

УДК 528.088

Р. М. ТАРТАЧИНСКИЙ

О ЗАВИСИМОСТИ ОШИБОК УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В СЕТЯХ ТРИАНГУЛЯЦИИ ОТ СОСТОЯНИЯ ПОГОДЫ

Экспериментальные исследования ошибок угловых измерений [1, 2, 5], а также анализ производственных материалов по угловым измерениям на пунктах триангуляции 2-го класса в залесенной местности [3] показали, что в равнинных и всхолмленных районах существует хорошая корреляционная связь между погрешностями угловых измерений рефракционного характера и вертикальными градиентами температуры. Последние, в свою очередь, зависят от состояния погоды. В горной местности визирный луч проходит высоко над земной поверхностью, куда слой инверсии может и не доходить. Отсюда остается неясным вопрос, в какой мере температурные изменения у подстилающей поверхности будут влиять на визирный луч, проходящий высоко над ней. Тем более, что производственные наблюдения углов на пунктах триангуляции выполняются в течение нескольких видимостей, и за это время погода может измениться от солнечной до пасмурной и наоборот. При измерении углов только на пунктах одного треугольника погода может быть самой разнообразной. Измерения же углов во всей сети объекта выполняются при еще большем разнообразии погодных условий. Если состояние внешней среды скажется на характере и величине ошибок угловых измерений, то и подсчитанные по этим углам невязки треугольников также должны содержать некоторые результирующие погрешности. Только исследование этих погрешностей на производственном материале при большом числе невязок треугольников может выявить их характер и величину.

Для изучения вопроса использовались производственные материалы по угловым измерениям в сети триангуляции 2-го класса, из работы [4]. При этом полученные в интервалах видимости невязки треугольников были разделены на две группы. В первую группу отнесены те треугольники, угловые измерения в которых хотя бы на двух пунктах выполнялись при солнечной погоде. Во вторую группу — треугольники, в которых угловые измерения выполнялись при переменной облачной и пасмурной погоде тоже не менее, чем на двух пунктах. Такое деление условно, но, несмотря на это, общая закономерность ошибок должна быть выявлена. В результате определено 225 (1125) невязок треугольников при солнечной погоде и 224 (1120) при пасмурной погоде. Полученные в каждом интервале видимости невязки треугольников, как и ранее, считаем сечениями функции $\varphi(t)$, заданной в небольшом интервале t_1, t_2 . Затем по невязкам треугольников в интервалах видимости составляем корреляционные матрицы для солнечной и пасмурной погоды.

Рассматривая данные этих матриц, обращаем внимание на четко выраженную зависимость величин дисперсий, расположенных по главной диагонали матрицы при солнечной погоде, от интервала периода

видимости и отсутствие такой зависимости в пасмурную погоду. Как в солнечную, так и в пасмурную погоду минимальные дисперсии отмечаются во втором интервале видимости, а не в третьем, как этого следовало бы ожидать.

Корреляционные матрицы невязок треугольников

		Солнечная погода				
Интервалы видимости		1	2	3	4	5
1		+4,884	+2,214	+1,830	+1,882	+2,207
2			+3,706	+2,198	+1,727	+1,808
3				+3,839	+2,326	+2,142
4					+4,350	+2,675
5						+4,605

		Пасмурная погода				
Интервалы видимости		1	2	3	4	5
1		+4,149	+1,771	+1,757	+1,809	+1,570
2			+3,845	+1,800	+1,985	+1,235
3				+4,083	+2,043	+1,902
4					+4,221	+2,151
5						+4,173

Представим каждую невязку треугольника $w_{i,k}$ как сумму случайной a_i , систематической $\beta_i t_k$ (где t — время, отсчитываемое от середины видимости) и постоянной части γ_i , то есть

$$w_{i,k} = a_i + \beta_i t_k + \gamma_i, \quad w_{i,l} = a_i + \beta_i t_l + \gamma_i, \quad (1)$$

где k, l — интервалы периода видимости; i — порядковый номер треугольника. Отсюда корреляционные моменты $K_{k,l}$ матрицы $\|K_{i,j}\|$ могут быть представлены в виде

$$K_{k,l} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} w_{i,k} \cdot w_{i,l}. \quad (2)$$

Поступая в дальнейшем так же, как и в работе [4], составляем следующие уравнения погрешностей для определения неизвестных α , β и γ ;

Солнечная погода	Пасмурная погода	
$\alpha^2 + 0,250 \beta^2 + \gamma^2 - 4,884 = v_1;$	$\alpha^2 + 0,250 \beta^2 + \gamma^2 - 4,149 = v_1;$	
$\alpha^2 + 0,062 \beta^2 + \gamma^2 - 3,706 = v_2;$	$\alpha^2 + 0,062 \beta^2 + \gamma^2 - 3,845 = v_2;$	
$\alpha^2 + 0 \quad + \gamma^2 - 3,839 = v_3;$	$\alpha^2 + 0 \quad + \gamma^2 - 4,083 = v_3;$	
$\alpha^2 + 0,062 \beta^2 + \gamma^2 - 4,350 = v_4;$	$\alpha^2 + 0,062 \beta^2 + \gamma^2 - 4,221 = v_4;$	
$\alpha^2 + 0,250 \beta^2 + \gamma^2 - 4,605 = v_5;$	$\alpha^2 + 0,250 \beta^2 + \gamma^2 - 4,173 = v_5;$	
$+ 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 2,214 = v_6;$	$+ 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 1,771 = v_6;$	
$0 \quad + \gamma^2 - 1,830 = v_7;$	$0 \quad + \gamma^2 - 1,757 = v_7;$	
$- 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 1,882 = v_8;$	$- 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 1,809 = v_8;$	(3)
$- 0,250 \beta^2 + \gamma^2 - 2,207 = v_9;$	$- 0,250 \beta^2 + \gamma^2 - 1,570 = v_9;$	
$0 \quad + \gamma^2 - 2,198 = v_{10};$	$0 \quad + \gamma^2 - 1,800 = v_{10};$	
$- 0,062 \beta^2 + \gamma^2 - 1,727 = v_{11};$	$- 0,062 \beta^2 + \gamma^2 - 1,985 = v_{11};$	
$- 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 1,808 = v_{12};$	$- 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 1,235 = v_{12};$	
$0 \quad + \gamma^2 - 2,326 = v_{13};$	$0 \quad + \gamma^2 - 2,043 = v_{13};$	
$0 \quad + \gamma^2 - 2,142 = v_{14};$	$0 \quad + \gamma^2 - 1,902 = v_{14};$	
$+ 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 2,675 = v_{15}.$	$+ 0,125 \beta^2 + \gamma^2 - 2,151 = v_{15}.$	

