

Интерференционные системы регистрации упругих колебаний

Хараз И.И., НВ НИИГГ, г. Саратов



Регистрация упругих колебаний в сейсморазведке осуществляется интерференционными системами (ИСР), основанными на применении группы сейсмоприемников, размещенных по линии (чаще всего вдоль профиля) или площади и соединенных между собой последовательно при линейном группировании, или последовательно-параллельно при площадной группе (рис.5) [5]. Разрешающая способность ИСР зависит от длины базы размещения сейсмоприемников, которая должна превышать длину сейсмической волны при линейных системах. Площадные ИСР содержат несколько линейных баз размещения сейсмоприемников по осям X,Y, а направленность всей группы определяется произведением их диаграмм направленности.

Необходимость применения (ИСР) определяется осложненным интерференционными процессами упругим полем, формирующимся в гетерогенной геологической среде при возбуждении волн сейсмическими источниками и волнами, обусловленными нелинейными процессами, возникающими в пористых, заполненных флюидами породах, слагающих верхнюю часть геологического разреза. К ним относится сейсмоакустическая эмиссия (САЭ) сейсмический шум, сопровождающий явления релаксации напряжений, гидродинамические и геохимические процессы и обладающий широкой полосой частот и высокой чувствительностью к внешним воздействиям [1,2,3].

В геологической среде возникают также нелинейные явления, вызванные интенсивными и длительными во времени упругими колебаниями, зависящими от изменчивости состояния среды, состава грунта, мощности слоев, их обводненности и уровня грунтовых вод. В рыхлых, слабо связанных грунтах нарушается структура грунта, увеличивается объем трещиноватого пространства, происходит разрыхление пород. По мнению А.В.Николаева [4], процессы в поверхностных грунтах имеют различные значения деформации растяжения и сжатия, в связи с нелинейностью закона Гука. Поэтому при интенсивном упругом поле искажены формы сигналов: амплитуды сжатия слабее амплитуд деформации растяжения. При излучении интенсивных вибросигналов искажается форма синусоиды нарушается ее симметрия. В среде формируются сейсморадиационные напряжения, вызывающие деформации растяжения в окрестностях источника. Образуются локальные области вблизи источников: зоны растяжения и на некоторых удалениях зоны сжатия.

Одной из особенностей вибрационного поля в гетерогенных средах является формирование в верхней части разреза вторичных импульсных источников упругих колебаний, по интенсивности соизмеримых с источником излучения. От таких источников в среде формируются упругие поля, аналогичные полю источника возбуждения колебаний, но смещенные во времени. При распространении упругих колебаний на физических границах формируются многочисленные многократные волны, также распространяющиеся в

верхней части разреза и влияющие на физические процессы, происходящие в ней.

Одним из важных вопросов при сейсморазведочных работах является обеспечение вертикальности плоскости лучей в пространстве, несоблюдение которого существенно влияет на результаты интерпретации. Плоскость лучей будет вертикальна, если профиль ориентирован вдоль линии простирания пород, а база размещения группы излучателей превышает длину сейсмической волны и ориентирована перпендикулярно линии профиля. При расположении профиля вкрест простирания пород база интерференционного источника (ИСВ) ориентуруется вдоль него.

Отмеченные явления вызывают интенсивные интерференционные процессы в геологической среде, на фоне которых сложно, а зачастую, невозможно выделить на записях сигналы отраженных волн. В таких условиях необходимо применять ИСР колебаний, основной задачей которых должна быть избирательная регистрация сейсмических сигналов по вертикали, излученных ИСВ. Согласование диаграмм направленности систем возбуждения и регистрации обеспечивает динамически выраженную запись сигналов отраженных волн и ослабление интерференционных явлений. В сложных геологических условиях не всегда можно обеспечить вертикальность плоскости лучей в пространстве. Поэтому при сейсмических исследованиях применяют площадные ИСР, при которых регистрируются сигналы, распределенные на поверхности волнового фронта регистрируемой волны [5]. Рассмотрим результаты исследований, выполненных по изучению влияния параметров группирования приборов, размещенных по линии вдоль и перпендикулярно профилю и по площади, которые достаточно полно характеризуют возможности каждого вида группирования.

