



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УРОВНЯ ПОМЕХ КОРРЕЛЯЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Ю.П. Кострыгин¹, М.Н. Удалый²

¹ ООО “Новоросморгео”, 350089, Краснодар, просп. Чекистов, 16, оф. 237, Россия,
e-mail: kostr_p@mail.ru

² ООО “Ильинская геофизическая экспедиция”,
416357, Астраханская область, Икрянинский район, рабочий поселок Ильинка, ул. Молодежная, 18, Россия,
e-mail: mihail-222@mail.ru

Выполнен сравнительный анализ зависимостей динамического диапазона корреляционного преобразования для ЛЧМ-сигналов, комбинированных сигналов, нелинейных логарифмических и нелинейных степенных разверток вида “dB/oct”. Расчеты были проведены с учетом спектрального состава волн, формирующих основные компоненты корреляционного фона. Показано, что в условиях, характеризующихся повышенным динамическим диапазоном сейсмических записей, более предпочтительным является применение степенных разверток типа “dB/oct” и нежелательным применение логарифмических разверток. Такое утверждение связано с весьма важным обстоятельством, заключающимся в том, что в реальных условиях уровень корреляционных помех при использовании логарифмических разверток на 10–15 дБ превышает интенсивность корреляционного фона в случае применения степенных разверток типа “dB/oct”.

ЛЧМ-сигналы, комбинированные сигналы, логарифмические развертки, степенные развертки, помехи корреляционного преобразования

CORRELATION NOISE FOR DIFFERENT VIBROSEIS SWEEP TYPES: COMPARATIVE ANALYSIS

Yu.P. Kostrygin¹, M.N. Udalyy²

¹ Novorosmorgeo Ltd., 16, 350089, Chekistov av., office 237, Krasnodar, Russia,
e-mail: kostr_p@mail.ru

² Pyinka Geophysical Survey Ltd., 18, Molodezhnyay str., Ilyinka, Ikryanino District, Astrakhan Region, 416357, Russia,
e-mail: mihail-222@mail.ru

We compare the amplitude spectra of correlated vibroseis records obtained with different sweep types: linear chirp and composite signals, and nonlinear logarithmic and dB/oct power sweeps. The calculations are performed with reference to the spectra of principal ghost components. In the case of large dynamic ranges of records, dB/oct power sweeping is more effective while logarithmic sweeping is undesirable. The reason is that logarithmic sweep shows 10–15 dB higher correlation noise in real survey conditions than the correlated dB/oct power sweep records.

Chirp, composite signal, logarithmic sweep, power sweep, correlation, ghost sweep

Системы управления современных вибросейсмических комплексов позволяют формировать не только линейные и комбинированные сигналы, но и нелинейные частотно-модулированные сигналы. Если для ЛЧМ-сигналов текущая частота колебаний является линейной функцией времени и поэтому форма амплитудных спектров управляющих сигналов близка к прямоугольной, то для нелинейных разверток текущая частота колебаний меняется по нелинейным от времени законам, что позволяет заданным образом изменять концентрацию сейсмической энергии на различных участках частотного диапазона и таким образом варьировать формой амплитудных спектров возбуждаемых колебаний, т. е. изменять динамику формируемых колебаний [Притчетт, 1999; Кострыгин, 2002].

Вместе с тем очевидным является тот факт, что эффективность применения тех или иных разверток определяется не только возможностями улучшения динамики колебаний, но и уровнем корреляционного

фона, т. е. уровнем помех корреляционного преобразования. Так, на рис. 1 сопоставлены сейсмические записи, зарегистрированные на Дремучей площади Губкинского нефтегазоносного района с использованием ЛЧМ-сигнала (см. рис. 1, а) и нелинейных логарифмических разверток, обеспечивающих увеличение веса высокочастотных составляющих в полосе частот развертки (10–90 Гц) на 12 дБ (см. рис. 1, б) и на 18 дБ (см. рис. 1, в). Из рисунка видно, что в отличие от ЛЧМ-сигнала при использовании нелинейных логарифмических разверток в данном случае весьма значительно усиливалось мешающее влияние корреляционного фона. По этой причине целевые отражения, зарегистрированные на временах от 2.4 до 3.0 с в интервале пикетов 4981–5005 и достаточно четко выделяемые в случае применения ЛЧМ-сигнала, были практически полностью завуалированы при использовании нелинейных разверток корреляционным фоном, формируемым низкоскоростными помехами

