

А. Ф. ЕМАНОВ

ВЛИЯНИЕ КОРОТКОЗАМЕДЛЕННОГО ВЗРЫВАНИЯ НА СЕЙСМОГРАММЫ ГЛУБИННОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

На основе экспериментов и записей промышленных взрывов на Урале и Кольском п-ове показано, что короткозамедленное взрывание (КЗВ) вносит в сейсмограммы искажения двух типов: ухудшение разрешенности волн за счет увеличения длительности сигналов; нарушение соотношений между амплитудами разных волн на записи из-за изменения направленности источника. Возбуждение δ -волн при КЗВ улучшается относительно мгновенного. Намечены подходы к обработке сейсмограмм промышленных взрывов для устранения на них последствий КЗВ.

Изучение влияния КЗВ на возбуждаемые в среде колебания актуально в геофизике и горном деле. Этому вопросу посвящено большое число работ [2, 3, 10, 12, 14, 15, 17—20], но, к сожалению, единого мнения о процессах в источнике пока нет. В данной работе исследуется влияние КЗВ на сейсмограммы, полученные на разных удалениях от пункта взрыва, с целью поиска подходов к созданию алгоритмов, устраняющих на сейсмических записях последствия растянутого во времени взрывания. Исследования ведутся по записям специальных экспериментов на юге Сибирской платформы и по сейсмограммам промышленных взрывов, полученных при ГСЗ на Урале Институтом геофизики УНЦ АН СССР и Баженовской геофизической экспедицией, а также на Кольском п-ове — Геологическим институтом КФ АН СССР.

При изучении влияния КЗВ на сейсмические колебания ключевым является вопрос о представлении сейсмограммы промышленного взрыва в виде простой суммы сейсмограмм от составляющих его мгновенных взрывов, т. е. исследуется, можно ли действие КЗВ описать инвариантной во времени линейной системой. Положительно вопрос решается при поверхностном анализе влияния КЗВ на сейсмограммы, когда сравниваются записи на один и тот же регистратор, установленный около карьера, двух взрывов с одного места: мгновенно и короткозамедленно инициируемого. Обычно такое сопоставление осуществляется в спектральной области, где

принимают, что влияние КЗВ на сейсмограмму описывается линейной инвариантной во времени системой, спектральная характеристика которой равна

$$B(\omega) = \sin(\omega n T / 2) / \sin(\omega T / 2), \quad (1)$$

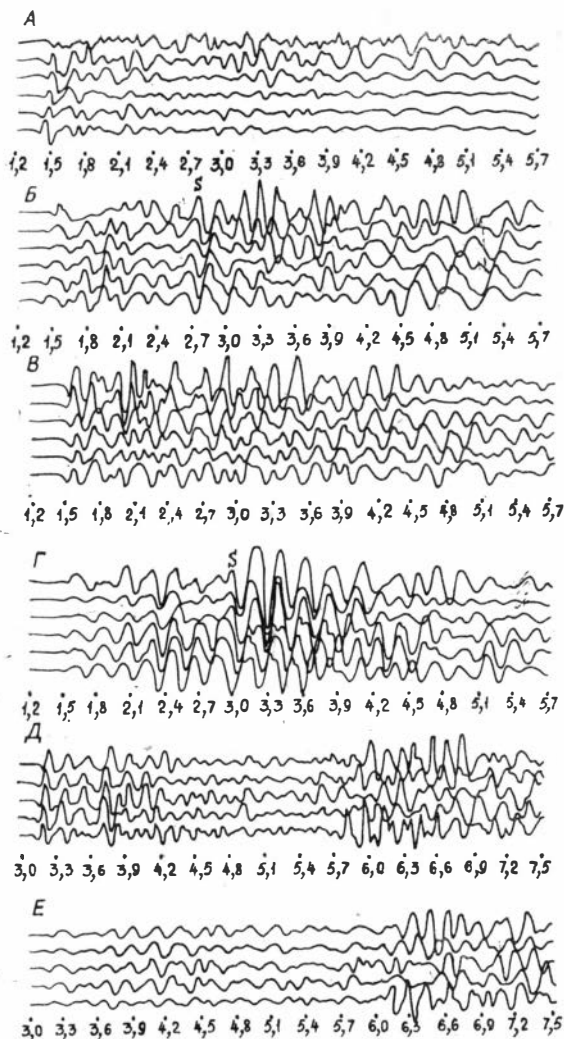
где n — число мгновенных взрывов, входящих в короткозамедленный, а T — интервал замедления. Рассчитываются спектры сейсмограмм мгновенного и короткозамедленного взрывов, затем первый из них умножают на $B(\omega)$ и результат сравнивают со вторым. В [2] приведены данные такого сравнения в условиях угольных карьеров Урала, где соблюдалось равенство зарядов в ступенях взрыва, каждый из которых расположен в одной скважине, т. е. использовалась самая простая схема взрывания, что облегчает исследование влияния КЗВ на сейсмограммы. Аналогичные эксперименты проведены в США [19], подобные же сравнения сделаны по сейсмограммам промышленных взрывов на карьере Ждановский (Кольский п-ов) [14], где анализировались сейсмограммы взрывов при неравных интервалах замедления. В указанных работах авторы приходят к выводу об удовлетворительном, но не полном соответствии между сравниваемыми спектрами. Неплохое согласование наблюдается в области побочного максимума спектральной характеристики КЗВ ($B(\omega)$), а в полосе гашения различия весьма сильны, что объясняется разбросом амплитуд возбуждаемых сигналов, неточностями замедления и т. п. Такая трактовка результатов равносильна признанию, что действие короткозамедленного взрывания на колебания описывается линейной инвариантной во времени системой, лишь функция $B(\omega)$ отличается от принятой при расчетах.

