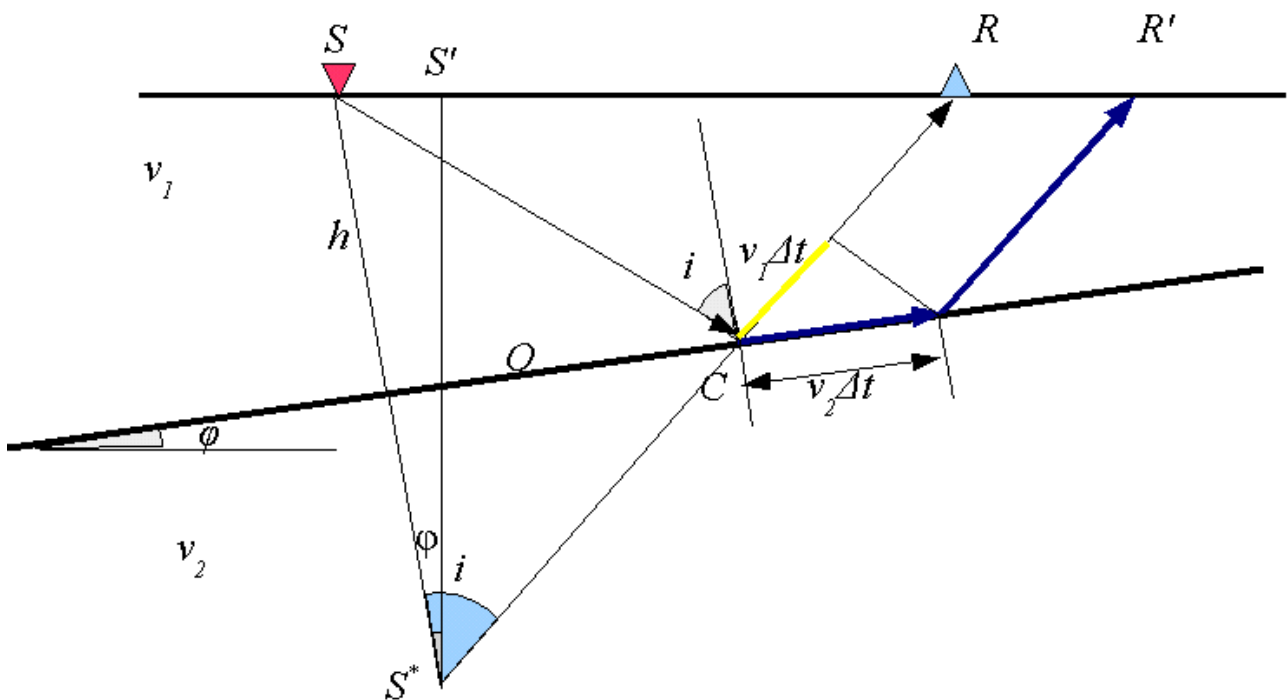


Лекция 12. Определение скоростей по годографам преломлённых волн и построение преломляющей границы.

Годограф преломлённой волны

Зададим модель с плоской наклонной отражающей границей, характеризующейся эхо-глубиной h_s в точке источника и углом падения φ . Начало координат отнесём к точке источника. В такой модели при условии, что скорость в подстилающем полупространстве больше, чем скорость в слое, при критическом падении волны на границу $i = \arcsin \frac{v_1}{v_2}$ возникает волна, скользкая под поверхностью границы раздела. Вследствие отрыва фронта проходящей волны от фронта волн падающей и отражённой для случая закритического падения - в первой среде возникает неоднородная плоская — *головная* — волна, распространяющаяся по направлению к поверхности наблюдений. Сказанное иллюстрируется фиг. 1.



Фиг 1. Иллюстрация критического падения волны на границу и образования преломлённой волны

Очевидно, что первая точка регистрации преломлённой волны совпадает с точкой выхода критического отражённого луча. Далее время вступления преломлённой волны меняется линейно - кажущаяся скорость преломлённой волны вдоль поверхности наблюдений равна

$v^* = \frac{v_1}{\sin(i-\varphi)}$, то есть фактически имеется два значения кажущейся скорости в зависимости от того, как проводятся наблюдения — по падению или по восстанию пласта.