В связи с тем, что ряды невязок треугольников при солнечной и пасмурной погоде уменьшились по сравнению с рядами в работе [4] в два раза, случайные составляющие α в уравнениях погрешностей не разделены по интервалам видимости. Это, естественно, должно отразиться на увеличении точности определения их значений.

По уравнениям ошибок (3) составлены нормальные уравнения, в результате решения которых найдены значения неизвестных α , β и γ и сделана оценка точности их определения:

Солнечная погода	Пасмурная погода	
$\alpha = \pm 1'' ,38 \pm 0'' ,06;$	$\alpha = \pm 1'' ,46 \pm 0'' ,04;$	
$\beta = \pm 1 ,42 \pm 0 ,23;$	$\beta = \pm 1 ,02 \pm 0 ,18;$	(4)
$\gamma = \pm 1 ,47 \pm 0 ,03.$	$\gamma = \pm 1 ,35 \pm 0 ,03.$	

Анализируя полученные результаты, замечаем, что случайные величины α как при солнечной, так и при пасмурной погоде различаются очень мало. Коэффициент систематической составляющей β в солнечную и пасмурную погоду имеет заметные различия, что вообще характерно для погрешностей боковой рефракции.

Наблюдаются также некоторые расхождения величин γ в зависимости от погодных условий. Эти расхождения могут быть вызваны тем, что центрировки и редукции на пунктах триангуляции определяются не во время видимостей, когда ведутся угловые измерения, а обычно днем, в периоды высоких температур. Температурные воздействия, особенно на высокие сигналы, могут значительно исказить линейные элементы приведений, а это впоследствии сказывается на невязках треугольников. Численное значение этой погрешности в угле будет

$$m_t = \pm \sqrt{\frac{\gamma_c^2}{3} - \frac{\gamma_n^2}{3}} = \pm 0'' ,34. \quad (5)$$

Величина m_t довольно значительная, и поэтому для ее уменьшения время определения элементов приведения в солнечную погоду необходимо приблизить к периодам угловых измерений. Средняя квадратическая случайная ошибка измерения углов из $1/5$ (μ') полной программы (μ) находится по значениям α .

$$\begin{aligned} \mu_c' &= \pm \sqrt{\frac{\alpha_c^2}{3}} = \pm 0'' ,80; & \mu_n' &= \pm \sqrt{\frac{\alpha_n^2}{3}} = \pm 0'' ,84; \\ \mu_c &= \pm \frac{\mu_c'}{\sqrt{5}} = \pm 0'' ,36. & \mu_n &= \pm \frac{\mu_n'}{\sqrt{5}} = \pm 0'' ,38. \end{aligned} \quad (6)$$

Значения μ_c и μ_n показывают, что случайные ошибки измерения углов не зависят от состояния погоды.

Величины систематических влияний в треугольнике, обусловленные действием боковой рефракции, на краю периода видимости следующие:

$$\begin{aligned} \delta_c &= \beta_c \cdot t_1 = \pm 1,42 \cdot 0,5 = 0'' ,71 \pm 0'' ,12; \\ \delta_n &= \beta_n \cdot t_1 = \pm 1,02 \cdot 0,5 = 0'' ,51 \pm 0'' ,09. \end{aligned} \quad (7)$$

Таким образом, анализ производственных измерений углов в сети триангуляции 2-го класса показал, что в горной местности, несмотря на значительную высоту визирных лучей над подстилающей поверхностью, величины погрешностей угловых измерений тоже зависят от состояния погоды. Результаты угловых измерений, выполненные в пере-

менную облачную и пасмурную погоду, в значительной мере будут свободны от влияния боковой рефракции и других воздействий, зависящих от температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Островский А. Л., Тартачинский Р. М. Опыт применения программы угловых измерений, симметричной относительно моментов изотермии воздушных масс, в южном степном районе. — В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 3. Изд-во Львовского ун-та, 1965.
2. Пеллинен Л. П. Исследования по угловым измерениям в триангуляции. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 114. М., Геодезиздат, 1957.
3. Тартачинский Р. М. Об искажении углов боковой рефракцией в периоды видимости над залесенной местностью. — В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 11. Изд-во Львовского ун-та, 1970.
4. Тартачинский Р. М. Об ошибках угловых измерений в сетях триангуляции. — «Геодезия и картография», 1971, № 9.
5. Хижак Л. С. Связь между колебаниями изображений и ошибками углов рефракционного происхождения. В сб.: Геодезия, картография и аэрофотосъемка, вып. 1. Изд-во Львовского ун-та, 1964.

Работа поступила в редколлегию 17 мая 1972 года.
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.
