

ЭФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ УЧЕТА РЕФРАКЦИИ ПРИ ИЗМЕРЕНИИ ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЙ

Улучшение результатов тригонометрического нивелирования и учет влияния рефракции при измерении зенитных расстояний стало возможным благодаря появлению современных точных и высокоточных теодолитов, которые позволяют свести к минимуму влияние инструментальных погрешностей.

Наши исследования показывают [2], что лучшие результаты с минимальным влиянием рефракции можно получить в периоды спокойных изображений. Высокая точность определения превышений достигается применением одновременного двухстороннего тригонометрического нивелирования, которое сравнимо с точностью геометрического нивелирования. Соединение этих двух методов, очевидно, даст наиболее высокую точность тригонометрического нивелирования.

Для проверки этого предположения мы подготовили и провели специальные экспериментальные измерения зенитных расстояний на пунктах триангуляции в период спокойных изображений, выполняемые одновременно по одной или нескольким линиям. Основными результатами исследований явилось получение превышений из одностороннего и одновременного двухстороннего нивелирования и их сравнение с результатами геометрического нивелирования.

Рассматриваемая точность различных видов тригонометрического нивелирования [3] для средней квадратической ошибки m_h одновременного двухстороннего нивелирования:

$$m_h^2 = \frac{\beta_z^2}{2l^2 \rho^2} + \frac{\alpha_z^2 \beta_z}{l \rho^2} s + \frac{\alpha_z^2}{2\rho^2} s^2 + \frac{\beta_z^2}{8\rho^2} s^2 \xi^2 + \frac{s_{k_1}^2 + s_{k_2}^2}{16R^2} s^4, \quad (1)$$

где s — проекция линии нивелирования на эллипсоид; R — радиус кривизны нормального сечения вдоль линии нивелирования; α_z и β_z — некоторые коэффициенты, определяемые экспериментальным путем из равенства $m_z = \alpha_z + \beta_z \xi$; $\xi = \frac{1}{h_0}$; h_0 —

эквивалентные высоты визирного луча; $l = \frac{h_3}{s} \simeq 0,0025$; S_{k_1} и S_{h_2} — ошибки определения коэффициента рефракции k на высотах ξ_1 и ξ_2 ; $\Delta\xi = \frac{\xi_{\text{ср}} - \xi_1}{2}$.

Обработка экспериментального материала показала, что m_h при $s=5$ км и $h_3=7,5 \dots 30$ м колеблется в пределах $0,04 \dots 0,05$ м, а при $s=10$ км — в пределах $0,11 \dots 0,17$ м.

В периоды, примыкающие к спокойным изображениям визирных целей, стратификация слоев воздуха близка к нейтральной. Для учета поправки за рефракцию r рекомендуется использовать формулу [1]

$$r'' = r''_n + 0,05 \sigma'' L^{1/2} h^{1/2}, \quad (2)$$

где r''_n — угол рефракции при нейтральной стратификации; σ'' — максимальная двойная амплитуда колебаний изображений (размах); L — длина трассы.

Таким образом, в эти периоды рефракция близка к нормальным значениям и мало изменяется в разных направлениях. В эти же периоды принимают минимальные значения и коэффициенты α_z и β_z в (1), поэтому и значения ошибок $\bar{m}_h$ следует ожидать меньшими, чем полученные по расчетам.

Экспериментальные измерения выполнены на тригонометрических пунктах геодезического полигона Львовского политехнического института в Бережанах. Особенность района производства работ — довольно большая площадь долины в районе реки Золотая Липа. Поэтому на результаты измерений существенно влиял тот факт, что визирные лучи проходили в пространстве, свойства которого определяют река Золотая Липа и большое искусственное озеро. Это, в первую очередь, относится к направлениям Бережанский*—Сторожиско, Барановка—Сторожиско, Бережанский—Адамовка, Гиновичи—Сторожиско, Адамовка—Сторожиско. По указанным направлениям визирный луч проходил высоко над остальной подстилающей поверхностью. По остальным же направлениям визирный луч проходил над однородной земной поверхностью на высоте не более 50 м. Зенитные расстояния измеряли теодолитом Т1 и ОТ-02. Наблюдения были непрерывны в течение каждого из периодов спокойных изображений, что позволило привести к минимуму влияние рефракции на результаты измерений. В обработку принимали средние значения зенитных расстояний для каждого периода.

На схеме сети эталонного геодезического полигона (см. рисунок) указаны названия пунктов, длины сторон, отметки пунктов из геометрического нивелирования, высоты инструментов и визирных целей.

* Здесь и далее под названием направления Бережанский имеем в виду Бережанский полигон.

