

К вопросу о группировании вибраторов в горных условиях

■ Кострыгин Ю.П., Фокин С.А., ООО «Новоросморгео», г. Краснодар,

На современной стадии развития сейсмической разведки вопрос выбора оптимальных параметров группирования вибраторов сводится к определению максимально возможной базы группирования, при которой полоса пропускания амплитудно-частотной характеристики группы вибраторов для целевых отражений с минимальной кажущейся скоростью была бы согласована с шириной спектра регистрируемых целевых отражений.

Комплексная частотная характеристика группирования, как известно [1], определяется следующим выражением:

$$H(jw) = \sum_{n=0}^{N-1} e^{-[jwBn/v(N-1)]} \quad (1)$$

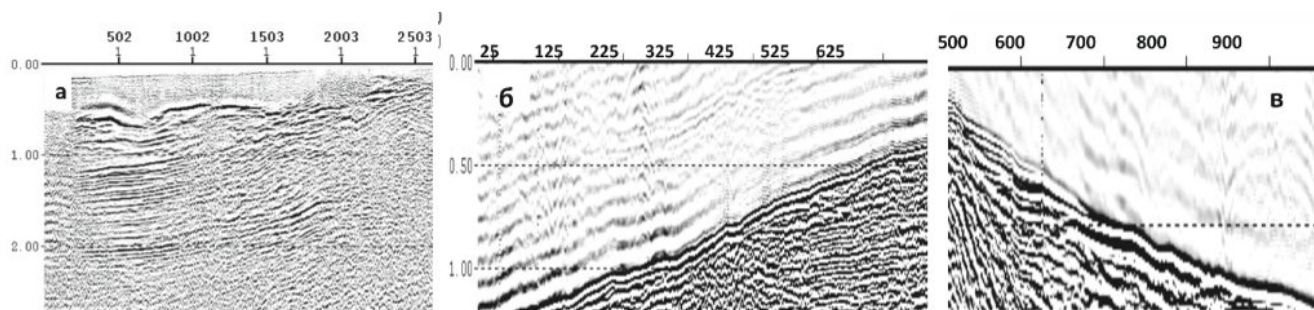
где B – база группирования вибраторов; N – количество вибраторов в группе; n – номер вибратора в группе; v – кажущаяся скорость волны, значения которой зависят, в частности, и от наклона дневной поверхности; w – циклическая частота.

Т.е. комплексная частотная характеристика группы вибраторов вычисляется путём прямого Фурье преобразования последовательности N импульсов Кронека, расставленных в соответствии с временными задержками, определяемыми соотношением $B \cdot n / v(N-1)$. Модуль комплексной характеристики соответствует амплитудно-частотной характеристике группирования. И, как уже отмечалось выше, оптимальная база группы вибраторов должна быть максимально протяжённой, однако при этом высокочастотные гармоники наиболее низкоскоростных целевых отражений не должны заметно ослабляться в результа-

те группирования. В относительно простых условиях целесообразность такой технологии выбора базы группирования очевидна и не вызывает сомнений.

В горных же условиях, как показывает практика, классическая технология по выбору параметров группирования с использованием выражения (1) требует некоторой коррекции. Физически это связано не только с наклоном дневной поверхности, но, как правило, в большей степени со сложной геоморфологией верхней части разреза (ВЧР). Так, на рис. 1 приведён фрагмент временного разреза, полученного с использованием вибросейсмического метода в горной части Ингушетии. В данном случае шаг между пунктами приёма составлял 3 м. Из рисунка можно видеть, что верхняя часть коренных пород представлена в конкретных условиях чрезвычайно сложными структурными формами, под влиянием которых и происходило формирование приповерхностной части разреза, включая и ЗМС. Именно по этой причине скоростная модель ВЧР в пределах горных участков во многих случаях достаточно резко меняет свои характеристики даже при незначительном перемещении по профилю, не превышающим 20–30 м. Указанное обстоятельство обуславливает дополнительные искажения возбуждаемых колебаний при группировании вибраторов в связи с увеличением значений расфазировки сигналов, возбуждаемых различными вибраторами, входящими в группу.