К противоположным выводам приводит более детальный анализ изменений спектров сейсмограмм при КЗВ [17, 18, 20]. Так, в [20] опубликованы результаты спектрального анализа записей взрывов, проведенных в 1, 3, 7, 15 скважинах и осуществленных с замедлением 17 мс между каждой из них (записи велись вблизи пункта взрыва). Показано различие во влиянии КЗВ на спектры объемных и поверхностных волн. Высказано предположение о зависимости влияния КЗВ на сейсмограмму от типа волны. Тот факт, что вблизи пункта взрыва разные типы волн интерферируют друг с другом, мешая получить спектр волн исследуемого типа в чистом виде, делает данные выводы неуверенными. В работах [17, 18] доказано, что сейсмический эффект на P -волнах уменьшается при КЗВ сильнее, чем на S -волнах. При этом анализировались сейсмограммы на большом удалении от карьера (156 км), где разные типы волн регистрируются раздельно. Отмеченные факты мешают применению инвариантной во времени линейной системы для описания действия КЗВ на сейсмограммы.

Для изучения такого влияния был проведен следующий эксперимент. На одном и том же месте произведены мгновенный и короткозамедленный взрывы, последний состоял из 24 зарядов по 37,5 кг, каждый из которых взрывался с замедлением 15 мс. Взрывы произведены в болоте при погружении на 1,5—2 м и примерно на таком же расстоянии между ними. Пункт взрыва расположен на одном из профилей ГСЗ в южной части Сибирской платформы. Регистрация осуществлялась комплектами аппаратуры «Тайга», расположенными от пункта взрыва в двух противоположных направлениях. Записи с высоким отношением сигнал/помеха по первым вступлениям получены на регистраторах, расположенных на удалении 6,13 км с одной стороны от источника и 6,09, 15,73, 26,04 с другой (рис. 1).

Рассмотрим пригодность широко использовавшегося ранее сравнения теоретического и экспериментального спектров для доказательства применимости выражения (1) в описании влияния КЗВ на сейсмограммы. Поскольку различия в сравниваемых спектрах объясняются разбросом амплитуд возбуждаемых сигналов и ошибками осуществления замедлений, оценим, какое влияние ошибки оказывают на спектральную характеристику КЗВ. Среднее по множеству реализаций влияние неточностей замедления оценивалось в [2, 6], необходимо знать возможные отклонения

Рис. 1. Сейсмограммы мгновенно-икороткозамедленного взрыва. $T = 15$ мс, $n = 24$, каждый заряд по 37,5 кг; А, В, Д — мгновенного взрыва на удалениях от источника 6,13 км с одной стороны и 6,09, 15,73 км с другой стороны соответственно; В, Г, Е — короткозамедленного взрыва на этих же удалениях.



от среднего. При ошибках в интервалах замедлений осредненная по множеству реализаций спектральная характеристика КЗВ равна [6] $MB_{\tau}(\omega) = \chi(\omega)B(\omega)$, где $\chi(\omega)$ — характеристическая функция распределения случайной величины τ_k , а τ_k — отклонения от интервала замедления, появляющиеся в результате неточного срабатывания замедлителей. Если принять, что τ_k распределена нормально с нулевым средним и дисперсией σ_{τ}^2 , то

$\chi(\omega) = e^{-\sigma_{\tau}^2 \omega^2 / 2}$. Отклонения спектральной характеристики от среднего при каждом конкретном эксперименте характеризуются дисперсией [8] $DB_{\tau}(\omega) = n(1 - |\chi(\omega)|^2)$. Значения спектральной характеристики КЗВ определяются выражением $\tilde{B}(\omega) = \chi(\omega)B(\omega) \pm 3\sqrt{n(1 - |\chi(\omega)|^2)}$. Математическое ожидание и пределы изменения модуля спектральной характеристики КЗВ изображены на рис. 2, В. Математическое ожидание при ошибках, близких к реальности, мало отличается от $B(\omega)$ (средняя кривая на рис. 2, Д), но пределы возможных отклонений быстро увеличиваются с частотой.

