

Некоторые размышления об очевидном в вибрационной сейсморазведке

- Абдулвалиев М.Т., ПАО «Геотек - Сейсморазведка», г. Москва
- Навроцкий А.О., ФГБУ «ВНИГНИ», г. Москва

Авторы в этой статье рассматривают несколько различных и при этом, казалось бы, лежащих на поверхности, давно известных приемов повышения эффективности вибрационного метода сейсморазведки, которые почему-то либо не используются, либо применяются достаточно редко. В связи с этим считаем обсуждение вопросов, изложенных в данной статье, полезным, т.к. оно позволяет посмотреть на некоторые, вроде бы привычные, способы работ с несколько иной точки зрения.

1. Корреляционный шум и АЧХ вибро-сейсмических сигналов.

Вибросейсмический метод в корне отличается от импульсных методов, в которых сейсмические волны возбуждаются с помощью взрыва или различного типа поверхностных импульсных источников. При этом отличие заключается не только в приемах возбуждения и регистрации сигналов, но и в последующей предварительной обработке данных с целью получения импульсной сейсмограммы.

В методе «Вибросейс» для этого используют корреляционное преобразование, в ходе которого длительная, нечитаемая виброграмма превращается в импульсную коррелограмму. В то время как в импульсных методах возбуждения сейсмического сигнала сейсмограмма регистрируется сразу, одномоментно, не требуя какой-то специальной предварительной обработки.

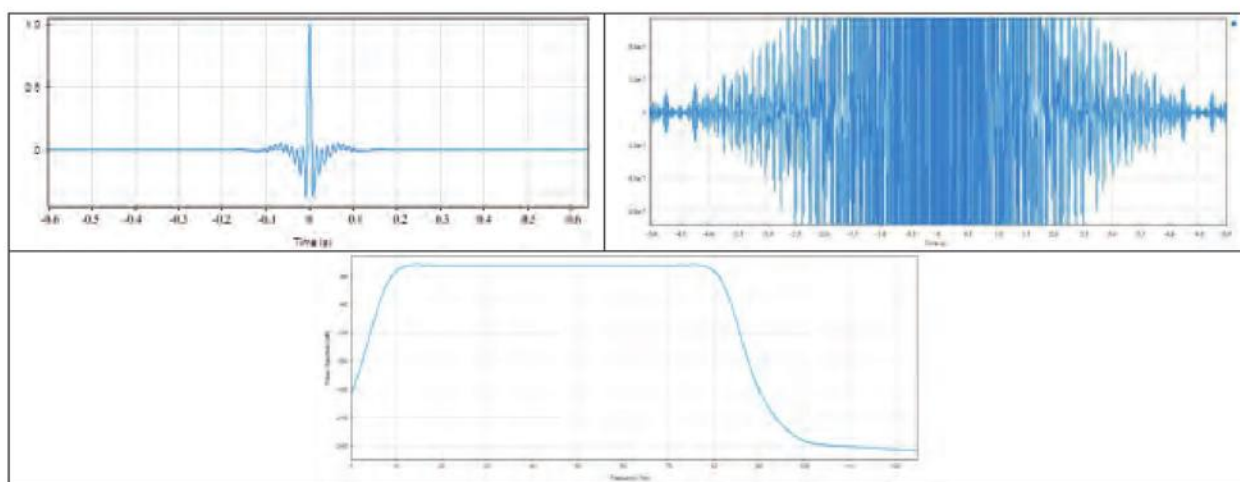
При этом надо отметить, что коррелограмма является фактически синтетической записью, где в процессе корреляционной обработки реальный сейсмический сигнал, а именно, длительные ЛЧМ-отражения (вибротрассы) подменяются искусственным - функцией взаимной корреляции (ФВК) выбранного свипа и отклика среды.

ФВК имеет не только ярко выраженный импульсный максимум, но и дли-

тельные корреляционные шумы (КШ), являющиеся неотъемлемой частью полученной коррелограммы (см.рис.1). Это принципиально отличает коррелограмму от обычной импульсной сейсмограммы, на которой полезный отраженный максимум имеет небольшую длительность, практически не влияющую на последующие отражения. На коррелограмме же КШ от любых сигналов, включая интенсивные первые вступления, поверхностную, преломленную и другие высокоамплитудные первичные волны, распространяются на всю полезную запись, являясь помехами для более слабых последующих отражений, и частично маскируя их.

При этом следует понимать, что в процессе корреляционной обработки происходит перераспределение энергии вибрационного сигнала между основным пиком ФВК и КШ. Определенная часть энергии сигнала уходит в КШ.

На рис. 1 показана функция автокорреляции свипа (ФАК), где слева показан сам импульсный пик функции, а справа в увеличенном масштабе показаны КШ. При этом КШ имеют в своем составе все частоты излученного свипа и эти частоты распределены в определенном порядке по всей длительности ФАК. Давайте посмотрим, как же они распределяются по времени. Причем нас, естественно, интересует лишь время полезной записи



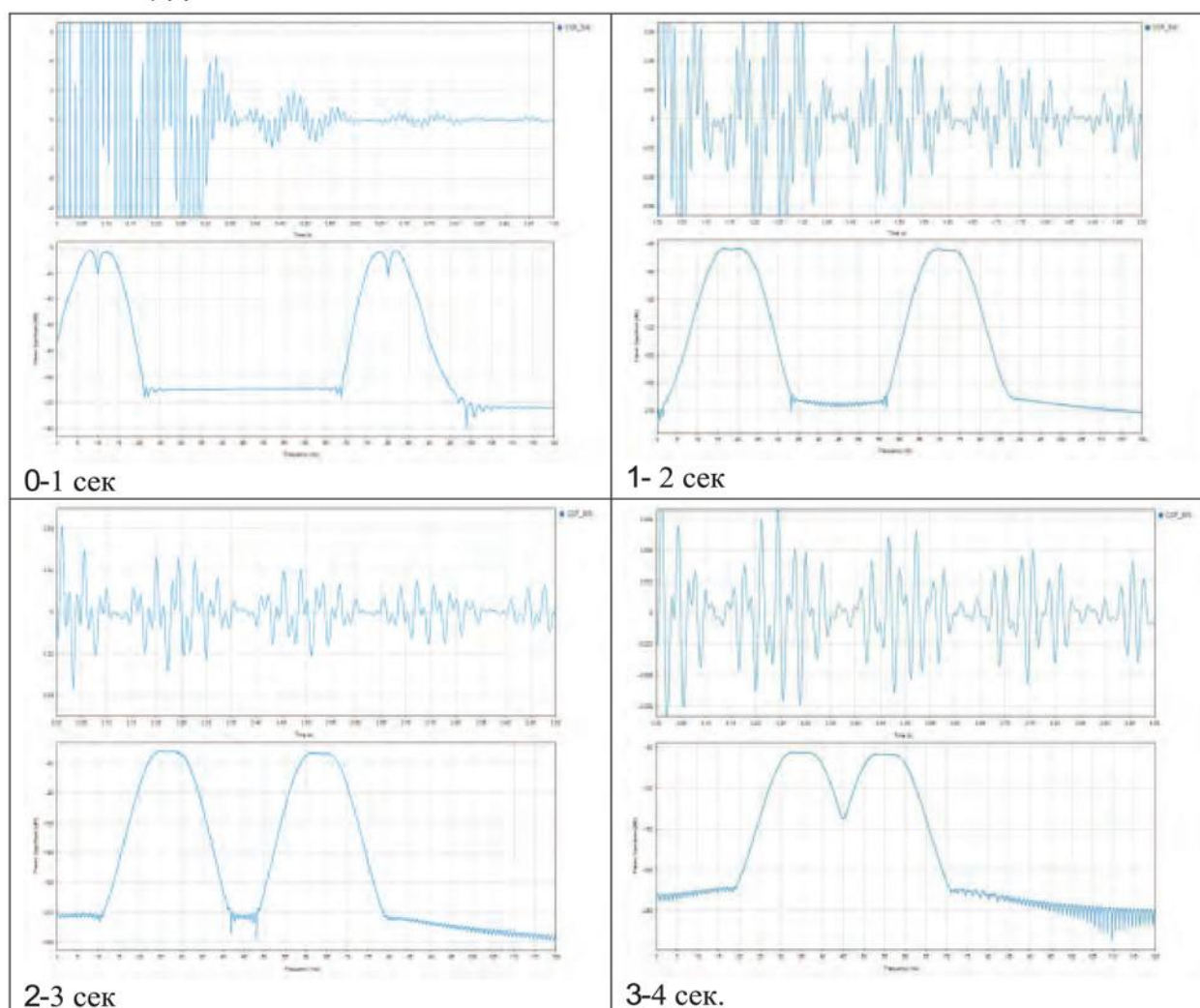
▲ Рис. 1. ФАК свипа со своими КШ. Правая картинка дана с большим усилением, чтобы хорошо были видны КШ.

