

СПОСОБ МИНИМИЗАЦИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК СЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Известно, что скорость распространения сейсмических волн в поверхностном слое земли сильно зависит от плотности грунта, его температуры, влажности, наличия растительного покрова и различного рода сооружений, а также разнообразия форм рельефа на данной территории. В общем виде скорость распространения прямой волны выражается формулой [4]

$$V_p = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\delta(1+\delta)(1-2\delta)}}, \quad (1)$$

где E — модуль Юнга; σ — коэффициент Пуассона; δ — акустическая вязкость грунта.

Для равнинной местности, например, величина скорости распространения в зависимости от типа грунтов [1] показана в табл. 1. Из таблицы видно, что при изменении физических свойств грунта скорость распространения сейсмических волн имеет различное значение, изменяющееся для каждого типа грунта в широких пределах.

Однако согласно данным работы [4] общее изменение скорости обычно не более 500 м в секунду, причем диапазон изменений скорости уменьшается с глубиной.

При аппаратурной реализации автоматических систем определения координат точек земной поверхности, где произведен сейсмический взрыв, зависимость скорости распространения волны от указанных выше причин является основным сдерживающим фактором развития таких систем, несмотря на кажущуюся простоту осуществления и высокую техническую и экономическую эффективность.

Таблица 1
Скорость распространения сейсмических волн в зависимости от типа грунтов

Тип грунтов	Толщина пласта	Скорость распространения сейсмической волны
Червозем	0—2 м	100 м/с
Глина рыхлая	0—8 м	400 м/с
Суглинок	0—2 м	450 м/с
	0—10 м	500 м/с
	0—20 м	400—600 м/с
Галечник	5—7 м	500—1500 м/с
Песок с галькой	0	550 м/с
Песчано-глинистый	0	600—800 м/с
Сухой галечник	0—12 м	710 м/с
Песок влажный		200—1800 м/с
Песчаник мокрый		1800—4000 м/с
Мел		1800—3500 м/с
Известняк, доломит		2500—6000 м/с
Мергель		2000—3500 м/с
Ангидрид, гипс		4500—6500 м/с
Лед		4200—5500 м/с
Гранит		4500—5700 м/с
Метаморфическая порода		4500—6800 м/с
Выветренный почвенный слой		100—500 м/с
Воздух		310—360 м/с
Вода		1430 м/с

гибкий металлический прут диаметром 30 мм. Для придания жесткости прут от места изгиба при помощи стержня приваривался к верхней грани пластины таким образом, чтобы конец стержня выходил за пластину на 30—40 мм. Выходящим за пластину концом стержня марка накладывалась на верхнюю грань железобетонной несущей колонны и приклеивалась всей поверхностью металлической пластины к боковой грани колонны специальным клеем. Размеры марок несколько колебались в зависимости от того, насколько трубы разводки газа выдвигались за несущие колонны. На рис. 3 показаны труба высокого давления, несущая колонна с приклеенной маркой и установленной на ней рейкой.

Клей изготавливался из таких компонентов: 1. Смола эпоксидная — 1 кг. 2. Дибутилфталат — 0,1 кг. 3. Полиэтиленгликоль — 0,1 кг. Изготовленного в таком количестве клея хватало для крепления 20—25 марок. Всего на фундаменты разводки труб высокого давления было приклеено 94 марки.

Внутри цехов в фундаменты ГПА было заложено 120 марок, изготовленных из углового железа согласно руководству [3]. Каждая марка приваривалась к металлическому каркасу несущей колонны.

Опыт четырехлетних наблюдений подтвердил, что все знаки были заложены надежно. Глубинные реперы были устойчивы, ни одна из осадочных марок не разрушилась и не отпала.

Список литературы: 1. Брайт П. И. Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений. — М.: Недра, 1965. 2. Журнадики В. М., Николаев В. В. Механика грунтов, основания и фундаменты. — М.: Высшая школа, 1967. 3. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1975. 4. СНиП II—19—79. Фундаменты машин с динамическими нагрузками. — Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1980.

