УДК 528.024.4

А.Л.Островский, А.С.Суюнов, С.Г.Власенко

ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ С ВЫЧИСЛЕНИЕМ СРЕДНЕИНТЕГРАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЙ

Совершенствование тригонометрического нивелирования остается актуальной проблемой геодезической науки. Основная причина, сдерживающая повышение точности этого вида работ, - искажение измеренных зенитных расстояний под действием вертикальной рефракции. Существует свыше 30 методов учета вертикальной рефракции. Значительная часть этих методов требует измерения метеопараметров на пунктах нивелирования. Это создает определенные трудности у производственников.

Впервые предлагается новый геодезический метод учета, не требующий метеорологических измерений, с использованием вычис-

(С) Островский А.Л., Суюнов А.С., Власенко С.Г., 1996

ленного среднеинтегрального значения зенитного расстояния вдоль линии нивелирования.

Среднеинтегральное значение зенитного расстояния z определяют на основе следующих теоретических положений. В текущей точке трассы

$$\bar{Z} = Z - \frac{\gamma}{S} s_i + \frac{б}{S} s_i, \qquad (1)$$

где Z - измеренное зенитное расстояние; S - длина линии; s_i - расстояние от начала до текущей точки трассы; γ - центральный угол, соответствующий дуге s на поверхности Земли; б - полный угол рефракции.

Интегральная формула для угла Z имеет вид

$$\bar{Z} = \frac{1}{S} \int_0^s s_i ds_i. \qquad (2)$$

Сопоставив формулы (1) и (2), получим:

$$\bar{Z} = \frac{1}{S} \int_0^s Z ds_i - \frac{1}{S} \int_0^s \frac{\gamma}{S} s_i ds_i + \frac{1}{S} \int_0^s \frac{б}{S} s_i ds_i. \qquad (3)$$

После интегрирования выражения для среднеинтегральных значений $\bar{Z}$ зенитных расстояний будут такими:

$$\bar{Z}_1 = Z_1 - \frac{\gamma}{2} + \frac{б}{2}, \qquad (4)$$

$$\bar{Z}_2 = Z_2 - \frac{\gamma}{2} + \frac{б}{2}. \qquad (5)$$

Значения центрального угла γ вычисляют по формуле

$$\gamma = \frac{\rho'' \cdot S}{R_З}. \qquad (6)$$

где $R_З$ - радиус Земли; ρ'' = 206265".

Полный угол рефракции б определяют по такой формуле:

$$б = 180^\circ - (Z_1 + Z_2) + \frac{S \cdot \rho''}{R_З} + \frac{\rho''(\Sigma_v - \Sigma_i)}{S}, \qquad (7)$$

где i - высота прибора; v - высота визирной цели.

Таблица 1

Данные для вычисления среднеинтегральных зенитных расстояний на полигоне N1

Дата	Время, ч	Пункт Барановка			Пункт Гиновичи		
		Z_1	$-\gamma/2$	$+\delta/2$	Z_2	$-\gamma/2$	$+\delta/2$
21.VII	7	90°18'04,0"	-0°01'11,8"	15,5"	89°38'15,3"	0°01'11,8"	15,5"
	8	90°18'08,1"	-0°01'11,8"	11,1"	89°38'20,1"	0°01'11,8"	11,1"
	10	90°18'18,2"	-0°01'11,8"	04,1"	89°38'24,0"	0°01'11,8"	04,1"
	12	90°18'14,0"	-0°01'11,8"	06,5"	89°38'22,9"	0°01'11,8"	06,5"
	14	90°18'20,1"	-0°01'11,8"	03,3"	89°38'24,0"	0°01'11,8"	03,3"
	16	90°18'15,9"	-0°01'11,8"	04,2"	89°38'26,1"	0°01'11,8"	04,2"
	17	90°18'13,1"	-0°01'11,8"	06,8"	89°38'22,9"	0°01'11,8"	06,8"
	18	90°18'10,1"	-0°01'11,8"	10,5"	89°38'19,1"	0°01'11,8"	10,5"
	19	90°18'11,8"	-0°01'11,8"	08,9"	89°38'20,0"	0°01'11,8"	08,9"
	20	90°18'00,1"	-0°01'11,8"	19,8"	89°38'10,2"	0°01'11,8"	19,8"

