

Адаптивное суммирование при накоплении сейсмограмм

■ Романов В.В., МГРИ–РГГРУ, г. Москва

Введение

При возбуждении сейсмических волн импульсными невзрывными источниками выполняется серия из 8–32 ударов при неизменном положении пункта возбуждения и расстановки приёмников. Полученная таким способом серия сейсмограмм суммируется для увеличения отношения «сигнал/помеха» за счёт относительного подавления случайных помех[1,2]. Если помехи, ослабляемые при суммировании сейсмограмм, чисто случайные (нерегулярные), относительное увеличение S/N оценивается как квадратный корень из числа накоплений[6] (1).

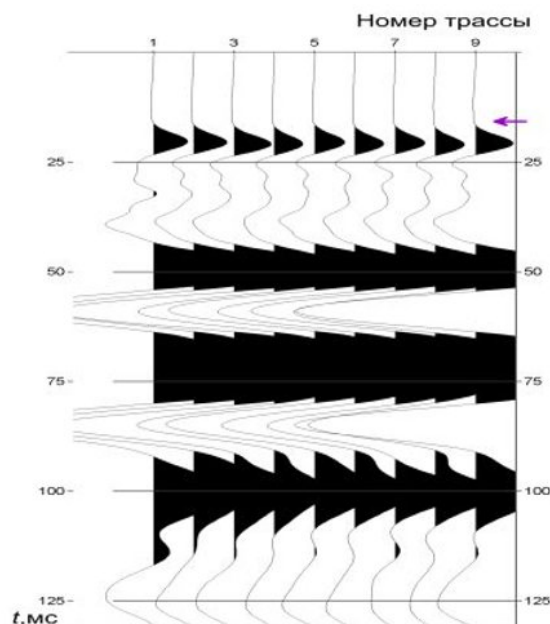
$$\frac{S}{N_{\Sigma}} = \sqrt{N} \frac{S}{N} \quad (1)$$

где S/N — отношение «сигнал/помеха» до суммирования, S/N_{Σ} — отношение «сигнал/помеха» после суммирования, N — число накоплений.

Однако такое ослабление возможно только при абсолютной регулярности трасс суммируемых сейсмограмм, то есть при совпадении форм и амплитуд импульсов, а также времён вступлений регистрируемых волн. Добиться полной идентичности повторных возбуждений никогда не удаётся, в силу множества причин. Средних:

1. Нестабильность срабатывания системы отметки момента в сеймостанции.
2. Необратимые деформации грунта при ударном воздействии.
3. Различия в мощности и направлении ударов при накоплении.

На рис.1 представлена сейсмограмма общего регистрирующего канала ОКР, где по порядку расположены графики коле-



▲ Рис. 1. Сейсмограмма общего регистрирующего канала (ОКР). Стрелкой выделена суммотрасса.

баний от 8-ми последовательных возбуждений на 12-ой канале сеймостанции. Данные были получены при помощи вертикальных ударов кувалдой массой 8 килограмм по горизонтальной металлической подложке[5]. Девятой по списку идёт нормированная суммотрасса, где стрелкой показано снижение резкости вступления из-за несинфазного накопления импульса[7]. Падение частоты и «размытие» вступления снижает разрешающую способность сейморазведки, сводя на нет преимущества слабых импульсных и вибрационных источников[1,6,7].

Вместе с тем, на рис.1. отчётливо видно, что амплитуда и форма импульсов волн в первых вступлениях практически одинаковы, когда как время вступления «плавает». Очевидно, что качество накопленных сейсмограмм в данном случае определяется нестабильностью работы системы отметки момента.

Особенно велика нестабильность такой системы в случае синхронизации по приёмнику, расположенному вблизи подложки[5].

Возникающие по вине системы синхронизации фазовые сдвиги традиционно корректируются полуавтоматически, то есть обработчик визуально анализирует значительный объём полевых данных и самостоятельно выбирает сдвиг каждой накапливаемой сейсмограммы. Высокая трудоёмкость и рутинность выполняемых операций подталкивают к необходимости разработки систем адаптивного суммирования накоплений на основе автоматического определения и коррекции возникающих фазовых сдвигов[9].

Алгоритм адаптивного суммирования сейсмограмм

Высокая идентичность отдельных трасс определяет возможность использования взаимнокорреляционных функций (ВКФ) для определения фазовых сдвигов при накоплении. Взаимнокорреляционные функции давно и успешно применяются в сейсморазведке — при обработке данных вибрационной сейсмики, коррекции статических поправок, определения скоростного закона, обнаружении слабых сигналов и для решения многих других задач[3,8].

