

А. Л. ОСТРОВСКИЙ

ПРИБЛИЖЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПРИ РАДИОДАЛЬНОМЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

На основании ряда исследований установлено, что в условиях всхолмленного и горных районов точность радиодальномерных измерений лимитируют не инструментальные погрешности, а ошибки, возникающие вследствие неточного определения показателя преломления на пути электромагнитных волн.

Особенно велики погрешности, вызываемые аппроксимацией среднеинтегрального значения абсолютной влажности на траектории электромагнитных волн $\bar{e}$ средним значением влажности $e = \frac{e_1 + e_2}{2}$, которое определяется психрометрическими измерениями у ведущей и ведомой станций. Фактически $e \neq \bar{e}$.

В настоящей статье излагается метод определения $\bar{e}$ и поправки ΔS_e в измеренное радиодальномером расстояние, обусловленной неравенством e и $\bar{e}$.

За среднеинтегральное значение влажности на пути S принимаем:

$$\bar{e} = \frac{1}{S} \int_0^S e_i dS_i. \quad (1)$$

Пусть значение влажности в текущей точке как некоторая функция высоты над подстилающей поверхностью h определится из выражения:

$$e_i = e_1 + \frac{de}{dh} h_i, \quad (2)$$

где e_1 — значение влажности в исходной точке, а $\frac{de}{dh}$ — вертикальный градиент влажности.

В работах [5 и 6] на основании термодиффузии влажности в приземном слое атмосферы приведена формула

$$\frac{de}{dh} = 19 \frac{e}{T} \frac{dT}{dh}. \quad (3)$$

Здесь $\frac{dT}{dh}$ — вертикальный градиент температуры, а e и T — соответственно средние значения влажности и абсолютной температуры в не-

котором воздушном слое толщиной h . Разумеется, может быть допущена замена величин e и T их значениями в исходной точке.

С другой стороны, в [4] получена формула для определения вертикального градиента температуры:

$$\frac{dT}{dh} = \frac{\bar{K}_T \cdot T^2}{10,96 \cdot 10^{-5} R_3 B} \quad (4)$$

В этой формуле R_3 — средний радиус Земли, равный 6371 км, а $\bar{K}_T$ — та часть коэффициента вертикальной рефракции, которая обусловлена только вертикальным градиентом температуры воздуха. Причем $\bar{K}_T$ может быть найдено из выражения

$$\bar{K}_T = \bar{K} - \bar{K}_B. \quad (5)$$

В свою очередь, $\bar{K}$ — коэффициент вертикальной рефракции, определенный из двухстороннего одновременного геодезического нивелирования, а $\bar{K}_B$ — та часть коэффициента рефракции, которая обусловлена вертикальным барическим градиентом, и эта последняя достаточно точно находится из выражения

$$\bar{K}_B = 22,870 \frac{B}{T^2}. \quad (6)$$

Как в (4), так и в (6) $B = \frac{B_1 + B_2}{2}$ — среднее давление; $T = \frac{T_1 + T_2}{2}$ — средняя температура в данном воздушном слое.

Необходимо напомнить [2], что $\bar{K}$, полученный из одновременного двухстороннего геодезического нивелирования, является среднеинтегральным, то есть:

$$\bar{K} = \frac{K_1 + K_2}{2} = \frac{1}{S} \int_0^S K_i dS_i. \quad (7)$$

Поэтому вертикальный градиент $\frac{dT}{dh}$, определенный по формуле (4), относится не к точке, а является практически среднеинтегральным на всем пути луча.

Если градиент влажности выразить в мм рт. ст. на один метр, то формула (3) с учетом (4) после несложных преобразований примет вид:

$$\frac{de}{dh} = 0,027 \frac{\bar{K}_T e T}{B}. \quad (8)$$

Несомненно, вертикальный градиент влажности, вычисленный по формуле (8), также является практически среднеинтегральным. Конечно, для того, чтобы этот градиент отображал распределение влажности на пути электромагнитных волн, необходимо измерения зенитных расстояний вести одновременно с радиодальномерными измерениями, а теодолиты и визирные цели должны находиться вблизи ведомой и ведущей станций и примерно на одних с ними высотах. Тогда различием в пути световых и радиоволн можно пренебречь.