Статья поступила в редколлегию 18.03.82

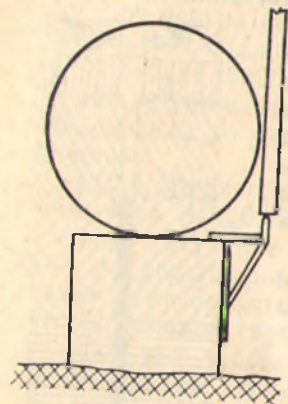


Рис. 3. Осадочная марка, приклеенная к несущей колонне трубопровода с установленной на ней рейкой.

Изменение скорости распространения сейсмической волны по месту и времени может вносить значительные ошибки в определяемые координаты взрыва по способу, предложенному в работе [5].

Для минимизации фазовых погрешностей вследствие неточного определения природы фиксируемых сейсмических волн, недостаточного знания геологической структуры и в соответствии с этим неточного определения скорости распространения сейсмических волн, участвующих в процессе их фазового сравнения, разработан способ косвенной коррекции этих погрешностей.

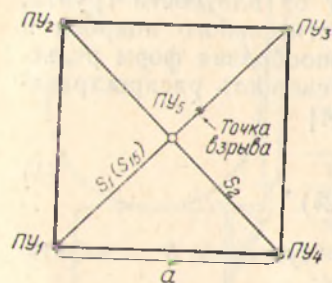


Схема наблюдения сейсмических сигналов.

В схеме наблюдения сейсмических сигналов [5] участвуют четыре приемных устройства (ПУ₁), расположенные на местности в вершинах квадрата со стороны a . Вершины квадрата и его центр закреплены на местности наружными знаками (рисунок).

Допустим, что в центре квадрата на местности произведен сейсмический взрыв. При одинаковой скорости распространения волны по всем направлениям, время t_i распространения этой волны к точкам установки приемных устройств должно быть одинаково, т. е. первые вступления сейсмического сигнала должны быть синфазны.

По-видимому, критерием синфазности в данном случае является закон, выражаемый линейным уравнением

$$S_2 - S_1 = V_2 t_2 - V_1 t_1 = \tau V_{cp}, \quad (2)$$

где V_{cp} — средняя скорость распространения прямой сейсмической волны на территории рабочей зоны; V_1 и V_2 — соответственно скорости распространения сейсмических волн к приемным устройствам ПУ₁ и ПУ₂; τ — разность фаз импульсов, сформированных в приемных устройствах ПУ₁ и ПУ₂ по первым вступлениям волны; t_i — время распространения прямой волны от точки 5 к ПУ₁.

Если среднюю скорость распространения волны аппроксимировать функцией f_0 , кратной или равной этой скорости, то уравнение (2) для общего случая неравенства скоростей V_1 и V_2 может быть представлено как

$$f_0(t_2 - t_1) = f_0 \tau \quad (3)$$

или уравнение вида

$$f_0(t_2 - t_1 - \tau) = 0 \quad (4)$$

представляет собой критерий синфазности импульсов при

$$\frac{V_2 + V_1}{2} = V_{cp} = f_0.$$

$$\text{Поскольку } a^2 = 2 t^2 V_{cp}^2 = 2 t^2 f_0^2, \text{ то } t = \frac{a}{f_0 \sqrt{2}}, \quad (5)$$

где f_0 — частота тактового генератора.

Если заполнить временные интервалы между передними фронтами импульсов, поступивших от ПУ₁ и ПУ₂, импульсами частотой 1000 Гц, то на счетчиках аналого-цифрового преобразователя, работающего по схеме «время—время», мы получим величину « n », равную чистой разности фаз между указанными импульсами, выражающуюся в заданной размерности, например, в миллисекундах.