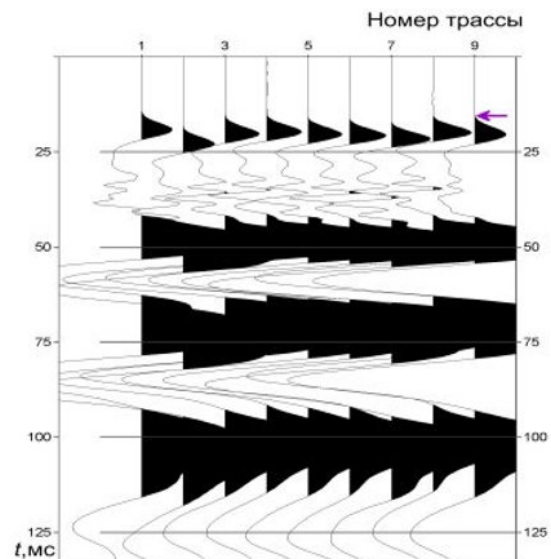
При вычислении ВКФ находится подобие между оцениваемой и модельной трассой, максимум корреляционной функции соответствует сдвигу между ними. В качестве модельной автор предлагает использовать суммарную трассу, так как положение её экстремумов практически не смещается даже при значительных фазовых сдвигах между складываемыми трассами. Точность нахождения максимума ВКФ во многом зависит от ширины окна, в котором она рассчитывается, поэтому окно целесооб-

разно расширить на всю длину записи сейсмограмм. Для более быстрого вычисления ВКФ автор применял быстрое преобразование Фурье (БПФ), так как в частотной области взаимнокорреляционная функция r_{12} равна произведению спектра оцениваемой трассы X_1 и комплексно-сопряжённого спектра модельной трассы X_2^* (2)[4].

$$r_{12} = F^{-1}[X_1 \cdot X_2^*] \quad (2)$$

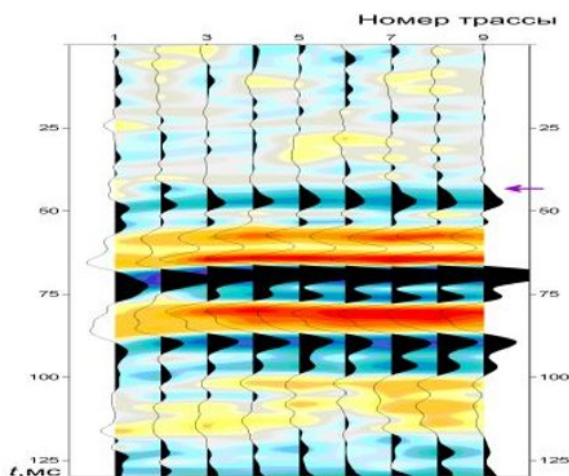
где F^{-1} — оператор обратного преобразования Фурье.

Выявленные сдвиги, соответствующие максимумам ВКФ, с обратным знаком применялись к трассам накапливаемых сейсмограмм, в результате чего они выравнивались по уровню суммотрассы. При достаточно высоком отношении «сигнал/помеха» складываемых сейсмограмм алгоритм работает безошибочно и уверенно исправляет возникающие фазовые сдвиги. После коррекции импульсы на суммотрассе имеют такое же резкое вступление, как и у суммируемых трасс (рис.2).



▲ Рис. 2. Сейсмограмма общего регистрирующего канала (ОКР) после коррекции фазовых сдвигов. Стрелкой выделена суммотрасса.

Для того, чтобы при автоматической коррекции шумящие или «мёртвые» трассы случайно не привели к неправильному выбору корректирующих значений, система адаптивного суммирования нуждается в предварительной настройке. Реализован выбор номера канала для оценки фазовых искажений и порогового значения ВКФ, при котором происходит коррекция. Однако высокий относительный уровень микросейсмических колебаний вдали от источника снижает эффективность работы алгоритма (рис. 3).



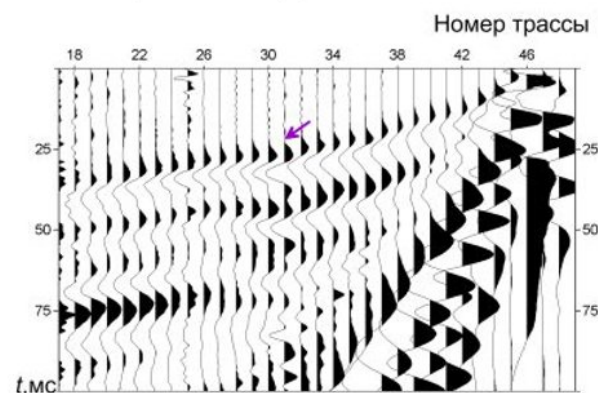
▲ Рис. 3. Сейсмограмма общего регистрирующего канала (ОКР) при высоком уровне случайного шума.

Поэтому номер канала для оценки значений ВКФ при накоплении должен постоянно изменяться, чтобы пункт приёма оставался на фиксированном удалении от источника. Соблюдение этого условия обеспечит стабильно высокое отношение «сигнал/помеха», по крайней мере, для волн в первых вступлениях. Единственной сложностью при таком подходе является выбор оптимального удаления и необходимость ввода геометрии в заголовки трасс до суммирования накоплений.