Так, на рис. 1, б приведены записи первых вступлений, зарегистрированных на различных участках горной части Ингушетии. Из рисунка можно видеть, что волны, преломлённые от подошвы ЗМС, характеризуются в конкретных



▲ Рис. 1. Типичные сейсмические записи, получаемые вибросейсмическим методом в условиях горной части Ингушетии. а – фрагмент временного разреза; б, в – примеры записей первых вступлений.

условиях многочисленными весьма резкими изломами годографов, что физически связано либо с усложнением геометрии подошвы ЗМС, либо с достаточно резкими изменениями вдоль профиля скоростной модели ВЧР.

С целью оценки реальных искажений сигнала группами вибраторов в сопоставлении с искажениями, определяемыми классическим путём посредством расчёта амплитудно-частотных характеристик группирования (1), в условиях горной части Ингушетии были выполнены специальные эксперименты. Колебания возбуждались 2-х элементной группой вибраторов NOMAD-65 на базе 10 м, 3-х элементной группой на базе 20 м и 4-х элементной группой на базе 30 м. Вибраторы располагались на горизонтальной площадке, регистрация колебаний осуществлялась одиночными сейсмо-

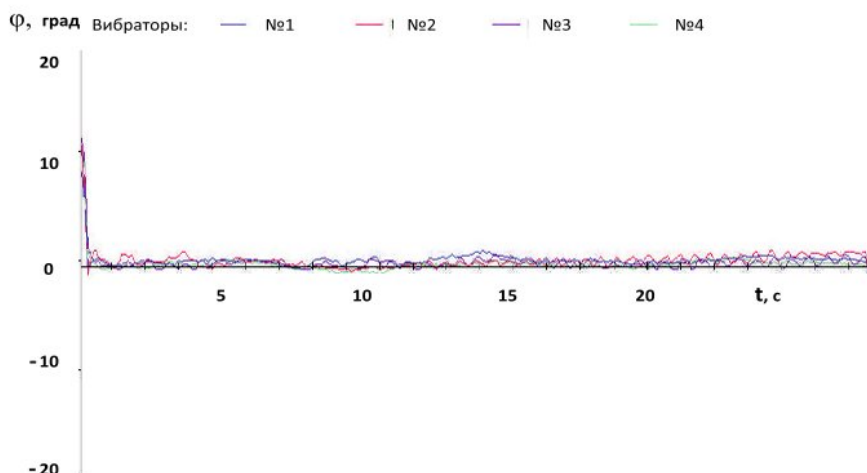


▲ Рис. 2. Рельеф местности в горной части Ингушетии, на участке проведения эксперимента.

приёмниками. Рельеф местности на участке проведения эксперимента показан на Рис. 2.

Для строгой оценки частотных искажений сигнала вследствие группирования, перед экспериментом была проведена профилактика вибраторов, позволившая уменьшить максимальные фазовые искажения в системе вибратор – грунт до 2-х градусов (рис. 3). Частотный диапазон

► Рис. 3. Результаты тестирования фазовых характеристик вибраторов NOMAD-65 №1, №2, №3 и №4, участвовавших в эксперименте.

