

УДК 528.088

Р. М. ТАРТАЧИНСКИЙ

ЗАВИСИМОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ БОКОВОЙ РЕФРАКЦИИ ОТ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

В настоящее время значительное число производственных наблюдений углов в триангуляции приходится на горные районы, а явление боковой рефракции и ее влияние на эти измерения в указанных районах пока наименее изучено.

Экспериментальные исследования погрешностей, вызываемых боковой рефракцией в подобных рельефных условиях, выполненные А. С. Зюзиным [2] и И. С. Пандулом [4], явление, наблюдавшееся В. Л. Рексом [5], не позволяют сделать общих выводов о действии рефракции в горах и методах ее исключения, а подтверждают необходимость проведения дальнейших работ в этом направлении с целью выработки методов минимизации ее систематического влияния.

В работе [3] было показано, что в равнинных степных районах существует тесная связь между переходом через нуль радиационного баланса на высоте инструмента и моментом «нулевых рефракций». Эта связь обуславливается, в основном, двумя факторами: 1) небольшим различием между высотой инструмента и высотой визирного луча над подстилающей поверхностью; 2) зависимостью величины искажения измеряемого направления (угла) боковой рефракцией от расстояния источника рефракции до визирной цели. Последнее выражается известной формулой Т. Куккамьяки [7]

$$\delta = \sum \sigma_i \frac{S_i}{S}, \quad (1)$$

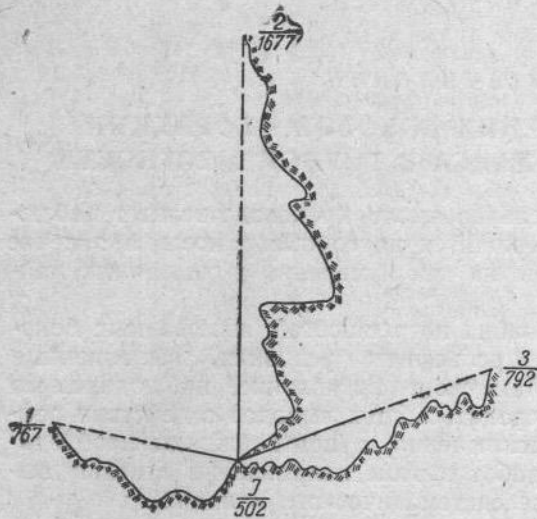
где δ — частная боковая рефракция в направлении длиной S ; σ_i — полные рефракции на участках ΔS_i ; S_i — расстояние от визирной цели до точки преломления светового луча.

В горных районах высота визирного луча, на отдельных участках направления может в сто, а то и в тысячу раз отличаться от высоты инструмента и только вблизи последнего (или у визирной цели) они соизмеримы. Учитывая это и формулу (1), представляется целесообразным проверить в горных условиях установленную ранее в степных районах зависимость между радиационным балансом и боковой рефракцией. Выявление такой зависимости в горных условиях дало бы возможность наметить некоторые пути борьбы с систематическим воздействием боковой рефракции на угловые измерения. С этой целью в сентябре 1968 г. в Карпатах на одном из пунктов триангуляции создаваемого в то время эталонного геодезического полигона, ставились специальные исследования. В качестве исследуемых были взяты три направления, отстоящие от подстилающей поверхности на различных высотах (см. рисунок).

Из рисунка видно, что по направлению 1 высота визирного луча над подстилающей поверхностью достигает 400 м, по направлению 3 —

150 м и самая большая высота (600 м) — по направлению 2. Из этого следует ожидать, что направление 2, проходящее высоко над землей, должно искажаться рефракцией очень незначительно, а направление 3, проходящее сравнительно низко над подстилающей поверхностью, должно претерпевать максимальные искажения.

В связи с тем, что визирные лучи по каждому отдельному направлению проходят в различных условиях и на различных высотах, то и ход углов под действием рефракции должен быть различным.



Для исследования была принята обычная методика измерения углов способом во всех комбинациях, но без перестановки лимба. В этом случае ряд инструментальных ошибок принимает постоянную величину и не влияет на ход измеренных направлений или углов.

Наблюдения велись с помощью теодолита ТТ 2/6 со штатива, который был

Схема и профили измеряемых направлений:

1, 2, 3 — направления.

установлен на вбитые в землю кольца диаметром 10—15 см. Инструмент и штатив всегда надежно защищались от воздействий солнечных лучей с помощью верховой палатки, а при необходимости и топографического зонта. Перед началом работ были выполнены все необходимые исследования и проверки инструмента, предусмотренные действующей инструкцией. Визирными целями служили малофазные визирные цилиндры.

Порядок измерения углов такой: (1.2), (1.3) и (2.3). При наведении использовалась одна и та же часть биссектора окулярного микрометра. Колебания отсчетов по окулярному микрометру допускались до трех делений. Одновременно с отсчетами по окулярному микрометру брались отсчеты по концам пузырька накладного уровня.

В период угловых измерений фиксировалось состояние погоды, видимость и качество изображений визирных целей.

