

А. Е. ФЕДОРИЦЕВ

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА КОСВЕННЫМ МЕТОДОМ С ЦЕЛЮ УЧЕТА РЕФРАКЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ

С использованием в геодезическом производстве современных методов определения превышений и расстояний актуальным стал вопрос учета влияния метеорологических факторов на точность геодезических, свето- и радиодальномерных измерений. Известно [3, 4], что ошибки рефракционного характера, обусловленные атмосферными влияниями могут достигать в относительной мере для свето- и радиодальномерных определений соответственно $3 \cdot 10^{-6}$ и $1 \cdot 10^{-6}$.

Одним из факторов, влияющим на индекс показателя преломления и вызывающим рефракционные искажения, является температурное поле. Его влияние наиболее значительно в нижних слоях воздуха, где вертикальные температурные градиенты на один-два порядка выше, чем в других более высоких слоях [2].

Поэтому более достоверные сведения о величине температуры воздуха в точках на пути распространения луча в нижних слоях атмосферы помогут установить степень влияния температурного поля на искажение траектории сигналов и таким образом повысить точность геодезических и электрооптических определений. Как показывалось в [12], температуру воздуха в любой точке 500-метрового слоя атмосферы можно определить косвенным методом — по номограммам. Для этого необходимо знать разность температур в точке по измерениям на высоте 2 и 25 м и по формуле

$$T = t_0 + \Delta t_0 + \delta t_0 \quad (1)$$

определить температуру на любой искомой высоте указанного слоя. Здесь t_0 — температура на высоте 2 м у подстилающей

поверхности; $\Delta t_0, \delta t_0$ — поправки, определяемые экспериментально.

Для оценки точности определения температуры данным методом исследовались результаты аэрологических определений температуры в нижнем полуклометровом слое атмосферы.

Таблица 1
Величины средних квадратических ошибок m_{t_i} °С.

№	Использованные материалы	Зондирование	Количество зондирований	Высота, м						
				50	100	150	200	300	400	500
1	Зависимые	Аэростатное	372	0,51	1,07	1,39	1,72	2,04	2,37	2,62
2	Независимые	„	82	0,64	1,11	1,45	2,04	2,41	2,50	2,85
3	„	„	15	0,49	1,02	1,41	1,79	2,10	2,36	2,44
4	„	„	123	0,65	1,07	1,86	2,73	4,11	5,00	6,17
5	„	„	20	0,72	1,39	1,49	2,17	2,76	3,41	—
6	„	„	24	0,55	0,82	1,10	1,56	1,91	2,22	2,32
7	„	Самолетное	38	0,31	0,72	—	1,52	—	—	2,40
8	„	Вертолетное	60	0,58	1,04	1,16	1,26	1,52	1,80	2,30
9	„	„	22	0,56	0,81	1,79	—	2,72	4,29	—

Исследовано более 750 зондирований (свыше 5000 определений температуры) атмосферы, выполненных аэрологическими организациями [1], [5—11] в разное время, в различных районах СССР, различными способами (аэростатное, самолетное и вертолетное зондирования).

Оценка точности определения температуры по номограммам проводилась для высот 50, 100, 150, 200, 300, 400 и 500 м. При обработке все результаты измерений температуры разделены на «зависимые», то есть результаты, по которым создавались номограммы, и «независимые», — привлеченные для проверки номограмм.

На указанных высотах вычислялись отклонения V_i между фактической температурой и температурой, полученной по номограммам

$$V_i = t_{\text{ф}} - t_{\text{н}} \quad (2)$$

Средние квадратические ошибки определения температуры по номограммам для соответствующих высот вычислялись по формуле

$$m_{t_i} = \pm \frac{5}{4} \frac{[|V_i|]}{n}, \quad (3)$$

где $|V_i|$ — абсолютное значение ошибки определения температуры ($i=50, 100, 150, 200, 300, 400$ и 500 м); n — количество измерений.

Величины ошибок m_{t_i} приведены в табл. 1. Анализируя данные табл. 1, замечаем, что ошибки определения температуры

по номограммам независимо от районов и способов зондирования для одних и тех же высот примерно одинаковы.

В отдельных случаях (строки 4, 5, 9) наблюдаются значительные отклонения величин m_{ti} для соответствующих высот. При анализе результатов измерений температур и величин ошибок m_{ti} установлено, что ошибки m_{ti} зависят от стратификации атмосферы в моменты зондирования.