Если же временные интервалы заполнить частотой f_i , кратной или равной скорости распространения, то на счетчиках АЦП будет отображено число « n_i », представляющее собой разность расстояний между точками 5 и ПУ₁. Поскольку на самом деле эти расстояния равны, то в данном случае число « n_i » представляет собой погрешность в оценке этих расстояний при аппроксимации приблизительно известной скорости V_{cp} распространения функций f_0 между парами ПУ

$$n_i = \tau_i f_i \quad (6), \quad \tau_i = \frac{n_i}{f_i}. \quad (7)$$

Поскольку в реальных условиях $V_i = V_{cp} + \Delta V$, то согласно (2) погрешность в определении скорости ΔV будет функцией времени и разность фаз, измеренная системой, будет иметь ошибку.

Определим аналитически погрешность в скорости распространения сейсмических волн в первом приближении, продифференцировав формулу (5). Тогда

$$dt = - \frac{a}{f_0^2 \sqrt{2}} df_0. \quad (8)$$

Проинтегрируем это дифференциальное уравнение в пределах измеряемого временного интервала, т. е. от t_1 до t_2 . Получим

$$\int_{t_1}^{t_2} dt = - \frac{a}{f_0^2 \sqrt{2}} \int_{f_1}^{f_2} df_0 \quad (9)$$

или

$$t_2 - t_1 = - \frac{a}{f_0^2 \sqrt{2}} (f_2 - f_1).$$

Заменив значения переменных в соответствии с (7), имеем

$$\tau = - \frac{a}{f_0^2 \sqrt{2}} \Delta f, \quad (10) \quad \Delta f = - \frac{n f_0 \sqrt{2}}{a}. \quad (11)$$

После контрольного взрыва, произведенного в центре квадрата, нетрудно по формуле (11) подсчитать поправку в частоту тактового генератора, работающего на три пары датчиков, и изме-

нить эту частоту подстроечными элементами генератора, контролируя эти изменения на цифровых индикаторах блока генератора. Допустимая среднеквадратическая ошибка коррекции частоты f_0 в соответствии с [6] равна

$$m_{\Delta f}^2 = \left(\frac{\partial \Delta f_0}{\partial \tau} \right)^2 m_{\tau}^2 + \left(\frac{\partial \Delta f_0}{\partial f_0} \right)^2 m_{f_0}^2 + \left(\frac{\partial \Delta f_0}{\partial a} \right)^2 m_a^2. \quad (12)$$

Частные производные по всем переменным равны

$$\left(\frac{\partial \Delta f_0}{\partial \tau} \right)^2 = \left(-\frac{f_0^2 \sqrt{2}}{a} \right)^2; \quad \left(\frac{\partial \Delta f_0}{\partial f_0} \right)^2 = \left(-\frac{2\tau f_0 \sqrt{2}}{a} \right)^2; \\ \left(\frac{\partial \Delta f_0}{\partial a} \right)^2 = \left(-\frac{n f_0 \sqrt{2}}{a^2} \right)^2,$$

причем $m_{\tau} = \pm 1$ мс, $m_{f_0} = \pm 1$ Гц, $m_a = \pm 3$ м при $a = 2,5$ км, $f_0 = 2400$ Гц и $\tau = 100$ мс.

Тогда в числовом выражении

$$m_{\Delta f}^2 = \frac{5,76 \cdot 10^4 \sqrt{2} \cdot 10^{-6}}{2,5 \cdot 10^2} + \frac{2 \cdot 10^2 \cdot 2,4 \cdot 10^2 \sqrt{2}}{2,5 \cdot 10^2} + \\ + \frac{5,76 \cdot 10^4 \cdot 10^{-1} \cdot 9 \sqrt{2}}{6,25 \cdot 10^4};$$

$$m_{\Delta f} = \pm \sqrt{4 \cdot 10^{-4} + 192 \cdot 10^{-4} + 1300 \cdot 10^{-4}} = \\ = \pm 115 \cdot 10^{-2} = \pm 1,15 \text{ Гц.}$$

Такая точность определения поправки в частоту при заданных значениях среднеквадратических ошибок m_{τ} , m_{f_0} и m_a соответствует статическому режиму кварцевого генератора, а перестраиваемый делитель частоты тактового генератора не может работать в статическом режиме и, кроме того, его параметры подвержены изменению внешних условий (температуры, влажности).

