Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова т. LXI, вып. 2, 1971 г.

ГОДОГРАФЫ ОТРАЖЕННЫХ ВОЛН ОТ КРУТЫХ ГРАНИЦ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ В НАКЛОННЫХ СКВАЖИНАХ

М. Д. Лизинский

Вертикальное сейсмическое профилирование (ВСП) в скважинах Печенгского района проводится в условиях крутого падения геологических границ, причем сами скважины являются наклонными (зенитные углы 5 — 20°).

В опубликованных работах о ВСП исследуется кинематика отраженных волн, регистрируемых на вертикальном профиле, от горизонтальных границ [1, 2], а также от наклонных границ при наблюдениях в вертикальных скважинах [3]. В настоящей работе предлагается вывод уравнения годографа монотипной отраженной волны от наклонной границы, регистрируемого вдоль наклонной скважины. Полученные соотношения понадобились для анализа волновых полей, регистрируемых при ВСП в Печенгском районе, и могут быть использованы для той же цели в других районах со сходными сейсмогеологическими условиями.

В схеме наблюдений на вертикальном профиле (рис. 1) ось x направлена по восстанию границы R, φ — угол падения плоской границы R, ось z направлена вертикально вниз, начало координат находится в пункте взрыва (ПВ), h—эхо-глубина до границы, O^*—мнимый пункт взрыва, B — устье скважины, $OB = l$ — расстояние от пункта взрыва до устья. Координаты точки O^*, как следует из рис. 1,

$$\left.\begin{aligned} x_1 &= 2h \sin \varphi, \\ z_1 &= 2h \cos \varphi. \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

Положение ствола скважины в разрезе (рис. 1) может быть задано функцией $x = x(z)$.

Путь пробега отраженной волны в точку наблюдений $A(x, z)$ равен расстоянию от мнимого пункта взрыва до этой точки

$$OCA = O^*A = \sqrt{[x(z) - x_1]^2 + (z - z_1)^2},$$

а уравнение годографа отраженной волны

$$t = \frac{1}{V}\sqrt{[x(z) - x_1]^2 + (z - z_1)^2}, \tag{2}$$

где V — скорость в покрывающей среде.

Для анализа годографов с целью определения типа регистрируемых отражений (монотипные, обменные) необходимо определить функцию кажущейся скорости вдоль ствола скважины L, т е. выражение вида

$$\frac{dl}{d\varphi}, \qquad (3)$$

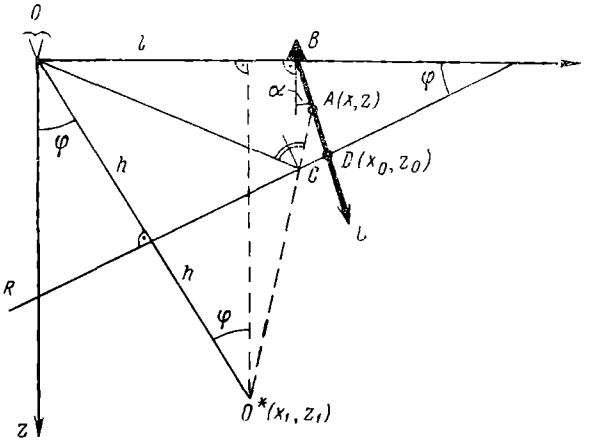


Рис. 1. Схема наблюдений на вертикальном профиле

Интересно рассмотреть частный случай, когда скважина имеет постоянный наклон. Очевидно, всегда можно представить линию ствола скважины в разрезе в виде совокупности отрезков прямой. Для скважины с прямолинейным наклонным стволом

$$x = kz + l, \qquad (4)$$

где $k = \operatorname{tg}\alpha$; α — зенитный угол и $L = \sqrt{(x-l)^2 + z^2} = z\sqrt{k^2+1}$.

После дифференцирования годографа по направлению L как сложной функции координаты z и преобразований получаем, с учетом выражения (1),

$$V_L^* = \frac{V^2 t\sqrt{k^2+1}}{(k^2+1)z - 2h(k\sin\varphi + \cos\varphi) + kl} \qquad (5)$$

Уравнение кажущейся скорости отраженной волны для вертикальной скважины [3] получается из формулы (5) для $k = 0$.

