

УДК 528.541.1

З. Ф. ПАТОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НИВЕЛИР МНОГОКРАТНЫМ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ УГЛА *i*

Из исследований [5, 4] и других известно, что угол *i* нивелира при нивелировании не остается постоянным даже в короткие промежутки времени. Причинами изменений угла *i* являются: влияние тепловых воздействий, перефокусирование трубы при визировании на разные расстояния и перенапряжения компонентов трубы и уровня при наклонах нивелира во время переносок его от станции к станции.

Новые исследования, выполненные нами летом 1970 г. на геодезическом полигоне Львовского политехнического института, касаются в основном влияния тепловых воздействий. Эти исследования отличаются от предшествующих тем, что изменения угла *i* нивелира получены путем непосредственного многократного определения самого угла *i* в полевых условиях, а не в лабораториях и не методами вычисления этих изменений через посредство изменений отсчетов по рейке (или превышений на станции) с изменениями соответствующими им температур воздуха или частей нивелира.

Мы ставили своей целью определить величины дневного хода угла *i* и установить характер его изменений.

Поскольку для нахождения угла *i* существует много способов, то полевые опыты проводились так, чтобы кроме возможности судить о тепловых влияниях можно было одновременно получить материал для сравнения точности и экономичности способов определения угла *i*.

Угол *i* нивелира НА-1 определялся многократно шестью способами: 1) принятым «Инструкцией...» в СССР [2]; 2) способом Бородулина [1]; 3) способом, применяемым народным предприятием Цейсс (ГДР) [6]; 4) Куоккамяки (Финляндия) [6]; 5) Небауера (ГДР) [6]; 6) Мора (ГДР) [6]. В дальнейшем при упоминании о том или другом способе будем называть их по номерам, соответствующим приведенному перечню.

Площадка для исследований была подготовлена на слегка наклонной к югу местности. Наибольшее превышение на площадке составляло не более 200 м. Места постановок реек за один месяц до исследований были закреплены временными реперами — однометровыми деревянными столбами с вбитыми в их верхний торец малыми нивелирными костылями, а в местах постановок нивелира заложены по три однометровых деревянных столба (под ножки штатива).

Наблюдения велись непрерывно, по одному приему каждым способом последовательно один за другим, в периоды с 5 ч до 10 ч 30 мин и с 15 ч до 20 ч 30 мин. Полный цикл наблюдений всеми способами длился 1 ч 15 мин, так что за день выполнялось 10 циклов (пять утром и пять вечером). В начале и в конце каждого цикла с помощью психрометрических термометров на высоте 0,5 м и 2,5 м над землей измерялась температура воздуха.

В начале и конце каждого приема записывалось время. Такие исследования продолжались восемь дней: четыре дня — нивелиром, защищенным только зонтом, причём из них два дня была сухая, тихая и солнечная погода, а два дня — пасмурная со слабым ветром; и четыре дня — нивелиром, защищенным теплозащитным кожухом и зонтом-навесом, описанными в [4]. Все эти четыре дня была солнечная, сухая и безветренная погода.

Кроме исследований по описанной программе еще четыре дня (два — с солнечной и два — с пасмурной погодой) производилось многократное определение угла i нивелира только одним, пятым способом, который, как было замечено еще во время полевых исследований, а затем и во время обработки материалов, оказался самым точным и экономичным. Нивелир при этом защищался только зонтом. Определения велись в периоды с 5 ч до 12 ч 30 мин и с 15 ч до 21 ч 30 мин через 10 мин.

Кроме температуры и температурных градиентов измерялась еще скорость ветра (анемометром) и оценивалась облачность (визуально, в %). Особенно точно фиксировались моменты покрытия Солнца облаками или появления его из-за облаков. Такие частые определения угла i , полученные одним способом, а значит с одинаковой точностью, позволяют более детально изучить характер изменений угла i и причины, их вызывающие.

Во время всех перечисленных определений перенос нивелира производился под зонтом и очень осторожно, без боковых наклонов.

В результате исследований получен материал, позволяющий оценить способы определения угла i и дать характеристику влияния тепловых воздействий.