Таблица 2

Зависимость ср. кв. ошибок m_{ti} от стратификации атмосферы

№	Нормальное распределение							Инверсия						
	высота, м							высота, м						
	50	100	150	200	300	400	500	50	100	150	200	300	400	500

Зависимые

1	0,40	0,78	1,04	1,27	1,62	1,82	2,12	0,74	1,65	2,01	2,51	3,07	3,37	3,51
	242	242	242	242	242	242	242	130	130	130	130	130	130	130

Независимые

2	0,47	0,84	1,20	1,47	1,77	2,09	1,97	0,81	1,39	1,82	2,57	3,55	3,95	4,10
	206	206	162	206	173	167	160	55	55	50	55	50	50	44

Особые условия

3	0,36	0,50	0,63	0,64	0,94	0,95	1,12	0,89	1,45	2,54	4,11	6,27	7,69	10,44
	48	48	48	48	48	48	48	75	75	75	75	75	75	75

Для выяснения, насколько существенно влияние распределения температуры на точность ее определения по номограммам, нами все результаты измерений температур («зависимые и независимые») разделены на две группы. Результаты, полученные при незначительных (2—200 м) приземных приподнятых (300—500 м) инверсиях 1—2° С/300 м, а также при нормальных распределениях температур во всем исследуемом слое, отнесены в группу «нормальное распределение», во вторую группу «инверсия» — результаты, полученные при инверсиях 3—5° С/500 м.

Средние квадратические ошибки представлены в табл. 2, где числитель — величина ошибки m_{ti} , знаменатель — число измерений. Из табл. 2 видно, что ошибки «зависимых» и «независимых» измерений хорошо согласуются на всех высотах для первой группы стратификаций и значительно отличаются от ошибок аналогичных высот второй группы. Следовательно ошибки определения температуры по номограммам зависят от стратификации атмосферы в пограничном слое воздуха и не зависят от способов зондирования, районов работ, использованных при исследовании данных («зависимых» и «независимых»).

С целью уточнения данного обстоятельства нами дополнительно исследовались результаты измерений температуры в районе с особыми метеорологическими условиями, где температура у подстилающей поверхности земли на высоте 2 м в течение суток изменялась в пределах от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+39^{\circ}\text{C}$.

Таким районом выбран пос. Махталы в Средней Азии, где в сентябре 1959 г. экспедицией ГГО под руководством Г. И. Воронцова в течение 10 дней проводились круглосуточные аэростатные зондирования 500-метрового слоя атмосферы. Всего выполнено 123 подъема аэростата — из них при глубоких (до 500 м) и мощных ($10-15^{\circ}\text{C}/500\text{ м}$) инверсиях — 75, при нормальном распределении температуры — 48 подъемов.

Ошибки m_t по данному району в табл. 2 представлены строкой 3, как «особые условия». На основании проведенных исследований и анализа полученных ошибок можно сделать следующие выводы:

1) при нормальном распределении температуры и незначительных приземных и приподнятых инверсиях порядка $1-2^{\circ}\text{C}/300\text{ м}$. Ошибка определения температуры косвенным методом в слое 50—200 м составляет $\pm 0,5-1,5^{\circ}\text{C}$, в слое 200—500 м — $\pm 1,5-2^{\circ}\text{C}$;

2) при сплошных инверсиях $2-5^{\circ}\text{C}/500\text{ м}$ ошибка определения температуры в слое 50—200 м составляет $\pm 1-3^{\circ}\text{C}$, в слое 200—500 м — $\pm 3-4^{\circ}\text{C}$;

3) мощные инверсии $10-15^{\circ}\text{C}/500\text{ м}$ могут вызвать ошибки определения температуры в слое 50—200 м $\pm 1-4^{\circ}\text{C}$, в слое 200—500 м — $\pm 4-10^{\circ}\text{C}$. В этих случаях пользоваться номограммами не рекомендуется;

4) при нормальном распределении температуры во всем исследуемом слое ошибка определения температуры в слое 50—500 м составляет $\pm 0,4-1,1^{\circ}\text{C}$;

5) косвенный метод определения температуры воздуха наиболее целесообразно применять при геодезических и электрооптических измерениях в равнинной и всхолмленной местностях, где высоты прохождения визирных лучей или сигналов не превышают 300 м над подстилающей поверхностью земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Девятова В. А. Микроаэрологические исследования нижнего километрового слоя атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1957.

2. Матвеев А. Т. Основы общей метеорологии. Физика атмосферы. Л., Гидрометеиздат, 1965.

3. Островский А. Л., Плахотный С. И. Исследование влияния атмосферы на результаты светодальномерных измерений во всхолмленном районе. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1968, вып. 7.

4. Островский А. Л. Исследование влияния атмосферы на точность радиодальномерных измерений во всхолмленной местности. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1969, вып. 10.

5. «Тр. ГГО», 1953, вып. 39/101.

6. «Тр. ГГО», 1961, вып. 107.

7. «Тр. ГГО», 1962, вып. 135.

8. «Тр. ГГО», 1964, вып. 150.
9. «Тр. ГГО», 1971, вып. 276.
10. «Тр. ГГО», 1972, вып. 296.
11. «Тр. ГГО и Укр.НИГМИ», 1963, вып. 144/40.
12. Федорищев А. Е. Тезисы докладов Всесоюзного совещания по рефракции. Львов, 1974.

Работа поступила в редколлегию 29 октября 1974 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.