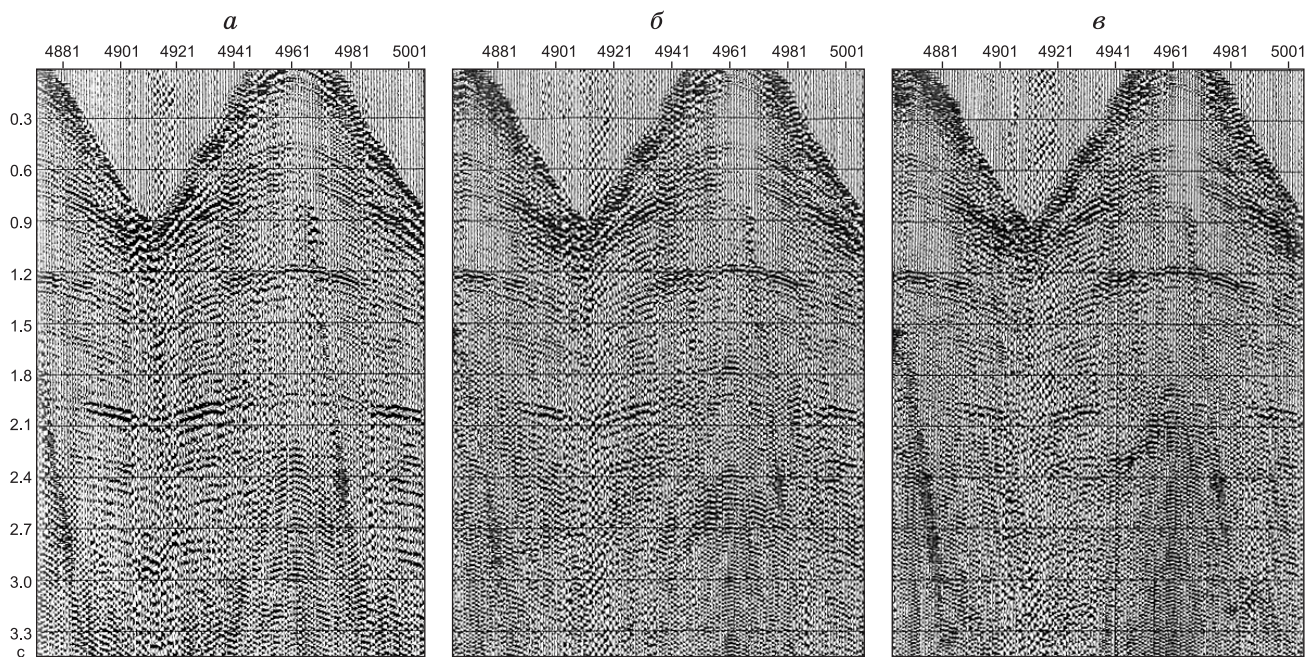


Рис. 1. Коррелограммы, зарегистрированные на Дремучей площади Губкинского нефтегазоносного района с использованием ЛЧМ-сигнала (а) и нелинейных логарифмических разверток с увеличением веса высокочастотных составляющих в полосе частот развертки соответственно на 12 дБ (б) и 18 дБ (в).

и интенсивными волнами, отраженными и преломленными в верхней части разреза. Отражения же, регистрируемые в указанном диапазоне времен в интервале пикетов 4911–4946, были в свою очередь также завуалированы при использовании нелинейных разверток корреляционным фоном, формируемым высокоамплитудными колебаниями, преломленными от подошвы зоны малых скоростей (ЗМС).

Обширная вибросейсмическая практика располагает множеством аналогичных примеров. И это обстоятельство указывает на то, что при построении методики полевых вибросейсмических наблюдений и при выборе типа вибросейсмических разверток, безусловно, следует принимать во внимание графики динамического диапазона корреляционного преобразования зондирующих сигналов, позволяющие оценивать относительный уровень корреляционного фона на тех или иных временных участках коррелограммы.