Приводим табл. 1 и 2, в каждую из которых сведены усредненные за два дня с одинаковыми условиями погоды результаты наблюдений температур (t), температурных градиентов (Δt) и углов i , определенных шестью способами, когда нивелир защищался только зонтом. В этих таблицах подсчитаны средние полуденные и средние дневные значения угла i , его максимальные дневные колебания, вероятнейшие и средние квадратические ошибки определения угла i каждым из способов. Возможность применения формулы Бесселя считаем оправданной тем, что средние квадратические ошибки используются нами в основном для сравнительной оценки точности способов определения угла i .

Табл. 3 аналогична табл. 1, но отличается от последней тем, что в ней даны средние за четыре солнечных дня, результаты t , Δt и угла i , полученные, когда нивелир защищался термозащитным кожухом и зонтом-навесом.

Табл. 4 содержит средние за два дня с солнечной погодой результаты наблюдений t , Δt и определений угла i , произведенных только пятым способом. Для сокращения табл. 4 из результатов трех соседних десятиминутных значений всех наблюденных элементов взяты средние, поскольку за полчасовые промежутки особо больших изменений этих элементов не происходило. Такая же таблица, но для дней с пасмурной погодой не приводится, так как она почти повторяет табл. 4, только с меньшей амплитудой колебаний t и угла i .

Анализируя табл. 1 и 2, необходимо в первую очередь отметить наличие больших колебаний в значениях угла i , полученных в разные периоды дня. Дневная амплитуда этих колебаний несколько зависит от способов определения угла i , но в большей мере от дневного теплового режима. В солнечную погоду угол i колеблется в зависимости от способа определения в пределах 6—19", в пасмурную — 5—8".

При работе нивелиром с термозащитой (табл. 3) эти колебания лежат в пределах 3—5".

Таблица 1

Солнечно, сухо, тихо, жарко

НЕДОМОСТЬ

на 10 IV и 20 IV 1970 года

Время наблюдений	$t_{\text{ср}}$	$\Delta t_{\text{ср}}$	Угол i в способах														
			1-М			2-М			3-М			4-М			5-М		
			i_1	a_1	i_2	v_2	i_3	v_3	i_4	v_4	i_5	v_5	i_6	v_6	i_7	v_7	i_8
5 ⁰⁰	14,4°	+0,3°	18,9''	+2,7''	18,3''	+1,2''	18,6''	+1,9''	17,2''	+1,3''	16,8''	+0,3''	17,0''	+0,5''			
6 ³⁰	15,0	+0,3	15,7	-0,5	16,5	-0,6	16,2	-0,5	15,7	-0,2	15,9	-0,6	15,5	-1,0			
7 ⁴⁰	16,2	-0,5	23,5	+7,3	21,4	+4,3	26,4	+9,7	21,1	+5,2	20,9	+3,7	19,3	+2,8			
9 ⁰⁰	20,1	-0,2	19,5	+3,3	19,7	+2,6	20,4	+3,7	16,5	+0,6	18,3	-0,6	18,8	+2,3			
10 ³⁰	23,0	-0,3	16,6	+0,4	18,5	+1,4	14,7	-2,0	15,3	-0,6	17,2	+0,7	17,3	+0,8			
$i_{\text{ср}} \text{ утренние}$			18,8	-	18,9	-	19,3	-	17,1	-	17,7	-	17,6	-			
$i_{\text{ср}} \text{ вечерние}$			13,5	-	15,4	-	14,2	-	14,7	-	15,2	-	15,4	-			
15 ⁰⁰	27,8	-1,0	17,0	+0,8	19,2	+2,1	11,4	-5,3	16,5	+0,4	16,6	+0,1	15,9	-0,6			
16 ³⁰	28,1	-0,4	19,1	+2,9	18,9	+1,8	21,5	+4,6	18,4	+2,5	17,8	+1,3	16,3	-0,2			
17 ⁴⁰	27,8	0	12,8	-3,4	16,3	-0,8	16,3	-0,4	14,2	-1,7	14,9	-1,6	17,4	+0,9			
19 ⁰⁰	25,9	+0,4	6,9	-9,3	8,9	-8,2	7,5	-9,2	11,5	-4,4	12,3	-4,2	13,1	-3,4			
20 ³⁰	21,1	+0,6	11,8	-4,4	13,7	-3,4	14,7	-2,0	13,0	-2,9	14,6	-1,9	14,5	-2,0			
$[i_i]$			161,8	171,4	167,3	159,2	164,6										
$[v_i^2]$			16,2	17,1	16,7	15,9	16,5										
Колебания угла i			16,6	198,34	116,10	253,69	65,36										
$m_i = \pm \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}}$					12,5	18,9	9,6										
					$\pm 4,7$	$\pm 3,6$	$\pm 5,3$										