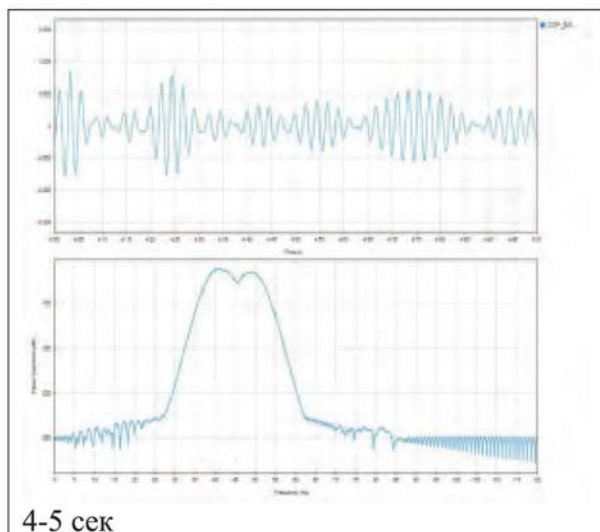
(первые 4-5 секунд). Хотя сами КШ имеют значительно большую длительность, равную длительности излучаемого

сигнала (обычно 10-12 секунд).

Ниже приведены некоторые результаты математического моделирования,

▼ Рис. 2. Спектры КШ на разных временах полезной записи. СВИП: $F_n = 5$ Гц, $F_k = 85$ Гц. Длительность 10 сек.





▼ Рис. 2. (Продолжение). Спектры КШ на разных временах полезной записи. СВИП: $F_n = 5$ Гц, $F_k = 85$ Гц. Длительность 10 сек.

иллюстрирующие сказанное до этого.

На рис. 2 показаны спектры КШ на разных временах ФАК.

СВИП: $F_n = 5$ Гц, $F_k = 85$ Гц. Длительность $T = 10$ сек.

Из приведенных рисунков видно, что КШ имеют распределенный по времени в определенном порядке частотный состав. Например, на первой секунде это начальная и конечные частоты возбужденного сигнала.

При этом на рис. 3 можно увидеть уже не на спектре, а во временной области, что для КШ на первой секунде преобладающими действительно являются начальные и конечные частоты возбуждения. При этом начальная частота осложнена конечной частотой.

На рис. 4 показана полевая корреллограмма, на которой хорошо видны КШ, образованные интенсивными первыми вступлениями. Особенно отчетливо эти шумы видны на так называемых отрицательных временах (до прихода регулярных волн). Напоминаем, что КШ формируются как влево, так и вправо от основного максимума.

Главный вывод - при расчете АЧХ по коррелограмме в выбранном временном окне мы получаем спектр целевого отраженного сигнала, искаженный суммарным спектром КШ от всех предыдущих сигналов. При этом КШ могут создавать достаточно существенные искажения спектра.

Так что всегда необходимо учитывать, что при обычном расчете АЧХ по коррелограмме конечный результат будет изменен за счет попавших в окно расчета КШ от других, более интенсивных регулярных волн, расположенных по оси времени левее (раньше) и дающих КШ, по амплитуде порой сравнимыми со слабыми отражениями. Это хорошо видно, например, на рис. 4, где показана реальная полевая коррелограмма.

Тем не менее на практике именно так рассчитываются АЧХ для целевых горизонтов - по коррелограммам. Надо отдавать себе отчет, что без учета КШ такой спектр не является корректным. Часто создается иллюзия наличия высокочастотной составляющей в полезном сигнале, хотя на самом деле это всего лишь КШ. Следует помнить, что на протяжении первой секунды после прихода любой регулярной волны в спектре КШ преобладают начальная и конечная частота излученного сигнала (см. рис. 3). Зачастую именно высокочастотная часть КШ и преобладает в полученном спектре. К подобной АЧХ надо относиться достаточно осторожно. Для расчета спектров в «Вибросейсе» нужны более точные методики.

В практике вибросейсмической разведки для борьбы с КШ используются самые различные приемы. Однако, одним из самых простых и при этом достаточно эффективным способом является применение конуса. Ниже приведены примеры использования

различных по длительности конусов и их влияние на уровень КШ.

2. Конусы СВИП-сигналов и корреляционные шумы.

На уровень КШ очень сильно влияет длительность конуса. Напоминаем, что конус - это специальный прием, позволяющий в начале возбуждения плавно нарастить амплитуду сигнала и точно так же плавно снизить амплитуду в конце процесса. Без конуса уровень КШ становится намного больше (см таблицы 1 и 2). Чем более плавно нарастает амплитуда СВИПа, тем ниже получаемый уровень КШ.

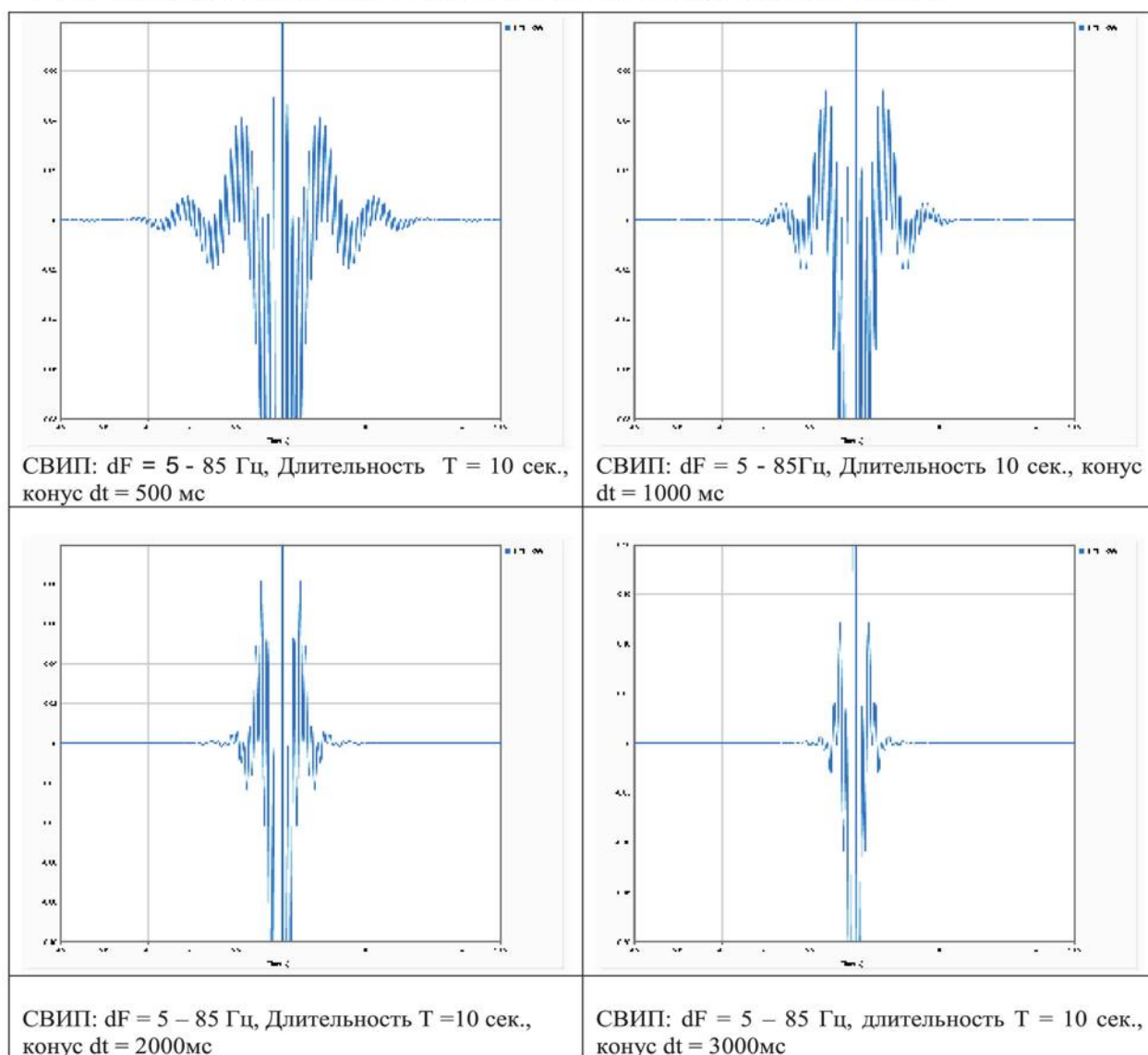
Ниже показаны результаты моделирования, иллюстрирующие зависимость уровня КШ от длительности применяемого конуса.

Из приведенных рисунков видно, что чем длительнее конус, тем меньше уровень КШ в целом. По результатам моделирования были изучены зависимости уровня КШ от длительности конуса и затем оформлены в виде соответствующих таблиц

(см. таблицы 1 и 2).

При использовании конуса мы имеем два противоположных, накладывающихся друг на друга, процесса. Во-первых, конус ослабляет в сфере своего действия

▼ Рис. 3. Зависимость уровня КШ от длительности применяемого конуса.



Интервал анализа, мс	Отношение сигнал / уровень КШ				
	0.200-1000	1000 - 2000	2000-3000	3000 - 4000	4000-5000
Без конуса	 46	 55	 59	 62	 65
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 0.5 с	 58	 99	 114	 123	 130
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 1 с	 76	 111	 126	 135	 143
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 1.5 с	 84	 118	 132	 142	 147
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 2 с	 89	 122	 137	 146	 153
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 3 с	 94	 128	 143	 152	 158
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 4 с	 97	 132	 147	 157	 163

▲ Табл. 1. Зависимость отношения сигнал/уровень КШ от длительности применяемого конуса. Свип: $dF = 5-85$ Гц, длительность $T = 10$ сек.

возбуждаемый сигнал, снижая его энергию. Но при этом одновременно этот же прием благотворно влияет на конечный результат, достаточно интенсивно снижая уровень КШ с увеличением длительности конуса и, следовательно, увеличивая отношение сигнал/шум.