Рассмотрим влияние разброса амплитуд на спектральную характеристику КЗВ. Легко показать, что осредненная по множеству реализаций спектральная характеристика КЗВ равна $MB_a(\omega) = \bar{a}B(\omega)$, где \bar{a} — средняя амплитуда возбуждаемых сигналов. Дисперсия определяется аналогично дисперсии спектральной характеристики группы сейсмоприемников при наличии флуктуаций амплитуд регистрируемых волн [4]: $DB_a(\omega) = n\sigma_a^2$. Пределы изменения значений спектральной характеристики за счет разброса амплитуд даются выражением: $\tilde{B}_a(\omega) = B(\omega) \pm 3(\sigma_a/\bar{a})\sqrt{n}$. Пример осредненной спектральной характеристики и возможные пределы ее изменения при $\sigma_a/\bar{a} = 0,1$ даны на рис. 2, Д. Спектры сейсмограмм мгновенного и короткозамедленного взрывов иллюстрируются рис. 2, А, В (удаление от источника 6,13 км), а спектры, полученные умножением спектров обоих взрывов, — на рис. 2, Г, Е. Пределы возможных значений спектра, обусловленные разбросом амплитуд и неточностями замедления, велики. Так как флуктуация амплитуд и ошибки замедления оказывают совместное влияние на спектральную характеристику КЗВ, то наблюдаемый спектр, разместиться в пределах возможных значений.

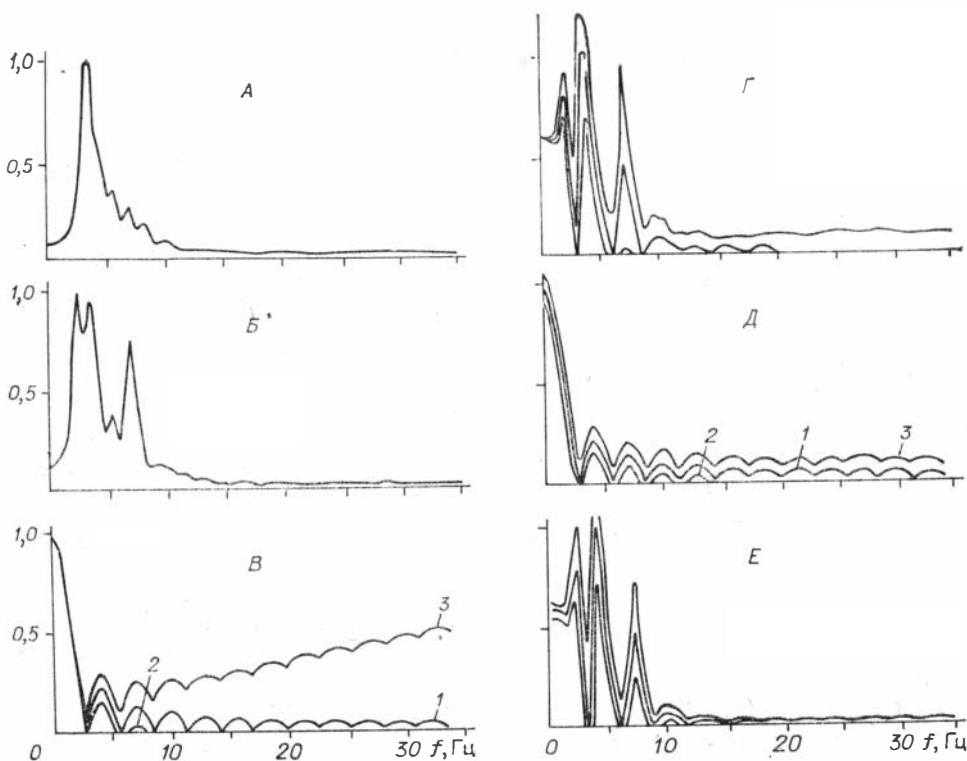


Рис. 2. Сравнение экспериментальных и теоретических спектров сейсмограмм короткозамедленных взрывов.

Модули спектра сейсмограммы: А — короткозамедленного и В — мгновенного взрывов (см. рис. 1); модули спектральной характеристики КЗВ: В — при наличии ошибок замедления, Д — с учетом разброса амплитуд (1 — математическое ожидание, 2 и 3 — пределы изменения $\sigma_{\tau} = 3$ мс (В), $\sigma_a = 0,1$ (Д)); модули теоретического спектра сейсмограммы короткозамедленного взрыва с учетом Г — ошибок замедления, Е — разброса амплитуд.