38 25.IV и 26.IV 1970 года

ВЕДОМОСТЬ

Таблица 2
Пасмурно, слабый ветер

Время наблюдений	t_{cp}	Δt_{cp}	Угол i в способах											
			1-М				2-М				3-М			
			i_1	v_1	i_2	v_2	i_3	v_3	i_4	v_4	i_5	v_5	i_6	v_6
5 ⁰⁰	11,5°	+0,1°	14,4''	+0,3'''	12,2''	-1,7''	18,9''	+4,0''	14,2''	-0,7''	13,3''	-1,9''	13,6''	-1,6''
6 ²⁰	12,0	+0,1	14,8	+0,7	12,4	-1,5	12,6	-2,3	15,4	+0,5	14,9	-0,3	14,7	-0,5
7 ⁴⁰	12,2	+0,1	12,6	-1,5	13,0	-0,9	13,8	-1,1	16,2	+1,3	18,2	+3,0	17,9	+2,7
9 ⁰⁰	12,6	-0,2	15,2	+1,1	14,8	+0,9	14,7	-0,2	13,9	-1,0	14,2	-1,0	13,8	-1,4
10 ²⁰	13,8	+0,1	10,5	-3,6	12,6	-1,5	11,0	-3,9	10,9	-4,0	13,0	-2,2	12,9	-2,3
i_{cp} утренние			13,5		13,0		14,2		14,1		14,7		14,6	
i_{cp} вечерние			14,6		14,8		15,6		15,6		15,8		15,8	
15 ⁰⁰	18,9	-0,6	13,9	-0,2	16,0	+2,1	16,5	+1,6	17,0	+2,1	16,6	+1,4	16,7	+1,5
16 ²⁰	18,1	-0,5	16,2	+2,1	15,6	+1,7	12,5	-2,4	14,9	0	13,3	-1,9	13,0	-2,2
17 ⁴⁰	17,6	+0,1	11,4	+2,7	10,9	-3,0	17,0	+2,1	16,3	+1,4	15,7	+0,5	15,4	+0,2
19 ⁰⁰	17,2	0	14,2	+0,1	15,7	+1,8	15,2	+0,3	17,2	+2,3	17,0	+1,8	16,3	+1,1
20 ²⁰	16,2	+0,1	17,5	+3,4	15,9	+2,0	16,7	+1,8	12,8	-2,1	16,1	+0,9	17,8	+2,6
$[i_i]$	i_{cp}		140,7		139,1		148,9		148,8		152,3		152,1	
$[v_i^2]$			14,1		13,9		14,9		14,9		15,2		15,2	
Колебания угла i			40,3		31,94		53,81		35,50		28,41		32,45	
m_i			7,0		5,1		7,9		6,4		4,9		5,0	
					$\pm 2,1$		$\pm 1,9$		$\pm 2,4$		$\pm 1,8$		$\pm 1,9$	

