Записки Ленинградского ордена Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, том XXXVI, вып. 2, 1959 г.

О РАЗВЕДКЕ СБРОСОВ СЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН

Ю. Е. Некрасов

При разведке сбросов методом преломленных волн критериями их наличия служат изменения на сейсмограммах динамических особенностей записи при переходе преломленной волны в дифрагированную и характерная форма годографов [1]. В области сброса на годографах преломленных волн можно выделить ветви, соответствующие преломленной волне и дифрагированной.

При достаточно больших амплитудах сбросов материалы сейсморазведки позволяют установить наличие сброса, указать его местоположение и оценить амплитуду.

При относительно малых амплитудах, не превышающих 50—100 *м*, разведка сбросов значительно усложняется, прежде всего потому, что влияние сброса проявляется на годографе очень слабо. Участок годографа, соответствующий дифрагированной волне, становится весьма малым, а изменения динамических признаков — неопределенными.

В настоящее время известен ряд практических работ, свидетельствующих о больших возможностях сейсмических методов при разведке сбросов. Однако методику разведки сбросов нельзя считать разработанной до конца. О способах разведки сбросов нет установившегося мнения, причем наименее освещен в литературе вопрос о разведке сбросов небольших (до 100 *м*) амплитуд, часто встречающихся в разведочной практике. Методика разведки этих нарушений настоятельно требует дальнейшей разработки.

В настоящей работе предлагаются некоторые усовершенствования методики трассирования сбросов и определения их амплитуд с помощью непродольного профилирования методом преломленных волн. Эти предложения вытекают из анализа теоретических непродольных годографов преломленных волн над сбросами. В случае расположения пункта взрыва (ПВ) вблизи сброса влияние сброса на непродольный годограф, направленный вкрест простирания сброса, оказывается более значительным, чем влияние сброса на продольный годограф.

Рассмотрим зависимость скачка времени Δt на годографе первых вступлений на продольном профиле от расстояния между ПВ и линией сброса. Этот вопрос в широко известной литературе по методу преломленных волн [1 и др.] до сих пор не изучался. Возьмем пример вертикального уступа в двуслойной среде при горизонтальном положении преломляющих границ.

Обозначим v_1 и v_2 — скорости в средах; $\sin i_0 = \frac{v_1}{v_2}$; d — расстояние ПВ от линии сброса; h — глубина до преломляющей границы в поднятом блоке; Δh — амплитуда сброса.

На рис. 1 изображены два пути преломленных волн: *ODFM*, соответствующий ветви годографа над поднятым блоком; *OBCA*, соответствующий ветви годографа над опущенным блоком. Заметим, что в области над опущенным блоком кинематически возможно существование преломленных волн, образовавшихся в результате прохождения их по другим направлениям, например, по пути *OKNPR*. Однако если эти волны и образуются, то они придут на поверхность позже, чем по пути *OBCPR*, будут зарегистрированы во вторых вступлениях и поэтому здесь не рассмотрены.

Найдем разницу времени

$$\Delta t = t_{OBCA} - t_{ODEA},$$

характеризующую скачок времени в годографе, вызванный сбросом (рис. 1),

$$\Delta t = \frac{h}{v_1 \cos i_1} + \frac{\Delta h}{v_2 \cos i_2} + \frac{h + \Delta h}{v_1 \cos i_0} - \frac{2h}{v_1 \cos i_0} - \frac{L - h \operatorname{tg} i_0 + h \operatorname{tg} i_1}{v_2} - \frac{\Delta h}{v_2} \operatorname{tg} i_0$$

или после простых преобразований

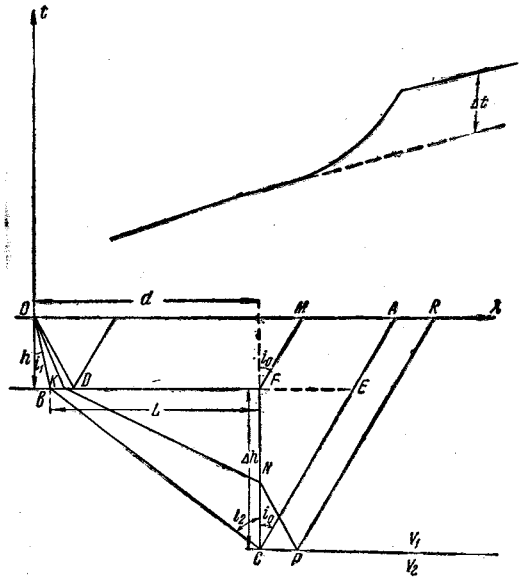


Рис. 1. Годограф преломленной волны над сбросом

$$\Delta t = \frac{h}{v_1} \frac{1 - \sin^2 i_0 \sin i_2}{\sqrt{1 - \sin^2 i_0 \sin^2 i_2}} + \frac{\Delta h}{v_1} \frac{1 - \sin i_2}{\sin i_2} \sin i_0 \operatorname{tg} i_2 - \frac{h - \Delta h}{v_1} \cos i_0. \qquad (1)$$

Смысл обозначений i_1 и i_2 понятен из рис. 1.