Приведенный пример показывает, что сравнением вычисленных и экспериментальных спектров нельзя доказать практическую пригодность выражения (1). Нужно знать разброс амплитуд и ошибки замедления. Если измерение момента каждого взрыва вполне реально, то измерение амплитуд возбуждаемых сигналов весьма затруднительно, поэтому важно создать более эффективные методы проверки линейности влияния КЗВ на сейсмограммы, не требующие знания амплитуд возбуждаемых сигналов и моментов взрывов.

Принимая, что действие КЗВ на сейсмограммы описывается линейной инвариантной во времени системой, сейсмограмму мгновенного взрыва можно рассматривать как ее вход, а короткозамедленно инициируемого — как выход. По имеющимся входу и выходу определим два авто- и один взаимный спектр

$$\begin{aligned} R'_0(\omega) &= R_0(\omega) + Z_0(\omega), & R'_3(\omega) &= |B(\omega)|^2 R_0(\omega) + Z_3(\omega), \\ R_{03}(\omega) &= B(\omega) R_0(\omega), \end{aligned} \quad (2)$$

где $R'_0(\omega)$, $R'_3(\omega)$ — спектры мощности сейсмограмм мгновенно и короткозамедленно инициируемого взрывов соответственно; $Z_0(\omega)$ и $Z_3(\omega)$ — спектры мощности помех на этих сейсмограммах; $R_0(\omega)$ — спектр мощности сигналов на сейсмограмме мгновенного взрыва. Зная сигнал на входе и выходе линейной системы, ее спектральную характеристику найдем по формуле [5]

$$B(\omega) = R_{03}(\omega)/R'_0(\omega). \quad (3)$$

Исходя из уравнений (2), модуль спектральной характеристики КЗВ

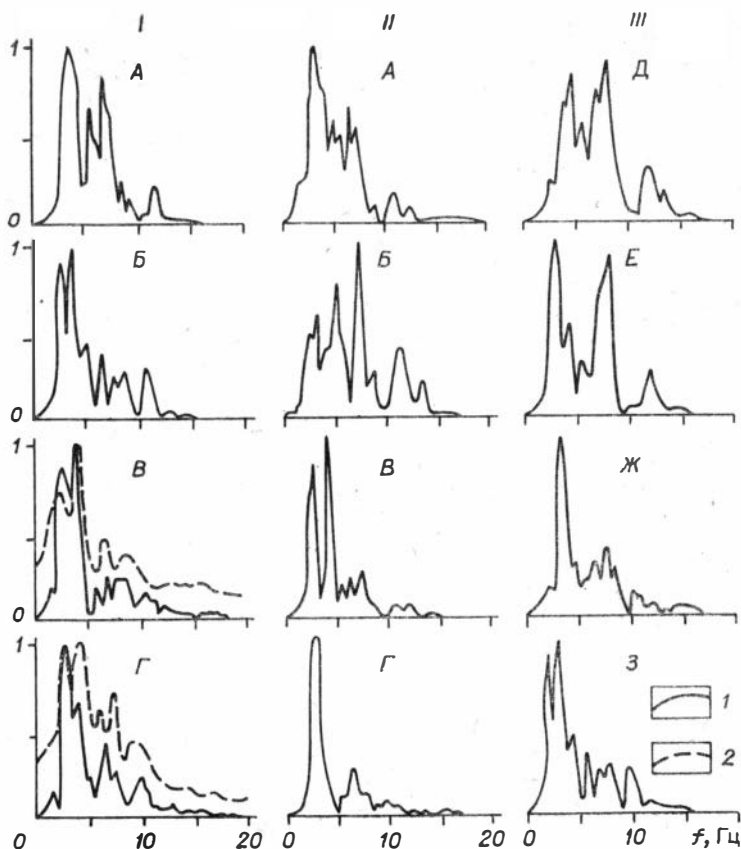


Рис. 3. Модули спектральных характеристик короткозамедленного взрывания. I — определены по записи длиной 1,8 с от начала, II — по всей записи, III — по равным отрезкам в разных частях сейсмограммы, полученных на удалении 15 км от источника (см. рис. 1); А — удаление от источника 26,94 км; Б — 15,73; В — 6,09; Г — 6,13 с противоположной стороны; Д — по участку записи 5,7—7,5 с; Е — 4,8—6,6; Ж — 3,9—5,7; З — 3,0—4,8 с; 1 — определены через взаимный автоспектр, 2 — через отношение автоспектров.