Таблица 3

Солнечко, тихо, жарко

ВЕДОМОСТЬ

на 29, 30.VI и 1, 2.VII 1970 года

Время наблюдения	t_{cp}	Δt_{cp}	Угол i в способах														
			1-М			2-М			3-М			4-М			5-М		
			i_1	v_1	i_2	v_2	i_3	v_3	i_4	v_4	i_5	v_5	i_6	v_6			
5 ⁰⁰	13,0°	+0,9°	14,7"	-0,3"	15,5"	+0,3"	15,7"	+0,3"	16,1"	+0,7"	15,7"	+0,7"	16,0"	-0,2"	16,0"	15,1	-1,1
6 ²⁰	14,8	+0,7	15,5	+0,5	15,7	+0,5	16,1	+0,7	14,8	-0,6	14,8	-0,6	16,3	+0,8	17,0	+0,8	+0,1
7 ⁰⁰	15,8	+0,6	15,7	+0,7	16,0	+0,8	17,0	+1,6	15,8	+0,4	16,2	+0,8	17,5	+1,5	17,3	+1,1	+0,3
9 ⁰⁰	19,7	-0,1	16,6	+1,6	17,2	+2,0	17,1	+1,7	16,2	+0,8	17,5	+0,8	16,8	+0,8	16,5	+0,3	+0,3
10 ²⁰	25,2	-0,2	14,8	-0,2	13,9	-1,3	14,2	-1,2	15,7	+0,3	16,8	+0,3	16,5				
i_{cp} утренние			15,5		15,6		16,0		15,7		16,2		16,4				
i_{cp} вечерние			14,5		14,7		14,8		15,1		15,1		16,1				
15 ⁰⁰	29,0	0	17,5	+2,5	14,8	-0,4	16,8	+1,4	15,9	+0,5	15,3	+0,7	15,4	-0,8	17,2	+1,0	
16 ²⁰	28,8	-0,5	14,4	-0,6	15,0	-0,2	17,2	+1,8	14,9	-0,5	17,3	+1,3	17,2	+1,0			
17 ⁴⁰	28,4	+0,3	13,9	-1,1	14,8	-0,4	13,8	-1,6	16,4	+1,0	15,4	-0,6	16,8	+0,6			
19 ⁰⁰	25,8	+0,6	12,6	-2,4	13,6	-1,6	11,9	-3,5	13,2	-2,2	14,4	-1,6	14,6	-1,6			
20 ²⁰	22,0	+0,4	13,9	-1,1	15,3	+0,1	14,6	-0,8	15,1	-0,5	16,6	+0,6	16,6	+0,4			
$[i_i]$	150,0		151,8		154,4		154,1		160,1		160,1		162,5				
i_{cp}	$[v_i^2]$	15,0	18,32	15,2	9,60	15,4	28,45	15,4	2,7	8,75	16,0	0,10	16,2	7,91			
Колебания угла i		4,9		3,6		5,3		3,2		2,8		2,7					
m_i				$\pm 1,4$		$\pm 1,0$		$\pm 1,8$		$\pm 1,0$		$\pm 1,0$		$\pm 0,9$			