Таким образом, выбирая длительность конуса при полевых работах, необходимо в ходе предварительных опытно-методических работ найти баланс между этими двумя процессами и выбрать оптимальную длительность конуса.

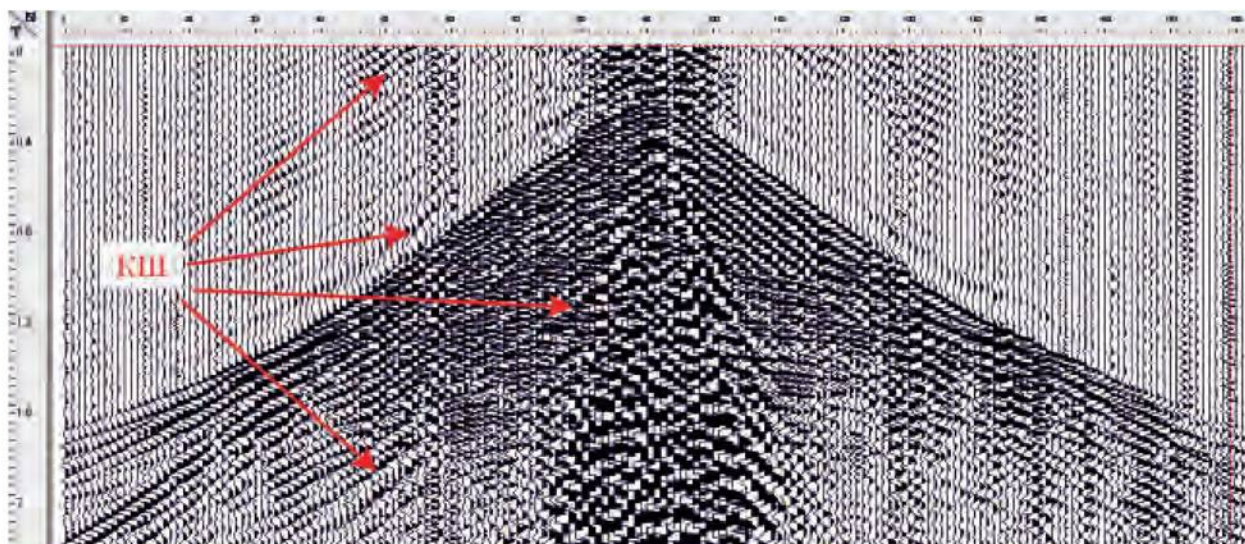
Например, по результатам моделирования (см. таблица 1) видно, что максимальное снижение уровня КШ дает длительность конуса, равная 4 секундам. Но длительный по времени конус снижает энергию возбуждаемого сигнала, поэтому более оптимальным кажется конус величиной 1,5-2 сек. В то же время конус величиной 0,5 сек, довольно часто используемый в полевой вибросейсмо-

разведке, лучше не применять, т.к. в этом случае возникают достаточно интенсивные КШ, наиболее заметные на первой секунде полезной записи (это хорошо видно на рис. 4, особенно при его сравнении с рис. 6-7).

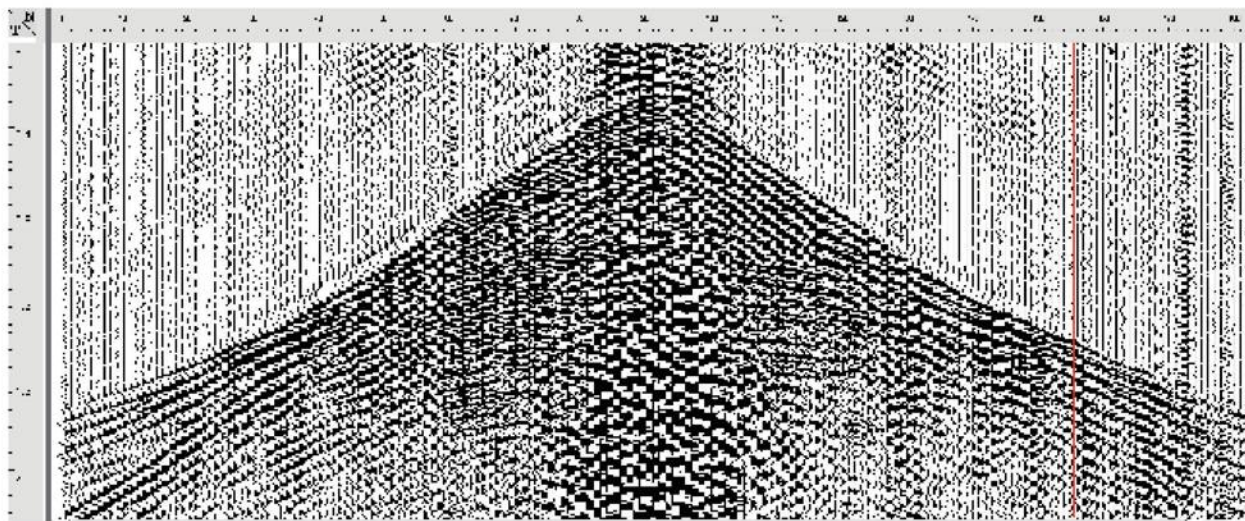
На рис. 4-7 показаны примеры полевых коррелограмм с разной величиной длительности использованного конуса. Записи получены при полевых сейсморазведочных работах в Оренбургской области. Параметры свипа у всех этих записей одинаковы: начальная частота $F_n=5$ Гц, конечная частота $F_k=85$ Гц, длительность свипа $T=10$ сек, число накоплений $N=4$, меняется лишь длительность конуса.

ПРИМЕЧАНИЕ: ОМР проводились при довольно сильной ветровой помехе, когда производственники, в том числе и по этой причине, простаивали.

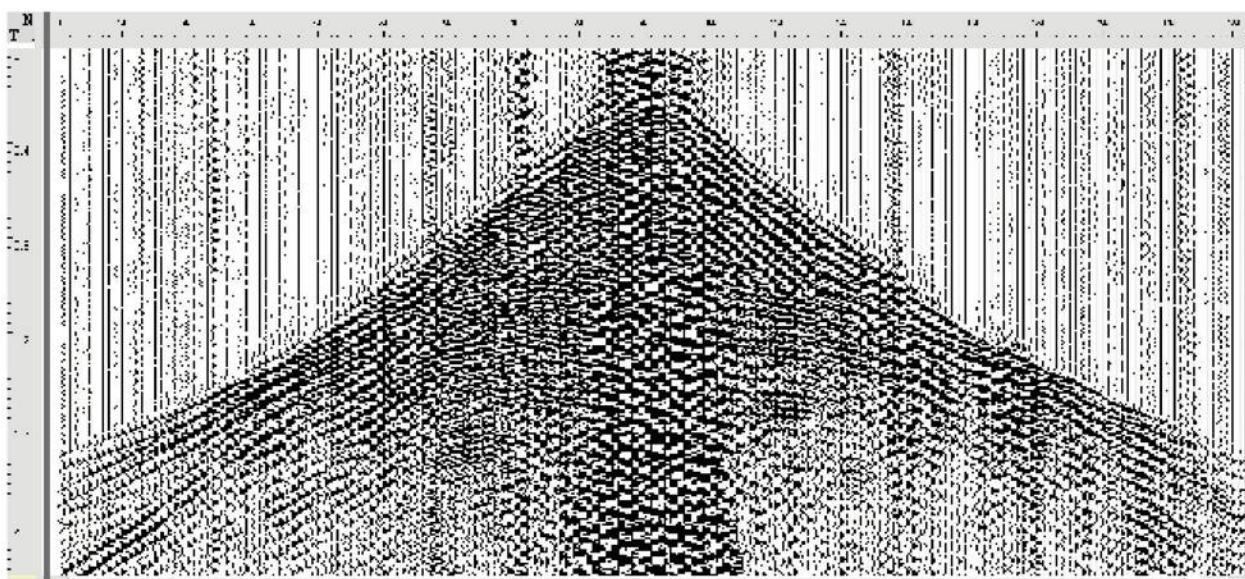
Из рисунков хорошо видно, как увеличение конуса ведет к серьезному снижению КШ. При длительности конуса $dt=0,5$



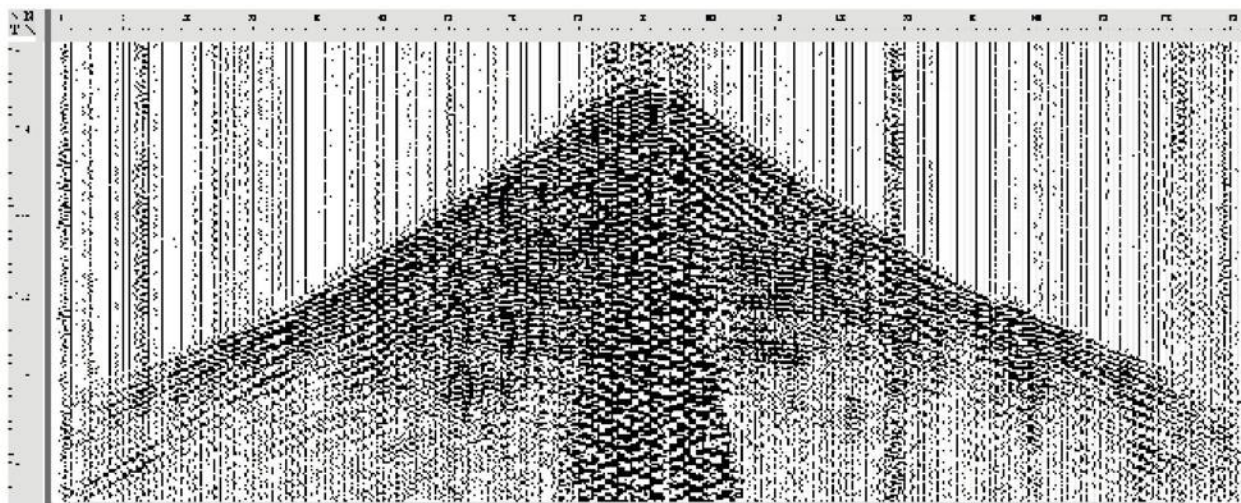
▲ Рис. 4. Коррелограмма с длительностью конуса $dt=0,5$ сек.



