

Применение кусочно-линейных развёрток с целью уменьшения опасности разрушения зданий и сооружений при проведении вибросейсмических работ

■ Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск

В настоящее время многочисленные территории, на которых располагаются посёлки, города, промышленные и другие аналогичные объекты, остаются не исследованными сейсморазведкой поскольку существуют вполне обоснованные опасения разрушения зданий и сооружений при проведении вибросейсмических наблюдений.

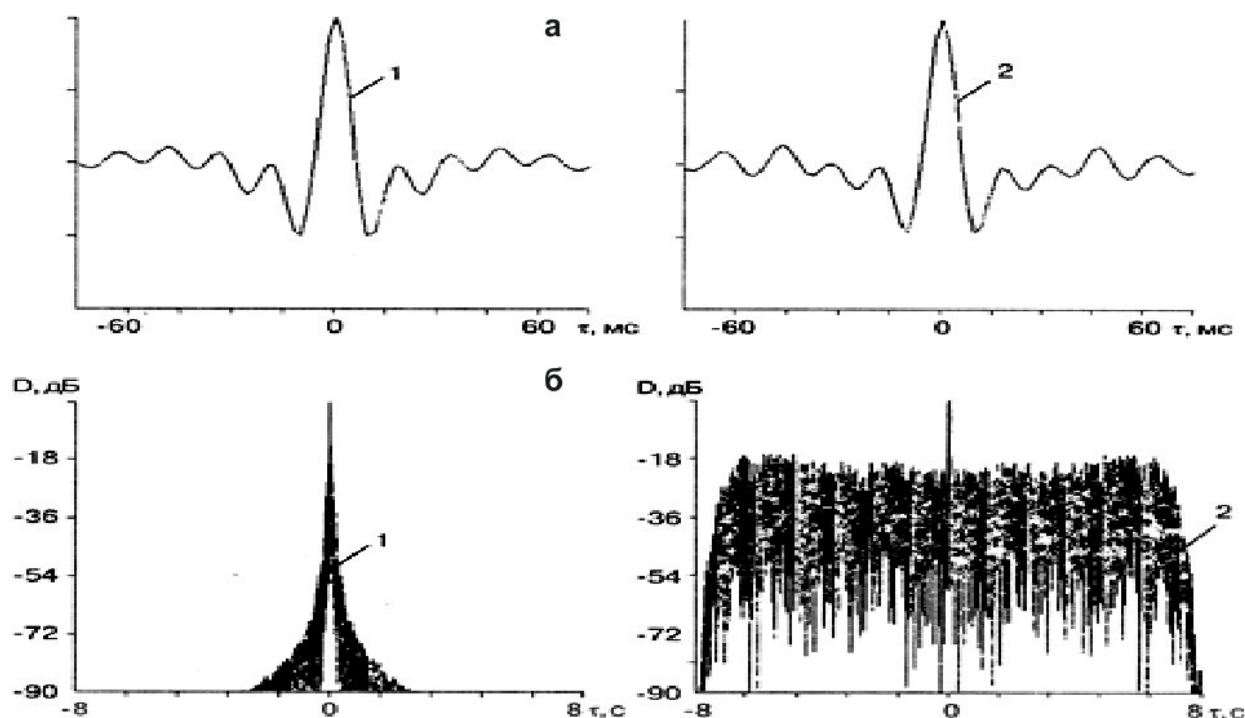
Весьма незначительное применение с целью снижения опасности разрушения зданий и сооружений получил способ, предполагающий возбуждение и регистрацию псевдослучайных сигналов типа RANDOM, у которых мгновенная частота развёртки меняется случайным образом в заданной полосе частот. Такие сигналы, отличаются повышенной скоростью изменения частоты в развёртке, и поэтому элементы конструкций зданий и сооружений не успевают войти в резонанс, что позволяет существенно снизить опасность их разрушения. К очевидным недостаткам указанного способа относится чрезвычайно высокий уровень корреляционного фона.