В данной статье выполнен сравнительный анализ зависимостей динамического диапазона корреляционного преобразования для ЛЧМ-сигналов, комбинированных сигналов, нелинейных логарифмических и нелинейных степенных вибросейсмических разверток вида “дВ/окт”. Частотные диапазоны анализируемых сигналов были выбраны равными 10–90 Гц, что соответствует современным требованиям, предъявляемым к технологии сейсморазведки на нефть и газ. Длительность ЛЧМ-сигналов, нелинейных разверток, а также сегментов комбинированных разверток равнялись 16 с.

Для задания ЛЧМ-сигнала использовалось известное аналитическое выражение

$$X(t) = A_{\text{сиг}} \cdot \sin 2\pi [(F_k - F_n) \cdot t^2 / 2T + F_n t],$$

где F_k , F_n – конечная и начальная частоты развертки соответственно, T – длительность развертки, t – текущее время.

Закон огибания $l(t)$ краевых частей ЛЧМ-сигнала соответствовал косинусоидальной функции (1). Время начального и конечного скосов $t_{\text{ск}}$ равнялось 0.5 с.

$$l(t) = \begin{cases} [1 - \cos(\pi t / t_{\text{ск}})] / 2, & \text{при } 0 \leq t \leq t_{\text{ск}} \\ [1 - \cos[\pi((T-t) / t_{\text{ск}})]] / 2, & \text{при } T - t_{\text{ск}} \leq t \leq T \end{cases} \quad (1)$$

Для задания логарифмической развертки нами была взята развертка, используемая в системе управления вибраторов СВ-10-180 и обеспечивающая формирование сигналов, текущая частота в которых изменяется в соответствии с логарифмической функцией

$$F(t) = F_n + (64/D_k) \ln [1 + 16t / (4N - 0.5)], \quad (2)$$

где D_k – параметр (крутизна развертки); N – параметр (начальный код развертки).

На основании понятия логарифма уравнение (2) можно записать следующим образом:

$$e^{(F-F_n)D_k/64} = 1 + 16t / (4N - 0.5),$$

отсюда

$$t = [e^{(F-F_n)D_k/64} - 1] (4N - 0.5) / 16.$$

Значения амплитудных спектров управляющих вибросейсмических сигналов обратно пропорциональны мгновенной скорости изменения частоты в развертке. Поэтому с точностью до постоянного множителя справедливо выражение

$$S_{\text{упр}}(F) = dt/dF, \quad (3)$$

следовательно

$$S_{\text{упр}}(F) = C \cdot e^{(F-F_n)D_k/64}. \quad (4)$$

Из формулы (4) очевидно, что форма спектра $S_{\text{упр}}(F)$ для данного вида разверток зависит только от параметров F_n и D_k . Графики амплитудных спектров логарифмических разверток (2), рассчитанные с ис-

