

Л. С. ХИЖАК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ
НА ТРУДНОДОСТУПНЫЕ ВИЗИРНЫЕ ЦЕЛИ

В работе [1] изложена идея метода определения истинного угла наклона по измеренным значениям метеопараметров и углов наклона при двух состояниях атмосферы, а в [2] приведены результаты апробации этого метода.

Исходя из этих исследований приходим к выводу, что полученные результаты вполне можно использовать при определении истинных направлений на труднодоступные визирные цели. Так, поправки за рефракцию можно вычислить по формулам

$$\delta\alpha_1 = \frac{z''_{01} \Delta\alpha}{z''_{01} - z''_{02}}; \quad \delta\alpha_2 = \frac{z''_{02} \Delta\alpha}{z''_{01} - z''_{02}}, \quad (1)$$

где $\delta\alpha_1, \delta\alpha_2$ — поправки за рефракцию; z''_{01}, z''_{02} — вторые производные от уравнения световой кривой, взятые в точке $x=0, z=0$, для первого и второго состояний атмосферы, $\Delta\alpha$ — разность измеренных углов при первом и втором состояниях атмосферы.

Производные z''_{01}, z''_{02} — функции параметров атмосферы и измеренных значений углов наклона и зависят от принятой модели атмосферы. Так, для моделей

$$\frac{dP}{dz} = -g\rho; \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\mu P}{RT}, \quad (3)$$

где T — линейная функция высоты, т. е.

$$T = T_0 + tz, \quad (4)$$

а P получаем из решения (2) при условии (3), представленного в виде ряда

$$P = P_0 + p_1 z + p_2 z^2, \quad (5)$$

находим для z''_{0i} ($i=1, 2, \dots$) количество состояний атмосферы. В случае, если ряд (5) представить двумя членами,

$$z''_{0i} = \frac{n'_{0i}}{n_{0i}} (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_i); \quad (6)$$

$$n'_{0i} = \beta \frac{\mu}{RT_{0i}^2} (p_{1i} T_{0i} - t_i P_{0i}); \quad (7)$$

$$n_{0i} = 1 + \beta \frac{\mu P_{0i}}{RT_{0i}}; \quad (8)$$

$$t_i = \frac{T_{2i} - T_{1i}}{z_2 - z_1}; \quad (9)$$

$$P_{1i} = -g \frac{\mu P_{0i}}{RT_{0i}}. \quad (10)$$

Здесь α_i — измеренный угол наклона; P_{0i} — давление; T_{0i} — температура; n_{0i} и n'_{0i} — показатели преломления и их вертикальный градиент; T_{1i} и T_{2i} — измеренные значения температуры на высотах z_1 и z_2 ; $\mu = 28,966$ кг/кмоль — масса моля, $R = 831436$ Дж/(кг·К) — газовая постоянная, $\beta = 0,000292$ м³/кг — коэффициент, зависящий от длины падающего излучения; p_{1i}, t_i — вертикальные градиенты давления и температуры соответственно.

Подсчитаем теперь точность, с которой можно получить поправки за рефракцию по формулам (1). Для этого найдем среднюю квадратическую ошибку определения поправки. Оче-

видно, опуская индексы при $\delta\alpha$, считая аргументы независимыми и полагая

$$m_{z_{01}}'' = m_{z_{02}}'' = m_z,$$

где $m_{z_{01}}''$ и $m_{z_{02}}''$ — ошибки определения производных, можно записать

$$m_{\delta\alpha}^2 = \frac{z_{01}''^2}{(z_{01}'' - z_{02}'')^2} m_{\Delta\alpha}^2 \frac{(z_{01}''^2 + z_{02}''^2) \Delta\alpha^2}{(z_{01}'' - z_{02}'')^2} m_z^2. \quad (11)$$