Так на рис. 1 приведены импульсы ФАК (а), а также графики динамического диапазона корреляционного преобразования (б), рассчитанные для ЛЧМ-сигнала с частотным диапазоном $\Delta F = 10-70$ Гц (1) и псевдослучайного сигнала типа RANDOM (2). Предварительно перед вычислением представленных статистических характеристик псевдослучайный сигнал был отфильтрован полосовым фильтром с полосой пропускания 10-70 Гц. Из рис. 1, а можно видеть, что главные максимумы ФАК сопоставляемых сигналов практически не отличаются друг от друга, что собственно и определяет

принципиальную возможность использования псевдослучайных сигналов для вибросейсмической разведки. Однако псевдослучайные сигналы характеризуются, как это видно из рисунка 1, б, чрезвычайно малым динамическим диапазоном корреляционного преобразования, не превышающим 18-24 дБ. Указанное обстоятельство фактически исключает возможность применения таких управляющих сигналов для решения задач нефтегазовой сейсморазведки.

Как уже отмечалось, физические причины уменьшения опасности разрушения зданий и сооружений при возбуждении псевдослучайных сигналов связаны с высокой скоростью изменения частоты возбуждаемых колебаний, т.е. с быстрым прохождением резонансных частот, соответствующих различным конструктивным элементам зданий и сооружений. Близкий эффект может быть достигнут и при использовании ЛЧМ-сигналов, отличающихся повышенными значениями скорости изменения частоты в развёртках, определяемой соотношением $\Delta F/T$, где ΔF и T - соответственно ширина частотного диапазона и длительность развёртки. Т.е. многократно увеличить скорость изменения частоты для ЛЧМ-развёрток представляется возможным исключительно за счёт сокращения длительности сигнала T , например, до 1-3 с. Вместе с тем, применение укороченных сигналов приводит к необходимости существенного увеличения кратности накопления и делает вибросейсмические наблюдения не технологичными.

Технологичное использование сигналов, характеризующихся повышенными значениями скорости изменения частоты



▲ Рис. 1. Результаты анализа ФАК ЛЧМ-сигнала (1) и псевдослучайного сигнала RANDOM(2) ($\Delta F=10-70$ Гц, $T=8$ с), а – главные максимумы ФАК; б – графики динамического диапазона корреляционного преобразования

ты, представляется возможным путём формирования непрерывной последовательности укороченных развёрток. Однако таким последовательностям соответствуют периодические корреляционные функции с периодом повторения, равным T , где T – длительность укороченных ЛЧМ-сигналов, формирующих данные последовательности. При этом в связи с необходимостью применения чрезвычайно малых в данном случае значений периода повторения T , указанная технология не может быть использована для большинства задач, стоящих перед нефтегазовой сейсморазведкой.

Для использования же в практической работе непрерывных последовательностей укороченных ЛЧМ-развёрток достаточно исключить на коррелограмме первый период повторения. В этом случае, например, при значениях T , равных 2 с или 3 с, коррелограмма в интервале соответственно 4 с или 6 с от первых вступлений будет свободна от

интенсивного корреляционного фона, связанного с периодичностью исходного сигнала.

Исключить первый период повторения на коррелограмме можно путём применения разнополярных непрерывных последовательностей укороченных ЛЧМ-сигналов [1]. При этом первый боковой дискрет ФАК функции кода таких последовательностей, определяющей закон изменения полярности, должен равняться нулю. Такое требование выполняется, например, для разнополярной последовательности, состоящей из 7 ЛЧМ-сигналов, функция кода которой, соответствует последовательности (1).

$$1 \ 1 \ 1 \ -1 \ 1 \ 1 \ -1 \ (1)$$

Первый боковой дискрет ФАК функции кода (1) равен нулю, поэтому выбор такого закона изменения полярности ЛЧМ-развёрток, формирующих последовательность, приведёт к обнулению

первого периода повторения коррелограммы.

