль-фазного сигнала.

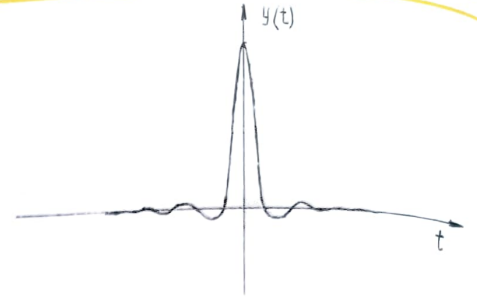


Рис. 1

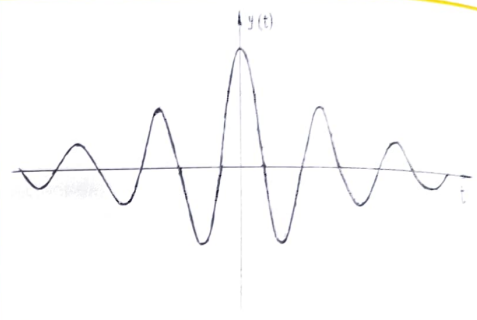


Рис. 2

Зависимость величины этих корреляционных шумов (ρ) от диапазона частот развёртки (Δf) определяется функцией:

$$\rho = 1 / \sqrt{\Delta f}$$

Допустим, что значение Δf достаточно большое, и оно обеспечено соответственной величиной дискретизации, тогда получим функцию автокорреляции близкую к одиночному импульсу и с малыми корреляционными помехами. (Рис. 1)

При совпадении коррелирующего и коррели-

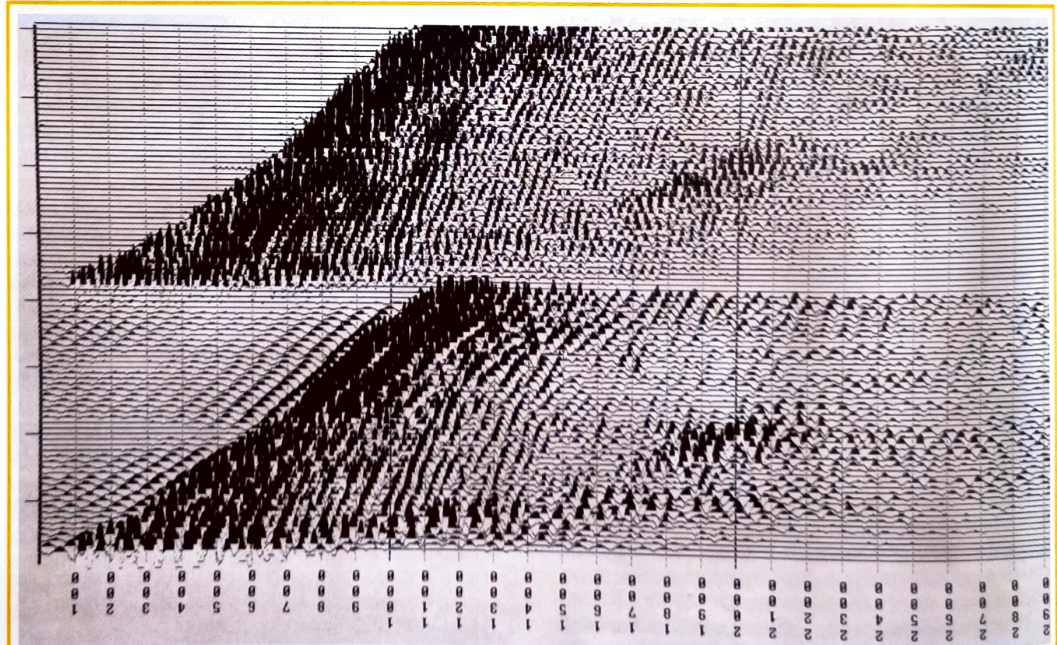


Рис. 3. Коррелограммы получены от одной и той же виброграммы, верхняя – с выравниванием спектра частот виброграммы перед корреляцией, нижняя – без выравнивания.

