

УДК 528.024.1

П. В. ПАВЛИВ

О ВЛИЯНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА МЕХАНИЗМ НАКОПЛЕНИЯ ОШИБОК, ЗАВИСЯЩИХ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПРЕВЫШЕНИЙ

Как показал анализ [2, 3], при определенных условиях температура воздуха может оказывать значительное влияние на механизм накопления ошибок, зависящих от величины превышений. Это в первую очередь касается таких двух источников ошибок, зависящих от указанного фактора, как изменение длин реек и нивелирная рефракция.

Если для учета температурных изменений длин реек имеется формула, на основании которой при необходимости можно вводить поправки в результаты нивелирования, то для учета нивелирной рефракции, несмотря на многолетний труд исследователей многих стран, формул, по которым можно было бы с уверенностью определять необходимые значения, пока нет [1, 4]. Однако практика показывает, что влияние рефракции на точность нивелирования можно в значительной мере ослабить, если при разработке методики нивелирования учесть физико-географические условия, свойство подстилающих поверхностей излучать неодинаковое количество тепла, вероятный ход изменения температуры воздуха, превышение на станциях, расстояния от инструмента до реек и другое.

Выводы о характере действия нивелирной рефракции в основном базируются на специальных экспериментальных исследованиях, во время которых измерялись вертикальные температурные градиенты.

Однако при выполнении высокоточного нивелирования согласно общепринятой инструкции вертикальные температурные градиенты не измерялись, а измерялась температура воздуха возле инструмента, ход изменения которой в значительной мере обуславливает изменение градиентов температуры от их максимальных (положительных) до минимальных (отрицательных) величин.

Поэтому, чтобы изучить характер действия ошибок нивелирной рефракции в производственных условиях, исследуем степень влияния температуры воздуха и величины превышения на механизм накопления разностей превышений прямых и обратных ходов при нивелировании однообразно направленных скатов значительной длины.

Для анализа произведем специальную обработку материалов нивелирования 1-го класса, выполненного в горной местности Сибири, на участке вдоль шоссе в период с 19. VI по 9. VII 1965 г. Нивелирование выполнялось согласно требованиям инструкции издания 1959 года. Для нивелирования использовался нивелир *Ni 004*, устанавливаемый на штативе с длиной ножек 160 см и рейки ЭОМЗ ЦНИИГАиК. Переходными точками служили костыли длиной 35 см с полусферическими головками диаметром 40 мм.

При нивелировании рассматриваемого участка в прямом направлении температура измерялась на нечетных станциях, а в обратном на

четных. Минимальное значение температуры в прямом направлении составляло $2,5^\circ$, в обратном — $10,0^\circ$; максимальное — в прямом $23,0^\circ$, в обратном — $31,0^\circ$.

Максимальная амплитуда колебания температуры при нивелировании одной и той же секции в прямом и обратном направлениях достигала $27,0^\circ$. Такое значительное колебание температуры приземного слоя воздуха в летние месяцы на указанном участке обусловлено резко континентальным климатом и каменной, не покрытой растительностью подстилающей поверхностью нивелируемой линии.

Для исследования был выбран участок линии длиной 21,7 км. Нивелирование выполнялось с 330 станций в прямом и 330 станций в обратном направлениях. Таким образом средняя длина визирного луча для данного участка составляла 33 м.

На основании общепринятой формулы

$$m = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}},$$

где d — разность превышений прямого и обратного нивелирования; n — количество станций, найдены средние квадратические ошибки m по секциям для одной станции.

Средние квадратические ошибки m определены на основании разностей превышений прямых и обратных ходов, вычисленных после введения в суммы превышений каждой секции обратного хода поправок Δh_t , которые выражают влияние первого источника ошибок, то есть ошибок за температурные изменения длин реек.

Поправки Δh_t найдены на основании зависимости

$$\Delta h_t = h \cdot \alpha (t_{\text{пр}} - t_{\text{обр}}),$$

где h — превышение; α — коэффициент линейного расширения инварных полос, равный $2 \cdot 10^{-6}$; $t_{\text{пр}}$ — среднее значение температуры воздуха при нивелировании в прямом направлении; $t_{\text{обр}}$ — среднее значение температуры воздуха при нивелировании в обратном направлении.

Максимальное значение поправки вследствие температурных изменений длин реек составляет 1,4 мм для суммы превышений, равной 37,2 м.

Внесенные поправки в значения превышений обратных ходов уменьшили величины d , однако все же эти величины остались значительными, и средние квадратические ошибки на одну станцию хода превышают 0,5 мм.

Результаты предварительной обработки сведены в табл. 1.

Теперь проанализируем особенности действия второго источника ошибок, то есть нивелирной рефракции, на величину накопления разностей превышений прямых и обратных ходов при нивелировании в рассматриваемых условиях.

Анализ выполненных исследований нивелирной рефракции показывает, что одним из основных факторов, обуславливающих особенности механизма накопления нивелирной рефракции, является совместное действие температуры приземного слоя воздуха и превышения на станции.