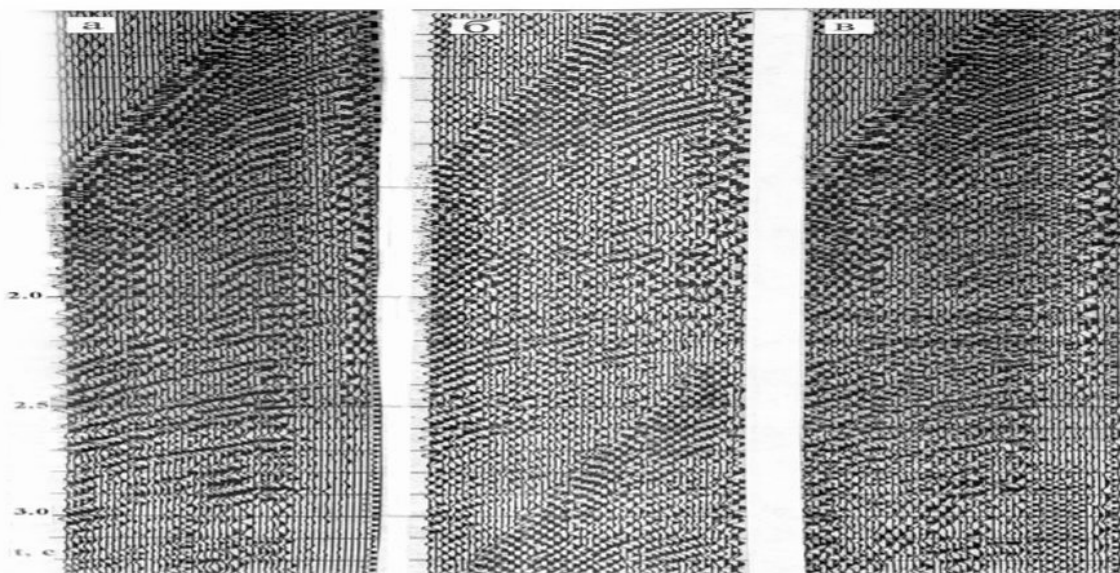
Профильные наблюдения с применением рассматриваемого способа были весьма успешно проведены ОАО «Краснодарнефтегеофизика» на территории ряда станций Краснодарского края и в частности в пределах станции Тбилисская. Ранее в связи с опасениями разрушить здания и сооружения вибросейсмические работы в станции Тбилисской не проводились. Геологическая задача в пределах исследуемой площади заключалась в поиске структурных ловушек в нижнемеловых и юрских отложениях. Отражённые от целевых границ волны регистрировались в интервале 2.6 - 3.2 с.

На ограниченном участке станции Тбилисская, расположенном на удалении от жилых домов, наблюдения проводились дважды: с использованием непрерывной разнополярной последовательности двух - секундных ЛЧМ-сигналов и обычных ЛЧМ-сигналов протяжённостью 10 с. Частотный диапазон развёрток соответствовал диапазону 10-48 Гц. Закон изменения полярности при использовании непрерывной последовательности ЛЧМ-сигналов соответствовал кодовой функции (1). Как уже отмечалось, при такой функции кода исключается первый побочный период корреляционной функции последовательности.

На рис. 2 сопоставлены коррелограммы, полученные в станции Тбилисской, с использованием обычных ЛЧМ-сигналов (рис. 2, а) и непрерывных разнополярных последовательностей 2-х секундных ЛЧМ-сигналов (рис. 2, б, в). Из рис. 2, а можно сделать вывод о том, что при вибросейсмических наблюдениях с применением стандартных ЛЧМ-сигналов на исходных коррелограммах достаточно качественно прослеживаются

целевые отражения, регистрируемые во временном интервале 2.6 - 3.2 с. При использовании же 2-х полярной последовательности, принципы построения которой несколько не соответствуют кодовой функции (1), целевые отражения были завуалированы интенсивным корреляционным фоном, формируемым первым периодом повторения коррелограммы (см. рис 2, б). В результате же применения разнополярной последовательности, составленной в соответствие с кодовой функции (1), в целевом интервале удалось практически полностью подавить компоненты корреляционного фона, связанные с периодичностью вибросейсмического сигнала (см. рис. 2, в). Следует при этом отметить, что работы выполнялись с использованием достаточно старой модели вибратора СВ-10/100, не обеспечивающей качественную фазовую коррекцию сигнала, поэтому полного подавления корреляционного фона, связанного с периодичностью сигнала не произошло. Тем не менее, даже такой уровень ослабления корреляционного фона позволил получить достаточно качественные временные разрезы.

Так, на рис. 3 приведены временные разрезы, полученные с использованием ЛЧМ-сигнала, а также с использованием разнополярной последовательности укороченных развёрток. На основании визуального сравнительного анализа разрезов можно сделать вывод о том, что суммарные записи, полученные с применением обычного ЛЧМ-сигнала и разнополярной непрерывной последовательности 2-х секундных ЛЧМ-сигналов, характеризуются практически равноценным качеством. Вместе с тем, выполненный спектральный анализ записей свидетельствует о том, что при использовании укороченных ЛЧМ-сигналов удаётся расширить эффективную ширину



▲ Рис. 2. Коррелограммы, полученные в станции Тбилисской: а – ЛЧМ-сигнал; б – непрерывная последовательность 2-секундных ЛЧМ-сигналов, функция кода 1 1 1 -1 1 1 -1 1; в – непрерывная последовательность 2-секундных ЛЧМ-сигналов, функция кода 1 1 1 -1 1 1 -1.