▲ Рис. 5. Коррелограмма с длительностью конуса $dt=1,0$ сек.



▲ Рис. 6. Коррелограмма с длительностью конуса $dt=2,0$ сек.



▲ Рис. 7. Коррелограмма с длительностью конуса $dt=3,0$ сек.

сек КШ достаточно интенсивны, это видно на коррелограмме невооруженным глазом. Уже при

$dt=2,0$ сек КШ почти незаметны, а при $dt=3,0$ сек чисто визуально они вообще практически не просматриваются.

Обращаем внимание полевых геофизиков и заказчиков на то обстоятельство, что к выбору конуса практически всегда относятся достаточно рутинно и при длительности свипа 10-16 сек величина конуса обычно выбирается в пределах 0,5-1,0 сек. Но на самом деле это не совсем оптимально, конус лучше увеличить хотя бы до 2,0 секунд, подбирая его по результатам предварительных ОМР. При этом улучшение отношения сигнал/шум полностью компенсирует небольшую потерю излучаемой энергии.

3. Длинные СВИП-сигналы.

Обычный, можно сказать, стандартный вариант полевой вибросейсмической записи предполагает длительность свипа в пределах 10-16 секунд с последующим синхронным накоплением, как правило, 4 возбуждений. Конечно, возможны отклонения, но все-таки описанный выше вариант преобладает в практике производственных вибросейсмических работ. В этом случае общая

длительность процесса возбуждения состоит из четырех, условно говоря, 12-секундных разверток с 5-секундными паузами между ними для полной записи всех отраженных сигналов. Итого, общая длительность записи составляет $(12+5)*4=68$ секунд, если все четыре возбуждения кондиционные.

При этом всем известны длинные свипы, но они почему-то обычно не применяются. Хотя, если использовать один 48-секундный свип с той же возбуждаемой суммарной энергией $12*4=48$, то дополнительное время на регистрацию отраженных сигналов от глубоких горизонтов будет одноразовым и составит всего 5 секунд, тогда общее время регистрации будет равняться 53 секундам. Разница во времени между двумя способами составляет 15 секунд и если за основу взять длинный свип, то общая экономия времени при возбуждении составляет почти 30%. Довольно существенная экономия!

При этом, естественно, получаемые в результате отношения сигнал/помеха будут в обоих рассмотренных случаях одинаковыми. Можно проиллюстрировать это через базу сигнала **B**. Для длинного свипа она будет равна:

$$B=dF*T,$$

а для коротких это будет

$$B = dF \cdot N \cdot t, \text{ где}$$

dF одинаково в обоих случаях,

N - число накоплений, t - длительность короткого свипа,

T - время развертки длинного свипа.

При этом, естественно $T = N \cdot t$.

То, что, по крайней мере, визуально окончательный результат при использовании коротких свипов с накоплением или одиночного длинного свипа практически одинаков, можно увидеть на рис. 8-10, где показаны соответствующие коррелограммы.

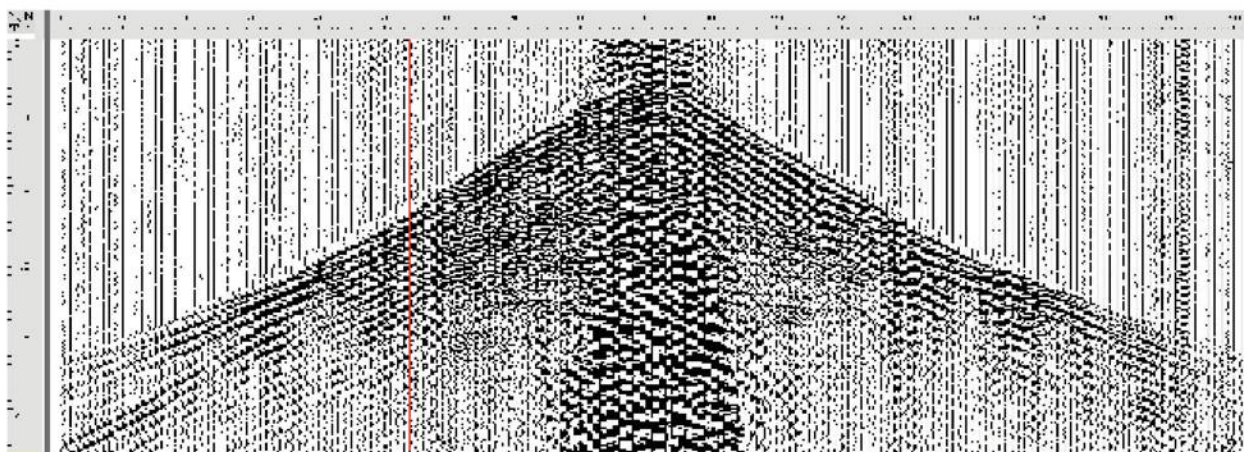
Из рисунков можно сделать заключение, что конечный результат практически одинаков при длительности свипа $T=10$ сек с 4-мя накоплениями и при одном

длинном свипе с длительностью $T=40$ сек.

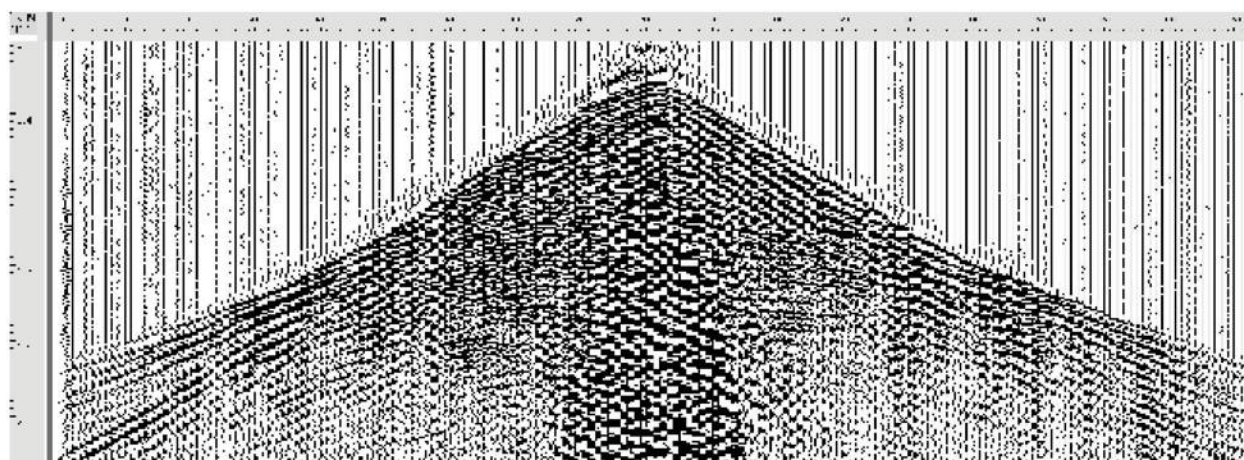
В то же время использование одного длинного свипа вместо четырех коротких дает возможность сократить рабочий цикл вибраторов на одном ПВ до 25%-30% при неизменном соотношении сигнал/помеха.

Иными словами, достаточно серьезно повышается производительность в процессе возбуждения вибросейсмического сигнала.

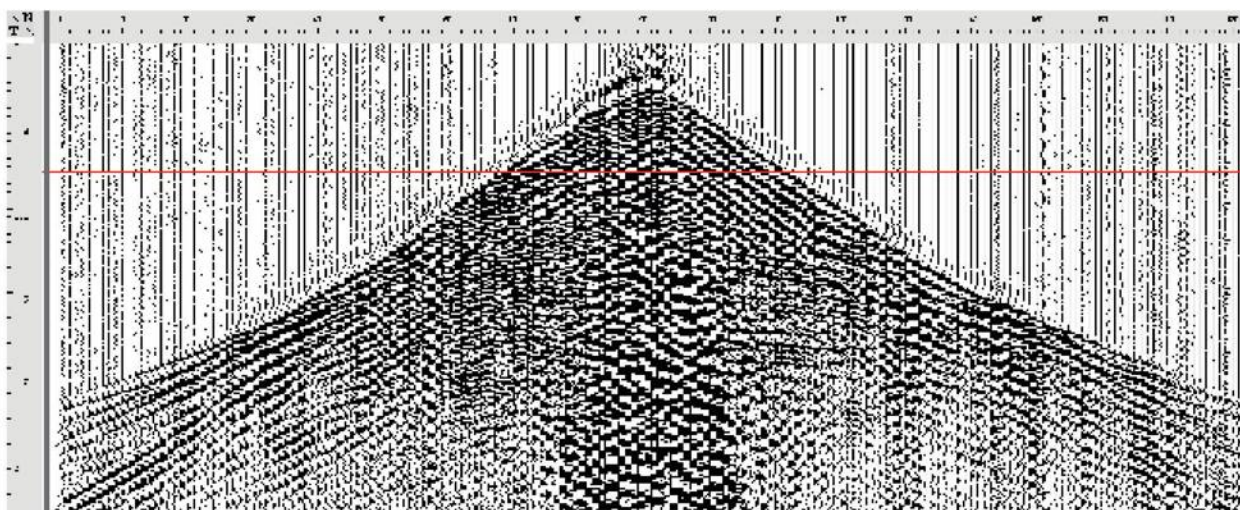
Кроме того, за счет того, что запуск и остановка вибратора при длинном свипе происходит на ПВ лишь раз, а при коротком - многократно, вибраторы изнашиваются меньше, их ресурс сохраняется дольше.



