

Б. М. ДЖУМАН

РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЙ В ПЕРИОДЫ СПОКОЙНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

На точность измеренного зенитного расстояния в основном влияет ошибка за рефракцию m_p , ошибка собственно измерений μ , инструментальные систематические погрешности m_u и систематическая ошибка визирования m_b . Формулу для средней квадратической ошибки измеренного зенитного расстояния запишем в таком виде:

$$m_z^2 = m_p^2 + \mu^2 + m_u^2 + m_b^2 \quad (1)$$

Для получения зависимости m_z от длины линии нивелирования прежде всего определяем ошибку за рефракцию. С этой целью мы использовали результаты полевых наблюдений, выполненные автором в 1964—1966 гг. на учебном геодезическом полигоне Львовского политехнического института. Методика этих наблюдений изложена в работе [1]. Из результатов полевых наблюдений получены ошибки собственно измерений, вычисленные по разностям двойных измерений. Ошибки зенитных расстояний вычисляли по формуле

$$m_z^2 = m_z'^2 - m_z^{\circ 2} \quad (2)$$

где m_z' — среднее квадратическое отклонение зенитного расстояния, полученное по отклонениям коэффициентов рефракции от среднего значения коэффициента; m_z° — средняя квадратическая ошибка вычисленного теоретического зенитного расстояния.

Величины ошибок μ , m_z' и m_z° приведены в табл. 1 для групп линий нивелирования со средними эквивалентными высотами 4, 21, 30 и 38 м и средними линиями нивелирования длиной соответственно 3; 4,3; 10 и 10,8 км.

Таблица 1
 Величины ошибок μ , m_z' и m_z°

Группы линий нивелирования	$h_{\text{эср.}} = 4 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 3 \text{ км}$	$h_{\text{эср.}} = 21 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 4,3 \text{ км}$	$h_{\text{эср.}} = 30 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 10 \text{ км}$	$h_{\text{эср.}} = 38 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 10,8 \text{ км}$
	Период спокойных изображений			
$\pm \mu$	1,9	1,6	1,3	1,5
$\pm m_z'$	2,5	2,1	2,0	2,1
Дневные периоды 12—16 ч				
$\pm \mu$	2,4	2,1	1,7	2,2
$\pm m_z'$	9,6	5,1	6,4	4,5
$\pm m_z^{\circ}$	1,1	1,0	0,9	0,8

Эти данные приводятся как для периода спокойных изображений, так и для дневного периода 12—16 часов.

Подставляя теперь в формулы (1) и (2) для различных групп линий нивелирования значения ошибок μ , m_z и m_z^0 , а также принимая величины систематических инструментальных ошибок и систематической ошибки визирования соответственно равными $\pm 0''{,}7$ и $\pm 0''{,}5$ [2], получаем средние квадратические ошибки за рефракцию. Величины этих ошибок приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения ошибок за рефракцию				
Группы линий нивелирования	$h_{\text{ср.}} = 4 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 3 \text{ км}$	$h_{\text{ср.}} = 21 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 4,3 \text{ км}$	$h_{\text{ср.}} = 30 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 10 \text{ км}$	$h_{\text{ср.}} = 38 \text{ м}$ $S_{\text{ср.}} = 10,8 \text{ км}$
Период спокойных изображений				
m_p''	$\pm 0''{,}8$	$\pm 0''{,}4$	$\pm 0''{,}8$	$\pm 0''{,}8$
Дневные периоды с 12—16 ч				
m_p''	$\pm 9''{,}1$	$\pm 4''{,}5$	$\pm 6''{,}0$	$\pm 3''{,}7$

Из этой таблицы видно, что ошибки за рефракцию для периода спокойных изображений значительно меньше, чем для дневных периодов, 12—16 часов, и величины их близки к значениям систематических инструментальных и других ошибок.

При измерении зенитных расстояний в равнинных и всхолмленных районах можно полагать, что величина коэффициента рефракции в определенный момент времени при данной эквивалентной высоте визирного луча будет оставаться постоянной для различных длин линий нивелирования. Естественно, что величина ошибки за рефракцию будет изменяться пропорционально длине визирного луча.

Учитывая это, можно записать равенство

$$m_{pS} = \frac{S}{S_1} m_{pS_1} \quad (3)$$

Подставляя значения m_{pS_1} из табл. 2 в формулу (3) и принимая $S = 10 \text{ км}$, получаем средние квадратические ошибки за рефракцию для расстояния 10 км при различных эквивалентных высотах визирных лучей.