можно определить тремя путями:

$$|B(\omega)| = |R_{03}(\omega)/R'_0(\omega) = R'_3(\omega)/|R_{30}(\omega)| = \sqrt{R'_3(\omega)/R'_0(\omega)}. \quad (4)$$

Эти формулы точны, если нет помех, при помехах каждый из трех вариантов дает несколько отличающиеся результаты:

$$\begin{aligned} |R_{03}(\omega)/R'_0(\omega) &= |B(\omega)| \{1/[1 + Z_0(\omega)/R_0(\omega)]\}, \\ R'_3(\omega)/|R_{30}(\omega)| &= |B(\omega)| \cdot [1 + Z_3(\omega)/R_3(\omega)], \quad \sqrt{R'_3(\omega)/R'_0(\omega)} = \\ &= |B(\omega)| \cdot \sqrt{[1 + Z_3(\omega)/R_3(\omega)]/[1 + Z_0(\omega)/R_0(\omega)]}, \end{aligned}$$

где $R_3(\omega)$ — спектр мощности сигналов на сейсмограмме короткозамедленно инициируемого взрыва. Каждый вариант определения $|B(\omega)|$ отличается влиянием на него помех, имеющих на сейсмограммах.

В случае, когда влияние КЗВ на сейсмограммы не описывается линейной инвариантной во времени системой, равенства (4) не имеют места даже при отсутствии помех. Следовательно, если найденные по разным формулам $|B(\omega)|$ при высоком отношении сигнал/помеха на обрабатываемых сейсмограммах не совпадают, то это может быть критерием неинвариантности во времени действия КЗВ на данную запись.

Для меняющихся во времени процессов плодотворно применение текущих спектров [1]. Аналогично можно оценить, инвариантно ли во времени действие КЗВ на сейсмограммы, определив его спектральные характеристики по разным временным участкам или по записям, полученным на разных удалениях от источника. На рис. 3 показаны такие характери-

стики, для их нахождения использовалось осреднение результатов по шести каналам каждой из регистрирующих установок; для уменьшения влияния помех на результат применена регуляризация по Кюнццу: $B(\omega) = R_{03}(\omega)/(R_0(\omega) + \alpha)$, где $\alpha = \text{const}$ — параметр регуляризации. Спектральные характеристики, определенные по начальным частям сейсмограмм (секция I), более соответствуют друг другу, чем характеристики, определенные по всей записи (секция II). На отрезках сейсмограмм длиной 1,8 с от начала на данных удалениях присутствуют только P -волны, а при анализе всей записи охватываются и P - и S -волны. Другой пример неинвариантности во времени влияния КЗВ иллюстрирует секция III, где представлены спектральные характеристики, найденные по равным отрезкам времени в разных частях сейсмограмм. Видно, что влияние КЗВ изменяется вдоль записи, участком наиболее резкого изменения является время вступления S -волн. На рис. 3, В, Г изображены модули спектральных характеристик КЗВ, определенные по одним и тем же отрезкам записей, но по разным вариантам формул. Хотя результаты, полученные по разным формулам, имеют общие черты, различия их нельзя объяснить влиянием помех.

Приведенные данные подтверждают отмеченный ранее факт различного влияния КЗВ на разные типы волн и, кроме того, показывают зависимость от расстояния действия КЗВ на P -волны, что можно объяснить только разным влиянием КЗВ на сигналы, выходящие под разными углами из источника. Установленные факты не увязываются с существующей моделью промышленного взрыва как источника сейсмических волн, в которой короткозамедленно инициируемый взрыв рассматривается как сумма одинаковых источников волн. Такая модель исключает возможность различного влияния на разные типы волн и на сигналы, излучаемые под разными углами. В ее основе лежит предположение об отсутствии влияния взрывов друг на друга, справедливость которого весьма сомнительна.

Рассмотрим качественно, какие процессы происходят при КЗВ. Одинокый мгновенный взрыв вблизи свободной поверхности можно рассматривать как комбинацию симметричного воздействия на среду (центр расширения) и некоторого асимметричного воздействия [1], обусловленного свободной поверхностью и неоднородностями строения среды вблизи заряда. При КЗВ первый взрыв ничем не отличается от мгновенного, но уже второй происходит в совершенно иных условиях. За счет предшествующего взрыва вблизи заряда нарушается среда. Поскольку расстояние между зарядами соизмеримо с расстоянием до свободной поверхности, то возникновение нарушенной зоны приводит к изменению асимметричного воздействия на среду. При каждом последующем взрыве в зависимости от конкретных условий около заряда это воздействие будет меняться в некоторых пределах. Такое представление процесса формирования колебаний при КЗВ вполне допускает существование различий во влиянии на разные типы волн и на сигналы, излучаемые под разными углами, и увязывается с точкой зрения, согласно которой заряды не взаимодействуют друг с другом, а определяющая роль в развитии процесса взрыва отводится изменению физического состояния породы под влиянием предыдущих нагрузок [9, 11].