Таблица 4

Дневной ход угла i 23, 24.VI 1970 года

Время наблюдений	$t_{ср}$	$\Delta t_{ср}$	$i_{ср}$	Скорость ветра, м/с	Состояние Солнца (С)	Облачность, %
5 ⁰⁰	5,2	+0,3	12,2	0	С. еще нет	5
5 ³⁰	5,2	+0,5	12,6	0	" "	5
6 ⁰⁰	5,2	+0,4	14,6	0	С. перед восходом	4
6 ³⁰	4,8	+0,4	12,4	0	С. восходит	4
7 ⁰⁰	8,6	+0,1	17,1	0	С. взошло	4
7 ³⁰	10,0	-0,8	22,3	0	С. поднялось, тепло	
8 ⁰⁰	14,8	-0,2	13,6	1,0	Ясно, жарко	Безоблачно
8 ³⁰	15,7	0	13,8	1,0	" "	"
9 ⁰⁰	16,8	-0,2	10,8	1,5	Ясно, но к С. идет облако	7
9 ³⁰	17,2	-0,1	9,7	1,5	С. за облаком	7
10 ⁰⁰	17,3	-0,2	10,6	1,0	С. светит сквозь облако	8
10 ³⁰	18,6	-0,3	11,8	1,0	С. выходит из-за облака	10
11 ⁰⁰	20,3	-0,4	13,2	0,5	С. светит ясно	15
11 ³⁰	20,9	-0,4	13,0	1,0	Ясно, жарко	30 Нес
12 ⁰⁰	22,9	-0,5	13,6	1,0	" "	35 вблизи
12 ³⁰	21,4	-0,2	12,8	1,2	" "	35 Солнца
15 ⁰⁰	22,6	-0,8	14,0	0		3
15 ³⁰	22,4	-0,5	13,4	0	С. за сеткой облаков	5
16 ⁰⁰	22,3	-1,0	17,0	Горячий ветер 2,0	Ясно, жарко	5
16 ³⁰	23,5	-0,4	12,5	3	С. за облаками	8
17 ⁰⁰	23,6	-0,3	14,4	1	Ясно, жарко	2
17 ³⁰	23,4	-0,3	14,3	0	" "	2
18 ⁰⁰	23,3	-0,2	17,7	Горячий ветер 1,0	" "	3
18 ³⁰	23,3	0	14,2	0		8
19 ⁰⁰	23,0	+0,6	11,9	1,5	Ясно, тепло	10
19 ³⁰	23,0	+0,7	15,2	0	С. близко к горизонту	10
20 ⁰⁰	19,6	+1,2	17,0	0	" "	10
20 ³⁰	19,9	+1,0	17,0	0	С. заходит "	2
21 ⁰⁰	19,8	+0,6	16,7	0	С. зашло	Безоблачно
21 ³⁰	19,0	+0,8	15,2	0	" "	"
	18,1		15,0			
Колебание угла i			12,6			

Прежде чем анализировать влияние тепловых воздействий, остановимся на характеристике способов определения угла i .

Действительная точность способов, надо полагать, будет определяться данными табл. 3, поскольку эти данные в три-четыре раза меньше, чем данные табл. 1, и в полтора-два раза меньше, чем данные табл. 2, искажены ошибками влияния тепла, то есть ошибками, не зависящими от способов определения угла.

Итак:

1. Самыми грубыми способами определения угла i являются первый и третий. Колебания угла i достигают в них $5''$. Средние квадратические ошибки одного определения $\pm 1,4''$ и $\pm 1,8''$.

2. Способы второй и четвертый по точности практически равнозначны. Колебания угла i составляют в среднем $3,4''$, а средняя квадратическая ошибка $\pm 1,0''$.

3. К наиболее точным следует отнести пятый и шестой способы. Колебания угла i получились в них $\pm 2,7''$, средняя квадратическая ошибка $\pm 0,9''$.

Если принять во внимание затраты времени и усилий при подготовке площадки, определении и исправлении угла i каждым из способов, то самым экономичным следует признать пятый способ. При определении и исправлении угла i этим способом затрачивается 59 мин против 92, 80, 74, 72 и 119 минут соответственно первым, вторым, третьим, четвертым и шестым способами.

На точность определения угла i нивелира, кроме тепловых воздействий, оказывают большое влияние и такие источники ошибок, как неточность измерения высоты инструмента, изменение положения визирной оси при перефокусировке трубы на разноудаленные рейки, неточность отсчета по далеко стоящим рейкам, кривизна Земли, рефракция и другое.

При определении угла i первым способом надо два раза измерять высоту инструмента в одном приеме и шесть раз в трех приемах (инструкция требует делать три приема). Во втором способе высота инструмента измеряется один раз в приеме и три раза в трех приемах. Отсюда и точность второго способа в 1,5 раза выше, чем первого, правда, второй способ требует ровной и открытой площадки для разбивки равностороннего треугольника со стороной 50 м, чего может не быть в горной, заселенной или застроенной местности.

При третьем способе со второй станции берутся сильно различающиеся расстояния до реек — 5 м и 65 м. Последнее вызывает необходимость перефокусировки почти от одного крайнего положения фокусирующей линзы до второго, при этом положение линзы легко может измениться на 0,1 мм, что даст ошибку в положении визирной оси на угол 8,6" [3]. Расстояние до рейки 65 м также велико для того, чтобы точно отсчитывать. Недостатком третьего способа является еще и то, что отсчет по ближней рейке считается безошибочным, в то время как при предельных углах i это далеко не так.