Таким образом, путь, пройденный преломлённой волной до приёмника R' , будет равен $l = SO + OC + CR'$. Но из построений видно, что $CR' = OR + OC \cdot \operatorname{tg} \varphi$, следовательно,

$l = SO + OR + OC + OC \cdot \operatorname{tg} \varphi = S^*R + OC(1 + \operatorname{tg} \varphi)$. В свою очередь, $OC = \frac{RR'}{\cos \varphi}$, откуда

$l = S^*R + \frac{RR'}{\cos \varphi}(1 + \operatorname{tg} \varphi)$. Определим расстояния из рисунка. Из треугольника $SS'S^*$:

$$S'S^* = 2h \cos \varphi; \quad S^*R = \frac{2h \cos \varphi}{\cos(i-\varphi)}; \quad S'R = 2h \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(i-\varphi); \quad S'S = 2h \sin \varphi \text{ и}$$

$$SR = SS' + S'R = 2h \sin \varphi + 2h \cos \varphi \cdot \operatorname{tg}(i-\varphi). \text{ Но } RR' = SR' - SR = x - SR.$$

Преобразуем выражение для пробега волны с учётом $l = vt$ и полученных соотношений:

$$\begin{aligned} vt &= \frac{2h \cos \varphi}{\cos(i-\varphi)} + [x - 2h \sin \varphi - 2h \cos \varphi \operatorname{tg}(i-\varphi)] = \\ &= \frac{2h \cos \varphi + x \sin(i-\varphi) \cos(i-\varphi) - 2h \sin \varphi \sin(i-\varphi) \cos(i-\varphi) - 2h \cos \varphi \sin^2(i-\varphi)}{\cos(i-\varphi)} = \\ &= \frac{2h \cos \varphi \cos^2(i-\varphi) - 2h \sin \varphi \sin(i-\varphi) \cos(i-\varphi)}{\cos(i-\varphi)} + x \sin(i-\varphi) \end{aligned}$$

Учтём, что $\cos 2\varphi = 2\cos^2 \varphi - 1$, а следовательно, $2\cos^2 \varphi = \cos 2\varphi + 1$. Тогда первое слагаемое последнего выражения преобразуется следующим образом:

$$\begin{aligned} 2h \cos \varphi \cos^2(i-\varphi) - 2h \sin \varphi \sin(i-\varphi) \cos(i-\varphi) &= \\ = h \cos \varphi \cos[2(i-\varphi)] + h \cos \varphi - h \sin \varphi \sin[2(i-\varphi)] &= \\ = h \cdot \left[\underbrace{\cos \varphi \cos[2(i-\varphi)] - \sin \varphi \sin[2(i-\varphi)]}_{\cos[\varphi + 2i - 2\varphi] = \cos(2i - \varphi)} \right] + h \cos \varphi &= h \cdot [\cos(2i - \varphi) + \cos \varphi] = \\ = 2h \cos i \cdot \cos(i-\varphi) \end{aligned}$$

Отсюда $vt = 2h \cos i + x \sin(i-\varphi)$ и окончательно для случая распространения преломлённой волны в направлении восстания границы:

$$t = \frac{2h \cos i}{v} + \frac{x}{v} \cdot \sin(i-\varphi) \quad (1)$$

Первое слагаемое формулы (1) формально позволяет определить эхо-глубину границы в точке источника.

При наблюдениях по падению пласта формула (1) модифицируется следующим образом:

$$t = \frac{2h \cos i}{v} + \frac{x}{v} \cdot \sin(i+\varphi) \quad (2)$$

Проанализируем полученные зависимости.

1. Для горизонтальной границы формулы (1) и (2) вырождаются в:

$$t = \frac{2h \cos i}{v_1} + \frac{x}{v_1} \cdot \sin i = \frac{2h \cos i}{v_1} + \frac{x}{v_2} \quad (3)$$