Для того чтобы повысить точность введения поправок в частоты f_i , синтезированные генератором, эти частоты должны быть, как минимум, на два порядка выше, чем V . Тогда среднеквадратическая ошибка выставки Δf_i реализуется установкой средней частоты заполнения в пределах ± 115 Гц, что технически осуществимо.

В соответствии с формулой (2) поправка в частоту представляет собой поправку в скорость распространения сейсмической волны между парами ПУ, выраженную через показания « n » счетчиков АЦП.

При необходимости более тщательного измерения средней скорости распространения волны для данной территории в центре квадрата устанавливается один из ПУ и на удалении от него в 200–300 м по диагонали квадрата производится взрыв.

Частота тактового генератора устанавливается 1000 Гц. Поскольку расстояние S_{15} известно при известной базе системы, то

нетрудно подсчитать скорость распространения сейсмической волны между этими ПУ, так как показания счетчиков АЦП в этом случае определяют чистое время пробега волны между ПУ₆ и ПУ₁.

$$V_{cp} = \frac{S_{15}}{n}. \quad (13)$$

Точка подрыва заряда вынесена от ПУ₅ для уменьшения вероятности приема электромагнитного импульса от взрывающегося заряда и перехода подвижной системы датчиков в автоколебательный [3] режим.

Учет поправок в скорость распространения сейсмических волн возможен в автоматическом режиме при использовании для вычисления координат точек взрыва процессоров или мини-ЭВМ.

Как известно из работы [5], расчет координат X_5 и Y_5 эпицентра взрыва производится решением системы уравнений

$$2V_{12}\tau_{12}S_{15} + 2aX_5 = a^2 - (V_{12}\tau_{12})^2; \\ 2V_{14}\tau_{14}S_{15} + 2aY_5 = a^2 - (V_{14}\tau_{14})^2; \\ 2V_{13}\tau_{13}S_{15} + 2aX_5 + 2aY_5 = 2a^2 - (V_{13}\tau_{13})^2. \quad (14)$$

Напишем формулы скоростей распространения волн в соответствии с выводами (5) и (11), тогда

$$V_{12} = f_1 - \frac{n_1 f_1 \sqrt{2}}{a};$$

$$V_{14} = f_3 - \frac{n_3 f_3 \sqrt{2}}{a};$$

$$V_{13} = f_2 - \frac{n_2 f_2 \sqrt{2}}{a}.$$

Подставив эти значения скоростей в (14), имеем

$$2\tau_{12} \left(f_1 - \frac{n_1 f_1 \sqrt{2}}{a} \right) + 2aX_5 = a^2 - \left[\left(f_1 - \frac{n_1 f_1 \sqrt{2}}{a} \right) \tau_{12} \right]^2; \\ \tau_{14} \left(f_3 - \frac{n_3 f_3 \sqrt{2}}{a} \right) + 2aY_5 = a^2 - \left[\left(f_3 - \frac{n_3 f_3 \sqrt{2}}{a} \right) \tau_{14} \right]^2; \\ 2\tau_{13} \left(f_2 - \frac{n_2 f_2 \sqrt{2}}{a} \right) + 2aX_5 + 2aY_5 = 2a^2 - \left[\left(f_2 - \frac{n_2 f_2 \sqrt{2}}{a} \right) \tau_{13} \right]^2. \quad (15)$$

Раскрыв скобки и заменив $f_i \tau_i = N_i$ и $f_i^* \tau_i^* = n_i$, имеем

$$2N_1 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_1}{a} \right) S_{15} + 2aX_5 = a^2 - N_1^2 + 2N_1 \left(\sqrt{2} \frac{n_1 f_1}{a} - \frac{n_1^2}{a^2} \right); \\ 2N_3 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_3}{a} \right) S_{15} + 2aY_5 = a^2 - N_3^2 + 2N_3 \left(\sqrt{2} \frac{n_3 f_3}{a} - \frac{n_3^2}{a^2} \right);$$

$$2N_2 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_2^2}{a} \right) S_{15} + 2aX_5 + 2aY_5 = 2a^2 - N_2^2 + 2N_2 \left(\sqrt{2} \frac{n_2 f_2}{a} - \frac{n_2^2}{a^2} \right), \quad (16)$$

где N_i — показания счетчиков АЦП в режиме измерений; n_i — показания счетчиков АЦП в режиме коррекции.