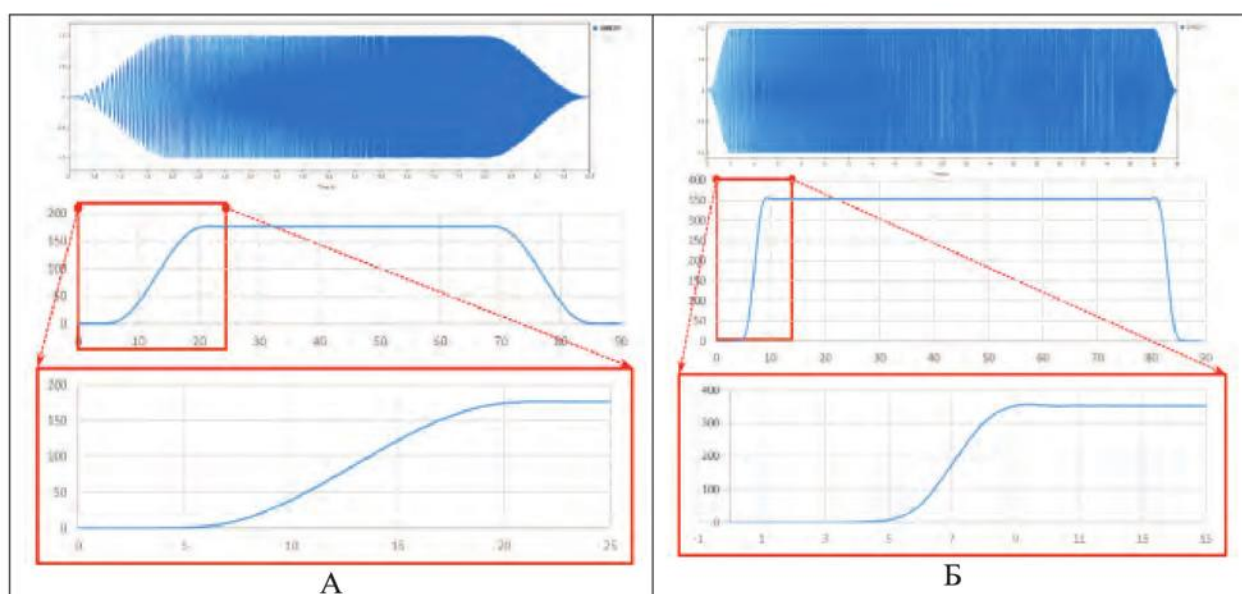
▲ Рис. 8. Коррелограмма с начальными параметрами свипа: $F_n=5$ Гц, $F_k=85$ Гц, $T=10$ сек, длительность конуса $dt=1$ сек, $N=4$.



▲ Рис. 9. Коррелограмма с начальными параметрами свипа: $F_n=5$ Гц, $F_k=85$ Гц, $T=40$ сек, длительность конуса $dt=4$ сек, $N=1$.



▲ Рис. 10. Коррелограмма с обратной разверткой свипа: $F_H=85$ Гц, $F_K=5$ Гц, $T=40$ сек, длительность конуса $dt=4$ сек, $N=1$.



▲ Рис. 11. Сопоставление АЧХ свипов разной длительности (10с и 40 с).

А. СВИП: $dF=5-85$ Гц, $T=10$ сек., $dt=2$ сек. Б. СВИП: $dF=5-85$ Гц, $T=40$ сек., $dt=2$ сек.

При длинном свипе можно получить еще одно важное преимущество. В последнее время уделяется большое внимание низкочастотной составляющей сигнала. При длинном свипе появляется возможность получить более выраженный НЧ-сигнал, чем при коротком свипе. Попробуем объяснить это с помощью соответствующего рисунка (см. рис. 11).

Если dF одинакова (в нашем случае это 80 Гц), а t и T отличаются, предположим, в 4 раза (например, 10 сек и 40 сек), то это означает, что скорость нарастания частоты

ты в единицу времени у короткого свипа в 4 раза быстрее. У короткого свипа скорость развертки равна 8 Гц/сек, а у длинного - 2 Гц/сек. На рис. 11 хорошо видно, что у короткого свипа за счет конуса подавляется низкочастотная часть вплоть до 19 Гц. В то время, как у длинного свипа уже при частоте 9 Гц амплитуда полностью восстанавливается. Это означает, что при длинном свипе самые ценные низкие частоты возбуждаются, а впоследствии и регистрируются лучше, чем у коротких.

Хотя при этом не следует забывать, что

на одних и тех же временах у длинных свипов наблюдается более высокий уровень КШ чем у коротких свипов.

Это хорошо видно при сравнении таблиц 1 и 2. Поэтому, применяя длинные свипы, для снижения уровня КШ необходимо использовать более длительные конусы.

Но если заказчиком поставлена задача получения более выраженных низких частот, можно воспользоваться эффектом медленной развертки частоты при длинных свипах, применив при этом укороченный конус. В этом случае перед началом работ, в ходе ОМР, необходимо найти баланс между приемлемым уровнем КШ и получением более низких частот на записях. Тогда при достаточно приемлемом уровне КШ можно получить на результирующей записи более низкочастотный спектр.

Следует иметь в виду, что в процессе излучения низких частот при длинных свипах, из-за большого хода штока гидроцилиндра происходит повышенный

расход рабочей жидкости. Дефицит производительности насоса на начальном низкочастотном участке свипа покрывается за счет жидкости, накопленной в пневмогидравлических аккумуляторах. Есть опасение, что для длинных свип-сигналов ёмкости аккумуляторов может оказаться недостаточно и эффективность излучения начальных низких частот из-за этого может упасть.

Однако, в ходе полевых экспериментов в Оренбургской области с использованием группы вибраторов НОМАД-65 при возбуждении длинных свипов не было замечено каких-либо серьезных отклонений от штатной работы вибраторов. Но конечно, если на какой-то конкретной площади будет принято решение об использовании длинных свипов, то в ходе предварительных ОМР необходимо тщательным образом проверить возможность их излучения в данных условиях, обращая особое внимание на работоспособность вибраторов.

▼ Табл. 2. Зависимость отношения сигнал/уровень КШ от длительности применяемого конуса. Свип: $dF = 5-85$ Гц, длительность $T = 40$ сек.

Интервал анализа, мс	Отношение сигнал / уровень КШ				
	0.200-1000	1000 - 2000	2000-3000	3000 - 4000	4000-5000
Без конуса	47	56	60	63	65
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 0.5 с	48	73	90	100	107
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 1 с	50	87	103	113	119
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 1.5 с	53	94	110	120	126
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 2 с	55	99	115	124	131
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 3 с	62	107	122	131	138
Отношение сигнал/КШ, дБ, конус 4 с	71	111	127	136	143

В заключение этого раздела можно констатировать, что длинные свипы имеют достаточно много достоинств. И их применению в практике полевых сейсморазведочных работ следовало бы уделять больше внимания.

4. Частотно – зависимое затухание вибросейсмических сигналов в среде.

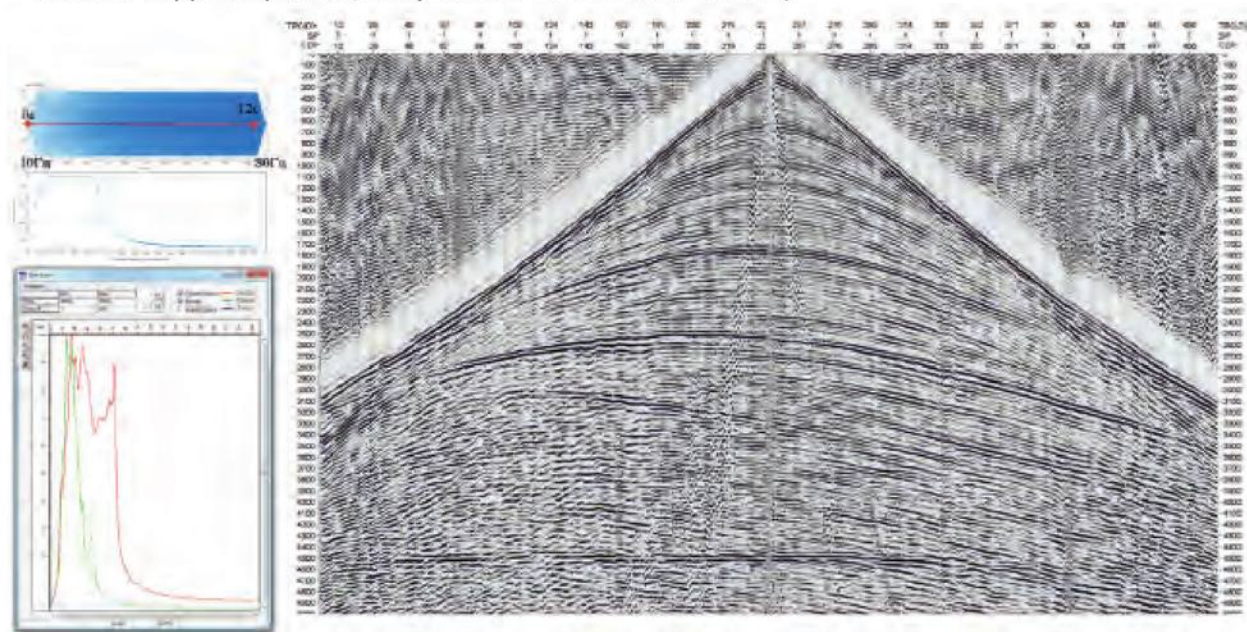
При излучении вибрационного сигнала в недра закачивается длительный широкополосный сигнал. Известно, что при его прохождении через земную толщу происходит частотно-зависимое затухание сигнала. При этом чем выше частота, тем интенсивнее затухание. Предлагалось достаточное количество методов, как зарубежных, так и отечественных, по некоторой коррекции и компенсации этого затухания. Однако, к сожалению, они не дают того эффекта, который от них ожидают. Прежде всего это объясняется ограниченностью времени излучения. Из чисто практических соображений нет никакой возможности увеличить время возбуждения сигнала в разы или даже десятки раз для компенсации частотно-зависимого затухания