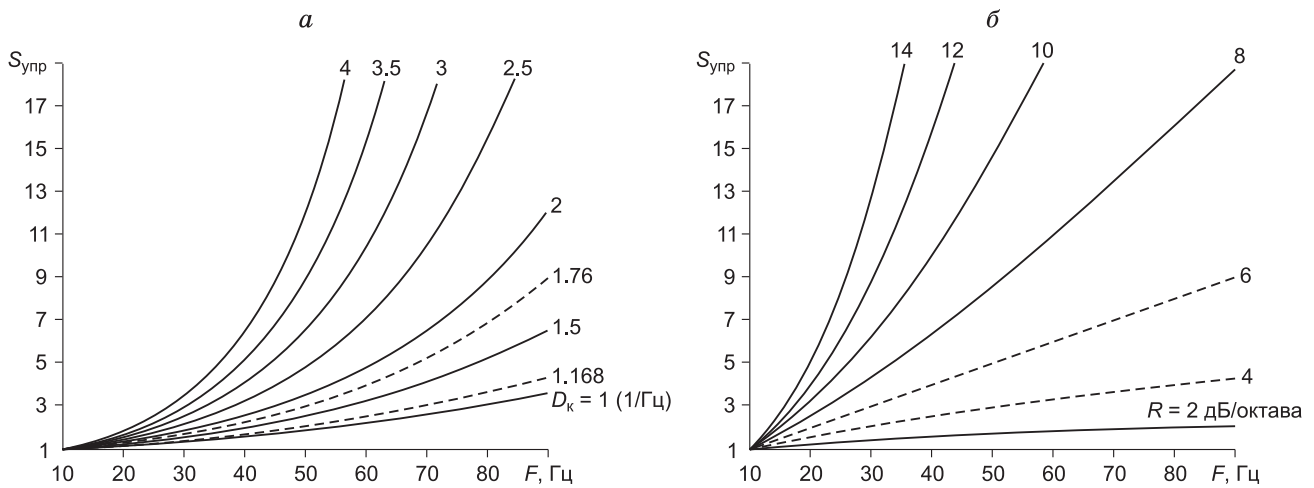


Рис. 2. Теоретические спектры логарифмических (а) и степенных (б) разверток вида “дБ/окт”:

D_k – крутизна логарифмической развертки, R – коэффициент изменения спектральной плотности степенной развертки в дБ/октава.

пользованием выражения (4), приведены на рис. 2, а. В качестве шифра представленных кривых в данном случае был принят параметр крутизны развертки D_k .

Путем интегрирования функции изменения частоты выбранной логарифмической развертки $F(t)$ (2) несложно определить и аналитическое выражение соответствующего сигнала:

$$X[F(t)] = A_{\text{сиг}} \sin 2\pi \int_0^t F(t) dt = A_{\text{сиг}} \sin 2\pi \int_0^t \left\{ F_H + (64/D_k) \ln [1 + 16t/(4N - 0.5)] \right\} dt.$$

Упростим выражение: пусть $16/(4N - 0.5) = r$, тогда

$$X[F(t)] = A_{\text{сиг}} \sin 2\pi \left\{ F_H t + (64/D_k) \int_0^t [\ln(1 + rt)] dt \right\} = A_{\text{сиг}} \sin 2\pi \left\{ F_H t + (64/D_k r) [(1 + rt) \ln(1 + rt) - rt] \right\}. \quad (5)$$

Выражение (5) было использовано в данной статье с целью вычисления динамического диапазона корреляционного преобразования для логарифмических разверток. Огибание краевых частей развертки было выполнено в соответствии с выражением (1). При этом левый скос равнялся 0.2 с, а правый – 0.5 с. Уменьшение левого скоса связано в данном случае с повышенной для таких разверток скоростью изменения частоты в области низких частот и стремлением не допустить чрезмерного ослабления низкочастотных составляющих сигнала. Указанная процедура является, как правило, обязательной при проведении вибросейсмических наблюдений с использованием нелинейных разверток.

Для задания степенной развертки типа “дБ/окт” нами была взята нелинейная развертка, используемая в системах управления фирмы PELTON и обеспечивающая формирование сигналов, текущая частота в которых изменяется в соответствии с функцией:

$$F(t) = (At + B)^{1/c}, \quad (6)$$

где $A = (F_k^c - F_H^c)/T$, $B = F_H^c$, $c = 1 + (R/6)$, R – коэффициент изменения спектральной плотности развертки в дБ/октава.

В соответствии с выражением (3) спектр управляющего сигнала для данной развертки определяется выражением

$$S_{\text{упр}}(F) = dt/dF = (c/A)F^{c-1}. \quad (7)$$

Графики амплитудных спектров степенной развертки вида “дБ/окт” (6), рассчитанные в соответствии с выражением (7), приведены на рис. 2, б. В качестве шифра зависимостей был принят параметр R , соответствующий изменению спектральной плотности развертки в дБ/октава.

Аналитическое же выражение $X(t)$ указанной развертки можно определить путем интегрирования функции (6):

$$X[F(t)] = A_{\text{сиг}} \sin 2\pi \int_0^t (At + B)^{1/c} dt = A_{\text{сиг}} \sin \left\{ 2\pi/A(1/c + 1) \right\} \left[(At + B)^{1/c+1} - B^{1/c+1} \right]. \quad (8)$$

Выражение (8) было использовано в данной статье с целью вычисления динамического диапазона корреляционного преобразования для степенных разверток “дБ/окт”. Огибание краевых частей степенных разверток было выполнено в соответствии с выражением (1). При этом левый скос равнялся 0.2 с, а правый – 0.5 с.