Таблица 3

Значение ошибок за рефракцию $m_{p_{10}}$				
$h_{\text{ср.}}$	4 м	21 м	30 м	38 м
Период спокойных изображений				
$m_{p_{10}}''$	$\pm 2''{,}6$	$\pm 0''{,}9$	$\pm 0''{,}8$	$\pm 0''{,}7$
Дневные периоды 12—16 ч				
$m_{p_{10}}''$	$\pm 28''{,}8$	$\pm 10''{,}5$	$\pm 6''{,}0$	$\pm 3''{,}4$

Из табл. 3 следует, что величины рефракционных ошибок для периодов спокойных изображений в 5—10 раз меньше соответствующих

ошибок для дневного периода наблюдений. В периоды спокойных изображений при незначительных высотах визирных лучей возможно некоторое увеличение ошибок за рефракцию в результате быстрого изменения коэффициента рефракции и понижения точности фиксации моментов спокойных изображений.

По данным табл. 3 можно вычислить ошибку измеренного одним приемом зенитного расстояния для различных длин линий нивелирования при значениях эквивалентных высот 4; 21; 30 и 38 м по следующей формуле:

$$m_{z_S} = \pm \sqrt{\frac{S^2}{100} m_{p_{10}}^2 + \mu^2 + m_u^2 + m_b^2}. \quad (4)$$

Значения величин m_{z_S} для расстояний 6 и 10 км приведены в табл. 4.

Таблица 4
Ошибки зенитных расстояний, измеренных одним приемом

$h_{\text{экв.}}$	4 м	21 м	30 м	38 м
Периоды спокойных изображений				
$\pm m_{z_6}$	$\pm 2,6''$	$\pm 1,9''$	$\pm 1,6''$	$\pm 1,8''$
$\pm m_{z_{10}}$	$\pm 3,3''$	$\pm 2,0''$	$\pm 1,8''$	$\pm 1,9''$
Дневные периоды 12—16 ч				
$\pm m_{z_6}$	$\pm 17,4''$	$\pm 6,6''$	$\pm 4,1''$	$\pm 3,1''$
$\pm m_{z_{10}}$	$\pm 28,9''$	$\pm 10,7''$	$\pm 6,3''$	$\pm 4,1''$

Из табл. 4 видно, что точность измерения зенитных расстояний в периоды спокойных изображений значительно выше, чем в дневной период 12—16 часов. При уменьшении длины сторон и увеличении эквивалентной высоты эффект повышения точности уменьшается. Однако и при эквивалентных высотах 38 м и длине стороны 6 км точность повышается примерно в два раза. Максимальное увеличение точности наблюдается при низких высотах визирных лучей, в этом случае точность повышается примерно в девять раз.

При измерении зенитных расстояний четырьмя приемами возможно некоторое повышение точности за счет уменьшения ошибок собственно измерений. Тогда формула (4) имеет вид:

$$m_{z_S} = \pm \sqrt{\frac{S^2}{100} m_{p_{10}}^2 + \frac{\mu^2}{4} + m_u^2 + m_b^2}. \quad (5)$$

Средние квадратические ошибки зенитных расстояний, вычисленные по формуле (5), приведены в табл. 5.

Сравнивая данные табл. 4 и 5, приходим к выводу, что при увеличении числа приемов измерений в периоды спокойных изображений точность повышается в 1,3 раза. При этом средняя квадратическая ошибка измеренного зенитного расстояния четырьмя приемами в периоды спокойных изображений примерно равна $\pm 1'',5$.

В дневные периоды при увеличении числа приемов не замечается существенного повышения точности вследствие значительных величин ошибок рефракционного происхождения.

Таблица 5

Ошибки зенитных расстояний, измеренных четырьмя приемами

$h_{\text{сер.}}$	4 м	21 м	30 м	38 м
-------------------	-----	------	------	------

Периоды спокойных изображений

$\pm m_{z_0}$	$\pm 2,0''$	$\pm 1,3''$	$\pm 1,2''$	$\pm 1,3''$
$\pm m_{z_{10}}$	$\pm 2,7''$	$\pm 1,5''$	$\pm 1,3''$	$\pm 1,4''$

Дневные периоды

$\pm m_{z_0}$	$\pm 17,4''$	$\pm 6,5''$	$\pm 3,8''$	$\pm 2,3''$
$\pm m_{z_{10}}$	$\pm 28,9''$	$\pm 10,6''$	$\pm 6,1''$	$\pm 3,7''$

ЛИТЕРАТУРА

1. Джуман Б. М. О точности измерения зенитных расстояний в периоды спокойных изображений при ветре. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1966, вып. 4.

2. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — Сб.: «Тр. ЦНИИГАиК», 1955, вып. 102.

Работа поступила в редколлегию 10 мая 1973 года. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии Львовского политехнического института.