Параллельно с угловыми измерениями через 0,5 ч на высоте инструмента определялась температура воздуха, сила ветра, давление и радиационный баланс. Радиационный баланс измерялся с помощью термоэлектрического балансомера Янишевского, а температура — психрометрами Ассмана. Наблюдения велись в течение шести видимостей: четырех вечерних и двух утренних. При этом примерно половина наблюдений выполнена при ясной погоде, а половина — при пасмурной. Скорость ветра в период наблюдений колебалась от 0 до 2 м/с, а в среднем — 0,5—1 м/с. В приведенных ниже данных радиационный баланс выражается в делениях шкалы гальванометра. В измеренные значения углов введены поправки за наклон оси вращения инструмента.

По полученным значениям углов (β) и радиационному балансу (R) для каждой видимости и для каждого угла найдены средние значения, отклонения от среднего и несмещенные оценки статистических дисперсий D .

$$\tilde{D}_\beta = \frac{\sum_1^n (\beta_i - \tilde{\beta})^2}{n-1}, \quad \tilde{D}_R = \frac{\sum_1^n (R_i - \tilde{R})^2}{n-1}, \quad (2)$$

а по ним средние квадратические отклонения σ

$$\tilde{\sigma}_\beta = \sqrt{\tilde{D}_\beta}, \quad \tilde{\sigma}_R = \sqrt{\tilde{D}_R}. \quad (3)$$

Затем были найдены статистические корреляционные моменты

$$\tilde{K}_{\beta,R} = \frac{\sum_1^n (\beta_i - \tilde{\beta})(R_i - \tilde{R})}{n-1}, \quad (4)$$

и коэффициенты корреляции

$$\tilde{r}_{\beta,R} = \frac{\tilde{K}_{\beta,R}}{\tilde{\sigma}_\beta \cdot \tilde{\sigma}_R}. \quad (5)$$

В таблице приведены средние значения из этих величин отдельно за три видимости солнечной безоблачной погоды и три видимости переменной облачной и пасмурной погоды.

Зависимость между β_i и R_i

Погода	Обозначения	Угол (1,2)		Угол (1,3)		Угол (2,3)	
		β	R	β	R	β	R
Солнечная безоблачная	β	46",18	+20,41	7",47	+20,41	21",68	+20,45
	n	19	19	19	19	19	19
	D	1,041	17,384	2,324	17,339	1,044	17,034
	σ	$\pm 1,02$	$\pm 4,17$	$\pm 1,52$	$\pm 4,16$	$\pm 1,02$	$\pm 4,13$
	$K_{\beta,R}$	-3,173		-5,18		-3,091	
	r	-0,74		-0,92		-0,73	
Переменная пасмурная	β			8,05	+0,21		
	n			52	52		
	D			0,821	3,202		
	σ			$\pm 0,91$	$\pm 1,79$		
	$K_{\beta,R}$			-0,776			
	r			-0,48			

Данные таблицы показывают, что, несмотря на ограниченное число приемов в солнечную погоду (19 приемов), средние квадратические отклонения углов (1.2) и (2.3), то есть углов, образованных с направлением 2, одного порядка и в 1,5 раза меньше, чем для угла (1.3). Угол (1.3), как и предполагалось ранее, содержит максимальные погрешности угловых измерений. Небезынтересным являются также величины коэффициентов корреляции: углы (1.2) и (2.3), образованные с направлением 2, проходящим высоко над подстилающей поверхностью, меньше коррелируют с величиной радиационного баланса, измеренного в точке стояния инструмента, чем угол (1.3).

Коэффициент корреляции для угла (1.3), образованного направлениями, проходящими сравнительно низко над подстилающей поверхностью, приближается к единице, что указывает на тесную связь между ходом измеряемого угла в течение видимости и радиационным ба-

лансом в точке стояния инструмента. В пасмурную погоду, при малых величинах радиационного баланса и незначительном его колебании, средние квадратические отклонения и коэффициент корреляции $r_{\beta R}$ почти в два раза меньше, чем в солнечную погоду. Последнее объясняется тем, что в пасмурную и облачную погоду боковая рефракция малая по величине и соизмерима с другими погрешностями угловых измерений. Наряду с этим, обращают на себя внимание довольно значительные колебания углов на протяжении видимости как в солнечную, так и в пасмурную погоду, что может вызвать некоторые сомнения. Здесь следует указать на то, что в данном эксперименте, и поскольку это эксперимент, измерения углов начинались и заканчивались при некоторых колебаниях, но таких, при которых можно было уже вести наблюдения. Отсюда результаты измерений будут иметь не только случайные ошибки измерений, но и некоторые погрешности из-за колебаний изображений. Исходя из этого, средние квадратические отклонения σ можно представить в виде:

$$\sigma^2 = m_{с.л}^2 + m_0^2, \quad (6)$$

где $m_{с.л}$ — средняя квадратическая ошибка измерения угла, обусловленная случайными погрешностями измерений и колебаниями изображений визирных целей; m_0 — средняя квадратическая ошибка в угле, обусловленная боковой рефракцией. Величину $m_{с.л}$ находят по результатам уравнивания углов на станции через уклонения значения уравновешенного угла от его значения из 19 приемов. После вычисления имеем: $m_{с.л} = \pm 0''{,}98$; $m_{с.л}$ должна быть практически свободна от боковой рефракции, так как в принятой методике измерений вначале измеряется угол (1.2), затем — (1.3) и, наконец, — (2.3). Угол (1.3) должен содержать в себе среднюю величину боковой рефракции на промежутке времени измерения трех углов, а последняя не влияет на взаимную связь углов, измеренных в один и тот же промежуток времени. Используя значения σ и $m_{с.л}$, вычислим величины искажений углов боковой рефракцией. Имеем:

$$m_{\delta(1,2)} = \pm 0''{,}28, \quad m_{\delta(1,3)} = \pm 1''{,}17, \quad m_{\delta(2,3)} = \pm 0''{,}28. \quad (7)$$

Средняя квадратическая величина боковой рефракции будет $\pm 0''{,}73$, что хорошо согласуется с аналогичной величиной ($m_{\delta} = \pm 0''{,}56 \pm 0''{,}12$), полученной нами в результате обработки производственных материалов по угловым измерениям в триангуляции 2-го класса, расположенной в горно-таежной местности [6]. В пасмурную погоду при малых значениях R никаких рефракционных влияний не наблюдается. Из этого следует, что при нулевом радиационном балансе углы не должны быть искажены боковой рефракцией. Используя данные таблицы, для каждого угла мы составили уравнения регрессии.

$$\beta - \tilde{\beta} = \frac{\tilde{K}_{\beta, R}}{\tilde{D}_R} (R - \tilde{R}). \quad (8)$$

В численном виде имеем:

$$\begin{aligned} \beta_{1,2} &= 46''{,}62 - 0{,}18 R, \quad \beta_{1,3} = 8''{,}28 - 0{,}34 R, \quad \beta_{2,3} = 22''{,}12 - 0{,}18 R, \\ \beta_{1,3} &= 8''{,}10 - 0{,}24 R. \end{aligned} \quad (9)$$

Первые три уравнения получены по данным измерений в солнечную погоду, последнее соответствует измерениям в пасмурную погоду. В связи с наличием в настоящее время на описываемом полигоне эталонных значений углов [1] представляется возможным проверить

достоверность установленной зависимости (9) между измерениями углов в течение видимости под действием боковой рефракции и величиной радиационного баланса, измеряемого на пункте наблюдения.

Величины эталонных углов следующие:

$$\beta_{1,2}=46''{,}38 \pm 0''{,}4, \beta_{1,3}=7''{,}68 \pm 0''{,}6, \beta_{2,3}=21''{,}30 \pm 0''{,}3. \quad (10)$$

Сопоставляя углы (10) с соответствующими их значениями (при $R=0$) из уравнений (9), наблюдаем их хорошую сходимость. При этом угол (1.3) в пасмурную погоду лучше согласуется с его эталонным значением, чем в солнечную погоду. Среднее квадратическое отклонение углов из уравнений (9) от эталонных углов составляет $\pm 0''{,}56$. Учитывая погрешности эталонных углов, а также погрешности измеренных углов и радиационного баланса, большей сходимости и не следует ожидать.

Таким образом, исследования показали, что в горах, как в равнинной и всхолмленной местности, несмотря на значительную высоту прохождения визирных лучей над подстилающей поверхностью, наблюдается влияние боковой рефракции. Последнее может вносить в результаты угловых измерений ощутимые систематические ошибки. Величина дневного хода углов под действием рефракции находится в тесной связи с величиной изменения радиационного баланса на пункте измерения углов. Выполнение угловых измерений при радиационном балансе, близком к нулю или симметрично относительно этого нуля, приведет к повышению точности указанных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вировец Ю. Б., Наумов Я. В., Островский А. Л. Эталонный геодезический полигон в горном районе, — «Геодезия и картография», 1971, № 12.
2. Зюзин А. С. Особенности угловых измерений в горах. — «Геодезия и картография», 1958, № 12.
3. Островский А. Л., Сидорик Р. С. Определение промежутков времени с минимальным действием земной рефракции по радиационному балансу. — В сб.: Инженерная геодезия, вып. 3, Киев, 1966.
4. Пандул И. С. Исследование боковой рефракции в высокогорной местности. — «Геодезия и картография», 1968, № 6.
5. Рекс В. Л. Явление боковой рефракции при наблюдении горизонтальных направлений, — «Геодезист», 1940, № 2.
6. Тартачинский Р. М. Об ошибках угловых измерений в сетях триангуляции. — «Геодезия и картография», 1971, № 9.
7. Kukkamäki T. J. Verbesserung der Horizontalen Winkelmessungen Wegen der Seitenrefraktion. Des Finischen Geodätischen Institutes, Helsinki, 1939.

Работа поступила в редколлегию 25 мая 1972 года.
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.