При продольном группировании приборов (рис.1) с увеличением их количества и длины базы регистрации снижается интенсивность сигналов низкочастотных и низкоскоростных волн-помех. Наиболее четкая запись получена при 40 приборах. Низкочастотные помехи полностью не ослаблены и просматриваются на записи на всех каналах.

При поперечном группировании (рис.2) низкочастотные колебания интенсивнее в сравнении сейсмограммой с продольным расположением приборов, что свидетельствует о более низкой эффективности такого группирования. Это отмечается при сравнении записей с равным количеством приборов со всеми вариантами группирования от 16 до 40 шт. Наиболее эффективны площадные группы с 32 и 40 приборами (рис.3).

Из анализа закономерностей изменения амплитуд сигналов и их спектров различных вариантов группирования следует. При линейном группировании отмечается незакономерное изменение графиков амплитуд от числа приборов в группе. Общим для них является уменьшение амплитуд с увеличением числа приборов в группе и базы группирования. Нет единой законо-

ИННОВАЦИИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

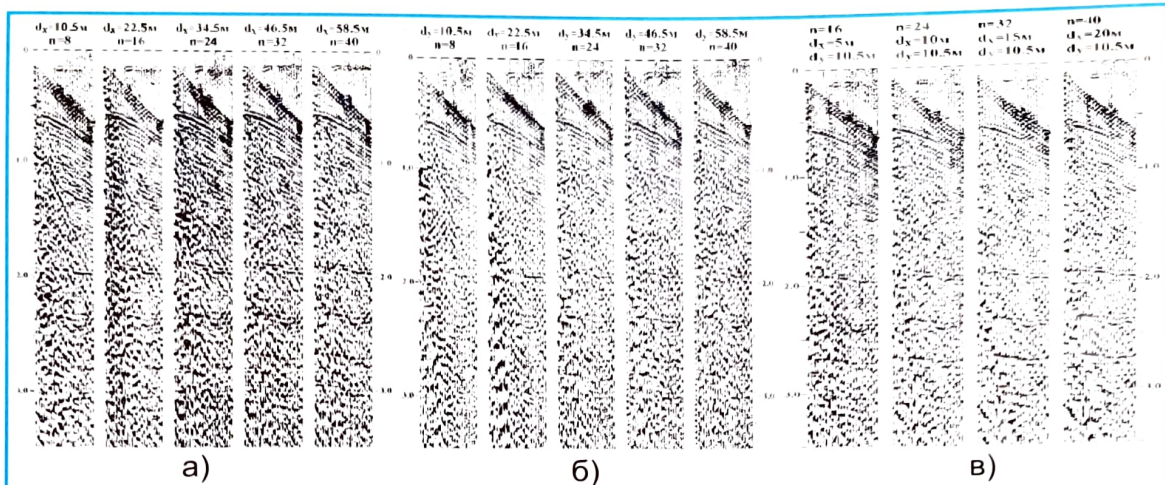


Рис. 1 Сейсмограммы группового источника а) - при продольном б) - при поперечном в) - при площадном группировании сейсмоприемников.
n - количество сейсмоприемников

мерности изменения частотного спектра сигналов. По-видимому, это связано с интерференцией сигналов отраженных волн и низкочастотных помех. В связи с распространением помех вдоль профиля изменяется соотношение времен их регистрации в разные моменты времени и на различных расстояниях от пунктов возбуждения. Из-за недостаточной направленности приемная группа полностью не подавляет низкочастотные помехи и поэтому в различные моменты времени и на разных каналах частотный состав суммарного сигнала отличается в связи с изменением соотношения фаз и амплитуд сигналов интерферирующих волн.

Иная картина на сейсмограммах, зарегистрированных при площадном группировании сейсмоприемников. По большинству графиков отмечается общая закономерность - постоянство или возрастание амплитуд и частотного состава экстремума с увеличением количества приборов и размера площади группы. На сейсмических записях это проявляется повышением динамической выразительности сигналов отраженных волн (рис.3). Большая стабильность закономерности изменения спектров сигналов от параметров площадной группы связана с повышенной остротой направленности этой группы в сравнении с линейной. Об этом можно судить также по материалам рис.4: у площадной группы спектр сигнала несущественно изрезан, он имеет четко выраженный экстремум. Если считать, что сигналы отраженных волн среднечастотные, то из сравнения графиков изменения спектров сигналов линейных и площадных групп следует вывод: площадные группы в большей степени ослабляют

низкочастотные помехи и усиливают среднечастотные сигналы отраженных волн (рис. 3.4).

