

З. Ф. ПАТОВА

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ДЛИН ИНВАРНЫХ ПОЛОС РЕЕК ПРИ ВЫСОКОТОЧНОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

Еще в 1955 г. И. Н. Мещерский заметил, что разность температур при компарировании реек и при нивелировании довольно велика (5° и более) [1, 6]. Иначе и не может быть, ибо подготовка к нивелированию ведется зимой и ранней весной. Стационарное компарирование реек делается в подвалах, где температура в этот период бывает $16-20^{\circ}\text{C}$. Нивелирование же производится летом, когда температура во многих районах страны достигает 35° , с другой стороны, наблюдения могут затянутся и на позднюю осень, когда температура воздуха утром и вечером снижается до -10° . Таким образом, разности температур при компарировании и нивелировании иногда достигают даже $15-20^{\circ}$.

Неучет изменения длин инварных полос под влиянием такого большого изменения температуры может привести к грубым искажениям превышений. В горной местности при нивелировании больших затяжных склонов эти искажения будут особенно велики и, накапливаясь систематически, будут давать большие ошибки в секциях, расположенных вдоль этого уклона.

Чтобы избежать ошибок температурного расширения, пользуются известной формулой

$$\delta x_t = \alpha(t_0 - t_x) \cdot x. \quad (1)$$

В применении к нивелированию в интерпретации И. Н. Мещерского [2] она выглядит так:

$$\delta h_t = \alpha(t_k - t_n) \cdot h, \quad (2)$$

где δh_t — поправка в превышения за разность температур;
 t_k и t_n — температуры реек соответственно при компарировании и при производстве наблюдений;

h — превышение.

По этой формуле вводились поправки в превышения четырех повторных нивелирований, выполненных ЦНИИГАиК в 1957—1960 гг. на Гармском и Нимичском полигонах [7, 8].

Этой же формулой пользовались и мы при обработке материалов повторного нивелирования Крымского геофизического полигона, которое было выполнено нами в 1966 г. Поправки δh , вводились сразу же при полевой обработке журналов. Они вводились в превышения каждой станции, если температуры их отличались больше чем на 1° . Если же на нескольких соседних станциях температуры не отличались более чем на 1° , то поправки вводились в суммарные, чаще всего в постстра-

Таблица 1

Таблица поправок в превышения за разность температуры реек во время компарирования и нивелирования

$t_k - t_h$, °C	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
0,5	0,0005	0,0010	0,0020	0,0030	0,0040	0,0050	0,0060	0,0070	0,0080	0,0090	0,0100	0,0110	0,0120
1	0,0010	0,0020	0,0040	0,0060	0,0080	0,0100	0,0120	0,0140	0,0160	0,0180	0,0200	0,0220	0,0240
2	0,0020	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0200	0,0240	0,0280	0,0320	0,0360	0,0400	0,0440	0,0480
3	0,0030	0,0060	0,0120	0,0180	0,0240	0,0300	0,0360	0,0420	0,0480	0,0540	0,0600	0,0660	0,0720
4	0,0040	0,0080	0,0160	0,0240	0,0320	0,0400	0,0480	0,0560	0,0640	0,0720	0,0800	0,0880	0,0960
5	0,0050	0,0100	0,0200	0,0300	0,0400	0,0500	0,0600	0,0700	0,0800	0,0900	0,1000	0,1100	0,1200
6	0,0060	0,0120	0,0240	0,0360	0,0480	0,0600	0,0720	0,0840	0,0960	0,1080	0,1200	0,1320	0,1440
7	0,0070	0,0140	0,0280	0,0420	0,0560	0,0700	0,0840	0,0980	0,1120	0,1260	0,1400	0,1540	0,1680
8	0,0080	0,0160	0,0320	0,0480	0,0640	0,0800	0,0960	0,1120	0,1260	0,1440	0,1600	0,1760	0,1920
9	0,0090	0,0180	0,0360	0,0540	0,0720	0,0900	0,1080	0,1200	0,1440	0,1620	0,1800	0,1980	0,2160
10	0,0100	0,0200	0,0400	0,0600	0,0800	0,1000	0,1200	0,1400	0,1600	0,1800	0,2000	0,2200	0,2400
11	0,0110	0,0220	0,0440	0,0660	0,0880	0,1100	0,1320	0,1540	0,1760	0,1980	0,2200	0,2420	0,2640
12	0,0120	0,0240	0,0480	0,0720	0,0960	0,1200	0,1440	0,1680	0,1920	0,2160	0,2400	0,2640	0,2880
13	0,0130	0,0260	0,0520	0,0780	0,1040	0,1300	0,1560	0,1820	0,2080	0,2340	0,2600	0,2860	0,3120
14	0,0140	0,0280	0,0560	0,0840	0,1120	0,1400	0,1670	0,1950	0,2230	0,2510	0,2790	0,3100	0,3380
15	0,0150	0,0300	0,0600	0,0900	0,1200	0,1500	0,1800	0,2100	0,2400	0,2700	0,3000	0,3300	0,3600

Причение: Поправки в миллиметрах.