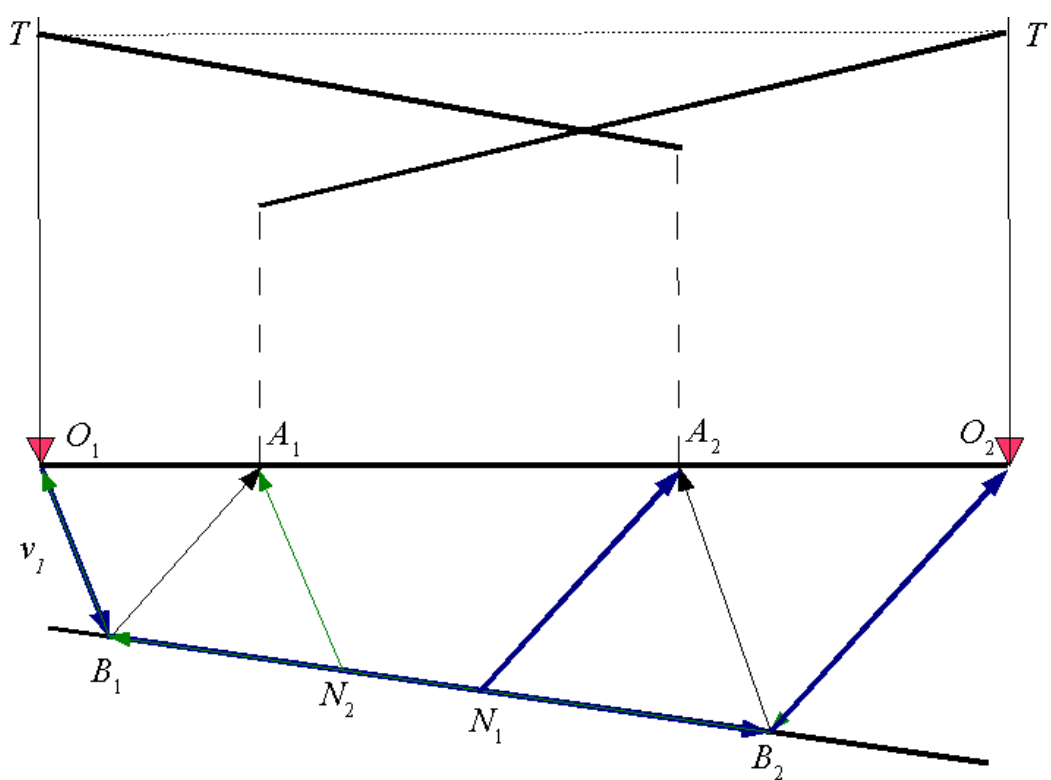
2. При увеличении угла наклона границы может оказаться так, что угол выхода сейсмической радиации окажется меньше нуля: $e < 0$ при $\varphi \geq 90^\circ - i$. В таком случае луч преломлённой волны не возвратится к поверхности земли. Получаем ограничение для МПВ по углу наклона границы.

3. По одиночному годографу преломлённой волны нельзя однозначно установить геологическое строение даже при ряде упрощающих предположений о постоянстве скоростей в покрывающей и преломляющей средах ввиду различия формул (1) и (2). Следовательно, необходимо использовать *системы годографов*. Однозначной интерпретации поддаются *встречные* и *нагоняющие* годографы.

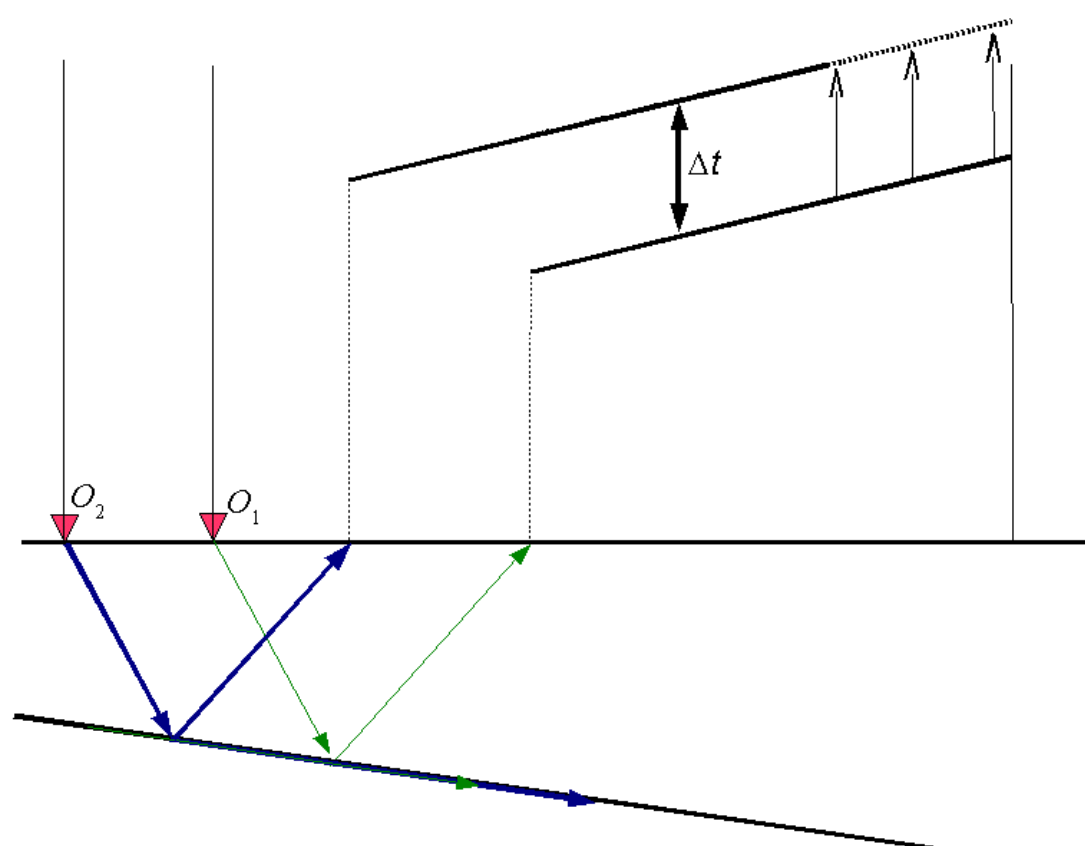
Встречной системой называется система годографов, полученных на единой базе приёма от двух источников возбуждения, находящихся на концах базы приёма (фиг. 2). Встречные годографы увязаны между собой во *взаимных точках* O_1 и O_2 , так как время пробега волны по лучам $O_1B_1B_2O_2$ и $O_2B_2B_1O_1$ одинаково. По встречной системе можно проследить границу на участке N_1N_2 . В случае, если встречные годографы не будут иметь общих точек, система окажется неинтерпретируемой.