Применение интерференционных систем возбуждения и регистрации колебаний при полевых работах связано с усложнением методики их выполнения и поэтому актуален вопрос о возможности использования интерференционных систем обработки.

Аналогичная задача уже решалась для интерференционных систем излучения колебаний [5,6]. Результаты изучения волнового поля, возбужденного интерференционными источниками (ИСВ) в среде и при лабораторном суммировании сигналов сейсмических волн показали, что такие системы существенно различаются по физическим процессам, а полевые системы эффективнее лабораторных [5,6]. При интерференционных источниках упругих колебаний с направленным излучением волновые поля в пространстве энергетически не равномерны, что обусловлено перераспределением энергии при интерференционных процессах в среде. Это приводит к изменению характера волнового поля: усиливаются сигналы волн из направлений, куда ориентирован максимум диаграммы направленности и ослабляются из других направлений. Последовательное изменение ориентации диаграммы направленности влияет на интенсивность регистрируемых волн. Таким образом, способность интерференционного источника выделять сигналы сейсмических волн обусловлена изменением соотношения энергии волн, образующихся на различных границах раздела путем концентрации ее в требуемом направлении. Вторая особенность таких источников - управление формой годографа



Рис. 4 Сопоставление спектров $A=f(f)$ и сигналов $A=f(t)$ группового источника при различных группах сейсмоприемников



ИННОВАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

отраженной волны. При этом усиливаются сигналы отраженных волн от изучаемой границы, распределение по оси синфазности ожидаемой формы, и одновременно снижается интенсивность сигналов образовавшихся на других границах. При обработке информации не происходит перераспределение энергии и изменение динамики сейсмических волн. На использованных при обработке записях сигналы отраженных волн зарегистрированы со своими динамическими особенностями и формой годографа и соответствуют глубине и скорости их распространения. Задача обработки сводится к использованию лабораторных интерференционных систем для поочередного выделения в волновом поле сигналов полезных волн по различию их кинематики. Эффективность методов обработки определяется остротой направленности системы и зависит от динамики интерферирующих волн. Чем меньше интенсивность целевой волны, тем труднее выделить ее при обработке. Это определяет незаменимость интерференционных полевых и лабораторных систем [5,6].

Группа сейсмоприемников является интерференционной системой регистрации колебаний, используемой для изменения интенсивности волн в зависимости от кажущейся скорости их распространения. Интенсивность сигналов волн зависит от длины базы размещения сейсмоприемников и их количества. Такие системы не могут изменять ориентацию диаграммы направленности в пространстве для последовательного усиления или ослабления сигналов в зонах интерференции. ИСР усиливают сигналы волн с близкими к вертикали направлениями распространения и ослабляют из других направлений.

В сложных геологических условиях при распространении падающих и отраженных волн, излученных ИСВ, изменяется ориентация плоскости лучей, вызванная влиянием строения среды и несоответствием ориентации профиля в пространстве направлению простирания пород. При этом изменяется кажущаяся скорость распространения волн, проекции точек отражения смещены от линии профиля. В связи с небольшой разрешающей способностью ИСР, из-за невозможности применения протяженных превышающих длину волны баз размещения сейсмоприемников, из-за гиперболической формы годографов, в процессе суммирования происходит осреднение, при котором определяющая роль в формировании суммарного сигнала зависит от интенсивности сигналов, распространяющихся под различными углами к вертикали. Это приводит к значительным искажениям спектра и формы сигнала, что и проявляется в неупорядоченном изменении графиков их амплитуд и формы. Поэтому надежность корреляции сигналов на записях зависит от интерференционных процессов, обусловленных наложением волн с различными значениями кажущихся скоростей, зависящих от изменчивости наклона плоскости лучей вдоль профиля.