Знаки поправок δh_t ставятся так:

$$\begin{array}{l} h + \Delta t + = \delta h_t - \\ h - \Delta t - = \delta h_t + \\ h + \Delta t - = \delta h_t + \\ h - \Delta t + = \delta h_t + \end{array}$$

ничные превышения и редко в суммы их, составленные из превышений 2—3 страниц. За t_n в этом случае бралась средняя температура из всех, входящих в суммарное превышение станций. При подсчете превышений по секциям суммировались также и поправки δh_t .

Для удобства введения поправок δh_t нами была составлена табл. 1, по которой они быстро и легко интерполируются.

Из опыта введения поправок δh_t можно сделать выводы:

- 1) величины поправок в некоторых секциях достигали 3,5 мм;
- 2) введение их в превышения прямых и обратных ходов секций, как правило, улучшало сходимость ходов;
- 3) общая невязка полигона, подсчитанная по исправленным за δh_t превышениям, уменьшилась в 1,5 раза.

Нет сомнения, что введение таких поправок обосновано, необходимо и является одной из возможностей повышения точности современного высокоточного нивелирования.

Хочется только обратить внимание на следующие факты:

1. Разница между показаниями разных термометров может доходить до 3° , поэтому величины ($t_k - t_n$) могут быть также ошибочными на 3° , и это на всем протяжении работы с данным термометром. Термометры могут также изменять свои поправки и в процессе работы.

Поэтому для повышения точности введения поправок, на наш взгляд, нужно было бы при компарировании реек на стационарных компараторах делать еще и сравнения показаний рабочих термометров-пращей (или психрометрических термометров) с показаниями термометра на компараторе. В течение сезона нужно следить за постоянством поправок рабочих термометров, имея для этого два нормальных, которые в работе не участвуют.

Введение соответствующих поправок в показания рабочих термометров избавит от ошибок неточного измерения температуры, а значит и от ошибок в поправках δh_t . Отказываться от термометров с большими поправками очень часто нецелесообразно; судя по нашим многочисленным наблюдениям, большинство из них так же удовлетворительно сохраняет свои поправки, как и точные (табл. 3). Введение поправок — это не такая уж сложная задача, а трудоемкую работу по сравнению термометров в любом случае делать необходимо, хотя бы даже для выявления термометров с большими поправками с целью исключения их из употребления.

2. При нивелировании желательно делать измерения температуры на каждой станции в начале и в конце наблюдений, последнее не столько для точности выведения температуры, сколько для контроля от просчетов. Измерения эти большого труда не составляют и дополнительного времени не требуют, ибо делаются зонтомщиком в периоды подготовки к наблюдениям и при окончании их перед переходом.

3. Введение поправок δh_t в превышения, измеренные при больших колебаниях температуры и по линиям с односторонними уклонами, правильнее делать в каждое превышение на станции, а не в суммарное из нескольких станций. Тем более не точно введение их в суммарные превышения, полученные при работе за целую половину дня (т. е. за период работы в утреннюю или вечернюю видимость), как иногда делается.

4. Давно уже назрел вопрос об оборудовании специальных (только для реек) стационарных компараторов с приспособлениями для компарирования реек в вертикальном положении и с термостатирующими устройствами для определения коэффициентов расширения инварных полос a , которые в настоящее время принимаются одинаково для всех