При четвертом способе тоже наблюдается перефокусировка трубы от 15 до 60 м, но результаты исследований этим способом получились немного хуже, чем пятым и шестым. Очевидно, ошибка смещения фокусирующей линзы особенно опасна при перефокусировании от очень малых расстояний на большие. При пятом способе перефокусирование приходится делать от 15 м до 30 м, что не составляет даже одного оборота кремальерного винта; расстояния до реек равны 15 м и 30 м, то есть самые благоприятные для точного отсчитывания, поэтому и результаты получились лучшими.

Шестой способ по точности несколько превосходит пятый, но из-за громоздкости наблюдений и вычислений он не экономичен. В дальнейшем при анализе ошибок тепловых воздействий результаты, полученные первым и третьим способами, в расчет не берутся.

Возвращаясь к анализу влияния тепловых воздействий по табл. 1 и 2, легко заметить, что в течение дня угол i имеет максимум и минимум. Максимум приходится на момент перехода вертикального температурного градиента от положительного значения к отрицательному, минимум наоборот наступает сразу же после перехода градиента от отрицательного к положительному значению. Максимум и минимум угла i отмечены также и в пасмурную погоду, но их значения в 2,5 раза ближе между собой и смешены к середине дня примерно на 1,5 ч.

Что касается моментов перехода температурных градиентов от положительных к отрицательным значениям и наоборот, то они зависят от состояния погоды, времени года, географического положения места, и по материалам данных исследований могут быть более или менее точно определены только для летних месяцев запада Львовской области ($\phi=50^\circ$). Переход вертикального температурного градиента от плюса к минусу летом в солнечную погоду бывает через 1—1,5 ч после восхода

Солнца, то есть в 7—7 ч 30 мин, а от минуса к плюсу за 1,5—2,0 ч перед заходом Солнца, или в 19—19 ч 30 мин. В пасмурную погоду при тех же условиях переходы градиента на 1,5—2,0 ч сдвигаются к середине дня.

В табл. 1 несколько преувеличены значения угла i в ранние утренние часы. Причиной этого скорее всего является разная температурная среда, в которой инструмент находился ночью и утром, потому что в первые дни работы он не выставлялся заранее на место наблюдений. В дальнейшем, когда нивелир за час до наблюдений был выставлен на наблюдательную площадку, такого положения не наблюдалось (см. табл. 2, 3, 4).

В табл. 1, 2, 3 из утренних и вечерних циклов наблюдений выведены средние полуденные значения угла i . Здесь можно заметить очень важную закономерность. Средние утренние значения угла i значительно отличаются от средних вечерних, причем в солнечную погоду первые преувеличены по отношению ко вторым примерно на 2,6", а в пасмурную погоду наоборот — преуменьшены на 1,4". Даже в наблюдениях с термозащитой (см. табл. 3) это правило остается в силе, правда, разница между средними утренними и средними вечерними значениями угла i остается всего около 0,5".

Для более правильной оценки точности определения угла i и нахождения систематической части его дневного хода из всех определений, полученных за 12 дней, выведено средневесовое значение угла i . При этом значениям угла i , определенным нивелиром с термозащитой, придавался вес равный 4, так как результаты этих определений в четыре раза лучше согласуются между собой, чем наблюденные в солнечную погоду без термозащиты нивелира. Значениям угла i , полученным вечером в пасмурную погоду, придавался вес — 3, утренним в пасмурную погоду и вечерним в любую другую погоду — 2 и утренним в солнечную погоду — 1. Таким образом, средневесовое значение угла (i_0) из 420 его определений получилось равным 15,7".

При сравнении средних утренних и средних вечерних значений угла i со средневесовым оказалось, что в солнечную погоду первые преувеличены на 2,1" (+2,1"), а вторые преуменьшены на 0,5" (-0,5"), в пасмурную погоду и первые, и вторые преуменьшены соответственно на 1,5" (-1,5") и на 0,2" (-0,2").