Найдем теперь ошибку m_z , для этого воспользуемся формулой (6):

$$m_z^2 = \frac{\sec^4 \alpha}{n_0^2} m_{n_0}^2 + \sec^4 \alpha n_0^2 m_{n_0}^2 + 2 \sec^4 \alpha \operatorname{tg}^2 \alpha \frac{n_0'^2}{n_0^2} \frac{m_{\alpha}^2}{\rho'^2}. \quad (12)$$

Ошибки m_{n_0}' и m_{n_0} получим, воспользовавшись формулами (7) и (8):

$$m_{n_0}'^2 = \left(\beta \frac{\mu}{R} \frac{(p_1 T_0^2 - t P_0 T_0)}{T^4} \right)^2 m_{T_0}^2 + \left(\beta \frac{\mu t}{R T_0^2} \right)^2 m_{P_0}^2 + \left(\beta \frac{\mu}{R T_0} \right)^2 m_{P_1}^2 + \left(\beta \frac{\mu P_0}{R T_0^2} \right)^2 m_t^2. \quad (13)$$

Для ошибки показателя преломления запишем

$$m_{n_0}^2 = \left(\beta \frac{\mu}{R T_0} \right)^2 m_{P_0}^2 + \left(\beta \frac{\mu}{R T_0^2} \right)^2 m_{T_0}^2. \quad (14)$$

В формулах (12) — (14) опущены индексы i .

Таким образом, получены ошибки показателя преломления и его градиента через ошибки непосредственно измеренных величин.

Прежде чем перейти к оценке ошибок m_{T_0} , m_{P_0} , m_{P_1} , m_t , $m_{\Delta\alpha}$ заметим, что определение поправки за рефракцию по одновременно измеренным значениям метеопараметров в одной точке и угла наклона задача некорректная, так как измеренные значения метеопараметров в одной точке не характеризуют поля показателя преломления на всем протяжении луча. Вследствие турбулентности измеренное значение угла наклона не соответствует измеренным значениям метеопараметров. Только статистические результаты могут в значительной степени сгладить это несоответствие. Поэтому рассмотрим вопрос о многократных одновременных измерениях метеопараметров и углов наклона в некотором промежутке времени Δt . И исходя из этого подсчитаем возможные значения ошибок $m_{\Delta\alpha}$, m_{T_0} , m_{P_0} , m_{P_1} , m_t . Если принять, что Δt равно примерно 10...20 мин, то в такой промежуток времени случайные изменения температуры могут достигать примерно 1°C, исключив те периоды, когда происходит очень быстрое падение или рост температуры. Тогда считая, что случайные изменения температуры подчиняются нор-

мальному закону, можно принять ошибку одного определения температуры, равной $0,3^{\circ}\text{C}$.

Аналогично, ошибку одного определения градиента температуры можно принять равной $0,3^{\circ}\text{C}$, если измерения проводить малоинерционным градиентометром. Давление и его градиент в небольшом промежутке времени мало подвержены пульсациям, поэтому ошибку определения давления и его градиента примем равной ошибке отсчитывания по прибору, т. е. 1 Па. Если в указанный промежуток времени выполнить около 100 одновременных измерений метеопараметров и углов наклона, то элементарные подсчеты по приведенным выше формулам показывают, что истинное направление на труднодоступную визирную цель можно определить с точностью такого же порядка, как и точность измерения углов наклона. Этот вывод хорошо согласуется с приведенными в [2] результатами обработки экспериментального материала, опубликованного в исследованиях [3].

В основу метода положено условие, что показатель преломления является функцией только z и не зависит от x . Это условие выполнимо, когда луч проходит над ровной подстилающей поверхностью.

1. Хижак Л. С. О возможности фиксации направлений по результатам измерений метеорологических элементов и зенитных расстояний // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1987. Вып. 45. С. 98—104. 2. Хижак Л. С., Григорчук Р. А., Кравцов Н. И. Вычисление поправок за рефракцию по результатам геодезических и метеорологических измерений при двух состояниях атмосферы // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1987. Вып. 46. С. 99—103. 3. Тр. ЦНИИГАиК. 1952. Вып. 102.