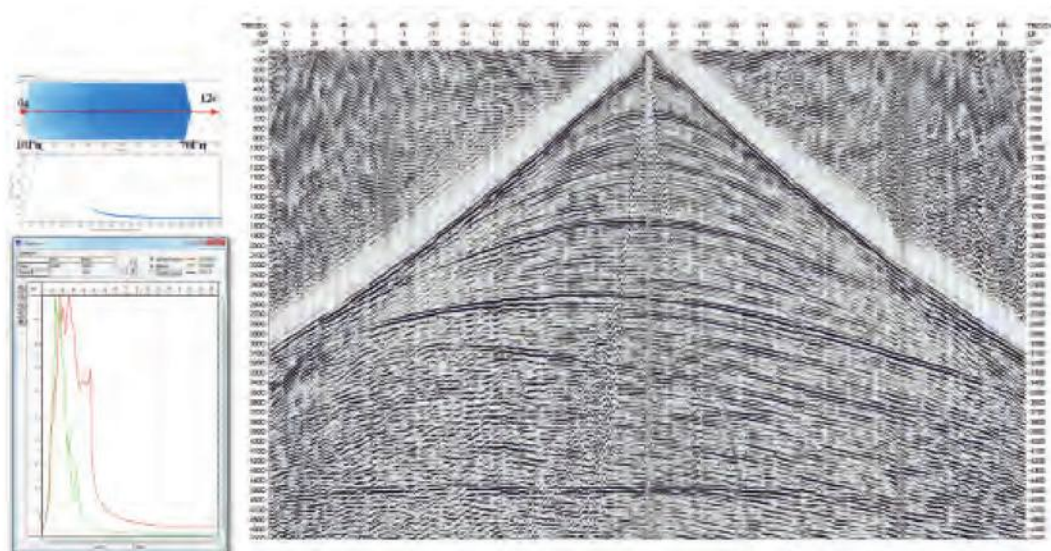
излученного сигнала в среде, т.к. это резко снизит производительность труда.

Величина затухания верхних частот свипа по отношению к самой низкой в разных сейсмогеологических условиях может достигать нескольких десятков раз. Как говорилось выше, у стандартной группы вибраторов нет достаточного времени на точке, чтобы полностью компенсировать это затухание. Для сохранения производительности можно было бы многократно увеличить количество вибраторов в группе, при этом мощность излучаемого сигнала бы увеличилась. Но вновь из практических соображений следует отметить, что это также невозможно из-за возникающего в этом случае существенного увеличения себестоимости работ, уже не говоря о дополнительных проблемах с размещением такой большой группы вибраторов на ПВ.

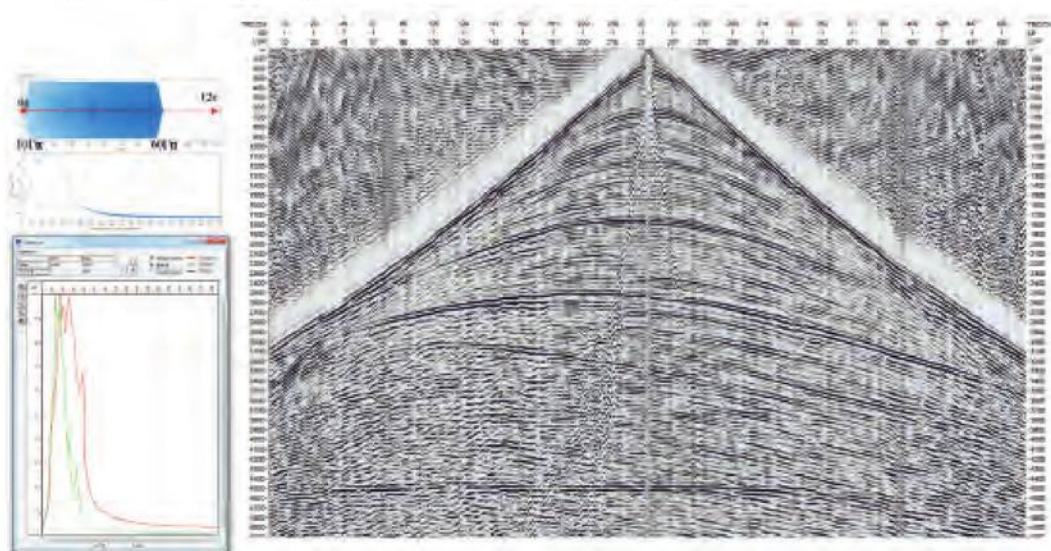
Если же оставить время возбуждения на одной точке тем же самым, то увеличить длительность излучения на верхних частотах можно лишь единственным способом - пропорционально уменьшив длительность излучения на основных

▼ Рис. 12. Коррелограмма, полученная со СВИПом 10-80 Гц.

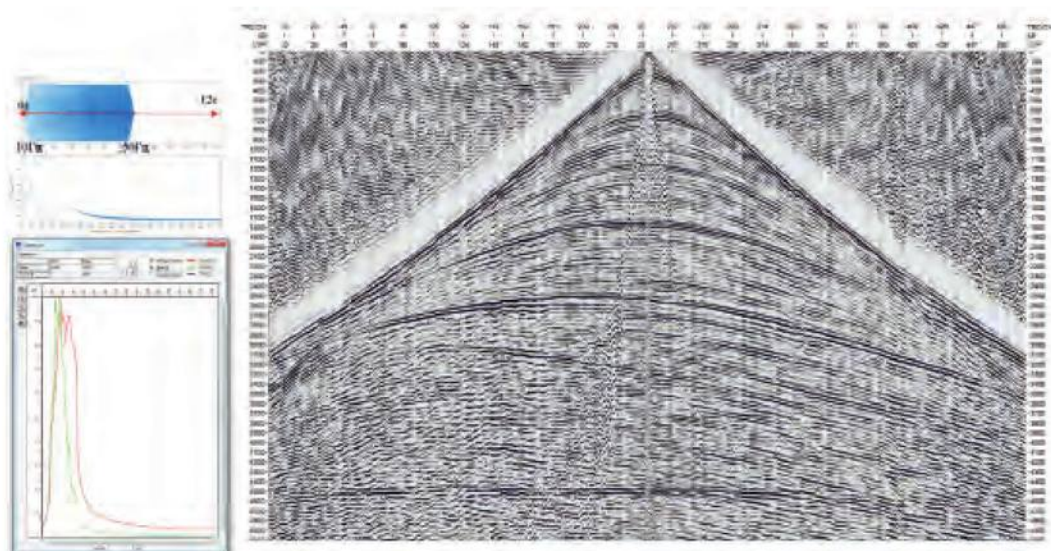




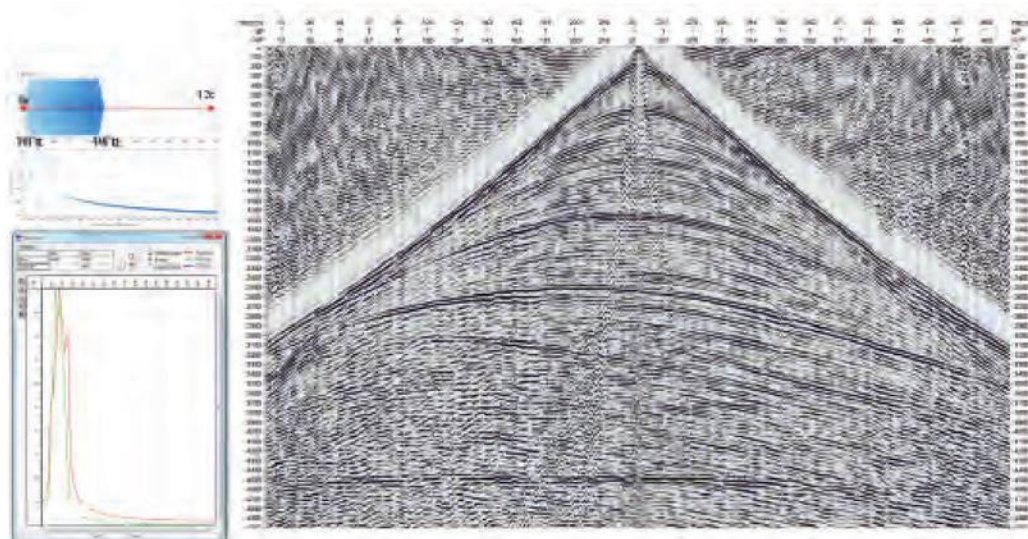
▲ Рис. 13. Коррелограмма, полученная со СВИПом 10-70 Гц.