Таким образом, можно заключить, что при нивелировании в любую погоду дневные тепловые изменения угла i всегда ведут к ошибкам в отсчетах по рейкам. В превышениях, за счет поворотов инструмента и равенства плеч, большая часть этих ошибок компенсируется, и величины остаточной их части будут тем меньше, чем скорее ведутся наблюдения на станциях и чем устойчивее погода. В суммах превышений идет дальнейшая компенсация, но в течение дня ни в солнечную погоду, ни в пасмурную погоду полной компенсации не происходит, так как утренние и вечерние изменения угла i в солнечную погоду, хотя и противоположны по знаку, но сильно отличаются по величине, а в пасмурную погоду они по величине в полтора-два раза меньше, чем в солнечную, но с одинаковыми знаками.

Для дальнейшей оценки были получены уклонения каждого наблюденного значения угла (i_i) от средневесового (i_0).

$$v_i = i_i - i_0.$$

Для циклов, произведенных в разных условиях погоды, вычислены систематические части дневного хода угла i — $w_{\text{систем}} = \frac{[v_i]}{n}$, где $[v_i]$ — алгебраическая сумма уклонений; n — количество уклонений.

В солнечную погоду систематическая часть дневного хода угла i составляет $(+0,9'')$, в пасмурную — $(-0,6'')$.

Средняя квадратическая ошибка одного определения угла, найденная по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\mu v_i^2]}{(n-1)p}},$$

где p — вес; $v_i^2 = v_i \cdot w_{\text{сист}}$, получилась равной $\pm 0,67''$.

Анализируя таблицу 4, отмечаем, что угол i даже при малейшем изменении силы ветра, при заходе Солнца за облака или при выходе из-за них моментально изменяется. В случае, когда Солнце покрываеться облаками или усиливается ветер, угол i уменьшается, при выходе Солнца из-за облаков или уменьшении скорости ветра — увеличивается. Облачность на небе не вблизи Солнца влияет мало.

Итак, результаты исследований приводят нас к таким выводам:

1. Дневной ход угла i в нивелирах типа НА-1, вызванный влиянием тепловых воздействий, составляет $6-12''$ в зависимости от погоды. (При выводе дневного хода угла i результаты, полученные первым и третьим способами, исключены). В неустойчивую погоду с переменной силой ветра и облачностью вблизи Солнца можно ожидать еще больших изменений угла i — до $20''$.

2. Утренние и вечерние величины угла i изменяются не одинаково. В любую погоду больше колеблются утренние. Угол i имеет максимум и минимум, которые соответствуют переходам вертикального температурного градиента через нуль.

3. Средние утренние и средние вечерние значения угла i в любую погоду сильно различаются между собой, причем в солнечную погоду первые на $2,6''$ больше вторых, а в пасмурную они на $1,4''$ меньше.

Систематическая часть ошибок в дневном ходе угла i в солнечную погоду составляет $(+0,9'')$, в пасмурную — $(-0,6'')$.

4. Наилучшая компенсация ошибок тепловых влияний на нивелир происходит в сумме превышений, полученных за два дня, причем один из них должен быть солнечным, а второй пасмурным.

5. Определение и исправление угла i в нивелирах рекомендуется делать пятим способом (Небауера) в дни с любой, но устойчивой погодой и в любое время, кроме периодов перехода температурных градиентов через нуль и периода сильно колеблющихся изображений (с 10 ч 30 мин до 15 ч 30 мин).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородулин Г. М. Изменения в порядке определения угла i . — «Геодезия и картография», 1961, № 7.
2. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов, М., «Недра», 1966.
3. Монченко И. М. Влияние фокусирования зрительных труб на изменения их визирных осей. — «Геодезия и картография», 1959 № 1.
4. Патова З. Ф. Некоторые усовершенствования в методике высокоточного нивелирования. — В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 13. Изд-во Львовского ун-та, 1971.
5. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование. — Тр. ЦНИИГАиК, вып. 111, М., 1956.
6. Монг А. Beseitigung des Meigungsfehlers der Zielachse eines Feinnivellier-instrumentes. — «Vermessungstechnik», 1958, № 6.

Работа поступила в редакцию 30 мая 1972 года.
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.