

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ СПОСОБАМИ: СУММЫ, РАЗНОСТИ И ПОСТОЯННОЙ РАЗНОСТИ

В работе рассматриваются особенности определения средних скоростей способами квадратичных координат и теоретических годографов. Предложено определение средних скоростей способами суммы, разности и постоянной разности.

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

В сейсмике отраженных волн вопросу определения средней скорости пробега упругих колебаний от пикета взрыва до отражающей границы раздела (отражающего горизонта) уделяется исключительное внимание. Обычно до маркирующего отражающего горизонта колебание проходит еще через ряд промежуточных границ раздела, так что средю между поверхностью земли (плоскостью наблюдения времен отражения) и маркирующим горизонтом нельзя считать однородной.

Во многих случаях с некоторым приближением промежуточные слои заменяют одним фиктивным слоем, сводя задачу распространения колебаний в многослойной структуре к задаче о двух слоях. При этом приписывают слою некоторую — фиктивную — скорость, получившую в практике название средней скорости. Обработка данных наблюдений времени отражения с помощью средней скорости часто дает удовлетворительные результаты, которые тем лучше, чем меньше углы наклона отражающего горизонта, чем меньше число промежуточных границ раздела и чем меньше длина сейсмического профиля.

Наиболее точные результаты при определении средних скоростей дает сейсмокароттаж. Но в ряде случаев условия работы не позволяют воспользоваться этим методом определения скоростей, и тогда решающее значение приобретают способы определения по годографам преломленных и отраженных волн. Опуская способы, связанные с регистрацией преломленных волн, коротко остановимся на некоторых особенностях существующих методов определения средних скоростей по годографам отраженных волн. Во всех дальнейших рассуждениях настоящей статьи будем считать отражающую поверхность в рассматриваемом интервале близкой к плоскости или, во всяком случае, обладающей настолько малой кривизной, что влиянием последней можно пренебречь. Кроме того, покрывающую среду будем считать в рассматриваемой области однородной, приписав ей некоторую „среднюю“ скорость.

II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ МЕТОДОМ КВАДРАТИЧНЫХ КООРДИНАТ И МЕТОДОМ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ГОДОГРАФОВ

Если пользоваться данными одного — прямого или обратного — годографа отраженных волн, то вычисление средней скорости в практике чаще всего производится способом квадратичных координат и реже способом теоретических годографов, несмотря на ряд преимуществ последнего. Недостатком способа квадратичных координат является значительная ошибка, создаваемая за счет погрешности в определении минимума гиперболы (точки x_0). Этот недостаток не дает возможности использовать основные достоинства метода — одновременное использование совокупности наблюдений и проведение осредняющей прямой (а не кривой, как в методе теоретических годографов.) Поэтому логично искать такие новые способы определения средних скоростей, которые, с одной стороны, имели бы достоинства способа квадратичных координат, а с другой — позволяли бы находить значения a_1 без использования абсциссы x_0 . Такие способы и предложены нами. Они описаны в § 3 и 4 настоящей статьи *).

III. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ МЕТОДОМ СУММЫ И МЕТОДОМ РАЗНОСТИ

1. Метод суммы. Уравнение годографа отраженных волн от плоской наклонной границы раздела может быть записано следующим образом (задача плоская):

$$(x - x_0)^2 - a_1^2 T^2 + r^2 = 0 \quad (1)$$

Обозначение величин см. на фиг. 1.