Возвращаясь к формуле (2), преобразуем ее с учетом выражения (8)

$$e = e_1 + 0,027 \frac{\bar{K}_T e T}{B} h_i. \quad (9)$$

Теперь на основании (1) и (9) имеем для определения

$$\bar{e} = \frac{1}{S} \int_0^S \left(e_1 + 0,027 \frac{\bar{K}_T e T}{B} h_i \right) dS_i. \quad (10)$$

Представим h_i как функцию длин S_i и зенитных расстояний Z_1 и Z_2

$$h_i = S_i \operatorname{tg} \frac{Z_2 - Z_1}{2}. \quad (11)$$

Тогда после интегрирования выражения (10) получаем окончательно

$$\bar{e} = e_1 + 0,027 \frac{\bar{K}_T e T}{B} \cdot \frac{h}{2}. \quad (12)$$

Формула (12) и решает задачу определения среднеинтегрального значения влажности на пути электромагнитных волн.

Вычислить $\bar{e}$ с учетом измерений влажности на двух конечных точках линии нетрудно:

$$\bar{e} = \frac{e_1 + e_2}{2} + \frac{\delta_e}{2}, \quad (13)$$

$$\delta_e = \Delta e_r - \Delta e_m, \quad (14)$$

где Δe_r — приращение влажности на пути радиоволн, полученное по геодезическим измерениям:

$$\Delta e_r = 0,027 \frac{\bar{K}_T e T}{B} h, \quad (15)$$

а

$$\Delta e_m = e_2 - e_1 \quad (16)$$

соответствующее приращение влажности по точечным метеорологическим измерениям.

Перейдем к определению поправки в расстояние ΔS_e . Воспользуемся известной формулой Эссена и Фрума:

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 = \frac{103,49}{T} B - \frac{17,43}{T} e + \frac{495822 e}{T^2}. \quad (17)$$

После дифференцирования (17) по e имеем

$$\frac{\partial N}{\partial e} = \frac{17,43}{T} + \frac{495822}{T^2}. \quad (18)$$

При $T = 293^\circ \text{K}$

$$\frac{\partial N}{\partial e} = 5,77. \quad (19)$$

Переходя к конечным приращениям, находим

$$\Delta N = 5,77 \Delta e. \quad (20)$$

Полагая $\Delta e = \frac{\delta e}{2}$, имеем на основании (20)

$$\Delta N = 2,88 \delta e. \quad (21)$$

Так как

$$\frac{\Delta N}{n \cdot 10^6} = \frac{\Delta S_e}{S}, \quad (22)$$

то

$$\Delta S_e = \frac{\Delta N \cdot S}{n \cdot 10^6}. \quad (23)$$

Поскольку $n \approx 1$, то достаточно точно для практических целей

$$\Delta S_e = - \frac{\Delta N S}{10^6}. \quad (24)$$

С учетом (21) окончательно получаем

$$\Delta S_e = - \frac{2,88 \delta_e S}{10^6}. \quad (25)$$

В заключение заметим:

1. Так как при любых значениях $\frac{de}{dh}$ величина ΔS_e прямо пропорциональна превышению между пунктами h , поправки ΔS_e целесообразно вводить при $h=20$ м и более. Неслучайно на равнине не обнаружено корреляции между ошибками измерения длин радиодальномерами и зенитными расстояниями [1].

2. Предварительная проверка метода по материалам, приведенным в работе [3], дала положительные результаты. Тем не менее нужна тщательная проверка метода на основании производственных или экспериментальных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко М. Г. Влияние метеорологических условий на точность радиодальномерных измерений в заболоченной тайге. «Геодезия, картография», № 7, 1969.
2. Островский А. Л. О геодезическом методе определения физических редукций светодальномерных измерений. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 12. Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1970.
3. Острьский А. Л. Исследование влияния атмосферы на точность радиодальномерных измерений во всхолмленной местности. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», Изд-во Львов. ун-та, вып. 10, Львов, 1969.
4. Островский А. Л., Плахотный С. И. Исследование влияния атмосферы на результаты светодальномерных измерений во всхолмленном районе. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 7, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1968.
5. Mitter Josef. Über die Bestimmung der meteorologischen Einflüsse auf die electro-optische Entfernungsmessung. «Veröff. Dtsch. geod. Kommiss. Bayer Akad. Wiss». B, N 123, 1966.
6. Robitzsch M. Die mittlere Abnahme des Dampfdruckes mit der Höhe. Meteorolog. Zeitschr., Bd. 61, 1944.

Работа поступила
22 ноября 1969 года