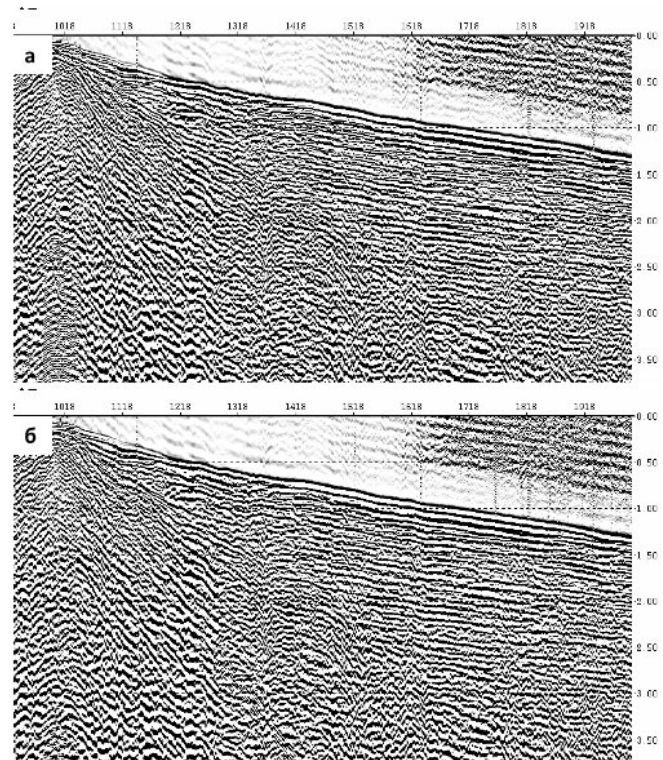


ЛЧМ-развёртки при тестировании равнялся 6–60 Гц, длительность сигнала 24 с.

На рисунке 4 сопоставлены коррелограммы, зарегистрированные с использованием 2-х элементного группирования вибраторов на базе 10 м и 3-х элементного группирования на базе 20 м. Результаты спектрального анализа данных сейсмограмм приведены на рис. 5. Окно анализа соответствовало временному интервалу 1,5–2,5 с и располагалось вне конуса доминирующих поверхностных помех. Кажущиеся скорости отражений в пределах окна анализа равнялись 3400 м/с.

Результаты классического анализа частотных искажений при группировании, к настоящему времени хорошо апробированному и заключающемуся в расчёте амплитудно – частотных характеристик группирования с использованием выражения (1), приведены на рис. 6. Из рисунка 6 можно видеть, что при кажущейся скорости отражений, равной 3400 м/с, переход от 2-х элементного группирования на базе 10 м к 3-х элементному группированию на базе 20 м гармоника на частоте 25 Гц должна ослабляться на $\approx 5\%$, гармоника на частоте 30 Гц на $\approx 6,25\%$, гармоника на частоте 35 Гц на $\approx 9,5\%$ и гармоника на частоте 40 Гц на $\approx 12\%$. Такие изменения динамики колебаний в практической работе имеют весьма несущественное значение.

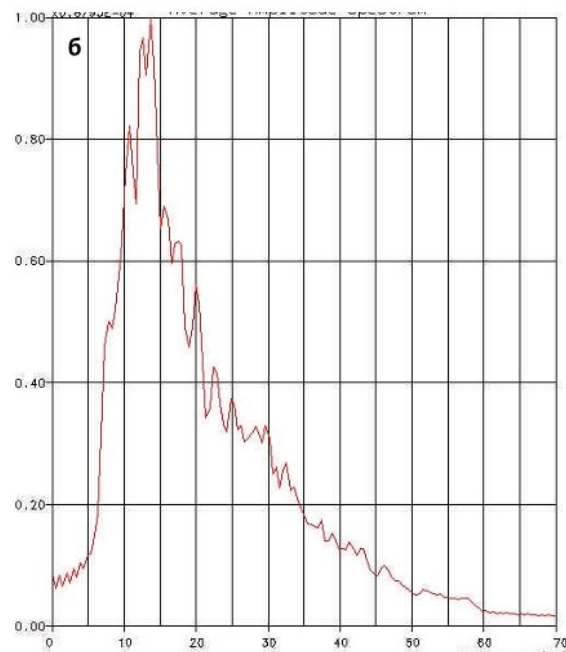
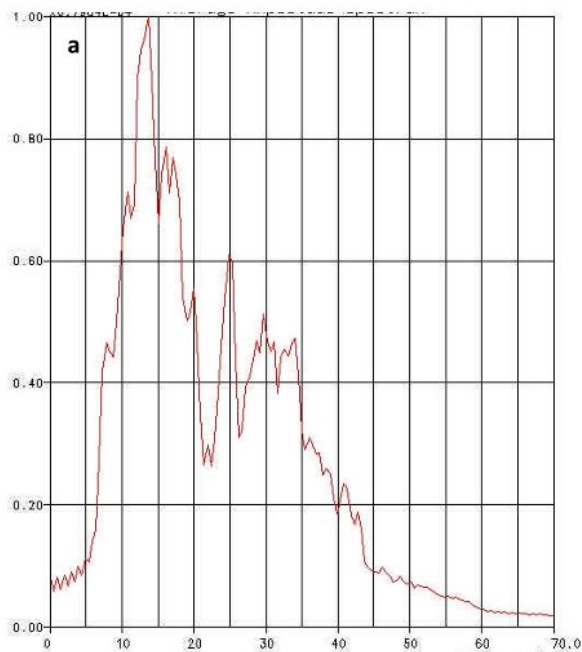
Реальные же изменения спектра отражений, которые на основании проведённого эксперимента мы наблюдали в горной части Ингушетии, были многократно более значительны. Так, при переходе от 2-х элементного группирования вибраторов на базе 10 м к 3-х элементному группированию на базе 20 м относительная спектральная плотность отражений на частотах 25 – 30 Гц уменьшилась