Возьмем на годографе отраженных волн две точки: M_1 и M_2 , расположенные по разные стороны от пункта взрыва, причем будем выбирать их так, чтобы удовлетворялось условие:

$$x_2 = 2x_1.$$

Подставляя в уравнение годографа (1) координаты этих точек, получим:

$$\left. \begin{aligned} (2x_1 + x_0)^2 - a_1^2 T_2^2 + r^2 &= 0, \\ (x_1 - x_0)^2 - a_1^2 T_1^2 + r^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Умножив правую и левую часть второго соотношения на два, раскрыв скобки и произведя сложение верхнего и нижнего соотношения (2) будем иметь:

$$6x_1^2 + 3x_0^2 - a_1^2 (T_2^2 + 2T_1^2) + 3r^2 = 0. \quad (3)$$

* Необходимо указать, что на практике определение средней скорости на отдельных годографах отраженных волн, не увязанным по взаимным точкам лишь в редких случаях дает удовлетворительную точность. Этим, по преимуществу, объясняется слабое распространение метода теоретических годографов и других предложенных для этой цели методов. *Ред.*

Введя новые переменные U и V согласно условию:

$$\left. \begin{aligned} U &= x_1^2, \\ U &= 2T_1^2 + T_2^2, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

перепишем соотношение (3) в виде:

$$6U - a_1^2 V + 3(x_0^2 + r^2) = 0. \quad (5)$$

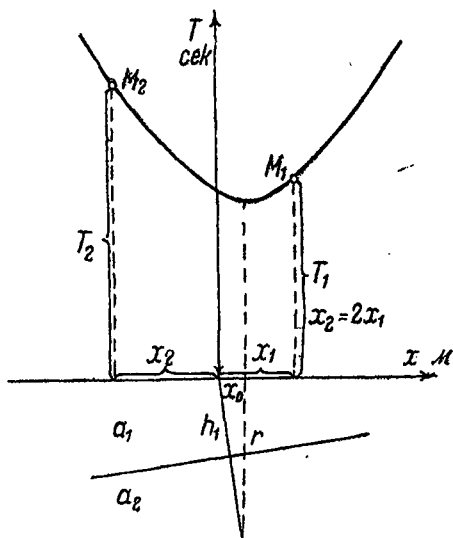
Последнее выражение представляет собой уравнение прямой с угловым коэффициентом:

$$\frac{\Delta U}{\Delta V} = \frac{1}{6} a_1^2.$$

Нетрудно заметить из (4), что величина углового коэффициента, в функции которого выражается скорость, не зависит от абсциссы x минимума годографа отраженных волн.

Пользование методом сводится к следующему. На годографе отраженных волн отмечается n пар точек M_1 и M_2 таких, чтобы соблюдалось условие $x_2 = 2x_1$. Для этих пар точек вычисляются квадратичные координаты U и V согласно соотношению (4). Затем найденные точки наносятся на график в системе координат U, V . По ним строится прямая, угловой коэффициент которой позволяет найти a_1^2 :

$$a_1^2 = 6 \frac{\Delta U}{\Delta V}. \quad (7)$$



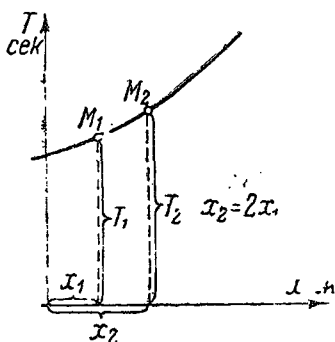
Фиг. 1. К способу суммы.

Сделаем одно практическое замечание. Ввиду того, что абсциссы используемых точек в правой части годографа по условию вдвое меньше абсцисс точек в левой части, последние точки будут быстро использованы, тогда как наиболее отдаленные от пункта взрыва точки правой части останутся не учтенными. Для равномерного использования большинства точек годографа и обеспечения этим самым равного влияния на результат необходимо найти координаты U и V для противоположного расположения точек M_1 и M_2 , т. е. найти U и V , когда точки M_1 берутся слева, а соответствующие им точки $M_2 (x_2 = 2x_1)$ справа.

Для ускорения работы рекомендуется вести следующий формуляр:

№ п/п	U		V				Примечание	
	x_1	x_1^2	T_1	$2T_1^2$	T_2	T_2^2		$2T_1^2 + T_2^2$

С целью ускорения работы выписывание x_1^2 , T_1^2 и T_2^2 по найденным величинам x_1 , T_1 , T_2 можно производить с помощью специального шаблона, подобного приведенному ниже (§ 5).



