

Б. М. ДЖУМАН, В. И. ВАЩЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА РЕФРАКЦИИ ОТ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ НЕЙТРАЛЬНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ

Экспериментальные наблюдения с целью исследования зависимости коэффициента рефракции от метеорологических факторов проводились на сети триангуляции учебного геодезического полигона Львовского политехнического института в различные периоды августа и сентября. Длины сторон треугольников в сети равны 2...8 км, а средние высоты прохождения визирных лучей 6...80 м.

Программа наблюдений предусматривала измерения зенитных расстояний теодолитом ОТ-02 тремя приемами через каж-

дый час светлого времени и непрерывные измерения в периоды утренних и вечерних видимостей. Кроме того, определялись влажность и температура воздуха на высотах 1 и 3 м психрометром Асмана, скорость ветра — ручным анемометром, давление — anerондом и значения колебаний изображений визирных целей для каждого направления. Визирование выполнялось касанием горизонтальной нити на верх визирного цилиндра.

Высоты визирных целей измерены с точностью 1 см. Эквивалентные высоты визирных целей рассчитаны с использованием профилей, составленных по топографической карте с сечением рельефа 5 м.

По всем линиям нивелирования вычисляем теоретические зенитные расстояния и отдельно для каждого приема коэффициенты рефракции. Для определения теоретических зенитных расстояний используем высоты пунктов, полученные из геометрического нивелирования II класса.

Учитывая, что длины линий в сети тригонометрического нивелирования 2...8 км, средние весовые коэффициенты рефракции для шести различных интервалов температур находим по формуле

$$k_n = [pkk] / [p], \quad (1)$$

где k — коэффициенты рефракции, полученные из наблюдений; p — вес коэффициентов рефракции.

Принимая за единицу вес коэффициентов рефракции; для линий длиной 10 км имеем

$$p = (S/10)^2. \quad (2)$$

Средние квадратические ошибки из n измерений односторонних зенитных расстояний вычисляем по формуле

$$M = \pm \sqrt{\frac{p_{vv}}{(n-1)[p]}}. \quad (3)$$

Из табл. 1 видно, что значения коэффициентов рефракции для периодов нейтральной стратификации остаются практически постоянными в приземном слое воздуха при изменении температуры от 0 до 30 °С. Следует также отметить, что и обработка отдельных выборок приводит к идентичным результатам.

Аналогичные исследования проведены нами на основании опытно-производственных материалов наблюдений, выполненных по данной методике Предприятием № 13 ГУГК в районе Донбасса в сети тригонометрического нивелирования, состоящей из 100 пунктов триангуляции 3, 4 классов, и приведенных в [4]. Средние коэффициенты рефракции, полученные для средних температур 12, 20, 28 °С, равны соответственно 0,134, 0,132, 0,136. Некоторое различие в значениях коэффициентов рефракции по сравнению с данными табл. 1 можно объяснить личными ошибками наблюдателей [3].

Используя формулу [2],

$$k_n = 500 \frac{P}{T^2} \frac{2}{S^2} \int_0^s \left(\gamma_A + \gamma_a - 0,54 \frac{T}{P} \frac{de}{dh} \right) (S - s) ds, \quad (4)$$

можно вычислить теоретические значения коэффициентов рефракции, свидетельствующие, что k_n зависит от вертикального градиента влажности de/dh .

Для исследования зависимости вертикальных градиентов влажности от высоты в периоды, близкие к нейтральной стра-

Т а б л и ц а 1
Значения средневесовых коэффициентов рефракции

T, K	k_n	n	$\pm M$
	$h_{cp} = 30 \text{ м}$	$S_{cp} = 10 \text{ км}$	
273	0,148	88	0,001
283	0,150	91	0,001
286	0,151	79	0,002
289	0,147	70	0,002
293	0,150	82	0,002
300	0,151	66	0,002

тификации, используем материалы метеорологического зондирования атмосферы в районе Днепропетровска, Ташкента, Долгопрудного, Махталы, Голодной степи.

В табл. 2 приведены градиенты влажности для различных высотных интервалов пограничного слоя атмосферы в летний теплый период года.