Рассмотрим, в каком согласии находятся отмеченные в экспериментах особенности формирования сигналов при КЗВ с материалами регистрации реальных промышленных взрывов. Появление у короткозамедленного взрыва горизонтальной направленности должно сделать его более эффективным источником S -волн, чем мгновенный взрыв. Хорошее возбуждение S -волн промышленными взрывами отмечалось при исследованиях на Урале [13] и Кольском п-ове [16], возможно, это связано с КЗВ. Улучшение возбуждения S -волн иллюстрирует также рис. 1.

Существование различий во влиянии КЗВ на сигналы, выходящие под разными углами из источника, должно приводить к нарушению соотношения между амплитудами волн на сейсмограммах. На рис. 4 приведены три сейсмограммы промышленных взрывов в карьере Асбест (Урал),

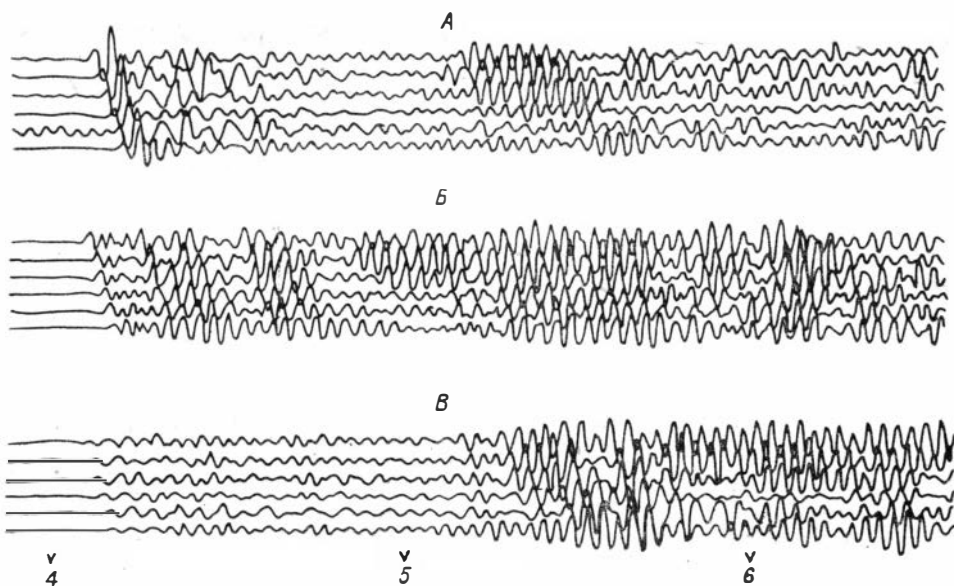


Рис. 4. Сейсмограммы промышленных взрывов на карьере Асбест (Урал).
 Регистрация на удалении 24 км; А — мгновенный взрыв, заряд 12 т; Б — короткозамедленный, $n = 7$, $T = 35$ мс, заряд 58 т; В — с большим временем замедления, $n = 101$, $T = 35$ мс, заряд 200 т.

полученные на удалении 24 км от него (А соответствует мгновенному взрыву, Б — малозамедленному, В — взрыву с большим временем замедления). На сейсмограмме В в начальной части записи можно выделить ряд волн, которых нет на А и которые с трудом прослеживаются на В. Объяснить появление этих волн действием последующих взрывов невозможно, так как время замедления примерно 0,2 с. На сейсмограммах отмечаются и другие особенности, которые можно объяснить только изменением направленности источника.

Традиционным инструментом при изучении влияния КЗВ на сейсмограммы является спектральный анализ. Приведем некоторые результаты изучения спектров сейсмограмм ГСЗ от промышленных взрывов на Урале и Кольском п-ове. На рис. 5, Г показан спектр экспериментальной сейсмограммы мгновенного взрыва на карьере Асбест, а на рис. 5, Б, В —

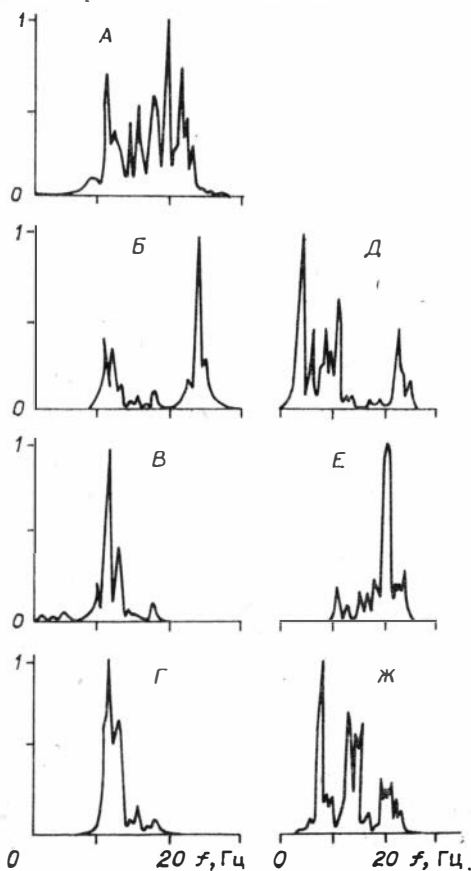


Рис. 5. Спектры сейсмограмм промышленных взрывов.