Фиг. 2. К способу разности.

Возьмем на годографе отраженных волн (полагаем, что в данном случае имеется только одна правая ветвь) две точки M_1 и M_2 с координатами x_1 , T_1 и x_2 , T_2 , причем так, чтобы

$$x_2 = 2x_1.$$

Подставив в уравнение (1) годографа отраженных волн координаты точек M_1 и M_2 , будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} (2x_1 - x_0)^2 - a_1^2 T_2^2 + r^2 &= 0, \\ (x_1 - x_0)^2 - a_1^2 T_1^2 + r^2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Умножим нижнее соотношение на два, вычтем из верхнего и раскроем скобки; тогда получим:

$$2x_1^2 - x_0^2 - a_1^2(T_2^2 - 2T_1^2) - r^2 = 0.$$

Вводя новые переменные согласно условию:

$$\left. \begin{aligned} U &= x_1^2, \\ V &= T_2^2 - 2T_1^2, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

перепишем последнее соотношение в виде:

$$2U - a_1^2 V - (x_0^2 + r^2) = 0.$$

Полученное выражение есть уравнение прямой с угловым коэффициентом:

$$\frac{\Delta U}{\Delta V} = \frac{1}{2} a_1^2.$$

Как опять нетрудно заметить, величина углового коэффициента, определяющего скорость, не зависит от положения минимума годографа отраженных волн.

Обработка годографа сводится теперь к следующему.

Намечаем на годографе положение n пар точек M_1 и M_2 , соблюдая условие $x_2 = 2x_1$ и строим в квадратичных координатах U, V прямую. Величины U и V определяем из соотношений (9). Угловым коэффициентом этой прямой и определит скорость a_1

$$a_1^2 = 2 \frac{\Delta U}{\Delta V}. \quad (10)$$

Вычисления удобнее производить с помощью вышеупомянутого формуляра.

IV. СПОСОБ ПОСТОЯННОЙ РАЗНОСТИ

Развитием предыдущих двух способов и, как мы считаем, одним из наиболее совершенных из существующих способов определения средних скоростей по годографам отраженных волн является способ постоянной разности.

Возьмем на годографе (фиг. 3) две точки M_1 и M_2 с координатами x_1, T_1 и x_2, T_2 .

Положим, что

$$x_2 = x_1 + m,$$

где m — некоторый постоянный интервал по оси абсцисс между первой и второй точками.

Подставив в уравнение годографа отраженных волн координаты точек M_1 и M_2 , будем иметь:

$$\begin{aligned} [(x_1 + m) - x_0]^2 - a_1^2 T_2^2 + r^2 &= 0, \\ (x_1 - x_0)^2 - a_1^2 T_1^2 + r^2 &= 0. \end{aligned}$$

Вычитая из верхнего соотношения нижнее, получим:

$$2x_1 m + m^2 - 2m x_0 - a_1^2 [T_2^2 - T_1^2] = 0.$$

Вводя обозначения:

$$\begin{aligned} U &= x_1, \\ V &= T_2^2 - T_1^2, \end{aligned} \quad (11)$$

перепишем последнее соотношение в виде

$$2mU - a_1^2 V + m(m - 2x_0) = 0 \quad (12)$$

Угловой коэффициент прямой (12)

$$\frac{\Delta U}{\Delta V} = a_1^2 \frac{1}{2m}$$

не зависят от величины x_0 .