Относительная ошибка кажущейся скорости при неучете наклона скважины

$$\frac{\Delta V^*}{V^*} = 1 - \frac{k(kz + l - 2h\sin\varphi)}{(z - 2h\cos\varphi)\sqrt{k^2+1}} - \frac{1}{\sqrt{k^2+1}} \qquad (6)$$

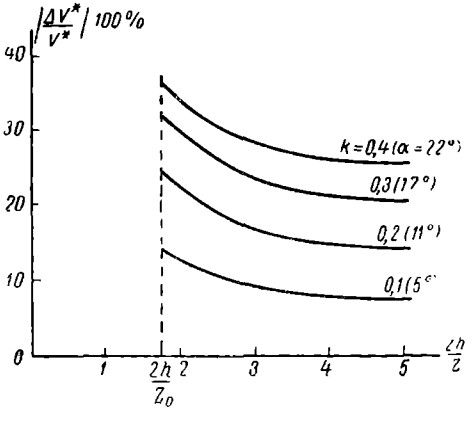


Рис. 2. График относительной ошибки кажущейся скорости при неучете наклона ствола скважины по параметру k для $\varphi = 30°$, $l = 0$

Нижняя граница интервала регистрации отраженной волны определяется координатой z_0 точки D пересечения отражающей границы стволом скважины (рис. 1). Выражение для z_0 может быть получено из совместного решения уравнений ствола скважины и границы. Окончательно

$$z_0 = \frac{h - l\sin\varphi}{\cos\varphi + k\sin\varphi} \qquad (7)$$

Оценка ошибки V^* проведена для случая $l = 0$ после представления равенства (6) в виде

$$1 - \frac{k\left(k - \frac{2h}{z}\sin\varphi\right)}{\left(1 - \frac{2h}{z}\cos\varphi\right)\sqrt{k^2 \quad 1}} - \frac{1}{\sqrt{k^2 \quad 1}}. \qquad (8)$$

Можно показать, что эта ошибка максимальна для $z = z_0$ и уменьшается до нуля при $z \quad 0$ (рис. 2). Отметим, что неучет наклона скважины при вычислении кажущейся скорости отраженной волны вблизи отражающей границы может привести к значительным погрешностям (при наклоне скважины до 20° ошибка достигает 15—30%).

Выясним знак кажущейся скорости в точке пересечения скважиной отражающей границы в зависимости от параметров h, l, φ.

Из формулы (5) следует, что $V^* \gtrless 0$ при

$$z \gtrless \frac{2h\,(k\sin\varphi \quad \cos\varphi) - kl}{k^2 \quad 1};$$

учитывая равенство (7), после преобразований имеем в точке D (x_0, z_0)

$$\frac{l}{h} \quad \frac{(1 - k^2)\cos 2\varphi + 2k\sin\varphi}{k\cos\varphi - \sin\varphi}. \qquad (9)$$

Для случая $k \quad 0$ график зависимости

$$\frac{l}{h} = \frac{-\cos 2\varphi}{\sin\varphi}$$

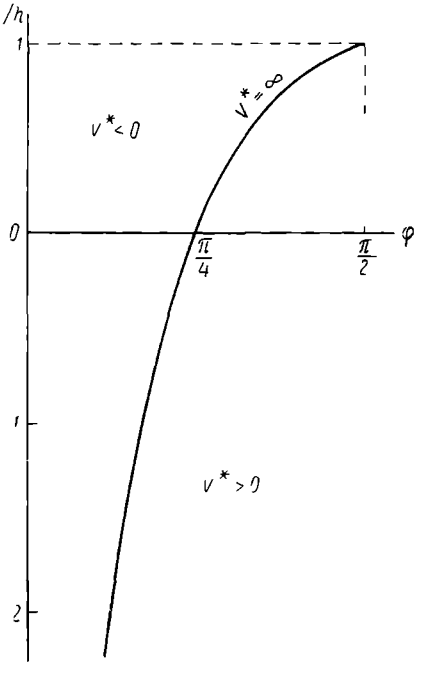


Рис. 3. Зависимость $\frac{l}{h}(\varphi)$ для монотипной отраженной волны

(рис. 3) разделяет координатную плоскость на две области:

при $\frac{l}{h} > \frac{-\cos 2\varphi}{\sin\varphi}$ $V^* \quad 0$,

при $\frac{l}{h} < \frac{-\cos 2\varphi}{\sin\varphi}$ $V^* > 0$.

