

Д. И. МАСЛИЧ, С. Г. ВЛАСЕНКО

ЗАВИСИМОСТЬ ДНЕВНОЙ АМПЛИТУДЫ КОЭФФИЦИЕНТА РЕФРАКЦИИ ОТ ВЫСОТЫ ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ

При измерении углов наклона, зенитных расстояний и других работах, где учет преломления атмосферы осуществляется с помощью коэффициента рефракции k , величину последнего чаще всего принимают равной какому-то среднему значению для данного района. Многим исследованиями установлено наличие дневного хода коэффициента рефракции и зависимости этого хода от изменения основных метеорологических элементов [3, 4, 6]. Показано также, что с высотой линии визирования над подстилающей поверхностью изменяется как среднее значение k [5], так и его амплитуда [4, 5]. Однако аналитическая зависимость между изменениями дневной амплитуды k и высоты линии визирования не установлена, хотя это и имело бы большое значение для правильного учета величины k , особенно при проведении геодезического нивелирования как одностороннего, так и двухстороннего.

При определении такой аналитической зависимости в простом виде доступном для практического пользования, не представляется возможным применить известные закономерности изменения метеорологических элементов, а следовательно, и рефракции, в зависимости от высоты над подстилающей поверхностью, выраженные сложными формулами [2]. Мы используем эмпирический способ, учитывая, что закономерность распределения температуры и влажности воздуха в нижнем слое могут быть определены соотношениями вида [1]:

$$A_z = A_0 + bz^n, \quad (1)$$

где A_z и A_0 — значения метеорологического элемента на уровне z и начальном, а b и n — коэффициенты, определяемые экспериментально.

Исходя из этого, зависимость амплитуды дневного хода k от высоты линии визирования, как это рекомендуется в работе [4], можно представить равенством

$$\Delta k_a = \Delta k_{a,0} \cdot e^{-ch}, \quad (2)$$

где $\Delta k_a = k_{\max} - k_{\min}$ — амплитуда дневного (суточного) хода коэффициента рефракции на высоте h над поверхностью земли, то есть разность максимального k_{\max} и минимального k_{\min} значений коэффициентов рефракции на высоте h , m ; $\Delta k_{a,0}$ — амплитуда дневного (суточного) хода k для линии с наименьшей высотой над поверхностью земли; e — основание натуральных логарифмов; c — коэффициент, определяемый из экспериментальных наблюдений.

Для нахождения величин, входящих в эту формулу, были использованы обширные экспериментальные измерения зенитных расстояний, выполненных на трех пунктах триангуляции одновременно по 19 направлениям через каждый час в светлое время дня в различные сезоны (зима, весна, лето и осень). Работы проводились на холмистой, частично залесенной местности в районе Волыно-Подольской возвышенности в 1966 году.

Детальное описание района работ, характеристика сети пунктов триангуляции и методика работ дана в работе [6].

Принятая методика экспериментальных измерений зенитных расстояний и их обработка позволили вычислить почасовые значения коэффициента рефракции по всем направлениям и получить амплитуды дневного хода k для каждого периода в таком количестве: зимний — 112 значений амплитуд k по 18 направлениям; весенний — 73 по 15; летне-осенний — 54 по 19.

Условия прохождения визирных лучей характеризовались эквивалентными высотами, вычисленными для каждого направления в отдельности. По метеорологическим условиям наблюдения летом и осенью мало отличались, поэтому они объединены в одну группу.

Для суждения о дневном ходе k и зависимости его амплитуды от эквивалентной высоты луча над подстилающей поверхностью обратимся к табл. 3, 4 и 5, а также рис. 3 и 4, помещенным в работе [6], где приводятся средние значения величин k , установленные зимой и весной для каждого часа наблюдения по части направлений. Эти таблицы и графики убедительно подтверждают наличие зависимости дневной амплитуды k от высоты линии визирования.

Для определения величин $\Delta k_{a,0}$ и c был использован метод линейной корреляции [7]. Прологарифмировав уравнение (2), получаем

$$\lg \Delta k_a = \lg \Delta k_{a,0} + (-c) \cdot h \cdot M. \quad (3)$$

Последнее выражение легко можно решать как уравнение линейной регрессии типа

$$y = a + \beta \cdot x. \quad (3')$$

Коэффициенты a и β представляют собой соответственно логарифм амплитуды дневного хода k для линии с наименьшей эквивалентной высотой и коэффициент c , взятый с обратным знаком. Они могут быть определены из равенств

$$\alpha = \frac{\Sigma y_i - \beta \Sigma x_i}{m}, \quad (4)$$

$$\beta = \frac{m \Sigma x_i y_i - \Sigma x_i \Sigma y_i}{m \Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2}, \quad (5)$$

где x_i — значение произведения $h \cdot M$ для направления i ; y_i — значение логарифма амплитуды для направления i ; m — число уравнений.