спектра в область высоких частот. Указанное обстоятельство является чрезвычайно принципиальным и физически связано с многократным увеличением скорости изменения частоты при использовании укороченных развёрток и в этой связи значительно более быстрым прохождением низкочастотного резонанса колебательной системы “вибратор-грунт”.

Для подтверждения указанных выше физических причин расширения высокочастотной части спектра при работе с последовательностью коротких развёрток были проведены специальные эксперименты. Так, на рис. 4 приведены амплитудные спектры корреляционных импульсов, полученных с использованием вибраторов СВ-5-150М при различной величине параметра ($\Delta F/T$). Колебания регистрировались акселерометром, установленным в грунте под плитой вибратора на глубине 20 см. Частотный диапазон ЛЧМ-развёрток оставался в процессе проведения эксперимента неизменным и равным 20–80 Гц.

Из рис. 4 следует, что по мере возрастания скорости изменения частоты ($\Delta F/T$) от 15 до 60 Гц/с, т.е. при уменьшении длительности развёртки T от 4 до 1 с, наблюдается тенденция расширения высокочастотной части спектра. Т.е. если при стандартных технологиях вибросейсмических наблюдений с использованием ЛЧМ-сигналов динамика возбуждаемых колебаний практически не зависит от длительности развёртки, то при длительностях 1-3 с и соответственно повышенных значениях отношения ($\Delta F/T$) вибратор не успевает войти в рабочий режим и это приводит к некоторому смещению спектра возбуждаемых колебаний в высокочастотную область.

Приведённые на рисунках 2 и 3 сейсмические записи получены с использованием непрерывных последовательностей, состоящих из 7 ЛЧМ-развёрток длительностью 2 с. Т.е. общая длительность сложного сигнала составляла 14 с. В настоящее время при работе на нефть и газ, как правило, применяются более протяжённые развёртки, длительность которых составляет 20–30 с. Поэтому для

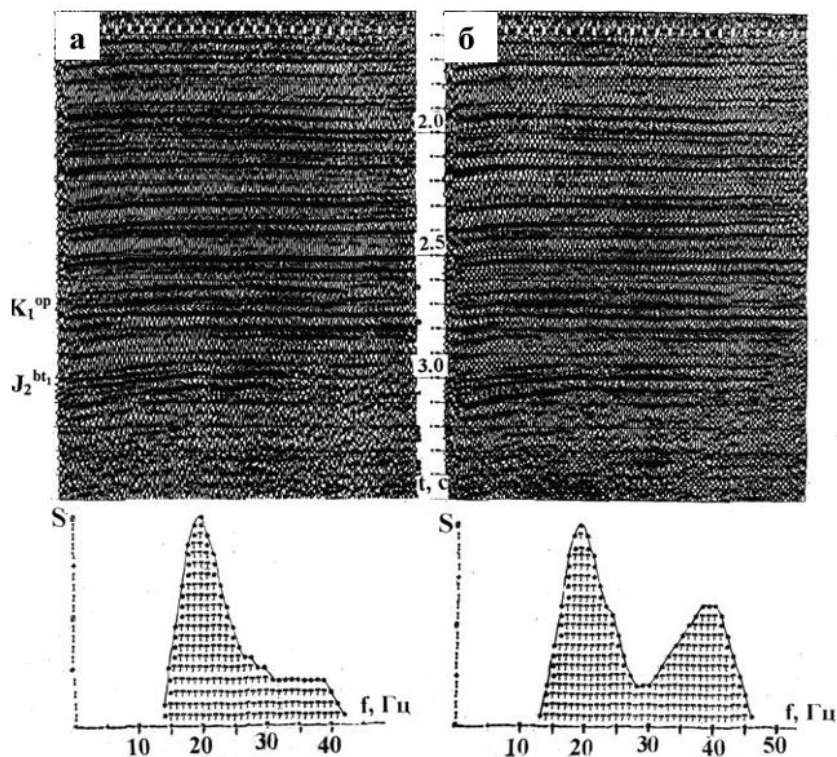


Рис. 3. Временные разрезы ОГТ, полученные в пределах станции Тбилисской:

а – ЛЧМ-сигнал;
б – непрерывная последовательность 2-секундных ЛЧМ-сигналов, функция кода 1 1 1 -1 1 1 -1; интервал спектрального анализа 2,6 – 3,2 с.