И, наконец, в качестве комбинированной развертки, использованной для вычисления динамического диапазона корреляционного преобразования, была взята развертка, состоящая из трех сегментов с частотными диапазонами $\Delta F_1 = 10-90$, $\Delta F_2 = 34-90$ и $\Delta F_3 = 43-90$ Гц. Такая развертка обеспечивает приблизительно 4-кратное относительное увеличение спектральной плотности сигнала для интервала 43–90 Гц и весьма успешно в течение ряда лет использовалась при проведении сейсмических исследований 3D в условиях Губкинского нефтегазоносного района [Кострыгин, 2002], а также в условиях рисовых чеков Кубани [Кострыгин, 2005].

На рис. 3 приведены графики динамического диапазона корреляционного преобразования $D(\tau)$ для функций автокорреляции всех вышеперечисленных вибросейсмических сигналов. Динамический диапазон преобразования рассчитывался по формуле

$$D(\tau) = 20 \lg A_{\max}/\sigma(\tau),$$

где A_{\max} – пиковая амплитуда главного максимума функции автокорреляции (ФАК), $\sigma(\tau)$ – среднеквадратичная амплитуда корреляционного фона во временном окне 0.5 с. Значения $D(\tau)$ определялись вдоль корреляционной функции с дискретностью 1 мс.

Использованные для расчета графиков степенные развертки типа “дВ/окт” характеризовались градиентами повышения спектральной плотности R , равными 4 и 6 дБ/октава. Именно такие степенные развертки в основном и применяются в практической работе. В пределах частотного диапазона 10–90 Гц указанные развертки обеспечивают приблизительно 4- и 9-кратное увеличение веса высокочастотных составляющих (см. рис. 2, б).

Аналогичный эффект обеспечивают логарифмические развертки (5) при значениях параметра крутизны D_k , равных 1.168 и 1.76 1/Гц соответственно (см. рис. 2, а). Такие развертки также были использованы для построения графиков, представленных на рис. 3.

На основании сравнительного анализа зависимостей, приведенных на рис. 3, можно сделать вывод о том, что наиболее низким динамическим диапазоном $D(\tau)$, т. е. более высокоамплитудным корреляционным фоном, отличаются функции автокорреляции, рассчитанные для логарифмических разверток. При этом увеличение помех корреляционного преобразования происходит по мере повышения крутизны развертки D_k .

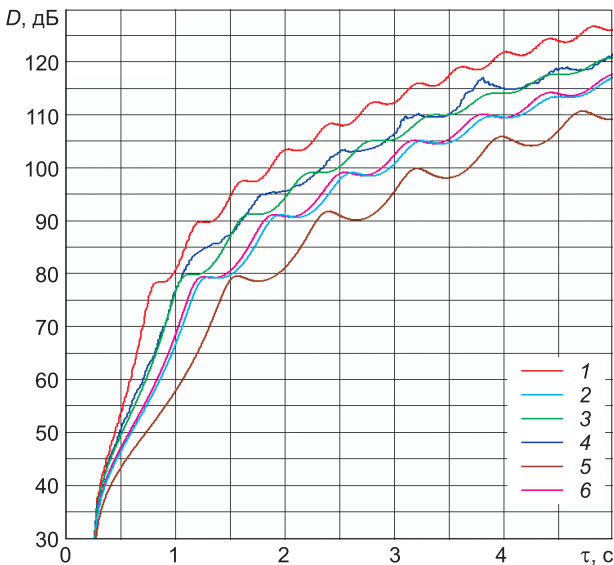


Рис. 3. Графики динамического диапазона корреляционного преобразования $D(\tau)$ для функций автокорреляции управляющих вибросейсмических сигналов.

Здесь и на рис. 4, 5: 1 – ЛЧМ-сигнал; 2 – логарифмическая развертка, $D_k = 1.168$ 1/Гц; 3 – степенная развертка, $R = 4$ дБ/октава; 4 – комбинированная развертка; 5 – логарифмическая развертка, $D_k = 1.76$ 1/Гц; 6 – степенная развертка, $R = 6$ дБ/октава.