Коэффициент корреляции вычисляется по формуле

$$r = \beta \sqrt{\frac{m \Sigma x_i^2 - (\Sigma x_i)^2}{m \Sigma y_i^2 - (\Sigma y_i)^2}}. \quad (6)$$

Для нахождения величин a , β и r были составлены уравнения типа (3') для всех направлений сети триангуляции, по которым измерены зенитные расстояния, количество последних указано выше. Значения амплитуд дневного хода k для отдельных направлений осреднялись

по результатам всех дней, когда выполнялись измерения зенитных радиостояний по заданному направлению.

После решения уравнений типа (3') определены коэффициенты α и β и затем соответственно эмпирический коэффициент c и начальная амплитуда $\Delta k_{a,0}$:

	Число уравнений	Коэффициент c	Амплитуда $\Delta k_{a,0}$	Коэффициент корреляции, r
Зима	18	0,0157	0,227	-0,67
Весна	15	0,0209	0,275	-0,70
Лето—осень	19	0,0262	0,414	-0,75

Полученные результаты указывают на явно выраженный годовой ход значения коэффициента c и начальной амплитуды $\Delta k_{a,0}$.

Достаточная близость коэффициента корреляции r к единице подтверждает, что зависимость между величинами уравнения (3) близка к линейной.

Оценим по методу доверительных интервалов коэффициенты регрессии β , выражающие, как известно, значение эмпирического коэффициента c , взятого с обратным знаком.

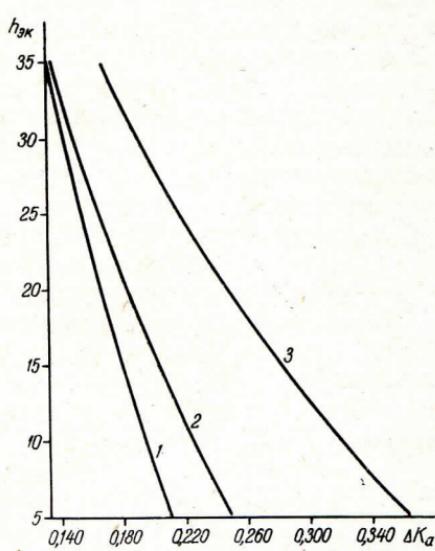
По теореме Бартлетта [7], для коэффициента истинной регрессии β_0 в уравнениях типа (3) при доверительной вероятности $1-p$ справедливо неравенство

$$\beta - t_{1-\frac{p}{2}} \frac{S_y \sqrt{1-r}}{S_x \sqrt{m-2}} \leq \beta_0 \leq \beta + t_{1-\frac{p}{2}} \frac{S_y \sqrt{1-r}}{S_x \sqrt{m-2}},$$

где S_x, S_y — корни квадратные дисперсий выборок x_i и y_i вокруг своих средних \bar{x} и \bar{y} ; $t_{1-\frac{p}{2}}$ — квантили распределения Стьюдента.

График зависимости амплитуды дневного хода k от эквивалентной высоты в разные сезоны года:

1 — зима; 2 — весна; 3 — лето.



При доверительной вероятности $p=0,70$ значения эмпирического коэффициента c будут находиться в следующих пределах: для зимнего периода — ($c=0,0157$) $0,0242 \geq c \geq 0,0072$; весеннего — ($c=0,0209$) $0,0327 \geq c \geq 0,0091$; и летне-осеннего — ($c=0,0262$) $0,0383 \geq c \geq 0,014$.

Используя сезонные величины коэффициента c и начальной амплитуды $\Delta k_{a,0}$, мы вычислили по формуле (2) значения амплитуды дневной кривой для различных эквивалентных высот в разные периоды года и составили график (рисунок), на которых по оси абсцисс отложен Δk_a , а по оси ординат — эквивалентные высоты $h_{\text{эк}}$.

Анализ графика указывает на то, что при заданной высоте линии визирования амплитуда дневной кривой изменения k принимает наименьшие значения в зимнее время и наибольшие — в летнее.

Необходимо отметить выравнивание значений амплитуд дневной кривой различных периодов года при увеличении эквивалентных высот. По-видимому, выше приземного слоя (80 м) дневные значения амплитуд в разное время года практически равны между собой.

Таким образом, полученная нами эмпирическая формула дает возможность в примерных условиях определить изменение амплитуды дневного хода k , что, в свою очередь, позволит правильно вводить поправку за влияние вертикальной рефракции при геодезических измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

- Воронцов П. А. Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. Гидрометеоиздат, Л., 1960.
- Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Гидрометеоиздат, Л., 1961.
- Маслич Д. И. О точности геодезического нивелирования в горных условиях. Львов, 1957.
- Маслич Д. И. Некоторые общие закономерности влияния вертикальной рефракции на точность геодезического нивелирования. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 9. Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1969.
- Маслич Д. И., Хижак Л. С. Исследование зависимости коэффициента рефракции от периода суток и высоты луча. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 10, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1969.
- Маслич Д. И., Хижак Л. С., Тлустяк Б. Т., Власенко С. Г. Исследование закономерностей изменения коэффициента рефракции в зимний период. В сб. «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», вып. 7, Изд-во Львов. ун-та, Львов, 1969.
- Пустыльник Е. Н. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. М., 1968.

Работа поступила
10 апреля 1970 года