Расстояние между ПВ и линией сброса

$$d = \Delta h \operatorname{tg} i_2 + h \operatorname{tg} i_1.$$

Но

$$\operatorname{tg} i_1 = \frac{\sin i_0 \sin i_2}{\sqrt{1 - \sin^2 i_0 \sin^2 i_2}}.$$

Так как

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = \frac{v_1}{v_2} = \sin i_0;$$

$$\sin i_1 = \sin i_2 \sin i_0;$$

$$\cos i_1 = \sqrt{1 - \sin^2 i_0 \sin^2 i_2}.$$

Отсюда

$$d = \Delta h \operatorname{tg} i_2 + h \frac{\sin i_0 \sin i_2}{\sqrt{1 - \sin^2 i_0 \sin^2 i_2}}. \qquad (2)$$

Формулы (1) и (2) выражают зависимости

$$\Delta t = f_1\left(h, \Delta h, \frac{v_1}{v_2}, i_2\right);$$

$$d = f_2\left(h, \Delta h, \frac{v_1}{v_2}, i_2\right).$$

Чтобы избежать в уравнениях (1) и (2) большого числа переменных, приведем эти уравнения к следующему виду. Разделим обе части уравнения (1) на

$$\frac{\Delta t_0}{2} = \frac{\Delta h}{v} \cos i_0,$$

где Δt_0 — приращение величины t_0, соответствующее изменению глубины залегания преломляющей границы на Δh;

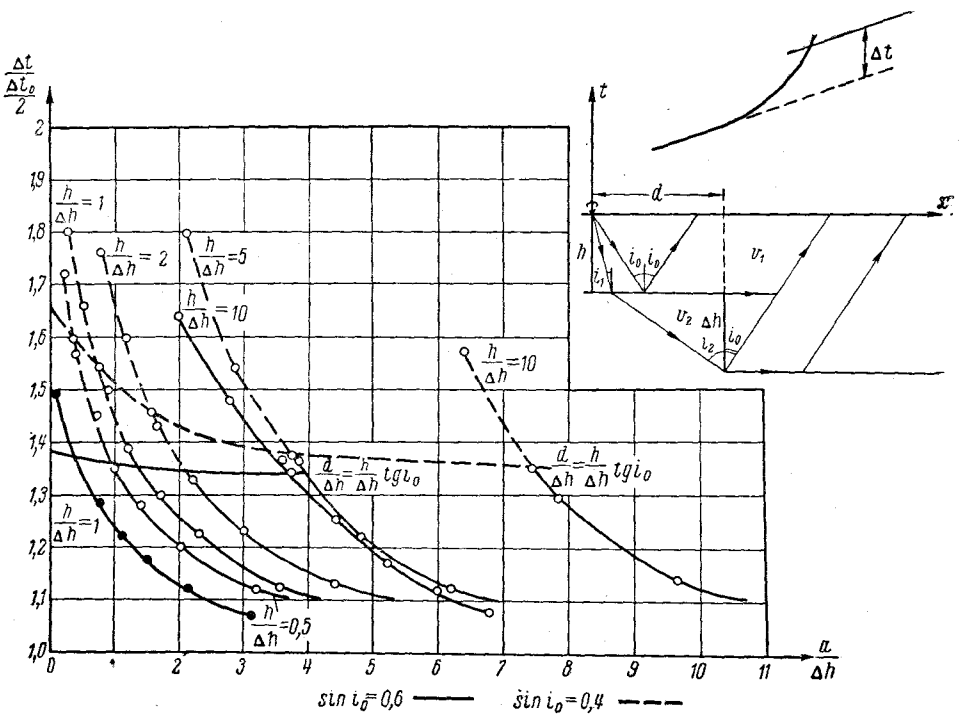


Рис. 2. Зависимость скачка времени Δt в годографе преломленной волны над сбросом от расстояния d между ПВ и линией сброса:

Δt — скачок времени в годографе;

$$\Delta t_0 = \frac{2\Delta h}{v_1} \cos i_0$$

t_0 — отрезок, отсекаемый продолжением годографа на оси времени

$$\frac{\frac{\Delta t}{\Delta t_0}}{2} = \frac{h}{\Delta h} \frac{1 - \sin^2 i_0 \sin i_2}{\cos i_0 \sqrt{1 - \sin^2 i_0 \sin^2 i_2}} + \frac{1 - \sin i_2}{\sin i_2} \operatorname{tg} i_0 \operatorname{tg} i_2 - \frac{h}{\Delta h} + 1 = \Delta T. \quad (3)$$

В уравнении (2) разделим обе части на Δh

$$\frac{d}{\Delta h} = \operatorname{tg} i_2 + \frac{h}{\Delta h}\,\frac{\sin i_0 \sin i_2}{\sqrt{1-\sin^2 i_0 \sin^2 i_2}} = D. \qquad (4)$$

Формулы (3) и (4) представляют собой уравнение в параметрической форме, связывающее ΔT и D; ΔT характеризует скачок времени в годографе над сбросом в долях Δt_0; D — расстояние между сбросом и ПВ, выраженное в единицах, равных амплитуде сброса.

По формулам (3) и (4) рассчитан график зависимости ΔT от D (рис. 2) Для значений $\sin i_0 = 0{,}4$ и $0{,}6$ на этом графике построено два семейства кривых $\Delta T = f(D)$, имеющих параметрами различные соотношеня $\frac{h}{\Delta h}$. Кроме того, проведены линии, соединяющие точки с абсциссами

$$D = \frac{h}{\Delta h} \operatorname{tg} i_0,$$

соответствующие расстоянию между ПВ и сбросом, равном сейсмическому сносу для тех же значений $\sin i_0$.

График (см. рис. 2) показывает, что расчеты амплитуд по продольному годографу с помощью широко используемой в практике приближенной формулы $\Delta h = \frac{v}{\cos i_0}\Delta t$ не точны и могут дать преувеличенные значения Δh. Если ПВ расположен близко к линии сброса, ошибка может превышать 40%.

Рассмотрим теперь непродольный годограф преломленных волн над сбросом. ПВ находится над поднятым блоком, профиль направлен вкрест простирания сброса, преломляющие границы горизонтальны. В этом случае над поднятым блоком получится обычный непродольный годограф преломленной волны. Форма и положение ветви годографа над опущенным блоком будут зависеть от расстояния d_m (рис. 3) между ПВ и сбросом, так как время в каждой точке X рассматриваемой части годографа зависит от расстояния d_i.

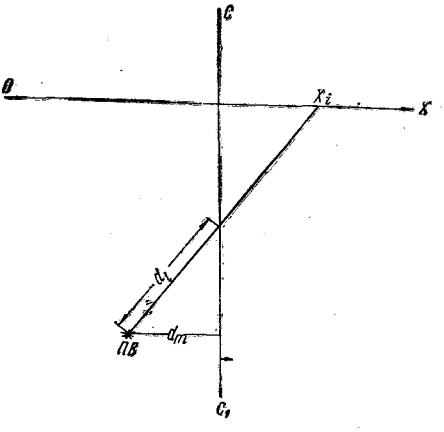


Рис. 3. Расположение ПВ относительно непродольного профиля и линии сброса:
CC_1 — сброс; OX — непродольный профиль

На рис. 4 показаны теоретические непродольные годографы, построенные с помощью графика рис. 2 для случая $h = 500$ *м*, $\Delta h = 100$ *м*, $R = 1500$ *м*, $v_1 = 3000$ *м/сек*, $v_2 = 5000$ *м/сек* и для расстояний между пунктом взрыва и сбросом, равным 0 *м* (*а*); 100 *м* (*б*); 250 *м* (*в*) и 500 *м* (*г*).