руемого сигналов все парные произведения выборок одиночного интервала корреляции будут иметь положительные значения, и их сумма даст максимум корреляционной функции. При следующем положении свипа, будет несовпадение сигналов и, если количество положительных и отрицательных значений парных произведений выборок станет равным, их сумма будет нулевой. Это произойдёт лишь тогда, когда спектр частот вибротрассы, как и свипа, будут иметь равномерную характеристику во всём диапазоне частот. Допустим, что в коррелируемой функции, как и в реальной вибротрассе, амплитуды низких частот будут в несколько раз выше, чем высоких. Тогда компенсация положительных и отрицательных значений при суммировании парных произведений корреляции не произойдёт. Будут иметь место затухающие колебания по обе стороны от основного импульса функции автокорреляции. (Рис. 2)

Эту "гармошку" почти всегда видим на коррелограммах перед первыми вступлениями. (Рис. 3). Так как функция корреляции симметрична, эти помехи присутствуют и после первых вступлений, маскируя полезный сигнал.

Из-за корреляционных помех, связанных с неравномерностью частотного спектра, всегда

теряется часть полезной информации. А на некоторых площадях работ, где большие перепады амплитуд между низкими и высокими частотами, получить удовлетворительный результат обработки полевых наблюдений без выравнивания частотного спектра, невозможно даже с применением деконволюции. (Рис. 4, 5).

Поэтому перед обработкой виброграмм надо обязательно выровнять их частотный спектр. К такому же заключению пришли и авторы (1, 2), которые рекомендуют не только выравнивать спектр частот при обработке, но и при полевых наблюдениях путём подбора параметров нелинейных свипов. Последнее очень проблематично, и невозможно подобрать в поле оптимальный свип для всех участков площади работ при резких перепадах ЗМС.

Таким образом, если производится обработка полевых виброграмм для структурных построений, необходимо выравнивание частотного спектра. При количественной обработке (прогнозирование наличия углеводородов в геологическом разрезе, спектральная сейсморазведка) изменение параметров сейсмической записи недопустимо.

Импульс, полученный в результате корреляции отраженного сигнала при выравнивании спектра, несёт в себе только одну информацию – относительное значение коэффициента отражения горизонта. Импульс носит искусственный характер, так как при обработке стараются его приблизить к форме одиночного сигнала за счет математических ухищрений – свёртки Фурье, деконволюции.

Для увеличения дифференциации отражающих горизонтов и уменьшения корреляционных шумов, связанных с конечным значением частоты свипа, заказчики работ требуют расширения частотного диапазона генерируемого сигнала, и в последнее время при полевых работах он достигает четырёх – пяти октав. Это действительно справедливо, но расширение частотного диапазона сейсмического сигнала влечёт за собой и негативные последствия.

1. Необоснованное расширение частотного диапазона в сторону низких частот приводит к увеличению нелинейных искажений генерируемого сигнала, так как при низких частотах ухудшается работа фазовой коррекции системы управления вибратором, а из-за большой амплитуды перемещения инерционной массы и плиты возникает опасность отрыва последней от почвы.

2. Расширение частотного диапазона в сторону высоких частот, как уже указывалось выше, приводит к увеличению поглощения высокочастотной составляющей генерируемого сигнала. Это вызывает неравномерности АЧХ, что приводит к корреляционным помехам.

3. Каждая следующая октава требует в два раза больше времени для генерации. Поэтому, в целом, вибратор будет работать непродуктивно, и ухудшится энергетиче-