▲ Рис. 14. Коррелограмма, полученная со СВИПом 10-60 Гц.



▲ Рис. 15. Коррелограмма, полученная со СВИПом 10-50 Гц.



▲ Рис. 16. Коррелограмма, полученная со СВИПом 10-40 Гц.

полезных частотах.

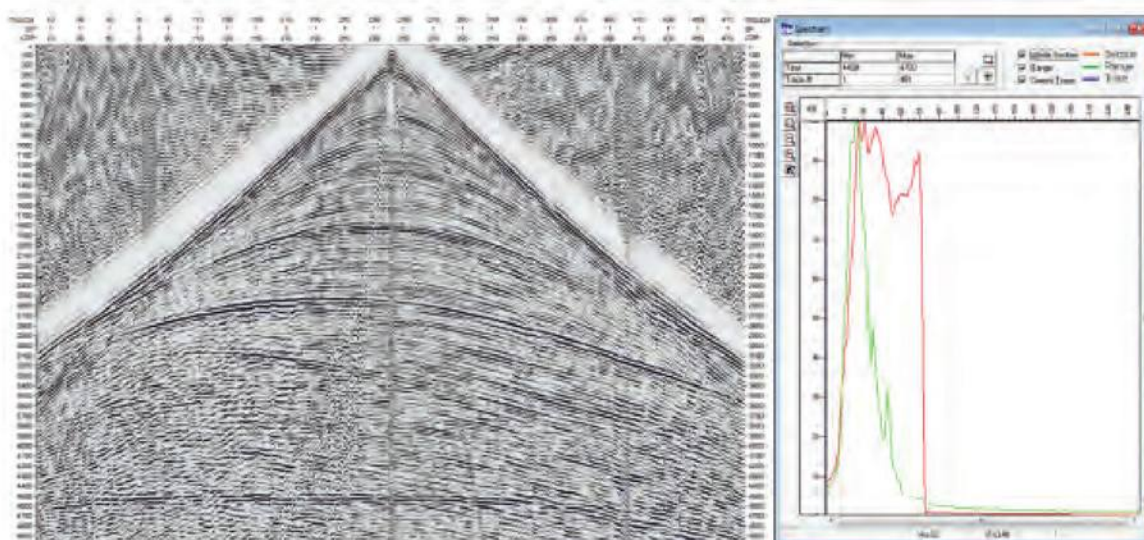
Иными словами, в погоне за призрачным увеличением высокочастотной составляющей, мы были бы вынуждены резко ослаблять основной сигнал в его низко- и среднечастотной части. Иным вариантом является лишь увеличение длительности свипа или количества накоплений, т.е. резкое снижение производительности работ. Вряд ли кто-то на это пойдет, учитывая, что, например, 4-кратное снижение производительности в этом случае никого не удовлетворит, т.к. затухание высоких частот намного больше. Но никто не пойдет даже на 4-

кратное снижение производительности, не говоря уж о более высоких цифрах...

Вопрос частотно-зависимого затухания сейсмического сигнала в среде очень важен и авторы планируют посвятить этому в недалеком будущем отдельную статью.

А пока эффект серьезного затухания высоких частот можно проиллюстрировать с помощью серии рисунков, на которых показаны результаты корреляции исходной виброграммы с укороченными свипами: 10-80 Гц, 10-70 Гц, 10-60 Гц, 10-50 Гц, 10-40 Гц.

При этом длительность полевой



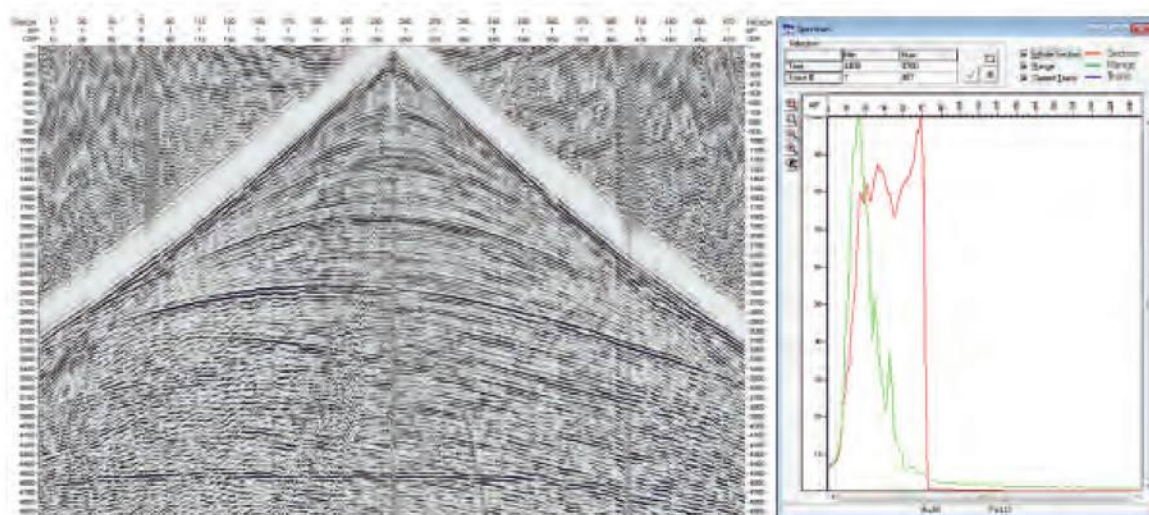
▲ Рис. 17. Коррелограмма без весовой корреляции и ее спектр.

виброграммы, естественно, все время остается равной 10 сек., а вот длительность опорного сигнала непрерывно уменьшается, и из процесса корреляционной обработки последовательно исключается высокочастотная составляющая.

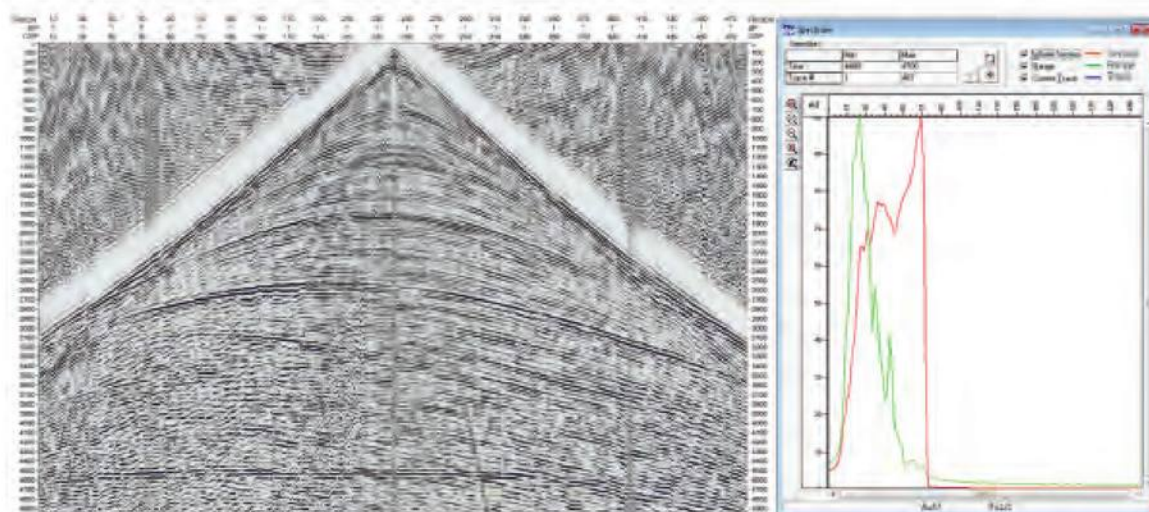
Из приведенных выше рисунков можно сделать заключение, что несмотря на то, что изначально в земную толщу был послан сигнал с $\Delta F=10-80$ Гц, коррелограммы, полученные с укороченными свипами, имеют вид, вполне сравнимый с изначальной записью (см. рис 12-16). При этом в них убирается высокочастот-

ный шум, а полезный сигнал не приобретает каких-то видимых искажений. Это с нашей точки зрения объясняется тем, что реальные отраженные сигналы в зарегистрированных виброграммах за счет частотно-зависимого затухания в среде уже не имеют высокочастотной составляющей, а корреляция с исходным свипом дает нам в области высоких частот лишь усиление высокочастотной помехи.