практической реализации рассмотренной технологии необходимо предусмотреть возможность возбуждения последовательностей, включающих большее число ЛЧМ-сигналов. Для этого сформируем алгоритм задания кодовых функций последовательностей, включающих произвольное число ЛЧМ-сигналов.

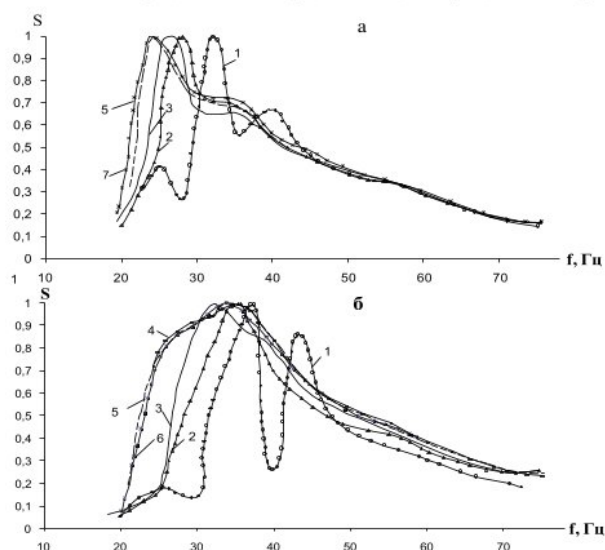
Функцию кода, у которой первый от главного максимума дискрет ФАК равен нулю, можно определить следующим образом [1]:

- количество единиц N в функции кода должно быть нечётным;
- отрицательные единицы функции кода последовательности, соответствующие обратной полярности, разделяются произвольным количеством единиц с положительным знаком; причём при условии, если $(N - 1) / 4 = p$, где p - натуральное число, общее количество отрицательных единиц в функции кода принимается равным p , а первый и последний дискреты функции кода задаются положительными единицами;
- при условии же если $(N - 1) / 4 = p +$

$1/2$, количество отрицательных единиц в функции кода принимается равным $(p + 1)$, а первая и последняя единицы имеют различную полярность.

Таким образом, существенно снизить вероятность разрушения зданий и сооружений при проведении вибросейсмичес-

Рис. 4. Влияние скорости изменения частоты в развёртке на амплитудные спектры возбуждаемых колебаний: а – глина; б – плотная гравийная дорога; 1 - $\Delta F/T = 60$ Гц/с; 2 - 30 Гц/с; 3 - 20 Гц/с; 4 - 15 Гц/с; 5 - 10 Гц/с; 6 - 7,5 Гц/с; 7 - 6 Гц/с.



ких наблюдений можно путём применения непрерывных разнополярных последовательностей укороченных до 2-3 с ЛЧМ-сигналов, характеризующихся повышенной скоростью изменения частоты колебаний. В связи с повышенным градиентом изменения частоты при работе с такими сигналами конструкции зданий и сооружений не успевают войти в резонанс, что многократно снижает вероятность их разрушения. Вместе с тем таким последовательностям соответствующие периодические корреляционные функции с периодом повторения, равным T , где T – длительность укороченных ЛЧМ-сигналов, формирующих данные последовательности. Поэтому практическое использование таких последовательностей представляется возможным при условии, если закон чередования полярности обеспечивает обнуление первого периода повторения корреляционной функции. Для этого первый боковой дискрет ФАК функции кода последовательностей, определяющей закон изменения полярности, должен равняться нулю.

Литература

1. Кострыгин Ю.П., Сидоренко Д.В., 1998, Способ вибросейсмической разведки: Россия, патент № 2102776.
2. Кострыгин Ю.П., Хасан Р.Е., 2018, Исследование возможности и целесообразности применения псевдослучайных кодовых функций при кодоимпульсном накоплении колебаний для решения задач нефтегазовой сейсморазведки. – Журнал «Геофизические технологии», №1, с. 39 – 50.

Подробнее об авторах



Кострыгин
Юрий Петрович

доктор технических наук,
профессор Кубанского
государственного
университета, директор
ООО «Новоросморгео»