Формы ветвей этих годографов заметно отличны. Если ПВ расположен непосредственно над сбросом, то обе ветви годографа (см. рис. 4, Γ_1 и Γ_2) соответствуют нормальному годографу и смещены относительно друг друга на время

$$\Delta t_1 = \frac{2\Delta h}{v_1} \cos i_0. \qquad (5)$$

Если ПВ удален от сброса на расстояние, большее 5—10 амплитуд сброса, обе ветви непродольного годографа (см. рис. 4, *г*, Γ_1 и Γ_5) также

по форме соответствуют нормальному годографу, но смещены на время

$$\Delta t_2 = \frac{\Delta h}{v_1} \cos i_0. \qquad (6)$$

При расположении ПВ между указанными крайними положениями форма ветви годографа, соответствующая опущенному блоку (см. рис. 4, *б*

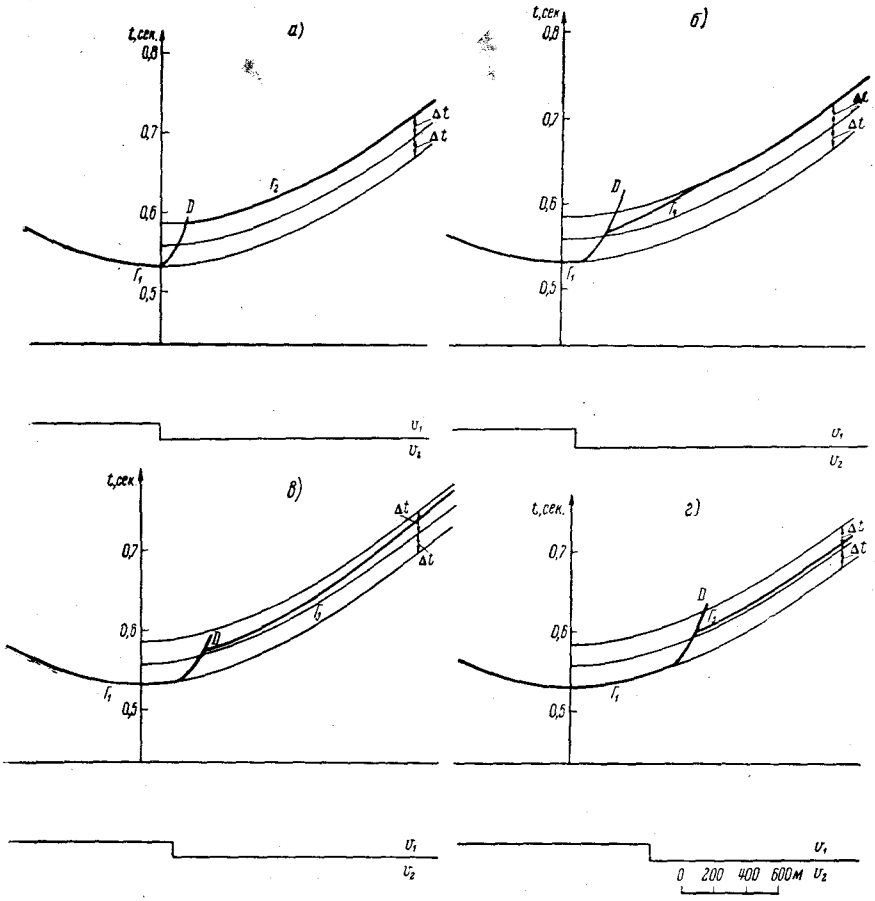


Рис. 4. Непродольные годографы преломленных волн над сбросом при расстоянии между ПВ и линией сброса d_m:

а — 0; *б* — 100 *м*; *в* — 250 *м*; *г* — 500 *м*. Расстояние от ПВ до профиля 1500 *м*. Глубина до верхней кромки сброса 500 *м*. Амплитуда сброса 100 *м*;

$$\Delta t = \frac{\Delta h}{v_1} \cos i_0;\ v_1 = 3000\ м/сек;\ v_2 = 5000\ м/сек$$

и *в*, Γ_3 и Γ_4), отличается от нормального годографа и располагается в промежутке между двумя указанными пределами.

Следовательно, при расположении ПВ вблизи сброса, влияние сброса более заметно проявится на непродольном годографе, чем на продольном. Как видно из сравнения формул (5) и (6), в этом случае относительное смещение ветвей годографа преломленных волн на непродольном профиле будет вдвое больше, чем на продольном. Таким образом, при разведке сбросов, особенно имеющих малые амплитуды, выгоднее применять непродольное профилирование с расположением

ПВ вблизи сброса над поднятым блоком или, что еще лучше, непосредственно над сбросом.

Непродольные годографы преломленных волн можно использовать для определения амплитуды сбросов. Для определения амплитуды вертикального сброса лучше всего использовать годографы, полученные при положении ПВ над сбросом. В этом случае амплитуда сброса может быть определена по формуле (5).