Так, при $D_k = 1.76$ 1/Гц максимальные значения превышения уровня корреляционного фона для логарифмической развертки по сравнению с уровнем корреляционного фона для ЛЧМ-развертки составляли 25 дБ в интервале $\tau = 0.5$ –1.5 с, 22 дБ в интервале $\tau = 1.5$ –2.5 с и 20 дБ в интервале 2.5–3.5 с. Вследствие же уменьшения D_k до 1.168 1/Гц несоответствие между динамическим диапазоном корреляционного преобразования для логарифмической и ЛЧМ-развертки несколько уменьшалось, оставаясь при этом весьма существенным. В этом случае максимальные различия в значениях динамического диапазона ФАК для указанных разверток составляли 20 дБ в интервале $\tau = 0.5$ –1.5 с, 15 дБ в интервале $\tau = 1.5$ –2.5 с и 13 дБ в интервале 2.5–3.5 с.

На рис. 3 можно также видеть, что по сравнению с логарифмическими развертками степенные развертки типа “дВ/окт” отличаются заметно более высоким динамическим диапазоном ФАК. Так, при $R = 6$ дБ/октава максимальные превышения динамического диапазона ФАК ЛЧМ-сигнала по сравнению с динамическим диапазоном ФАК степенной развертки составляли 18 дБ в интервале $\tau = 0.5$ –1.5 с, 15 дБ в интервале $\tau = 1.5$ –2.5 с и 13 дБ в интервале 2.5–3.5 с. При уменьшении же R до 4 дБ/октава максимальные различия составляют 16 дБ в интервале $\tau = 0.5$ –1.5 с, 10 дБ в интервале $\tau = 1.5$ –2.5 с и 8 дБ в интервале 2.5–3.5 с. Физические причины более высокого уровня корреляционного фона логарифмических разверток по сравнению с интенсивностью фона для степенных разверток типа “дВ/окт” можно сформулировать на основании сравнительного анализа графиков теоретических спектров, приведенных на рис. 2. В соответствии с данным рисунком очевидно, что при одинаковых приращениях спектральной плотности графики спектров для логарифмических разверток отличаются большим прогибом по сравнению с аналогичными графиками для степенных разверток вида “дВ/окт”, т. е. фактически характеризуются меньшей эффективной шириной. Это обстоятельство, собственно, и объясняет физические причины более высокого уровня корреляционного фона при работе с логарифмическими развертками.

График $D(\tau)$, рассчитанный для комбинированной развертки, практически не отличается от аналогичного графика для степенной развертки при $R = 4$ дБ/октава.

На реальных вибросейсмических записях доминирующие помехи корреляционного преобразования в основном формируются волнами, преломленными от подошвы зоны малых скоростей, а также низкоскоростными поверхностными волнами, интенсивность которых, как правило, на один-два порядка превышает амплитуду полезных сигналов. Поэтому наибольший практический интерес представляют графики динамического диапазона корреляционного преобразования $D(\tau)$, рассчитанные для функции взаимной корреляции (ФВК) вибросейсмических сигналов, соответствующих именно этим волнам. Для задания вибросейсмических сигналов, приближающихся по своей динамике к указанным помехообразующим волнам, управляющие развертки были преобразованы с использованием амплитудно-частотных фильтров, характеристики которых совпадали с амплитудными спектрами импульсной реакции геологической среды

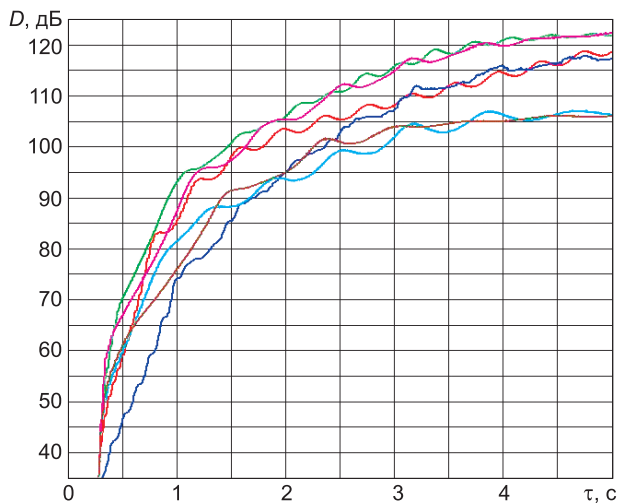


Рис. 4. Графики динамического диапазона корреляционного преобразования $D(\tau)$ для функций взаимной корреляции вибросейсмических сигналов, соответствующих волне, преломленной от подошвы ЗМС.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