Взрывы на карьере Асбест, регистрация на удалении 24 км: А — короткозамедленный, $n = 21$, $T = 35$ мс, заряд 140 т; Г — мгновенный, заряд 6 т. Спектры, полученные пропуская сейсмограммы мгновенного взрыва через линню задержек: Б — $T = 40$ мс, $n = 21$; В — $T = 30$ мс, $n = 21$. Короткозамедленные взрывы на руднике Центральный (Кольский п-ов), регистрация на удалении 24 км: Д — время замедления (τ) 3000 мс, заряд 208 т; Е — $\tau = 490$ мс, заряд 18 т; Ж — $\tau = 105$ мс, заряд 18 т.

два характерных случая изменения этого спектра, рассчитанных при использовании модели (1). Когда побочный экстремум $B(\omega)$ находится вне полосы регистрируемых частот, то спектр приобретает большую изрезанность, но резко изменения спектра не происходит (см. рис. 5, *B*), при входе побочного экстремума $B(\omega)$ в область регистрируемых частот должен резко меняться спектр записи (*B*). На рис. 5, *A* приведен спектр экспериментальной сейсмограммы короткозамедленного взрыва на карьере Асбест, зарегистрированный той же станцией. Он обладает большей изрезанностью, чем сейсмограмма мгновенного взрыва, что укладывается в рамки модели (1), но увеличение роли высоких частот в довольно широком диапазоне с ней не увязывается. Взрывы, спектры чьих сейсмограмм показаны на рис. 5, *Д—Ж*, произведены в одном из карьеров Кольского п-ова с разными интервалами замедления (от 20 до 50 мс) и по сложной схеме инициирования, поэтому даны лишь времена замедления. На рис. 5, *Ж* спектр неплохо согласуется с моделью (1), согласно которой минимумы в нем должны быть через каждые 9,5 Гц. Спектры *Д* и *Е* должны быть более изрезаны и с экстремумом в диапазоне частот 20—30 Гц. Некоторое соответствие этим предположениям есть, но можно отметить факты, которые не объяснить моделью (1), например повышение амплитуд на низких частотах в спектре *B*. Таким образом, модель (1) пригодна лишь для качественного объяснения снижения сейсмического эффекта при КЗВ.

Можно сделать вывод, что сейсмограммы промышленных взрывов содержат два типа искажений: ухудшение разрешенности волн за счет увеличения длительности сигналов; искажение динамического характера записи из-за изменения направленности источника.

В связи с тем, что искажение сигналов зависит от времени вступления волн на сейсмограмме, нельзя получать из записи короткозамедленного взрыва сейсмограмму мгновенного взрыва с помощью линейной фильтрации, инвариантной во времени. В данной ситуации возможны две постановки задачи. Во-первых, при обработке устранять ту часть искажений, которая описывается инвариантной во времени линейной системой, а оставшуюся часть считать неустранимой. Во-вторых, можно сжать на записи длительность сигналов, не затрагивая нарушений динамического характера записи.

Первой постановке соответствует идеальный фильтр, построенный на простейшей модели функции $B(\omega)$ [7]. Он не устранил ту часть искажений, которая не описывается инвариантной во времени линейной системой и еще накопит помехи, связанные с отклонением реальной $B(\omega)$ от используемой модели. Можно предложить фильтр с меньшим числом ограничений. Так, если для построения оператора фильтра иметь одну базовую станцию с сейсмограммами мгновенного и короткозамедленного взрывов с одного и того же карьера, то оптимальный оператор фильтра вычисляется по формуле $K(\omega) = R_{03}(\omega)/R_3(\omega)$. С помощью фильтра можно обратять сейсмограммы того же короткозамедленного взрыва в точки, где нет сейсмограмм мгновенного взрыва. Так как фильтр строится по экспериментальным данным, в нем содержатся более точные сведения о функции $B(\omega)$, но он, как и предыдущий алгоритм, основан на условии линейности и инвариантности во времени влияния КЗВ на сейсмограммы.

В рамках второго подхода обработка сейсмограмм промышленных взрывов должна осуществляться фильтрами, меняющимися во времени. В этом случае нет возможности определить функцию $B(\omega)$, и поэтому все сводится к обычной задаче обратной фильтрации с меняющимися во времени алгоритмами. Сказать, какой из этих подходов более эффективный, без специальных исследований нельзя.