Результаты применения алгоритма.

Описанный алгоритм был реализован в виде программы для персонального компьютера «SWavePlus» и опробован на

ряде объектов, где проводилась инженерная сейсморазведка с накоплением слабых ударных воздействий. Последующая обработка была направлена в первую очередь на выделение волн в первых вступлениях, поэтому эффективность программы суммирования оценивалась по волнам указанного типа. На рис. 4.1 и рис. 4.2. приведены фрагменты сейсмограмм, полученные по схеме Z–Z в Серпуховском районе Подмоскovie.

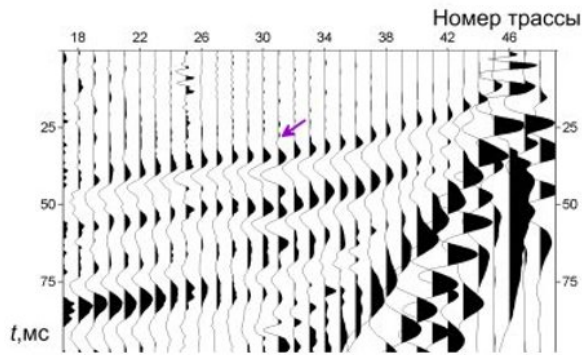


▲ Рис. 4.1. Сейсмограмма общей точки возбуждения (ОТВ), полученная путём обычного суммирования. Стрелкой показана волна в первых вступлениях.

Сейсморазведка применялась с целью прослеживания кровли карстующихся верхнекаменноугольных известняков, на которой образовывалась преломлённая волна с граничной скоростью около 2300 м/с. На рис. 4.1. показан результат использования обычного суммирования, на рис. 4.2 — адаптивного по удалению в 12 м. Можно видеть, что на рис. 4.1. снижена резкость вступлений, а времена вступления прямой волны вблизи источника систематически занижены. На рис. 4.2 вступления намного резче, годограф прямой волны чётко прослеживается даже на минимальных удалениях.

Выводы

Основным фактором, негативно влияющим на качество записей инженерной сейсморазведки при суммировании накоплений, является нестабиль-



▲ Рис. 4.2. Сейсмограмма общей точки возбуждения (ОТВ), полученная путём адаптивного суммирования. Стрелкой показана волна в первых вступлениях.

ность работы системы отметки момента в сейсморазведочных станциях. Особенно большие случайные и систематические сдвиги возникают при использовании синхронизации «по приёмнику». То обстоятельство, что сдвиг, вносимый системой синхронизации, одинаков для всех каналов сейсмограмм, позволяет оценить его всего по одному фиксированному каналу. Таковая оценка возможна на основе вычисления ВКФ между корректируемой трассой и суммой всех накоплений по одному из каналов. Выбор трассы для расчёта ВКФ происходит по некоторому постоянному удалению. Разработанный и реализованный в виде программы алгоритм адаптивного суммирования накоплений показал высокую эффективность в процессе предварительной обработки данных инженерной сейсморазведки. Основным достоинством предлагаемой системы является полная автоматизация обработки и заметное улучшение качества прослеживания целевых преломлённых и отражённых волн по сравнению со стандартным суммированием.

Литература

1. Жуков А.П., Тищенко И.В., Калимулин Р.М. и др. Адаптивная вибросейсморазведка в условиях неоднородного строения

верхней части геологического разреза // Технологии сейсморазведки. — 2011. — № 2. — С. 5–12.

2. Жуков А. П. и др. Сейсморазведка с вибрационными источниками / А.П. Жуков, С.В. Колесов, Г.А. Шехтман, М.Б. Шнеерсон—Тверь.: ООО «Издательство ГЕРС». — 2011.

3. Козырев, В. С., Жуков, А. П., Коротков, И. П. и др. Учет неоднородностей верхней части разреза в сейсморазведке / Современные технологии. Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр». — 2003.

4. Нестеров К.А., Шипилов А.А. Методика быстрого вычисления корреляции двух информационных сигналов // В сборнике: Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). — 2013. — С. 308–311.

5. Романов В.В. Инженерная сейсморазведка / М.: ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2015. — 278 с. — ISBN 978–94–6282–149–1.

6. Романов В.В. Возможности повышения разрешенности сейсмограмм метода преломленных волн (МПВ) // Технологии сейсморазведки. — 2013. — № 4. — С. 67–73.

7. Романов В.В. Особенности дифференцирования цифровых данных инженерной сейсморазведки // Геоинформатика. — 2014. — № 4. — С. 43–47.

8. Шнеерсон М. Б., Жуков А. П., Белоусов А. В. Технология и методика пространственной сейсморазведки / М.: ООО «Издательство «Спектр». — 2009.

9. Шнеерсон М.Б., Жуков А.П., Ченборисова Р.З. Нелинейные и фазовые искажения вибрационных сигналов и способы их коррекции // Геофизика. — 1997. — № 3. — С. 27–33.