Программа обработки измерений должна предусматривать запись в ПЗУ или ОЗУ чисел n_i , f_i^k и базы системы a в режиме коррекции и запись в ОЗУ чисел N_i и f_i в рабочем режиме — «измерения».

В соответствии с (16) расчет координат ведется мини-ЭВМ через матричные определители

$$\Delta = \begin{vmatrix} \left[2N_1 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_1}{a} \right) \right] 2a & 0 \\ \left[2N_3 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_3}{a} \right) \right] 0 & 2a \\ \left[2N_2 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_2}{a} \right) \right] 2a & 2a \end{vmatrix}$$

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} \left[2N_1 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_1}{a} \right) \right] \left[a^2 - N_1^2 + 2N_1 \left(\sqrt{2} \frac{n_1 f_1}{a} - \frac{n_1^2}{a^2} \right) \right] & 0 \\ \left[2N_3 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_3}{a} \right) \right] \left[a^2 - N_3^2 + 2N_3 \left(\sqrt{2} \frac{n_3 f_3}{a} - \frac{n_3^2}{a^2} \right) \right] & 2a \\ \left[2N_2 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_2}{a} \right) \right] \left[2a^2 - N_2^2 + 2N_2 \left(\sqrt{2} \frac{n_2 f_2}{a} - \frac{n_2^2}{a^2} \right) \right] & 2a \end{vmatrix}$$

$$\Delta_y = \begin{vmatrix} \left[2N_1 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_1}{a} \right) \right] 2a \left[a^2 - N_1^2 + 2N_1 \left(\sqrt{2} \frac{n_1 f_1}{a} - \frac{n_1^2}{a^2} \right) \right] \\ \left[2N_3 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_3}{a} \right) \right] 0 \left[a^2 - N_3^2 + 2N_3 \left(\sqrt{2} \frac{n_3 f_3}{a} - \frac{n_3^2}{a^2} \right) \right] \\ \left[2N_2 \left(1 - \sqrt{2} \frac{n_2}{a} \right) \right] 2a \left[2a^2 - N_2^2 + 2N_2 \left(\sqrt{2} \frac{n_2 f_2}{a} - \frac{n_2^2}{a^2} \right) \right] \end{vmatrix} \quad (17)$$

Тогда по формулам Крамера

$$X_5 = \frac{\Delta_x}{\Delta} \quad \text{и} \quad Y_5 = \frac{\Delta_y}{\Delta}.$$

При машинной, автоматической коррекции фазовых погрешностей за счет неидентичности скорости распространения сейсмических волн по направлениям не обязательно каждый раз выстав-

лять частоту тактового генератора во время коррекции. Достаточно для данной территории определить ее один раз в квартал при смене климатических условий и иметь записанной в ПЗУ мини-ЭВМ.

Поправки в соответствии с формулами расчета координат (17) вводятся машиной автоматически.

При использовании этого способа минимизации фазовых погрешностей в оценке временных интервалов за счет неидентичности скорости распространения волн по направлениям от точки взрыва попутно решается вопрос учета разброса динамических фазовых характеристик пар датчиков [3], искажений и фазовых задержек передних фронтов импульсов в парах ПУ при передаче информации по проводным каналам связи.

Это особенно важно при использовании проводных каналов связи различной длины от ПУ до блоков обработки измерительной информации.