Необходимо отметить, что произведение указанных величин есть основная часть всех формул для определения нивелирной рефракции, полученных разными исследователями [4].

Отсюда для решения поставленной задачи исследуем корреляционную связь между указанным произведением, то есть между произведением среднего значения разности температур прямого и обратного

Таблица 1

Влияние температуры воздуха на изменение длин рек

n	Прямой ход				Обратный ход				Δh_t	$h_{обр}$	d
	Дата	T	t°	h, м	Дата	T	t°	h, м			
30	19.VI	Утро	+ 5,0	+37,2120	9.VII	Вечер	+23,1	-37,2071	+1,4	-37,2085	+3,5
28		Вечер	+14,3	+43,4866		Утро	+16,4	-43,4862	+0,2	-43,4864	+0,2
26	20.VI	Утро	+ 4,8	+25,2005	8.VII	Вечер	+27,4	-25,1916	+1,1	-25,1927	+7,8
30		Вечер	+13,6	-13,8187		Утро	+16,8	+13,8100	+0,1	+13,8101	-8,6
36	21.VI	Утро	+18,3	-34,0833	7.VII	Вечер	+28,1	+34,0854	+0,7	+34,0861	+2,8
		Вечер	+20,1	+12,2181		Утро	+11,7	-12,2110	-0,2	-12,2108	+7,3
26	22.VI	Утро	+11,0	+26,6243	6.VII	Вечер	+28,6	-26,6296	+0,9	-26,6305	-6,2
22		Вечер	+19,6	+ 7,6955		Утро	+19,8	- 7,6934	0,0	- 7,6934	+2,1
20	23.VI	Утро	+14,6	+2,3106	5.VII	Вечер	+26,6	- 2,3127	0,0	- 2,3127	-2,1
24	24.VI	Утро	+13,1	+ 6,2416		Утро	+12,9	- 6,2423	0,0	- 6,2423	-0,7
24		Вечер	+18,6	+17,5718	4.VII	Вечер	+18,9	-17,5688	0,0	-17,5688	+3,0
26	25.VI	Утро	+10,6	+ 8,9784		Утро	+16,6	- 8,9762	+0,1	- 8,9763	+2,1
24		Вечер	+17,9	+21,2342	3.VII	Вечер	+17,0	-21,2334	0,0	-21,2334	+0,8
Σ 330				+160,8716				-160,8569	+2,7	+160,8596	

нивелирования Δt на значение среднего превышения $h_{\text{ср}}$, с одной стороны, и значением средней квадратической ошибки m на одну станцию хода, рассматриваемой секции, — с другой.

При исследовании (та же обработка, что и в работе [2] получено: $r = +0,875$, $b = +0,024$, $a = +0,34$, $m_r = +0,026$, $m_b = +0,001$.

Коэффициент корреляции r и коэффициент регрессии b свидетельствуют о том, что среднее значение ошибки, зависящей от нивелирной рефракции, на одну станцию хода при превышении 1 м и разности температуры прямого и обратного хода, равной 1°, в данном случае составляет 0,02 мм, а при разности 10° и таком же превышении может достигать 0,24 мм.

Причем необходимо отметить, что, хотя в [4] был сделан вывод о случайном характере действия рефракции, дополнительный анализ экспериментальных материалов, которые послужили для обоснования этого вывода, показал — его нельзя считать убедительным [1]. Поэтому нами в обработку приняты все материалы, приведенные в работе [4], за исключением материалов тех дней, когда не была выполнена полная программа по 30 утренних и 30 вечерних определений $\Delta\rho$, и за исключением определений 13 августа 1951 года, так как утренние определения в этот день значительно смещены во времени по сравнению со всеми другими днями, принятыми в обработку. Мы выполнили корреляционный анализ и определили степень корреляционной связи между температурой приземного слоя воздуха и разностью превышений $\Delta\rho$, полученных из нивелирования длинным и коротким лучом на горизонтальных и наклонных участках Подмосковья и Кавказа в разное время суток, в разные месяцы и при различной погоде.

Для подмосковного горизонтального участка приняты определения за 16, 18, 23 июня, 31 июля, 23, 24 августа, для наклонного участка указанные материалы распределены на две части. При этом в первую часть включены определения за 9, 10, 11, 14 и 19 июля, а во вторую часть — за 3, 4, 11 и 21 августа 1951 года.

Учитывая то обстоятельство, что при определении $\Delta\rho$ через каждые пять приемов [4] делался десятиминутный перерыв и таким образом указанное количество приемов объединялось некоторыми общими условиями, при исследованиях корреляционной связи группирование как для утренних, так и для вечерних определений выполнено в пять приемов.

Получено шесть групп утренних и шесть групп вечерних определений $\Delta\rho$ и t для горизонтальных и наклонных участков Подмосковья и Кавказа (табл. 2).