При площадных ИСР сейсмоприемники расположены по площади и одновременно регистрируют сигналы, распределенные по поверхности волнового фронта (рис.5). Так как фазовые сдвиги вдоль фронта падающей (отраженной) волны не выходят за пределы $1/3 T$ (T -период колебаний), то суммарный сигнал площадной ИСР будет определяться, в основном, сигналами принадлежащими одной волновой поверхности. При этом необходимо учесть, что площадные ИСР обладают высокой остротой направленности, а поверхность волнового фронта

имеет большую площадь. Так, например, при 5 параллельно подключенных к косе линиях, перпендикулярных профилю и распределенных на расстояниях 5 м друг от друга и 7 последовательно подключенных сейсмоприемниках на расстояниях 3 м, площадь волнового фронта (базы регистрации) составляет 360 м². Таким образом, обеспечивается высокая статистика, избирательность и острота направленности площадных ИСР. При лабораторном суммировании описанные физические процессы отсутствуют.

Производство работ с площадными группами технологично при использовании схемы, приведенной на рис. 5. Сейсмоприемники в количестве (например) 8 шт. размещены на одной "косичке" на расстоянии dY и соединены последовательно. На соединительной линии каждого канала сделаны выводы на расстояниях dX . К ним подключены провода с приборами, которые расположены перпендикулярно профилю.

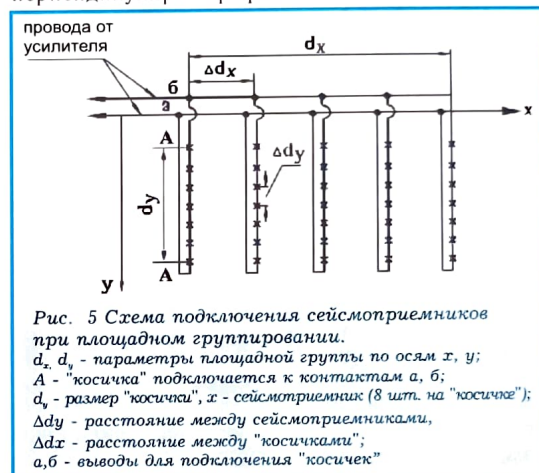


Рис. 5 Схема подключения сейсмоприемников при площадном группировании.

d_x, d_y - параметры площадной группы по осям x, y ;
 A - "косичка" подключается к контактам a, b ;
 d_x - размер "косички", x - сейсмоприемник (8 шт. на "косичке");
 d_y - расстояние между сейсмоприемниками,
 d_x - расстояние между "косичками";
 a, b - выводы для подключения "косичек"

Целесообразность применения площадных групп сейсмоприемников подтверждена многолетними работами Саратовской ГЭ на территории Прикаспийской впадины. Можно ожидать, что применение площадных ИСР с использованием современных высокочувствительной и многоканальной регистрирующей аппаратуры еще более повысит эффективность группирования сейсмоприемников.

Литература

1. Васильев Ю.А., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А., Иванова Л.А., Молотова Л.В., Николаев А.В., Соколов В.Л., Хаврошкин О.Б., Цыпиков В.В., Щербо М.Н. Экспериментальное исследование сейсморадиационного напряжения в мягком грунте. / Изв. АН СССР, Физика Земли, № 1, 1986 г.
2. Васильев Ю.А., Видмонт Н.А., Гвоздев А.А., Соколов В.Л., Хаврошкин О.Б., Щербо М.Н. Прямые измерения сейсморадиационного напряжения в мягком грунте. / В сб. Проблемы нелинейной сейсморазведки. М., Наука, 1987 г. с 149-152.
3. Беляков А.С., Гамбурцев А.Г., Лавров В.С., Николаев А.В., Приваловский Н.К. Иницирующие вибро-воздействия и сейсмическая эмиссия горных пород. Изв. РАН РФ, Физика Земли, № 2, 1996 г., с 68-74.
4. Николаев А.В., Павленко О.В., Яковлев А.П. Квазистатические деформации земной поверхности, вызванные вибровоздействием нелинейных свойств земных пород. Изв. АН РФ, Физика Земли, № 12, 1994, с 3-11.
5. Харас И.И. Интерференционные источники сейсмических волн (теоретические основы и методика работ) / ИВНИИГ, Саратов, 1992, 189 с.