▲ Рис. 4. Коррелограммы, полученные при группировании 2-х вибраторов на базе 10 м (а) и 3-х вибраторов на базе 20 м (б).

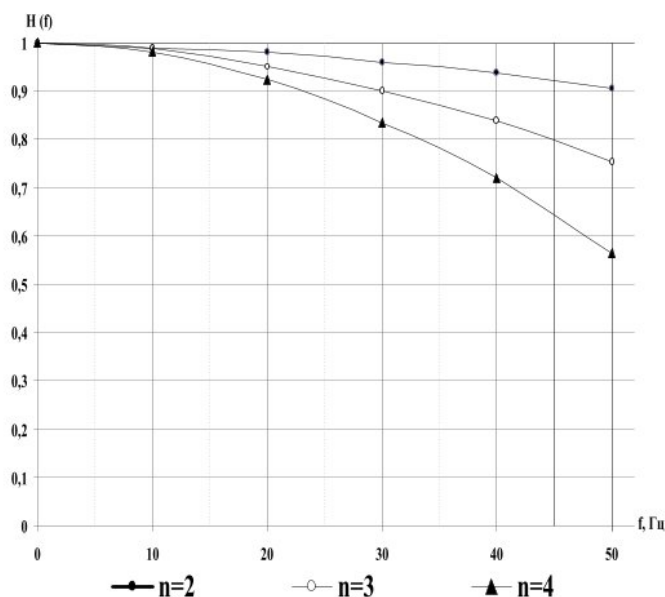
на 40%, на частоте 35 Гц на 47% и на частоте 40 Гц на 41%.

Аналогичная тенденция по результатам проведённого эксперимента наблюдалась и при переходе с 3-х элементного группирования вибраторов на базе 20 м к 4-х элементному группированию на базе 30 м. Так, в соответствие с теоретическими графиками, приведёнными на рис. 6, в результате такого перехода относительная спектральная плотность отражений на частоте 30 Гц должна уменьшаться на $\approx 8\%$, на частоте 35 Гц на 10% и на частоте 40 Гц на 14%. Т.е. изменения динамики колебаний, которые следовало бы ожидать на основании расчётов амплитудно-частотных характеристик группирования, весьма незначительные. Реально же по результатам проведённого эксперимента переход с 3-х элементного группирования вибраторов на 4-х элементное группирование привёл к заметному сужению спектра регистрируемых колебаний (см. рис. 7).