Считая, что первые группы утренних и последние вечерних наблюдений выполнялись в инверсионный период, а остальные в часы падения температуры воздуха с высотой, соответствующие группы определений $\Delta\rho$ и t объединялись в таком порядке: первая—шестая, вторая—пятая, третья—четвертая, четвертая—третья, пятая—вторая, шестая—первая.

Полученные средние значения температур воздуха t , измеренных на станции около инструмента, и средних значений $\Delta\rho$ (в мм) для горизонтальных и наклонных участков Подмосковья и Кавказа дали возможность исследовать корреляционную связь. Результаты исследования приведены в нижней части табл. 2.

Итак, анализ производственного и экспериментального нивелирования позволяет сделать некоторые выводы о характере действия нивелирной рефракции:

1. Нивелирная рефракция влияет неодинаково по величине и по знаку при нивелировании в прямом и обратном направлениях.
2. Различие в характере действия нивелирной рефракции обуславливается различием в ходе изменений температуры воздуха.

Таблица 2

Корреляционная связь между температурой воздуха \bar{t} и разностью превышений $\Delta\rho$, полученных при нивелировании коротким и длинным лучом

№ пп.	Горизонтальный участок			Наклонный участок					
	n	\bar{t}	$\Delta\rho$	n	\bar{t}	$\Delta\rho$	n	\bar{t}	$\Delta\rho$
Подмосковье									
1	60	16,69	+0,044	50	21,05	+0,015	40	18,06	-0,043
2	60	17,61	+0,034	50	22,45	+0,011	40	19,30	-0,050
3	60	18,22	+0,046	50	23,62	+0,023	40	20,08	-0,040
4	60	19,07	+0,026	50	24,23	+0,026	40	20,56	-0,027
5	60	19,69	-0,002	50	25,26	+0,031	40	21,83	-0,036
6	60	20,02	+0,038	50	26,24	+0,052	40	22,14	-0,027
Σ	360	18,55	+0,031	300	23,81	+0,026	240	20,33	-0,037
		$r' = -0,541$			$r'' = +0,887$			$r''' = +0,704$	
		$b' = -0,0075$			$b'' = +0,0069$			$b''' = +0,0042$	
		$a' = +0,170$			$a'' = -0,141$			$a''' = -0,142$	
		$m_{r'} = \pm 0,044$			$m_{r''} = \pm 0,027$			$m_{r'''} = \pm 0,045$	
		$m_{b'} = \pm 0,0001$			$m_{b''} = \pm 0,0002$			$m_{b'''} = \pm 0,0003$	
Кавказ									
1	20	18,58	-0,078	60	22,29	+0,012	50	21,66	+0,025
2	20	19,55	-0,036	60	23,21	+0,004	50	22,54	+0,002
3	20	21,04	-0,002	60	24,50	-0,012	50	24,08	-0,017
4	20	22,50	+0,012	60	25,36	-0,015	50	25,84	-0,060
5	20	23,76	+0,011	60	26,00	-0,030	50	26,95	-0,078
6	20	24,32	+0,013	60	26,31	-0,007	50	27,78	-0,068
Σ	120	21,32	-0,013	360	24,61	-0,008	300	24,79	-0,033
		$r' = +0,910$			$r'' = -0,806$			$r''' = -0,957$	
		$b' = +0,0146$			$b'' = -0,0074$			$b''' = -0,0164$	
		$a' = -0,311$			$a'' = +0,174$			$a''' = +0,373$	
		$m_{r'} = \pm 0,038$			$m_{r''} = \pm 0,051$			$m_{r'''} = \pm 0,017$	
		$m_{b'} = \pm 0,0006$			$m_{b''} = \pm 0,0005$			$m_{b'''} = \pm 0,0003$	

3. Ход изменений температуры воздуха в значительной мере зависит от периода года, поэтому чем больше разрыв во времени между прямым и обратным нивелированием, тем больше расхождение в превышениях прямых и обратных ходов, вызываемое действием нивелирной рефракции.

4. С целью минимизации действия нивелирной рефракции нивелирование участков линий со значительными уклонами необходимо планировать на периоды года, характеризующиеся незначительными ходами изменений температуры воздуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский А. Л., Хижак Л. С., Кметко И. Н. О влиянии рефракции в высокоточном нивелировании. — В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 2. Изд-во Львовского ун-та, 1965.
2. Павлив П. В. Исследование ошибок, зависящих от превышений при нивелировании вдоль рек. — В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 5. Изд-во Львовского ун-та, 1966.
3. Павлив П. В. Исследование ошибок геометрического нивелирования, зависящих от величины превышений. — В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 8. Изд-во Львовского ун-та, 1969.
4. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование. — Тр. ЦНИИГАиК, вып. 111, М., Геозиздат, 1956.

Работа поступила в редколлегию 23 июня 1972 года.
Рекомендована кафедрой лесной таксации Львовского лесотехнического института.