Для определения амплитуд можно использовать и годографы, полученные при взрывах в пункте, удаленном от сброса на расстояние, большее десяти амплитуд сброса. При этом определение производится по формуле (6).

Точность определения амплитуд сбросов всегда будет большей при использовании годографов, полученных из ПВ, расположенных над сбросом, так как

$$\Delta t_2 = 2\Delta t_1.$$

Это обстоятельство особенно существенно при разведке сбросов малых амплитуд.

Если ПВ удален от сброса на расстояние, меньшее десятикратной амплитуды сброса, то амплитуда сброса может быть определена лишь приблизительно.

На практике трудно заранее запланировать оптимальное положение ПВ, так как обычно неизвестно, где в точности проходит линия сброса. Однако оказывается возможным предложить достаточно простой способ наблюдений на непродольном профиле, который позволил бы определить положение сброса и его амплитуду. Этот способ построен на следующих соображениях.

При горизонтальном залегании преломляющей границы амплитуда сброса может быть установлена с помощью прострелки на непродольном профиле двух годографов из ПВ, расположенных по обе стороны от сброса на равных расстояниях от профиля. Если совместить два полученных таким образом годографа так, чтобы проекции взрывных пунктов на профиль совпали, то разница времени на годографах будет пропорциональна разности глубин до преломляющей границы.

Действительно, время на годографах определяется формулами

$$t_1 = \frac{2h_1}{v_1}\cos i_0 + \frac{r_1 \sin i_0}{v_1};$$

$$t_2 = \frac{2h_2}{v_1}\cos i_0 + \frac{r_2 \sin i_0}{v_1},$$

где h_1 и h_2 — глубины до преломляющей границы в поднятом и опущенном блоках;

r_1 и r_2 — расстояния от ПВ до точек наблюдения;

i_0 — критический угол;

v_1 — скорость в первой среде.

Для равноудаленных точек $r_1 = r_2$.

Тогда

$$t_1 - t_2 = \frac{2\cos i_0}{v_1}(h_1 - h_2) = \frac{2\Delta h}{v_1}\cos i_0 = \Delta t_0. \qquad (7)$$

Отсчеты времени Δt, как видно из сравнения формул (6) и (7), здесь вдвое больше, чем скачок времени в годографе на продольном профиле или на непродольном при удалении пункта взрыва от сброса.

Все изложенное выше позволяет предложить следующий способ

разведки сбросов. Из ПВ, расположенного над поднятым блоком, необходимо произвести наблюдения на непродольном профиле, направленном приблизительно вкрест простирания сброса. Первый ПВ лучше располагать вблизи от сброса, так как в этом случае влияние сброса на форму годографа будет наиболее ярко выраженным. По полученному годографу можно наметить положение сброса, определив точку перехода преломленной волны в дифрагированную.

Для определения амплитуды сброса над опущенным блоком простреливается участок годографа из второго ПВ, расположенного на том же расстоянии от профиля, что и первый взрывной пункт, но над опущенным блоком. Этот участок годографа может быть коротким. Практически достаточно получить годограф на одной расстановке сейсмоприемников. Полученные годографы совмещаются проекциями ПВ на профиль и по разности времени первых вступлений годографов по формуле (5) рассчитывается амплитуда сброса.

Предлагаемый способ определения амплитуд более прост, чем описанная в литературе [2] система из непродольных и двух продольных профилей. Вместе с тем определение амплитуд по непродольным годографам дает более точные результаты, чем по продольным.

Таким же способом можно производить разведку сбросов, если преломляющая граница негоризонтальна, а углы и азимуты падения в поднятом и опущенном блоке одинаковы. В этом случае по формуле (5) определяется не амплитуда сброса, а разность глубин по нормали до преломляющего горизонта. Если преломляющие границы в разных блоках имеют неодинаковое падение и простирание, предложенный способ определения амплитуд может дать лишь приближенные результаты.

В настоящей работе не рассмотрен случай, когда ПВ расположен над опущенным блоком. Он имеет меньшее практическое значение, так как при этом невозможно точно определить положение линии сброса. Однако следует заметить, что положение ветви непродольного годографа над поднятым блоком здесь также зависит от расстояния между ПВ и сбросом.

Использованная литература

1. Берзон И. С. Интерпретация поперечных годографов преломленных волн. Тр. института теоретической геофизики АН СССР, 1947, т. II, вып. 2.
2. Гамбурцев Г. А. Корреляционный метод преломленных волн. Руководство для инженеров-сейсморазведчиков. Изд. АН СССР, 1952.