Случай $\frac{l}{h} = \frac{-\cos 2\varphi}{\sin\varphi}$ соответствует $V^* = \infty$ (минимуму годографа отраженной волны).

Очевидно, что область значений φ существует на интервале $\left(0, \frac{\pi}{2}\right)$, так как ось x (рис. 1) задается по восстанию границы, а $\frac{l}{h} \quad 1$ $\left(\text{для } \frac{l}{h} > 1\right.$ ствол скважины и пункт взрыва оказываются по разные стороны от границы, и отраженная волна не регистрируется).

Полученные выводы использовались для интерпретации ряда годографов отраженных волн, полученных при ВСП на скважинах Печенгского района (рис. 4). Интерпретация проводилась сопоставлением экспериментальных годографов с теоретическими для монотипных отражений. При этом был решен вопрос о типе (*PP* или *PS*) зарегистрированных волн от трех геологических границ: контакта филлитов и габбро и двух пропластков перидотитов. Сопоставление теоретических годографов с экспериментальными позволяет высказать обоснованное предположение, что отражения от

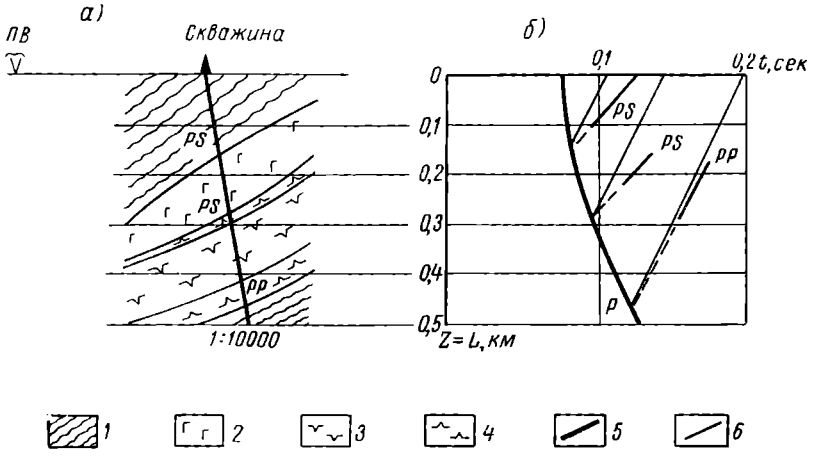


Рис. 4. Пример интерпретации годографов ВСП в наклонной скважине (Печенгский район):

а — геологический разрез; *б* — экспериментальные и теоретические годографы монотипных продольных отражений; *1* — филлиты; *2* — габбро; *3* — пироксениты; *4* — перидотиты; *5* — экспериментальные годографы; *6* — теоретические годографы монотипных продольных отражений

первых двух границ являются обменными (*PS*), в то время как отражение от нижнего пропластка перидотитов является монотипным продольным (*PP*).

Выводы

1. Получено и исследовано уравнение годографа монотипной отраженной волны от крутой границы для наклонной скважины.
2. При вычислении кажущейся скорости отраженной волны по вертикальному профилю во избежание значительных ошибок (до 30%) необходимо учитывать наклон скважины.
3. Сопоставление теоретических годографов, рассчитанных для реальных геологических моделей, с экспериментальными позволяет определять тип отраженных волн, зарегистрированных на вертикальном профиле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин Е. И., Фролова А. В. Трехкомпонентные сейсмические наблюдения в скважинах. Изв. АН СССР Сер. геофиз. № 6, 1961.
2. Петкевич Г И. О вертикальном годографе отраженной волны. Разведочная и промысловая геофизика. Вып. 19. Гостоптехиздат, 1957.
3. Рудницкий В. П. Сейсмические исследования в скважинах. Наукова думка, 1968.