Таблица 2

Ведомость введения поправок δh_t в превышения прямых и обратных ходов секций

№	расстояние, км	Число штатиков	Максим. и миним. $t_k - t_n$	Прямой ход		Обратный ход		$\Delta h = h_{\text{пр}} - h_{\text{об}}$	$\Delta h^1 = h_{\text{пр}}^{\text{поп}} - h_{\text{об}}^{\text{поп}}$		
				$h_{\text{изм}}$	δh_t	$h_{\text{изм}}$	δh_t				
<i>Равнинный участок, железная дорога</i>											
1	1,9	22	+ 5°,3 - 7°,6	-16559,90	-0,12	-16560,02	+16562,56	-0,14	+16562,42		
2	2,4	0	+ 15,9 - 1,5	-23787,60	0	-23787,60	+23790,18	-0,41	+23789,77		
3	2,6	38	+ 12,1 - 1,9	-17555,30	-0,02	-17555,32	+17557,08	-0,07	+17557,01		
4	4,3	68	+ 12,1 - 10,1	+56945,89	+0,07	+56945,96	-56948,35	-0,30	-56948,65		
5	3,6	54	+ 12,7 - 2,0	+49694,59	-0,14	+49694,45	-49697,75	+0,37	-49697,38		
6	3,0	62	+ 14,3 - 4,1	+34452,54	+0,04	+34452,58	-3+454,00	+0,06	-34453,94		
7	3,7	78	+ 11,8 - 8,3	+62786,50	+0,18	+62786,68	-62787,72	+0,09	-62787,63		
8	3,3	40	- 0,1 - 10,3	+34197,92	+0,37	+34198,29	-34200,02	+0,32	-34199,70		
<i>Горный участок, асфальтированное шоссе</i>											
9	1,3	70	+ 8°,5 + 1°,1	- 85784,18	+0,87	- 85783,31	- 85782,26	-0,74	+ 85781,52		
10	5,6	140	+ 6,1 - 6,4	+ 75856,03	-0,40	+ 75855,63	- 75855,64	-0,75	- 75856,39		
11	7,3	178	+ 3,6 - 11,5	+ 24610,26	+0,08	+ 24610,34	- 24605,75	-0,47	- 24606,22		
12	3,4	120	+ 0,1 - 12,3	- 205748,37	-3,52	- 205751,89	+ 205750,84	+2,02	+ 205752,86		
13	2,3	76	+ 11,7 - 0,9	- 36712,76	-0,53	- 36713,29	+ 36714,60	+0,29	+ 36714,89		
14	1,6	42	+ 0,1 - 10,1	+ 75067,95	+0,94	+ 75068,89	- 75069,49	-0,95	- 75070,44		
15	1,2	42	+ 11,7 - 1,5	+ 54833,86	+0,63	+ 54834,49	- 54831,65	-0,95	- 54832,60		
16	1,1	32	+ 11,7 - 3,1	+ 61313,56	+1,10	+ 61314,66	- 61314,41	-0,89	- 61315,30		
17	1,2	42	+ 1,6 - 10,4	+ 70069,96	+0,92	+ 70070,88	- 70067,60	-1,25	- 70068,85		
18	1,9	72	+ 5,6 - 9,4	+ 116971,60	+1,13	+ 116972,73	- 116972,95	-1,35	- 116974,30		
19	1,7	62	+ 3,6 - 5,9	+ 105874,95	+0,70	+ 105875,65	- 105873,65	-0,77	- 105874,42		

реек $2 \cdot 10^{-6}$, что не соответствует действительности. Из отечественной и зарубежной литературы известно, что коэффициенты α могут для разных реек колебаться в пределах $0,5 \cdot 10^{-6} - 2,5 \cdot 10^{-6}$ [3].

Таблица 3

Выписка из журнала сравнения показаний психрометрических термометров (сухих) с нормальными