После решения определителей системы уравнений (14) получаем следующие формулы координат точки взрыва по разностям расстояний

$$X = \frac{a}{2} - \frac{(N_{12} N_{14}^2 + N_{13} N_{12}^2 - N_{14} N_{14}^2 - N_{12} N_{13}^2)}{2a(N_{13} - N_{14} - N_{12})};$$

$$Y = \frac{a}{2} - \frac{(N_{13} N_{14}^2 + N_{14} N_{12}^2 - N_{12} N_{14}^2 - N_{14} N_{13}^2)}{2a(N_{13} - N_{14} - N_{12})}, \quad (18)$$

а для решения по разностям фаз моментов первых вступлений имеем

$$X = \frac{a}{2} - \frac{V^2 (\tau_{12} \tau_{14}^2 + \tau_{13} \tau_{12}^2 - \tau_{14} \tau_{14}^2 - \tau_{12} \tau_{13}^2)}{2a(\tau_{13} - \tau_{14} - \tau_{12})};$$

$$Y = \frac{a}{2} - \frac{V^2 (\tau_{13} \tau_{14}^2 + \tau_{14} \tau_{12}^2 - \tau_{12} \tau_{14}^2 - \tau_{14} \tau_{13}^2)}{2a(\tau_{13} - \tau_{14} - \tau_{12})}. \quad (19)$$

В табл. 2 приводятся данные экспериментальных определений координат автоматизированной системой с использованием сейсмических методов, осуществленных на специальном полигоне.

Координаты точек взрывов были предварительно определены инструментально в условной системе координат, образованной сторонами квадрата с точностью ± 3 м в плане по отношению к пунктам государственной геодезической сети II—III классов.

При этом была определена скорость распространения сейсмических волн на одном из направлений по изложенной выше методике, оказавшейся равной 1669 м/с. Частота заполнения временных интервалов, выделенных АЦП системы, была принята 1000 Гц для получения на счетчиках разности фаз моментов первых вступлений сейсмических волн в пунктах приема. Расчет координат точек взрывов производился по формулам (19) на интерпретирующем процессоре «ИСКРА—1256» и приведен в табл. 2.

Рассматривая расчетные величины, видно, что координаты точек взрывов отягощены погрешностями, источником которых, по-

Расчет координат точек сейсмических взрывов

Таблица 2

Частота заполнения $f_0 = 1000$ Гц. База системы $d = 1000$ м Средняя скорость распространения волны $v = 1700$ м/сек									
№ точек	τ_{1-2}	τ_{1-3}	τ_{1-4}	Координаты точ. из геодезическ. полевых измерен.		Координаты точ. полученных экспериментально		ΔX	ΔY
				X	Y	X	Y		
1	-0,006	+0,009	+0,014	500,0	500,0	507,6	493,3	+ 2,6	- 6,0
2	+0,008	+0,019	+0,013	500,0	500,0	503,3	505,3	+ 3,3	+ 5,3
3	-0,018	-0,019	-0,007	517,8	505,8	502,7	501,1	-14,9	- 4,6
4	+0,041	-0,156	-0,131	543,5	373,5	536,3	351,3	- 6,9	-22,1
5	-0,133	-0,045	+0,067	682,0	410,4	695,9	381,9	-13,9	-28,4
6	+0,043	+0,207	+0,101	444,7	379,5	443,1	358,0	- 1,5	-21,4
7	+0,128	+0,257	-0,134	400,5	533,5	405,7	547,9	+ 5,2	+14,4
8	-0,019	-0,025	-0,001	526,2	503,3	494,0	499,7	-38,1	- 3,5
9	-0,037	-0,033	-0,015	516,3	514,8	506,4	503,4	-10,7	-12,0
10	+0,035	-0,062	-0,038	536,2	514,8	528,1	530,4	- 8,0	+15,6
11	-0,021	-0,002	+0,013	515,1	499,2	502,4	497,8	-12,6	- 1,3

|ΔX_{ср.}| = 19,5 м, |ΔY_{ср.}| = 11,4 м, m_x = ±15,2 м, m_y = ±14,2 м.
Среднеквадратическая ошибка определения координат автоматизированным способом M_{x,y} = ±20,1 м.