В заключение автор считает своим долгом выразить благодарность научным руководителям С. В. Крылову и И. С. Чичинину за постоянную помощь в работе над данной темой, В. С. Дружинину, И. В. Шарову и Н. И. Халевину за любезно представленные материалы по регистрации промышленных взрывов, А. Ф. Колмакову и Г. В. Петрику за помощь, оказанную при проведении экспериментов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бат М. Спектральный анализ в геофизике. М.: Недра, 1980.
2. Гитерман Е. Н. Прогноз частотного состава сейсмозврывных волн при короткозамедленном взрывании.— В кн.: Разработка угольных м-ний открытым способом. Вып. 7. Комерово: КузПИ, 1978.
3. Гитерман Е. Н., Пергамент В. Х. Моделирование на ЭВМ сейсмозффекта короткозамедленных взрывов.— Там же.
4. Гольдин С. В. Линейные преобразования сейсмических сигналов. М.: Недра, 1974.
5. Дженкинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. Т. 2. М.: Мир, 1972.
6. Еманов А. Ф. Корреляционный метод сжатия сигналов для обработки сейсмограмм промышленных взрывов.— Геол. и геофиз., 1980, № 4.
7. Еманов А. Ф. Оценка возможности применения обратной фильтрации для обработки сейсмограмм промышленных взрывов.— Там же, № 7.
8. Кац С. А., Кун В. В. Некоторые свойства оценок спектров волн, искаженных аддитивным и мультипликативными помехами.— В кн.: Интерпретация и обнаружение сейсм. волн в неоднород. средах. М.: Наука, 1971.
9. Михалюк А. В. Горные породы при неравномерных динамических нагрузках. Киев: Наукова думка, 1980.
10. Печевкин В. Д., Пятков А. Ф. Спектральный анализ сейсмических колебаний от взрывов в карьерах и шахтах.— В кн.: Подземн. разработка мощных руд. м-ний. Свердловск, 1977.
11. Сенук В. М. Импульс взрыва и условия более полного использования его на дробление массивов крепких пород при скважинной отбойке.— ФТПРШ, 1979, № 1.
12. Суворова Н. И., Шаров Н. В. Об особенностях формирования сейсмических колебаний при массовых взрывах в рудниках и карьерах Кольского полуострова.— В кн.: Геофиз. методы поисков и разведки. Вып. 4. Свердловск: УПИ, 1978.
13. Халевин Н. И. и др. О поперечных волнах, регистрируемых при ГСЗ на Урале.— В кн.: Состояние и перспективы развития геофиз. методов на Урале. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1971.
14. Шаров Н. В., Горбачевич Ф. Ф. Исследование частотных спектров сейсмических колебаний в ближней зоне промышленного взрыва (для целей ГСЗ).— В кн.: Геофиз. послед. с.-в. части Балт. щита. Апатиты: КФ АН СССР, 1976.
15. Шаров Н. В. Использование волн от промышленных взрывов при глубинных сейсмических исследованиях. Рефер. канд. дис. Апатиты, 1978.
16. Шарова В. П. Совместное использование продольных и поперечных волн промышленных взрывов при интерпретации точечных зондирований в условиях Кольского полуострова.— В кн.: Методика и результаты геофиз. послед. с.-в. части Балт. щита. Апатиты: КФ АН СССР, 1980.
17. Frantti G. E. Seismic energy from ripple-fired explosions.— Earthquake Notes., 1963, v. 34, N 2.
18. Frantti G. E. Spectral energy density for quarry explosions.— Bull. Seism. Soc. Am., 1963, v. 53, N 5.
19. Pollack Effect of delay time and number of delays on the spectra of ripple-fired shots.— Earthquake Notes, 1963, v. 34, N 1.
20. Willis D. E. A note on the effect of ripple firing on the spectra of quarry shots.— Bull. Seism. Soc. Am., 1963, v. 53, N 1.

*ИГиГ СО АН СССР
Новосибирск*

*Поступила в редакцию
19 февраля 1982 г.*

A. F. Yemanov

EFFECT OF RIPPLE FIRING ON THE SEISMOGRAMS OF DEEP SEISMIS SOUNDING

Experimental work and record of quarry shots in the Urals and the Kola peninsula revealed that there are two types of misrepresents in seismograms due to ripple firing blast (MDB): distinguishing of the waves become worse by increase in duration of the signals; breach in correlation between the amplitudes of different waves on the record line owing to the change in direction of source. Generation of S-waves with MDB improves relatively instantly. The procedure of elimination the after-effects of MDB on seismograms of quarry shots is discussed.