В отличие от отражённых волн, форма годографа преломлённой волны не зависит от расстояния до источника, а определяется только формой преломляющей границы и величинами скоростей в покрывающей и преломляющей толщах. Это позволяет совмещать наблюдения, проведённые на единой базе приёма при различных выносах источника от этой базы (фиг. 3). При отсутствии рефракции (прохождения волны во второй слой) подобие годографов должно сохраняться во всех точках профиля. Годограф, полученный от ближнего ПВ, называется *нагоняемым*, а годограф от дальнего ПВ — *нагоняющим*.

Зная разницу времён между этими двумя годографами, можно перенести нагоняемый годограф так, чтобы он совпал с нагоняющим. В результате получим единый — *сводный* — годограф от дальнего ПВ. Подобие нагоняющих годографов является важным признаком их отождествления.



Фиг 2. Система встречных годографов



Фиг 3. Система нагоняющих годографов

Построение преломляющей границы

Зададим модель среды с плоской наклонной границей раздела под углом φ – фиг. 1.

Преломленная волна может быть зарегистрирована на некотором удалении от пункта возбуждения, которое определяется точкой выхода на поверхность луча, падающего и отраженного от границы под углом i .

Первым шагом обработки данных МПВ является корреляция и построение времен прихода первых вступлений. В них выделяются прямолинейные участки, соответствующие прямым и преломленным волнам.

По годографам прямых волн определяется скорость в первом пласте: $v_1 = \frac{\Delta x}{\Delta t}$.

Скорости, определенные по годографам, соответствующим одному и тому же пункту взрыва, должны быть близки. Для соседних пунктов взрывов скорости прямых волн должны изменяться закономерно. В случае наличия корреляционно увязанной системы годографов преломленных волн, а именно такая система используется в МПВ, имеется возможность многократного контроля правильности выделения волн с помощью позиционной и транспозиционной корреляции преломленных волн.

Совместная обработка нескольких перекрывающихся и встречных годографов позволяет построить достаточно протяженные сводные годографы, которые используются для последующей обработки.

По встречным годографам вычисляются кажущиеся скорости преломленных волн v_+^* и v_-^* , полученных при фланговых взрывах для одной и той же расстановки сейсмоприемников. Та скорость, которая имеет большее значение, получена из пункта взрыва по восстанию границы, соответственно, та, которая меньше – по падению границы:

$$v_+^* = \frac{v_1}{\sin(i + \varphi)}; v_-^* = \frac{v_1}{\sin(i - \varphi)} \quad (4)$$

Решая совместно систему уравнений

$$\begin{aligned} i + \varphi &= \arcsin \frac{v_1}{v_+^*} \\ i - \varphi &= \arcsin \frac{v_1}{v_-^*} \end{aligned} \quad (5)$$

можно найти критический угол и угол падения границы, что позволяет определить скорость

во второй среде: $v_2 = \frac{v_1}{\sin i}$. Построение плоской преломляющей границы производится с

использованием значений t_{01} и t_{02} для двух пунктов взрыва, из которых зарегистрированы встречные годографы с использованием соотношения
$$h_{0i} = \frac{v_1 t_0}{2 \cos i} .$$
 Полученные значения эхо-глубин в точках, соответствующих ПВ, позволяют построить участок плоской границы как касательную к двум окружностям.