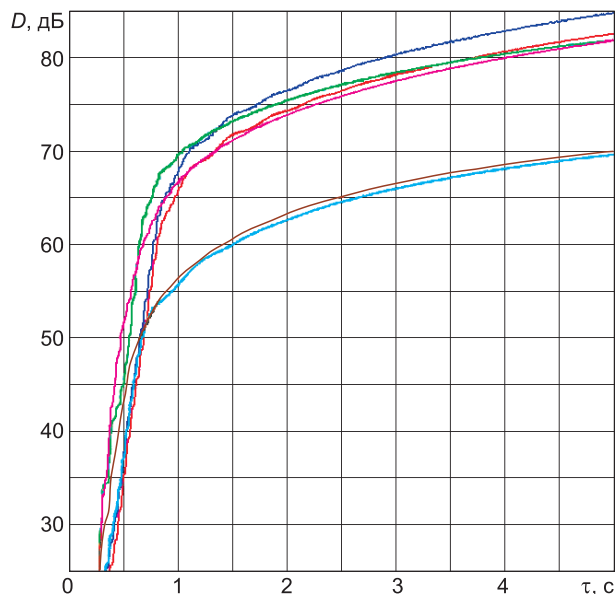


Рис. 5. Графики динамического диапазона корреляционного преобразования $D(\tau)$ для функций взаимной корреляции вибросейсмических сигналов, соответствующих низкоскоростной поверхностной волне.

Усл. обозн. см. на рис. 3.

для волн, преломленных от подошвы ЗМС, а также для доминирующих поверхностных волн. При этом импульсная реакция среды аппроксимировалась импульсом Берлага:

$$F_{\text{имп}}(t) = at^n e^{-\beta t} \sin 2\pi f_{\text{вид}} t, \quad t \geq 0, \quad (9)$$

где $f_{\text{вид}}$ – видимая (преобладающая) частота колебаний, β – коэффициент затухания импульса, a и n – коэффициенты.

Для волны, преломленной от подошвы ЗМС, параметры импульса (9) принимали значения: $f_{\text{вид}} = 33$ Гц, $\beta = 50$, $n = 0.7$. Для доминирующей поверхностной волны: $f_{\text{вид}} = 12$ Гц, $\beta = 7$, $n = 0.4$, при этом длительность импульса ограничивалась тремя с половиной периодами. Выбранные значения указанных параметров позволяли в достаточно полной мере учитывать динамику волн, формирующих основной фон помех корреляционного преобразования в реальных условиях.

На рис. 4 и 5 приведены графики динамического диапазона корреляционного преобразования $D(\tau)$, рассчитанные соответственно для ФВК вибросейсмических сигналов волны, преломленной от подошвы ЗМС, а также для доминирующей поверхностной волны. Принципиальные отличия представленных графиков от аналогичных зависимостей, рассчитанных с использованием ФАК управляющих разверток, заключаются в следующем.

– В реальных условиях нелинейные степенные развертки вида “дВ/окт” обеспечивают наиболее высокие значения динамического диапазона корреляционного преобразования, т. е. более низкую интенсивность корреляционного фона, даже по сравнению с ЛЧМ-сигналами. Физически указанное обстоятельство

связано, в частности, с тем, что при использовании ЛЧМ-разверток вибросейсмические сигналы, соответствующие наиболее интенсивным регулярным волнам, характеризуются относительно узкополосным спектром. На отдельных участках сейсмограммы при использовании степенных разверток типа “дВ/окт” следует ожидать уменьшения среднестатистической относительной интенсивности корреляционного фона, возбуждаемого преломленными от ЗМС волнами, на 5–10 дБ по сравнению с аналогичными сейсмограммами, полученными с применением ЛЧМ-разверток.

– Наиболее низкими значениями динамического диапазона корреляционного преобразования для основных помехообразующих волн характеризуются нелинейные логарифмические развертки. Так, для волны, преломленной от подошвы ЗМС, так же как и для доминирующей поверхностной волны, значения $D(\tau)$ при использовании логарифмических разверток на 10–15 дБ меньше аналогичных значений, полученных при использовании степенных разверток.