На основании данных табл. 2 и выражения

$$e_0 - e = \int_0^h \left(\frac{de}{dh} \right)_0 h^b dh, \quad (5)$$

где e_0 — влажность у поверхности земли; $(de/dh)_0$ — вертикальный градиент влажности, находим эмпирическую зависимость влажности от высоты

$$e = e_0 (1 - 11 \cdot 10^{-3} h^{1/2}) \quad (6)$$

и вертикальный градиент влажности

$$\frac{de}{dh} = -0,0056 e_0 h^{-1/2}. \quad (7)$$

Подставляя (7) в (4) и интегрируя, получаем

$$k_n = 500,4 \frac{P}{T^2} \left(0,0244 + \frac{e_0 T}{P} 0,003 h_s^{-1/2} \right), \quad (8)$$

где

$$h_s^{-1/2} = \frac{2}{S^2} \int_0^s h^{-1/2} (S - s) ds.$$

Полагая $P=1000$ гПа, $h_s^{1/2}=5,5$ и имея измеренные значения упругости водяного пара e_0 , вычисляем градиент влажности и коэффициент рефракции по формулам (7) и (8) (табл. 3).

Из табл. 1 и 3 следует, что значения экспериментальных коэффициентов рефракции и вычисленных по (8) отличаются

Т а б л и ц а 2

Значения средних вертикальных градиентов влажности на 1 м

e	Высоты над подстилающей поверхностью, м						
	0—50	50—100	100—150	150—200	200—300	300—400	400—500
7	0,011	0,007	0,006	0,005	0,004	0,004	0,003
14	0,022	0,014	0,011	0,009	0,008	0,007	0,006
21	0,032	0,020	0,018	0,016	0,014	0,012	0,009

незначительно, за исключением температуры 0°C , когда вертикальные градиенты влажности могут менять знак на обратный.

Рассмотрим зависимость k от высоты. Характер уменьшения коэффициента рефракции с высотой зависит от температурной стратификации в приземном слое воздуха. При неустойчивой стратификации коэффициент рефракции увеличивается до определенной высоты, достигая своего максимального значения

Т а б л и ц а 3

Результаты вычислений значений de/dh и k_n

T, K	e_0	de/dh	k_n
237	3	0,0030	0,165
283	9	0,0090	0,159
293	18	0,0180	0,154
300	30	0,0300	0,154

≈ 0,15, соответствующего нейтральной стратификации, и дальше медленно убывая во всем слое тропосферы вследствие изменения атмосферного давления и температуры. В период устойчивой стратификации коэффициент рефракции с высотой уменьшается.

Для исследования зависимости коэффициента рефракции от эквивалентной высоты при нейтральной стратификации атмосферы использованы материалы летне-осеннего периода наблюдений.

Ниже для шести интервалов эквивалентных высот даны средние коэффициенты рефракции, полученные из n результатов измерений, и средние квадратические ошибки полученных результатов:

	3—10	10—20	20—30	30—40	40—60
k	0,145	0,147	0,148	0,150	0,149
n	45	61	80	81	50
$\pm M$	0,007	0,004	0,004	0,002	0,002

Из приведенных данных видим, что при нейтральной стратификации коэффициенты рефракции практически постоянны для приземного слоя атмосферы, т. е. для эквивалентных высот 3... 60 м.

Зависимость коэффициента рефракции от высоты исследована также по результатам наблюдений на эталонном полигоне в Карпатах [1]. Измерения зенитных расстояний выполнены геодезическим ОТ-02 на семи пунктах триангуляции в периоды вечерних и утренних видимостей в летнее время года. Длины сторон колебались в пределах от 6 до 25 км при эквивалентных высотах от 60 до 700 м, а абсолютные высоты пунктов от 500 до 1200 м. Лучи визирования в основном проходили над лесом.

Результаты исследований зависимости k от абсолютной высоты приведены ниже:

Изменение коэффициента рефракции с увеличением абсолютной высоты на 1 км в периоды нейтральной стратификации	k_n	500	800	1100
	n	65	52	32
	$\pm M_{0,001}$	0,001	0,002	

Дифференцируя (8) по высоте и вычисляя dk_n/dh для 20°C , получаем изменением коэффициента рефракции на 1 км высоты примерно равным 0,018.

Таким образом, экспериментально полученная зависимость коэффициента рефракции от абсолютной высоты близка к теоретической.

1. Ващенко В. И., Джуман Б. М., Островский А. Л. Зависимость коэффициента рефракции от абсолютной высоты // Геодезия и картография. 1978. № 6. С. 11—15.
2. Джуман Б. М. Теория вертикальной рефракции при нейтральной стратификации // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1988. Вып. 47. С. 21—24.
3. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследования земной рефракции и геодезического нивелирования // Тр. ЦНИИГАиК. 1955. Вып. 102.
4. Шевчук П. М. Геодезические работы при реконструкции геодезических сетей: Автореф. дис. ...канд. техн. наук. Львов, 1980.