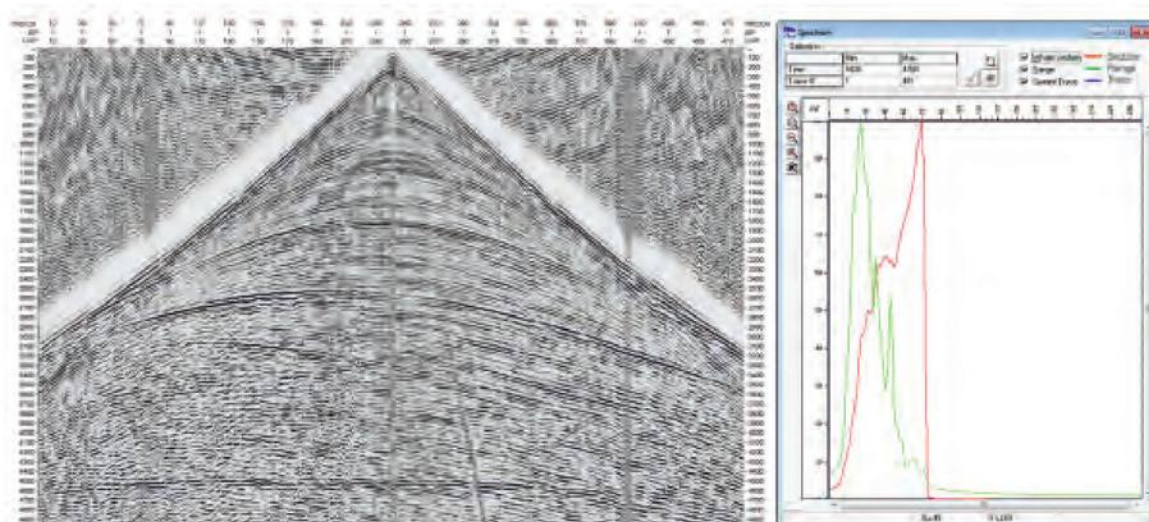
Иными словами, несмотря на то, что был излучен вибросейсмический сигнал с частотным диапазоном 10-80 Гц, корреляция полученной виброграммы со свипами 10-70 Гц, 10-60 Гц, 10-50 Гц и 10-



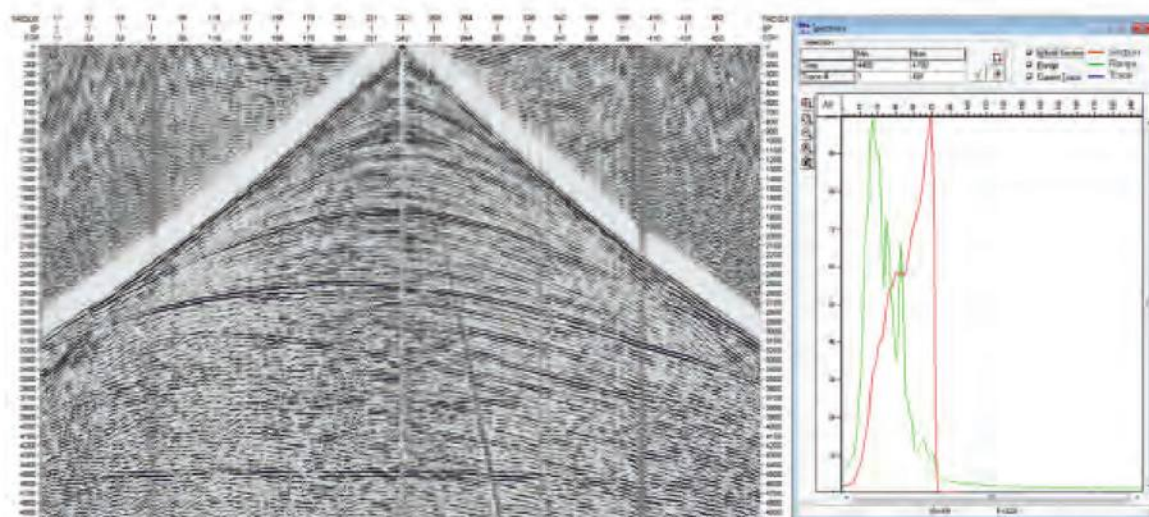
▲ Рис. 18. Коррелограмма и ее спектр. Весовая корреляция с амплитудным соотношением низких и высоких частот в свипе 1/1,5.



▲ Рис. 19. Коррелограмма и ее спектр. Весовая корреляция с амплитудным соотношением низких и высоких частот в свипе 1/2



▲ Рис. 20. Коррелограмма и ее спектр. Весовая корреляция с амплитудным соотношением низких и высоких частот в свипе 1/4.



▲ Рис. 21. Коррелограмма и ее спектр. Весовая корреляция с амплитудным соотношением низких и высоких частот в свипе 1/8.

40 Гц дает результат, визуально почти не отличающийся от корреляции со свипом 10-80 Гц. А ведь при обработке с укороченными свипами исключалась не просто высокочастотная составляющая, но и соответствующая энергия возбужденного сигнала на этих частотах. При этом коррелограммы, полученные с укороченными свипами по динамике мало различаются, что подтверждает тот факт, что высокочастотная составляющая сигнала очень мала и не вносит хоть какого-то вклада в формирование результирующих коррелограмм.

Одним из наиболее простых способов

хоть как-то увеличить взнос высоких частот в формирование корреляционной функции представляется применение обычной простейшей весовой корреляция, когда при корреляционной обработке амплитуда свипа (опорного сигнала) линейно (или по какому-то иному закону) увеличивается одновременно с увеличением частоты до какого-то заранее заданного уровня. Таким образом происходит коррекция частотно-зависимого затухания не в процессе излучения, а в процессе обработки данных. При этом сам возбуждаемый сигнал имеет обычную, равномерную АЧХ. При наличии в

отраженном сигнале высокочастотной составляющей весовая корреляция могла бы помочь его "вытащить".

Приведем примеры весовой корреляции на примере полевых сейсмических материалов, полученных в районе Прикаспийской впадины.

Из вышеприведенных рисунков видно, что с увеличением весовых коэффициентов от 1 до 8, визуально, хоть и немного, но повышается частотный состав записи. То же самое мы видим на приведенных спектрах.

Однако, одновременно мы можем наблюдать, что эффект увеличения высокочастотной составляющей не приводит к какому-то существенному улучшению качества реальной записи в целом. Это объясняется с нашей точки зрения тем, что в исходной записи в отраженных сигналах уже нет этой самой высокочастотной составляющей. Она полностью затухла при прохождении земной толщи, а мы с помощью весового корреляционного преобразования лишь усиливаем высокочастотные помехи.

Таким образом весовая корреляция в принципе может помочь повысить разрешенность полученных коррелограмм лишь при условии, что высокочастотный полезный сигнал реально присутствует на этих записях.

Следует отметить, что авторы не призывают тотально использовать низкочастотные свипы вместо широкополосных. Приведенные рисунки просто иллюстрируют тот непреложный факт, что излученные высокие частоты серьезно затухают в среде и не дают ожидаемого эффекта.

Поэтому перед началом работ рекомендуется в ходе ОМР определить в первую очередь оптимальный частотный состав излучаемого сигнала.

При этом на практике, как мы знаем,

заказчики зачастую требуют от исполнителей поднимать верхние частоты излучаемого сигнала необоснованно высоко.

В то же время приведенные выше примеры говорят нам, что без предварительного изучения закона частотно-зависимого затухания в земной толще нельзя просто умозрительно выбирать верхнюю частоту излучаемого сигнала, потому что необоснованно завышенная частота приводит к потере производительности труда за счет бессмысленного излучения высоких частот, к излишнему износу вибраторов и снижению качества сейсмограмм за счет увеличения высокочастотных шумов.

В заключение, резюмируя вышеизложенное, можно сказать следующее:

1). На всей протяженности коррелограммы всегда присутствуют КШ, как неотъемлемая часть самого метода ВИБРОСЕЙС. При этом особенно сильны они на первой секунде после любой зарегистрированной регулярной волны. В связи с этим необходимо всерьез учитывать влияние КШ на форму АЧХ при расчете спектров в выбранном окне и применять различные методики, помогающие снижать уровень КШ.

2). Эффективным средством для подавления КШ является применение конуса. При опытных работах рекомендуется подбирать оптимальную длительность конуса, исходя из баланса между желаемым отношением сигнал/шум и учетом потери части энергии излучаемого сигнала в случае выбора необоснованно длительного конуса.

3). Для повышения производительности полевых работ следует обратить внимание на использование одиночных длинных свипов вместо коротких, требующих последующего накопления. Одновременно длинные свипы за счет

медленной скорости изменения частоты позволяют получить в спектре излученного сигнала более выраженную низкочастотную часть.

4). Частотно-зависимое затухание сейсмического сигнала в среде является, с одной стороны, широко известным фактом, а с другой стороны, оно часто не учитывается при выборе частотного диапазона излучаемого свипа. Заказчикам и исполнителям вибросейсмических работ следует уделять очень серьезное внимание изучению этого явления на выбранной площади. И затем в соответствии с полученными результатами выбирать частотный диапазон свипа. Зачастую, исходя из самых благих побуждений, необоснованно выбирается верхняя частота в пределах 100 Гц и более. Хотя при этом, как правило, в зарегистрированном полезном сигнале частоты выше 60-80 Гц не наблюдаются (напоминаем, что на расчетном спектре высокие частоты могут проявиться, но не надо забывать, что, как говорилось выше, это, скорее всего, лишь влияние КШ и других помех). Отрицательным следствием выбора необоснованно высокой верхней частоты свипа является снижение производительности работ, ухудшение отношения сигнал/помеха, дополнительный износ вибраторов, а также излишний расход горючего.

Подробнее об авторах



Абдулвалиев
Марат Талгатович

к.т.н.,
Технический
директор НТЦ ПАО
«Геотек - Сейсморазведка»



Навроцкий
Александр Олегович

к.г.-м.н.,
начальник Управления
комплексного
сопровождения
ГРП ФГБУ «ВНИГНИ»