Таблица 2

Данные для вычисления среднеинтегралных зенитных расстояний на полигоне N2

Дата	Время, ч	Пункт - 3			Пункт - 4		
		Z_1	$-\gamma/2$	$+\delta/2$	Z_2	$-\gamma/2$	$+\delta/2$
13.VII	0	91°28'25,0"	0°00'33,0"	04,2"	88°20'09,7"	0°00'33,0"	04,2"
	2	91°28'23,3"	0°00'33,0"	8,2"	88°20'03,2"	0°00'33,0"	8,2"
	4	91°28'15,4"	0°00'33,0"	14,9"	88°19'57,8"	0°00'33,0"	14,9"
	6	91°28'01,5"	0°00'33,0"	24,8"	88°19'51,8"	0°00'33,0"	24,8"
	8	91°28'21,2"	0°00'33,0"	10,4"	88°20'01,0"	0°00'33,0"	10,4"
	9	91°28'28,0"	0°00'33,0"	4,4"	88°20'06,3"	0°00'33,0"	4,4"
	10	91°28'31,5"	0°00'33,0"	1,6"	88°20'08,3"	0°00'33,0"	1,6"
	12	91°28'35,5"	0°00'33,0"	-1,7"	88°20'10,8"	0°00'33,0"	-1,7"
	14	91°28'38,6"	0°00'33,0"	-3,5"	88°20'12,5"	0°00'33,0"	-3,5"
	16	91°28'33,0"	0°00'33,0"	-1,2"	88°20'12,3"	0°00'33,0"	-1,2"
	18	91°28'30,8"	0°00'33,0"	2,0"	88°20'08,3"	0°00'33,0"	2,0"
	19	91°28'30,2"	0°00'33,0"	3,0"	88°20'06,8"	0°00'33,0"	3,0"
	20	91°28'29,7"	0°00'33,0"	3,5"	88°20'06,4"	0°00'33,0"	3,5"
	22	91°28'22,6"	0°00'33,0"	7,6"	88°20'05,3"	0°00'33,0"	7,6"

Таблица 3

Среднеинтегральные зенитные расстояния, превышения и оценка точности нивелирования на полигоне N1 S - 4444,5 м; $h_{теор.}$ - -27,598 м

Дата	Время, ч	Направление Б-Г (1-2)		Направление Г-Б (2-1)			
		Z_1	h_{1-2}	Z_2	h_{2-1}	$h_{сред.}$	Δ, мм
21.VII	7	90°17'07,7"	-27,544	89°37'18,7"	27,542	-27,543	-55
	8	90°17'07,2"	-27,533	89°37'19,2"	27,531	-27,532	-66
	10	90°17'10,2"	-27,597	89°37'16,2"	27,596	-27,596	- 2
	12	90°17'08,7"	-27,565	89°37'17,7"	27,564	-27,564	-34
	14	90°17'11,2"	-27,619	89°37'15,2"	27,618	-27,618	+20
	16	90°17'08,2"	-27,554	89°37'18,2"	27,553	-27,554	-44
	17	90°17'08,2"	-27,554	89°37'18,2"	27,553	-27,554	-44
	18	90°17'08,7"	-27,565	89°37'17,7"	27,564	-27,564	-34
	19	90°17'09,2"	-27,576	89°37'17,2"	27,574	-27,575	-23
	20	90°17'08,2"	-27,554	89°37'18,2"	27,553	-27,554	-44

Таблица 4

Среднеинтегральные зенитные расстояния, превышения и оценка точности нивелирования на полигоне N2 S - 2036,9 м; $h_{теор.}$ - +54,813 м