– Комбинированные развертки отличаются повышенным уровнем корреляционного фона в ближней зоне ФВК помехообразующих волн. Вместе с тем в дальней зоне ФВК, начиная с 3 с от главного максимума ФВК для волны, преломленной от подошвы ЗМС, и начиная с 1 с от главного максимума ФВК для доминирующей поверхностной волны, уровень корреляционного фона для комбинированного сигнала существенно снижается и достигает уровня помех преобразования ЛЧМ-сигналов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Графики динамического диапазона корреляционного преобразования вибросейсмических сигналов, рассчитанные для волн, преломленных от подошвы ЗМС, и для доминирующих поверхностных волн, фор-

мирующих основные компоненты корреляционного фона, принципиально отличаются от аналогичных зависимостей, рассчитанных с использованием ФАК управляющих разверток. И это обстоятельство, безусловно, надо учитывать при выборе зондирующих сигналов.

2. В условиях, характеризующихся повышенным динамическим диапазоном сейсмических записей, при использовании нелинейных вибросейсмических разверток с целью расширения спектра регистрируемых колебаний более предпочтительным является применение степенных разверток типа “дВ/окт” и нежелательным применение логарифмических разверток. Такое утверждение связано с весьма важным обстоятельством, заключающимся в том, что в реальных условиях уровень корреляционных помех, формируемых основными помехообразующими волнами при использовании логарифмических разверток, на 10–15 дБ превышает интенсивность корреляционного фона в случае применения степенных разверток типа “дВ/окт”. Физические причины более высокого уровня корреляционного фона логарифмических разверток по сравнению с интенсивностью фона для степенных разверток типа “дВ/окт” заключаются в том, что при одинаковых приращениях спектральной плотности графики спектров для логарифмических разверток отличаются большим прогибом по сравнению с аналогичными графиками для степенных разверток вида “дВ/окт”, т. е. фактически характеризуются меньшей эффективной шириной.

3. В отличие от зависимостей $D(\tau)$, рассчитанных с использованием ФАК управляющих разверток, в соответствии с которыми ЛЧМ-сигналы характеризуются по сравнению с другими типами применяемых

вибросейсмических разверток наименьшими относительными амплитудами корреляционного фона, в реальных условиях уровень корреляционного фона, формируемый ЛЧМ-сигналами, в основном, заметно превышает интенсивность помех преобразования при использовании степенных разверток вида “дВ/окт”. Так, например, амплитуда корреляционного фона, возбуждаемого преломленными от ЗМС волнами, на отдельных участках сейсмограммы при использовании степенных разверток на 5–10 дБ меньше интенсивности корреляционного фона в случае применения ЛЧМ-разверток.

4. В реальных условиях наиболее перспективные комбинированные развертки, успешно использованные в практической работе, отличаются повышенным уровнем корреляционного фона в ближней зоне ФВК помехообразующих волн. Вместе с тем в дальней зоне ФВК, начиная с ≈ 3 с от главного максимума ФВК для волн, преломленных от подошвы ЗМС, и начиная с ≈ 1 с от главного максимума ФВК для доминирующих поверхностных волн, уровень помех корреляционного преобразования для комбинированного сигнала существенно снижается и достигает уровня помех преобразования ЛЧМ-сигнала.

Литература

Кострыгин Ю.П. Сейсморазведка на сложных сигналах. Тверь: Изд-во ГЕРС, 2002. 416 с.

Кострыгин Ю.П. Развитие технологии вибросейсмических исследований 3D в условиях рисовых чеков Кубани // Приборы и системы разведочной геофизики. 2005. № 3 (13). С. 39–41.

Притчетт У. Получение надежных данных сейсморазведки. М.: Мир, 1999. 448 с.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

КОСТРЫГИН Юрий Петрович – доктор технических наук, генеральный директор ООО “Новоросморгео”. В 1967 г. окончил Грозненский нефтяной институт. Область научных интересов – сейсморазведка с использованием сложных сигналов. Автор 87 опубликованных работ, в том числе двух монографий и 14 авторских свидетельств и патентов на изобретение.
E-mail: kost_r@mail.ru

УДАЛЫЙ Михаил Николаевич – ведущий геофизик ООО “Ильинской геофизической экспедиции”. В 2004 г. окончил Кубанский государственный университет. Область научных интересов – технология полевых сейсморазведочных работ.