Среднее значение превышения из одновременного двустороннего нивелирования по направлению AB определялось по формуле:

$$h_{ABcp} = s \operatorname{tg} \frac{z_{BA} - z_{AB}}{2} + \frac{i_A + l_A}{2} - \frac{i_{AB} - l_B}{2} + \frac{(k_{BA} - k_{AB}) s^2}{4R}. \quad (3)$$

Коэффициент рефракции вычислялся по формуле

$$k = 1 - \frac{R}{\rho'' s} (z_{12} + z_{21} - 180^\circ) - \frac{R}{s^2} [(l_1 + l_2) - (i_2 + i_1)]. \quad (4)$$

Результаты обработки измеренных зенитных расстояний и вычисления превышений из одновременного двустороннего ни-

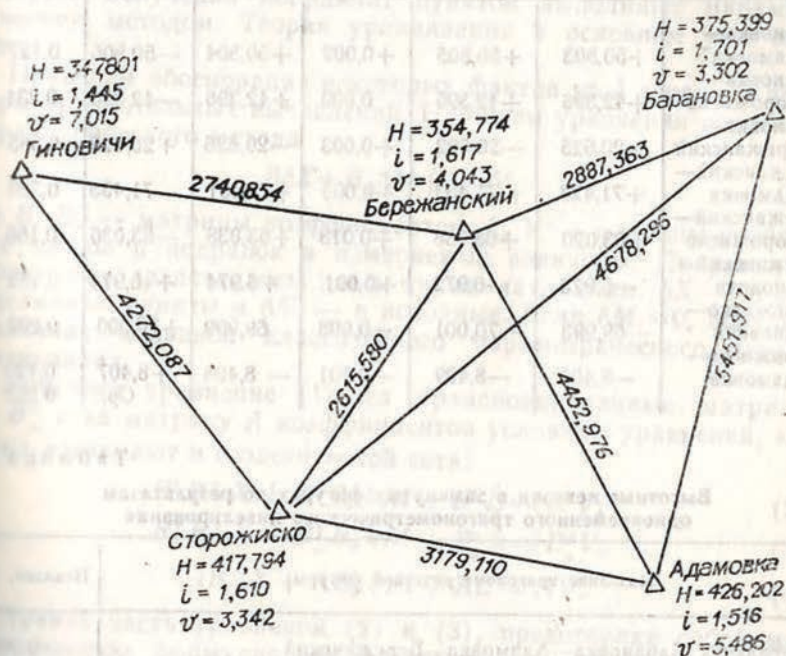


Схема сети эталонного геодезического полигона.

велирования и одностороннего тригонометрического нивелирования приведены в табл. 1, где также даны коэффициенты рефракции, определенные по (4). В табл. 2 приведены высотные невязки по возможным замкнутым геометрическим фигурам, которые можно получить с рисунка. Последние достаточно объективно характеризуют точность выполненных измерений зенитных расстояний.

Таким образом, результаты одновременных двусторонних измерений зенитных расстояний, выполненных в периоды, близкие

к спокойным изображениям визирных целей, дают возможность получить превышения по точности, близкие к точности геометрического нивелирования. Высотные невязки, вычисленные по всем возможным замкнутым фигурам, не превышают 0,021 м и свидетельствуют о надежности полученных выводов.

Т а б л и ц а 1

**Превышения из одновременного двустороннего
и одностороннего тригонометрического нивелирования**

Наименование линий	Геометри- ческое ниве- лирование, м	Одноре- менная двусторон- няя триго- нометрия, м	Расхож- дение	Одностороннее тригонометрическое нивелирование		Кoeffи- циент рефракции
				прямое	обратное	
Барановка— Адамовка	+50,803	+50,805	+0,002	+50,804	—50,806	0,127
Барановка— Сторожиско	+42,396	+42,396	0,000	+42,396	—42,396	0,234
Барановка— Бережанский	—20,625	—20,622	+0,003	—20,626	+20,625	0,385
Бережанский— Адамовка	+71,428	+71,433	+0,005	+71,431	—71,435	0,528
Бережанский— Сторожиско	+63,020	+63,038	+0,018	+63,038	—63,036	0,166
Бережанский— Гиновичи	—6,973	—6,972	+0,001	+6,974	+6,974	0,152
Сторожиско— Гиновичи	—69,993	—70,001	—0,008	69,999	+70,000	0,202
Сторожиско— Адамовка	—8,408	—8,409	—0,001	—8,408	+8,407	0,420
					Ср.	0,252

Т а б л и ц а 2

**Высотные невязки в замкнутых фигурах по результатам
одновременного тригонометрического нивелирования**

Название тригонометрической фигуры	Невязки, м
Треугольник Барановка—Адамовка—Бережанский	—0,006
Треугольник Бережанский—Адамовка—Сторожиско	—0,013
Треугольник Барановка—Адамовка—Сторожиско	+0,001
Треугольник Бережанский—Барановка—Сторожиско	—0,020
Треугольник Гиновичи—Бережанский—Сторожиско	+0,009
Четырехугольник Гиновичи—Бережанский—Барановка—Сторожиско	—0,011
Пятиугольник Гиновичи—Бережанский—Барановка—Адамовка—Сторожиско	—0,013

1. Джуман Б. М. Теория вертикальной рефракции при нейтральной стратификации // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1988. Вып. 47. С. 86—91. 2. Маслич Д. И. Возможности использования одновременного геодезического нивелирования для изучения современных вертикальных движений земной коры в горных условиях // Проблемы современных движе-

ний земной коры. М., 1969. С. 488—494. 3. Маслич Д. И., Хижак Л. С. Расчет точности геодезического нивелирования // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1970. Вып. 12. С. 49—58.

Статья поступила в редколлегию 01. 12. 88