Дата	Время, ч	Пункт 3-4 /1-2/		Пункт 4-3 /2-1/			
		Z_1	h_{1-2}	Z_2	h_{2-1}	$h_{сред.}$	Δ, мм
13.VII	0	91°27'56,2"	-54,802	89°19'40,9"	54,809	-54,806	+ 7
	2	91°27'58,5"	-54,825	89°19'38,4"	54,833	-54,829	-16
	4	91°27'57,3"	-54,814	89°19'39,7"	54,820	-54,817	- 4
	6	91°27'53,3"	-54,784	89°19'43,6"	54,782	-54,783	+30
	8	91°27'58,6"	-54,826	89°19'38,4"	54,833	-54,830	-17
	9	91°27'59,4"	-54,834	89°19'37,7"	54,840	-54,837	-24
	10	91°28'00,1"	-54,841	89°19'36,9"	54,848	-54,842	-29
	12	91°28'00,8"	-54,840	89°19'36,1"	54,846	-54,842	-29
	14	91°28'00,9"	-54,849	89°19'36,0"	54,857	-54,853	-40
	16	91°28'01,2"	-54,843	89°19'38,1"	54,836	-54,840	-27
	18	91°28'00,2"	-54,842	89°19'37,3"	54,840	-54,841	-28
	19	91°28'00,2"	-54,842	89°19'36,8"	54,841	-54,842	-29
	20	91°28'00,2"	-54,842	89°19'36,9"	54,840	-54,841	-28
	22	91°27'57,2"	-54,813	89°19'39,9"	54,810	-54,812	+ 1

Вычисляют взаимообратные превышения h для линии нивелирования с использованием среднеинтегральных значений зенитных расстояний

$$h_{1-2} = S \operatorname{ctg} \bar{Z}_1 + i_1 - v_2, \quad (8)$$

$$h_{2-1} = S \operatorname{ctg} \bar{Z}_2 + i_2 - v_1, \quad (9)$$

$$h_{ср} = \frac{h_{1-2} + h_{2-1}}{2}. \quad (10)$$

Возможности метода определены по материалам экспериментальных измерений зенитных расстояний в двух регионах Евроазиатского континента; на территории Западной Украины (полигон N1) и в республике Узбекистан (полигон N2).

Описание полевых измерений приведено в [1,2].

В каждом районе использованы взаимные измерения Z на трех линиях экспериментальных полигонов. Длины линий составляли от 2 до 7 км, а превышения - от 5 до 80 м.

В качестве иллюстрации в табл.1 и 2 приведены усредненные значения измеренных зенитных расстояний и результаты вычислений по формулам (6), (7) по одной линии на каждом полигоне. В табл.3 и 4 приведены среднеинтегральные зенитные расстояния, а также определенные по формулам (8)-(10) значения взаимообратных и средних превышений по тем же линиям, и произведена оценка точности путем сравнения полученных превышений, известных из геометрического нивелирования I-II классов.

Средние квадратические ошибки средних превышений на полигонах, полученные с учетом вертикальной рефракции новым методом, равны 48 мм для первого полигона и 32 мм для второго.

На центральноазиатском полигоне измерения проводили круглосуточно и это дает возможность выделить ночной период наблюдений. Аналогичная оценка точности ночью показывает, что средняя квадратическая ошибка превышения равна 16 мм.

Анализируя результаты, можно сделать следующие выводы: тригонометрическое нивелирование с использованием среднеинтегральных значений зенитных расстояний дает возможность определять высоты днем с точностью, соответствующей геометрическому нивелированию IV класса вне зависимости от географического расположения полигона: в условиях Центральной Азии тригонометри-

ческое нивелирование ночью с учетом рефракции предлагаемым методом позволяет определять высоты с точностью геометрического нивелирования III класса.

1. *Островский А.Л., Власенко С.Г. Опыт применения метеорологического метода учета вертикальной рефракции в тригонометрическом нивелировании // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1984. Вып.39. С.81-85.* 2. *Суюнов А.С., Власенко С.Г., Колгунов В.М. Закономерности действия вертикальной рефракции в условиях Средней Азии // Геодезия, картогафия и аэрофотосъемка. 1988. вып.47. С.61-66.*