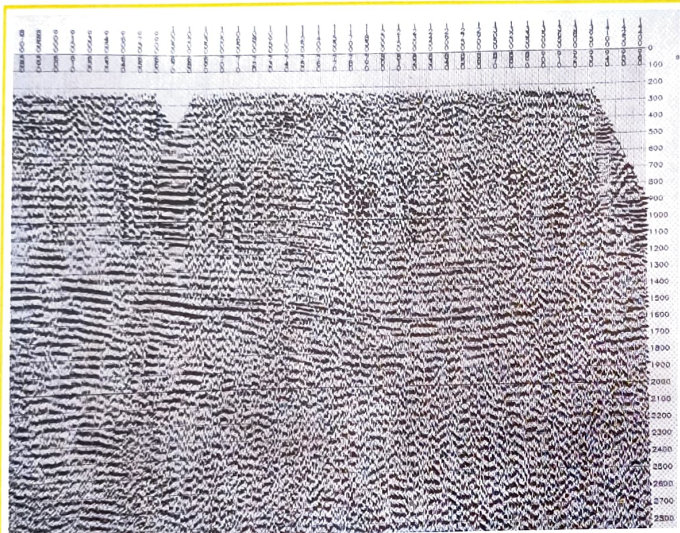


Рис. 4. Участок временного разреза, полученный без применения выравнивания спектра частот.

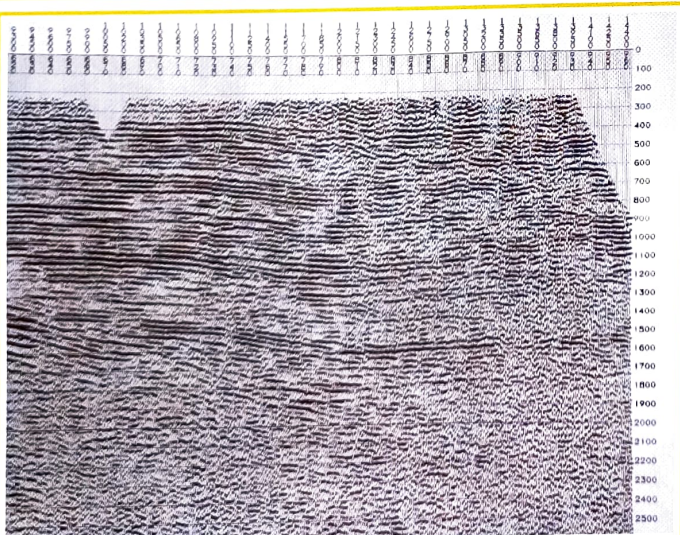


Рис. 5. Тот же участок временного разреза, полученный с применением выравнивания спектра частот.

ПОЛЕВЫЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



- ский спектр сейсмического сигнала.
4. Возникает опасность зайти в поле корреляции вторичных гармоник.
5. С расширением частотного диапазона расширяется и поле помех, что приводит к ухудшению соотношения сигнал/помеха.

Таким образом, расширение частотного диапазона генерируемого сигнала может наоборот ухудшить полевую информацию, если не принять необходимых мер.

В итоге, имея в виду, что сигнал, полученный от одиночного горизонта, и имеющий выровненную АЧХ, несёт в себе информацию только о коэффициенте отражения, а его корреляционный импульс и вовсе носит искусственный характер, приходим к парадоксальному выводу.

Если получить виброграмму сейсмического сигнала с развёрткой в одну октаву и выровнять её частотный спектр, то будем знать наперёд виброграммы следующих октав с равномерными частотными характеристиками.

Есть несколько математических способов преобразования частоты с одной октавы во вторую. Один из оригинальных способов заключается в следующем.

В вибрационной сейсморазведке генерируются сейсмические сигналы, изменяющиеся по квазисинусоидальному или квазикосинусоидальному закону (в дальнейшем для удобства - синус или косинус).

Допустим, что зарегистрирован сигнал от одиночного отражающего горизонта $A_m \cos \omega t$, где A_m - максимум амплитуды сигнала. Во временной области после перемножения выборок виброграммы с выборками свипа одиночного вектора в первом интервале корреляции получим сигнал:

$$A_m \cos^2 \omega t, (1)$$

Его можно преобразовать в следующее выражение:

$$A_m \cos^2 \omega t = \frac{1}{2} A_m \cos^2 \omega t + \frac{1}{2} A_m \sin^2 \omega t + \frac{1}{2} A_m \cos^2 \omega t - \frac{1}{2} A_m \sin^2 \omega t =$$

$$= \frac{1}{2} A_m + \frac{1}{2} A_m \cos 2\omega t = A_0 + \frac{1}{2} A_m \cos 2\omega t$$

Произведения выборок одиночного интервала корреляции и свипа представляют сумму

постоянной составляющей $A_0 = \frac{1}{2} A_m$ и сигнала косинуса удвоенной частоты.