Дата	Время	265 (норм)	1289 (норм)	v	69	v	1747	v	1196	v	59	v	При- ме- че- ни- е
1962 год													
1/IX	12 ¹⁵	22.6	22.8	-0.2	22.2	+0.4	23.6	-1.0	20.8	+1.8	25.6	-3.0	
	12 ²⁵	23.2	23.4	-0.2	22.8	+0.4	24.0	-0.8	21.6	+1.6	26.0	-2.8	
	12 ³⁵	23.4	23.6	-0.2	23.0	+0.4	24.2	-0.8	21.6	+1.8	26.0	-2.6	
	12 ⁴⁵	23.2	23.2	0	22.6	+0.6	24.0	-0.8	21.0	+2.2	26.2	-3.0	
	12 ⁵⁰	23.4	23.6	-0.2	22.8	+0.6	24.2	-0.8	21.6	+1.8	26.2	-2.8	
	17 ³⁵	25.0	25.0	0	24.6	+0.4	26.0	-1.0	23.2	+1.8	28.2	-3.2	
	17 ⁴⁵	24.8	25.0	-0.2	24.4	+0.4	25.8	-1.0	23.0	+1.8	27.8	-3.0	
	17 ⁵⁵	24.6	24.8	-0.2	24.4	+0.2	25.4	-0.8	22.6	+2.0	27.6	-3.0	
	18 ⁰⁵	24.4	24.6	-0.2	24.0	+0.4	25.2	-0.8	22.4	+2.0	27.2	-2.8	
	18 ¹⁵	23.8	24.0	-0.2	23.4	+0.4	24.6	-0.8	21.8	+2.0	26.6	-2.8	
	ср.			-0.16	+0.42			-0.86	+1.88			-2.90	
1963 год													
8/VIII	11 ⁵⁰	17.0	17.0	0	15.6	+1.4	17.6	-0.6	15.0	+2.0	20.2	-3.2	
	12 ⁰⁰	17.4	17.6	-0.2	16.0	+1.4	18.2	-0.8	15.4	+2.0	20.4	-3.0	
	12 ¹⁰	17.6	17.8	-0.2	16.2	+1.4	18.6	-1.0	15.4	+2.2	20.4	-2.8	
	12 ²⁰	17.6	17.8	-0.2	16.0	+1.6	18.4	-0.8	15.4	-2.2	20.6	-3.0	
	12 ³⁰	18.0	18.0	0	16.4	+1.6	18.8	-0.8	16.0	+2.0	20.8	-2.8	
	17 ¹⁰	19.4	19.8	-0.4	17.2	+1.4	20.2	-0.8	17.2	+2.2	22.8	-3.4	
	17 ²⁰	19.2	19.4	-0.2	17.6	+1.6	20.0	-0.8	17.2	+2.0	22.2	-3.0	
	17 ³⁰	19.2	19.4	-0.2	17.6	+1.6	20.2	-1.0	17.4	+1.8	22.4	-3.2	
	17 ⁴⁰	19.0	19.0	0	17.6	+1.4	20.2	-1.2	17.0	+2.0	22.0	-3.0	
	17 ⁵⁰	19.2	19.4	-0.2	17.6	+1.6	20.0	-0.8	17.4	+1.8	22.0	-2.8	
	ср.			-0.18	+1.50			-0.86	+2.02			-3.02	
1964 год													
12/VII	12 ¹⁰	24.8	25.0	-0.2	23.2	+1.6	25.6	-0.8	25.0	-0.2	28.0	-3.2	
	12 ²⁰	24.8	25.2	-0.4	23.2	+1.6	25.8	-1.0	25.2	-0.4	27.8	-3.0	
	12 ³⁰	25.0	25.2	-0.2	23.2	+1.8	26.0	-1.0	25.2	-0.2	28.2	-3.2	
	12 ⁴⁰	25.4	25.6	-0.2	24.0	+1.4	26.6	-1.2	25.6	-0.2	28.4	-3.0	
	12 ⁵⁰	25.6	26.0	-0.4	24.0	+1.6	26.4	-0.8	26.0	-0.4	28.6	-3.0	
	17 ⁰⁰	28.4	28.6	-0.2	26.6	+1.8	29.4	-1.0	29.0	-0.6	31.4	-3.0	
	17 ¹⁰	28.6	29.0	-0.4	27.0	+1.6	29.8	-1.2	28.8	-0.2	31.4	-2.8	
	17 ²⁰	28.6	29.0	-0.4	27.2	+1.4	29.4	-0.8	29.0	-0.4	31.4	-2.8	
	17 ³⁰	28.2	28.4	-0.2	26.4	+1.8	29.2	-1.0	28.8	-0.6	31.2	-3.0	
	17 ⁴⁰	28.0	28.2	-0.2	26.4	+1.6	28.8	-0.8	28.4	-0.4	30.8	-2.8	
	ср.			-0.28	+1.62			-0.96	-0.36			-2.98	

5. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV класса за 1966 г. не учитывает влияния температурных изменений длин инварных полос реек и необходимости во многих случаях введения поправок. Следует ввести в инструкцию положение о более надежном определении температуры при нивелировании и введении поправок δh_t при работе в горной местности.

При нивелировании в равнинной местности или по рельефу с частыми переменами уклона, тем более при небольших разностях температур ($t_k - t_u$), вводить δh_t не имеет смысла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещерский И. Н. Изменения длин инварных реек и нормальных линеек между смежными компарированиями. Сб. рефератов ЦНИИГАиК, вып. 4, 1955.
2. Мещерский И. Н. и Энтин И. И. Ошибки нивелирования, вызванные применением инварных реек. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 147, 1962.
3. Ochsenhirt zur Untersuchung von Feinnivellierlatten mit Invarband Vermessungswesen, 1956.
4. Пискунов М. Е. Влияния коробления реек на результаты нивелирования. Изв. вузов, Геодезия и аэрофотосъемка, № 5, 1959.
5. Пискунов М. Е. Ошибки высокоточного нивелирования, возникающие из-за неправильной установки инварных реек. Тр. МИИГАиК, вып. 28, 1957.
6. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 111, 1956.
7. Энтин И. И., Мещерский И. И. Из опыта нивелирования в высокогорных районах. «Геодезия и картография», № 6, 1958.
8. Энтин И. И., Мещерский И. Н. Определение вертикальных смещений земной коры в долине Сурхоб. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 154, 1963.

Работа поступила
30 апреля 1968 г.