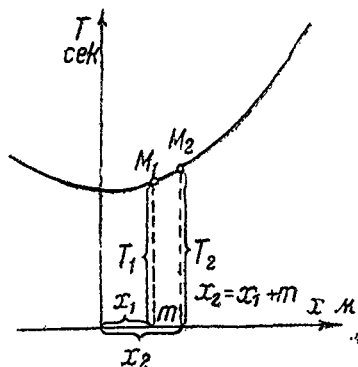
Правило определения скорости будет следующее: выбираем на годографе отраженных волн n пар точек, таких, что для каждой пары справедливо равенство:

$$x_2 = x_1 + m.$$

В системе координат U, V , определяемых из (11), строим прямую (12). Угловой коэффициент этой прямой позволяет найти a_1^2 :

$$a_1^2 = 2m \frac{\Delta U}{\Delta V}.$$

Последнее соотношение и дает значение средней скорости, определенной способом постоянной разности.



Фиг. 3. К способу постоянной разности.

V. ШАБЛОН ДЛЯ УСКОРЕННОГО РАСЧЕТА a_1 СПОСОБОМ ПОСТОЯННОЙ РАЗНОСТИ

Определение скорости способом постоянной разности значительно упрощается, если пользоваться шаблоном, по оси ординат которого отложены квадраты времен в миллисекундах, а по оси абсцисс — расстояния в метрах (фиг. 4).

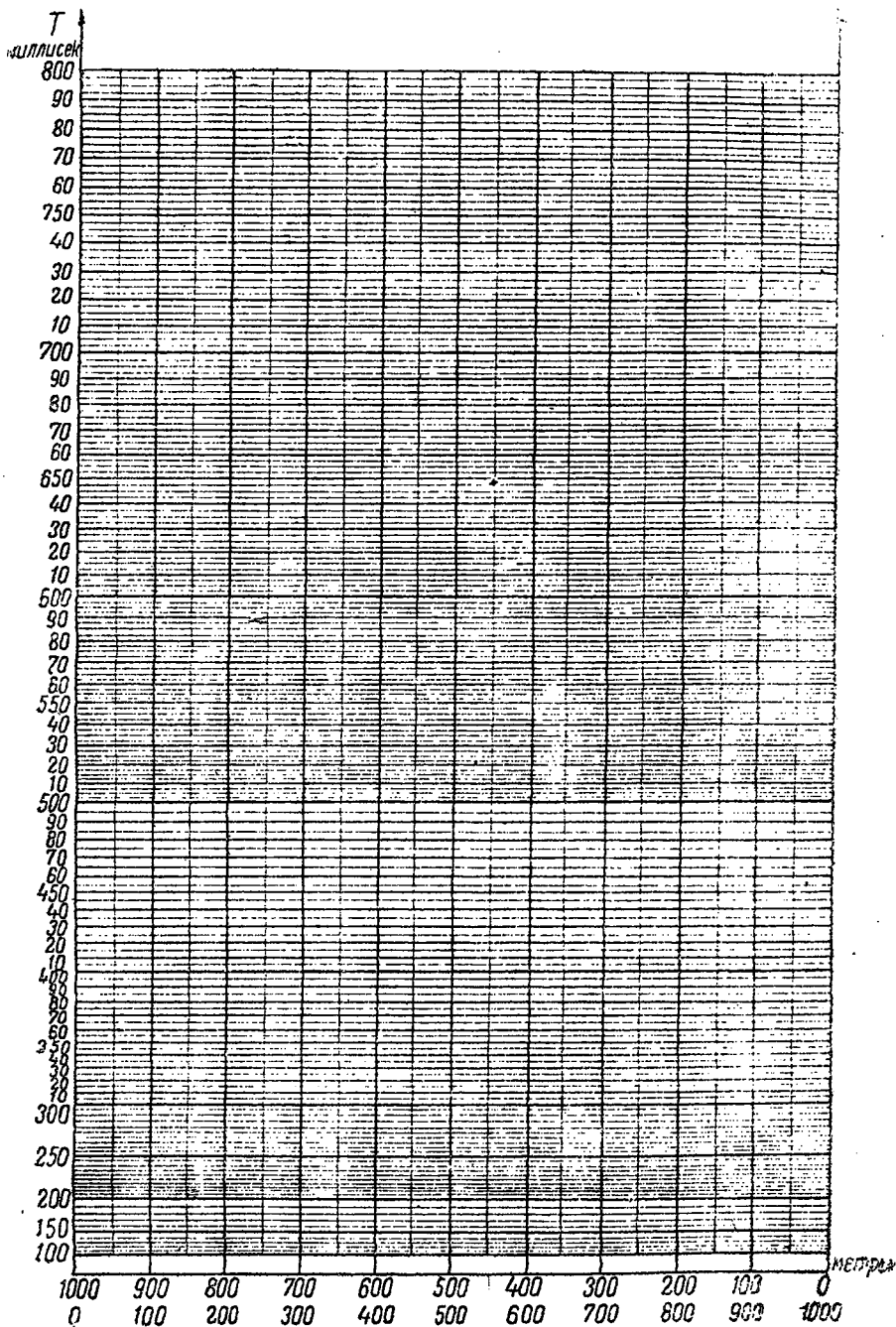
Время по оси ординат принято откладывать обычно с точностью до 0,001 сек. Найдем масштаб оси ординат шаблона, по которому можно было бы отсчитывать времена с требуемой точностью. Очевидно, масштаб будет различен для разных интервалов изменения величины T . Чтобы получить для всего шаблона требуемую точность, пришлось бы делать его значительных размеров, что может оказаться громоздким. Поэтому определим выбор шаблона условием, чтобы он давал требуемую точность отсчета для фиксированного значения T , а именно, для $T = 500$ миллисекунд (0,5 сек.). Общая формула имеет вид:

$$1 \text{ см} = \frac{2T\Delta T}{\Delta L}, \quad (13)$$

где T — время в миллисекундах;

ΔT — требуемая точность отсчета в миллисекундах;

ΔL — точность графического отсчета в см.



Фиг. 4. Шаблон для ускоренного расчета средней скорости способом постоянной разности.

Приняв $T = 500$ миллисекунд, $\Delta T = 1$ миллисекунде, $\Delta L = 0,05$ см, получим:

$$1 \text{ см} = \frac{2 \cdot 500 \cdot 1}{0,05} = 20\,000 \text{ (миллисекунд)}^2.$$

При таком масштабе можно с удовлетворительной точностью произвести отсчет времен по шаблону от $T = 350$ миллисекунд и выше. Если требуется с указанной точностью отсчитывать времена T , меньшие $T = 350$ миллисекунд, нужно пересчитать масштаб шаблона по формуле (13).

Можно рекомендовать следующую схему работы с шаблоном: на восковке проводят две взаимно перпендикулярные прямые и, наложив восковку на шаблон, совмещают одну из прямых с осью ординат шаблона, а вторую с прямой, параллельной оси абсцисс (ординату последней прямой удобнее выбирать меньшей наименьшего времени отражения). Затем по оси ординат восковки накалывают против соответствующих точек профиля времена отражений, что выполняется легко, так как ось ординат шаблона помечена в миллисекундах. Далее ордината каждой точки, нанесенной на восковку, уменьшается на величину предыдущей ординаты, что выполняется с помощью измерителя. Полученная разность будет $T_2^2 - T_1^2$. По построенным таким образом новым точкам проводится осредняющая прямая. Ее угловой коэффициент и определяет скорость a_1 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время единственно достаточно верными способами определения средних скоростей по годографам отраженных волн следует считать способы теоретических годографов и постоянной равности. С применением шаблона, описанного в настоящей статье, последний способ дает возможность найти среднюю скорость с минимумом операций, почти не уступая в этом отношении способу теоретических годографов.

ЛИТЕРАТУРА

Ризниченко Ю. В. «О средней скорости в сейсмике отраженных волн». Сборник статей по сейсмической разведке. ГОНТИ НКТП СССР, 1938.