Эта функция осложнена нерегулярной помехой ($a \cdot \cos \omega t$) и суммой регулярных помех ($b \cdot \cos \omega t$). Для произведения одиночной выборки интервала корреляции выражение, которое описывает полную сумму сигналов, выглядеть так:

$$A_m \cdot \cos^2 \omega_j t = A_0 + \frac{1}{2} A_m \cdot \cos 2\omega_j t + a \cdot \cos \omega_j t + b \cdot \cos \omega_j t$$

Сумма всех значений A_0 интервала корреляции даст величину выборки коррелограммы для текущего положения свипа. Гармонические сигналы при этом взаимно уничтожаются, а величина нерегулярных помех уменьшится в $\sqrt{N}$, где N - количество выборок свипа. Таким образом, при корреляции получаем только часть информации, вторая часть, которая представляет, несомненно, больший интерес отбрасывается.

Выражение $\frac{1}{2} A_m \cdot \cos 2\omega \cdot t$ показывает, какой

сигнал будет получен от одиночного отражающего горизонта, если бы генерировался сейсмический сигнал частотой на октаву выше.

Так как виброграмма имеет выровненный спектр частот, то все значения A_0 каждой выборки интервала корреляции будут равны, и можно произвести центровку коррелируемого интервала вибротрассы. Для этого надо разделить сумму A_0 (величину выборки коррелограммы) на количество выборок свипа, и результат вычесть из значений выборок интервала корреляции. Получим участок вибротрассы с компонентой удвоенной частоты коррелируемого сигнала. Если проделать такие же операции и для последующих интервалов корреляции, получим полностью вибротрассу с удвоенной частотой.

Такие же математические преобразования можно проделать с трассой свипа $\cos \omega t$ и будем иметь свип удвоенной частоты $\cos 2\omega t$. Используя описанный алгоритм, путём последовательного преобразования можно получить свипы и виброграммы высших октав.

Проделав соответствующим образом корреляцию по частям полученных виброграмм со свипами, и просуммировав результаты, получим коррелограмму расширенного частотного диапазона.

Проанализируем, как при этом ведут себя нерегулярные помехи. При корреляции сигнала первой октавы нерегулярная помеха в одной выборке примет вид:

$$a \cdot \cos \omega_j t,$$

для второй октавы это значение будет:

$$a \cdot \cos \omega_j t \cdot a \cdot \cos 2\omega_j t$$

и так далее.

Как видно из выражения, нерегулярная помеха в каждой последующей октаве уменьшается. Она может принимать по модулю прежнее значение, нулевое, или промежуточное, а также менять знак на противоположный. Учитывая то, что в каждом квадранте функции синус и косинус зеркально симметричны относительно своей средней точки, ожидается двукратное уменьшение нерегулярной помехи в каждой последующей октаве, как и значение постоянной составляющей A_0 . При этом соотношение сигнал / помеха в последующей октаве ожидается такое же, как и в предыдущей.

Предел преобразования сигнала в высшие октавы определяется частотой Найквиста, при дискретизации 2 мс он составляет 250 Гц. В суммарной коррелограмме частота будет иметь приблизительно среднее значение, что чаще всего достаточно для получения высокоразрешающего сейсмического разреза. Для дальнейшего увеличения частот необходимо иметь виброграммы с меньшим временем периода дискретизации.

Используя описанный алгоритм преобразования частот, можно и из любой рабочей виброграммы получить коррелограмму с расширенным в два раза частотным диапазоном.

Литература.

1. Колесов С. В. Исследование и разработка способов повышения разрешающей способности вибрационной сейсморазведки. Автореферат.
2. Баранский Н. Л., Иноземцев А. Н., Колесов С. В., Потапов О. А. Высокорастворимая сейсморазведка - инновационная технология поисков месторождений нефти и газа. /Приборы и системы разведочной геофизики № 2(08) 2004.