Результаты расчета координат точек
при введении заранее известных погрешностей

Таблица 3

Вариан- ты	Вводимые погрешности σ = ±0,01 сек			ΔX _{ср}	ΔY _{ср}	m _{xср}	m _{yср}	M _{x,y}
	τ ₁₋₂	τ ₁₋₃	τ ₁₋₄					
1.	Полевые измерения			-10,0	-8,0	±17,2	±14,1	±22,3
2.	+0,01	-0,01	+0,01	- 7,9	+1,3	±12,7	±20,8	±24,3
3.	-0,01	-0,01	-0,01	+ 1,2	-5,6	±12,5	±28,5	±30,8
4.	+0,01	-0,01	-0,01	- 4,2	-5,6	±12,9	±17,8	±22,0
5.	+0,01	+0,01	+0,01	- 7,9	-3,6	±18,1	±27,9	±33,3
6.	+0,01	+0,01	-0,01	- 5,5	-4,5	±11,6	±21,7	±24,6
7.	-0,01	+0,01	-0,01	- 1,0	-6,4	±10,5	±17,0	±20,0
	Средние значения			- 5,0	-4,6	±13,6	±21,1	±27,6

видимому, служит неоднородность среды, в которой распространяются сейсмические волны, и связанное с этим непостоянство по направлениям скорости распространения сейсмической волны. Фазовыми задержками в каналах связи при коротких длинах проводных линий можно пренебречь.

Аналитический вывод погрешностей может быть представлен формулами среднеквадратических ошибок определения координат X и Y путем дифференцирования по частным производным выражений (19). Однако вычисление этих ошибок с достаточной степенью точности представляется сложным делом, тем более, когда

анализируемые переменные зависимы друг от друга (например, время и скорость).

В первом приближении мы воспользовались методом введения заранее известных погрешностей в разности фаз τ_{1-i} и заново рассчитали координаты точек по приведенным выше формулам, причем скорость V нами не изменялась намеренно.

Результаты расчета показаны в табл. 3. Из нее видно, что погрешности в τ_{1-i} приводят к максимальным ошибкам в определении координат в экстремальных случаях, когда погрешностями с одинаковым весом отягощены все разности фаз, а изменения расчетной скорости показывают, что коррекция в предлагаемой работой [5] методике и схеме наблюдения моментов первых вступлений сейсмической волны обязательна.

Окончательные выводы о точности получения координат этим способом минимизации фазовых погрешностей и результатах коррекции можно сделать после полевых исследований полного комплекса автоматической системы определения координат и накопления статистического материала несколько большего объема.

Список литературы: 1. Берзон И. С., Епинатьева А. М., Парийская Г. П., Стародубровская С. П. — Динамические характеристики сейсмических волн в реальных средах. — М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1962. 2. Видуев Н. Г., Григоренко А. Г. Математическая обработка геодезических измерений. — Киев. Вища школа, 1978. 3. Ленк А. Электромеханические системы. — М.: Мир, 1978. 4. Петкевич Г. И. Факторы, определяющие скорости сейсмических волн. — М.: Недра, 1962. 5. Спицын Ю. И. Способ определения координат точек и параметров их взаимного положения с помощью поверхностного сейсмического эффекта. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1982, вып. 35. 6. Чеботарев А. С. Способ наименьших квадратов. — М.: Геодезиздат, 1958.

Статья поступила в редколлегию 13.01.82

УДК 528.061.2

А. Е. ФЕДОРИЩЕВ, Н. И. КРАВЦОВ, В. А. ПЕРВАГО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В 500-МЕТРОВОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЕ ИЗМЕРЕНИЙ У ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В настоящее время физические явления и эффекты, свойственные распространяющимся потокам электромагнитных колебаний, получили глубокое научное объяснение. Изучена их природа в различных физических средах. Вместе с тем влияние слоистых неоднородностей реальной атмосферы на электромагнитные волны радиодиапазона при их распространении вблизи земной поверхности изучено еще не в полной мере. На характер распространения радиоволн наиболее существенное влияние оказывает влажность воздуха. Содержание водяного пара в атмосфере определяется с помощью различных гигрометрических характеристик.