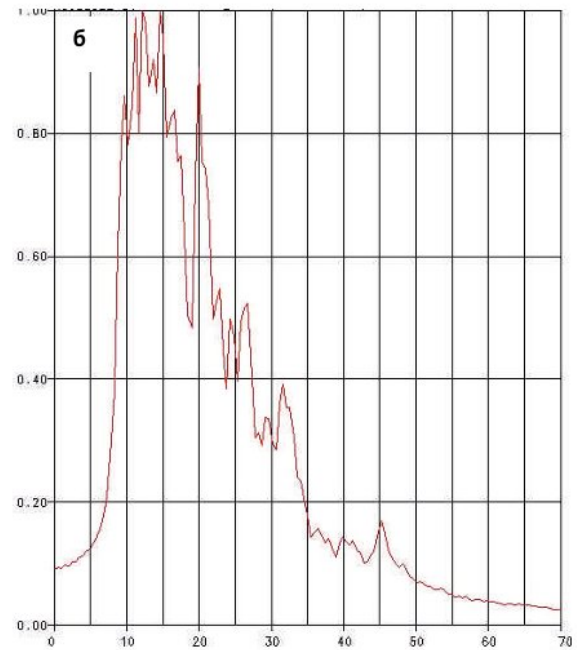
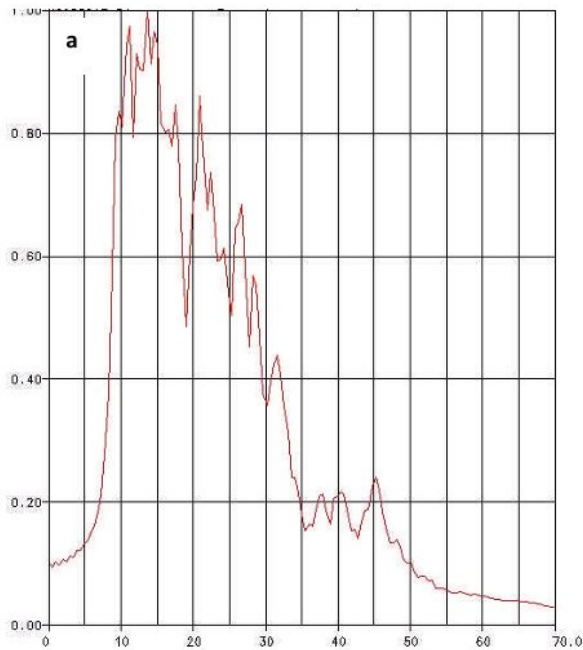


▲ Рис. 5. Сопоставление спектров отражённых волн, зарегистрированных с использованием группы 2-х вибраторов на базе 10 м и 3-х вибраторов на базе 20 м (ПР1, ПВ1051, $\Delta F=6-60$ Гц, $T=24$ с, $\text{пнак}=6$, начальный скос 200 мс., конечный скос 500 мс., окно анализа 1,5-2,5 с, вне конуса доминирующих поверхностных помех); а – два вибратора на базе 10 м; б – три вибратора на базе 20 м

Таким образом, в горных условиях, вследствие более сложной геоморфологии и в связи с этим весьма изменчивой вдоль профиля скоростной модели верхней части разреза, увеличение базы группирования вибраторов приводит к более значительному ослаблению высокочастотных составляющих сигнала, по сравнению с тем, что можно было бы ожидать в условиях равнины. Поэтому, если в равнинных условиях в качестве оптимальной базы группирования целесообразно рассматривать базу, при которой полоса пропускания частотной характеристики группирования для целевых отражений с наименьшими кажущимися скоростями согласована с шириной спектра регистрируемых колебаний, то в горных условиях существует необходимость минимизации базы группирования вибраторов. Так, если группа излучателей состоит из 2-х вибраторов, то расстояние между излучающими



▲ Рис. 6. Графики амплитудно – частотных характеристик группирования при использовании 2-х вибраторов на базе 10 м; 3-х вибраторов на базе 20 м и 4-х вибраторов на базе 30 м, рассчитанные с использованием выражения (1) (кажущаяся скорость отражений 3400 м/с)



▲ Рис. 7. Сопоставление спектров отражённых волн, зарегистрированных с использованием группы 3-х вибраторов на базе 20 м и 4-х вибраторов на базе 30 м (ПР1, ПВ5194, $\Delta F=8-70$ Гц, $T=24$ с, $\text{пнак}=6$, начальный скос 200 мс., конечный скос 500 мс., окно анализа 1,5-2,5 с, вне конуса доминирующих поверхностных помех); а – три вибратора на базе 20 м; б – четыре вибратора на базе 30 м

ми плитами целесообразно ограничивать размерами транспортной базы установки, т.е. ≈ 10 м. При использовании же, например, 4-х элементного группирования, вибраторы целесообразно расставлять вдоль двух линий, параллельных профилю, сохраняя при этом базу группирования по профилю, равной около 10 м.

Литература

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И., 2006, Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь: Издательство АИС, 744 с.