

*Б. М. ДЖУМАН, А. Л. ОСТРОВСКИЙ, А. И. ТЕРЕЩУК*

## **УЧЕТ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ РЕФРАКЦИИ В ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ ПРИ НЕУСТОЙЧИВОЙ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СТРАТИФИКАЦИИ**

Прецизионное геометрическое нивелирование проводят, как правило, в период неустойчивой температурной стратификации, которое характеризуется турбулентными перемещениями холодного и прогретого у почвы слоев воздуха, вызывая тем самым колебания изображений штрихов шкал инварных реек. Уже давно замечено, что амплитуда колебаний изображений отражает степень влияния рефракции, а метод ее учета может найти применение в геометрическом нивелировании [1].

С целью дальнейшего изучения метода летом 1984 г. выполнены экспериментальные исследования на геодезическом полигоне в г. Бережаны Тернопольской области. Наблюдательная станция выбрана на северо-западной окраине города и расположена на обочине шоссеной дороги. Условия площадки близки к условиям проведения высокоточного нивелирования вдоль шоссеных дорог с асфальтированным покрытием.

При наблюдениях использовались нивелир Н-1 № 7107002 и штриховые инварные рейки производства Народного предприятия Карл Цейсс Иена, ГДР. Рейки при помощи держателей устанавливались на реперах, отстоящих от нивелира на 20, 30, 40, 50 и 60 м. Градиент температуры воздуха определяли при помощи аспирационных психрометров Асмана, закрепленных горизонтально в держателях метеорологической мачты на высотах 0,5 и 1,5 м. Мачта устанавливалась вблизи нивелира. Атмосферное давление

измерялось анерондом, а также фиксировались направление ветра и облачность. За время наблюдений температура воздуха колебалась от 19,6 до 32 °С, атмосферное давление составляло 725,8... 732,3 мм рт. ст., средний градиент температуры — 0,35 °С. Амплитуда колебаний изображений штриха инварной полосы рейки измерялась в четырехбалльной системе [3]. За время наблюдений было выполнено 680 определений превышений и около 450 изме-

Таблица 1  
Средние значения поправок за рефракцию  
по экспериментальным данным

Формула	$\Delta h_{кр}, м$			
	30	50	60	
(1)	0,04	0,08	0,15	0,22
(2)	0,04	0,11	0,19	0,29
(3)	0,05	0,10	0,20	0,33
Количество определений амплитуды колебаний	114	104	98	92

рений амплитуды колебаний штрихов. Результаты полевых экспериментальных наблюдений были сгруппированы по времени в пять интервалов (с 11.30 до 18.30) для каждой длины визирного луча. Средние значения поправок за рефракцию  $\Delta h_k$  для длин визирного луча \* от 30 до 60 м, вычисленные по формулам (1)—(3), а также количество определений амплитуды колебаний штрихов приведены в табл. 1.

Запишем формулы в порядке нумерации в табл. 1:

$$\Delta h_k = k \left( \frac{V_{п} - V_{з}}{2} \right) \frac{d}{50}, \quad (1)$$

где  $k$  — коэффициент перехода от баллов к миллиметрам;  $V_{п}$ ,  $V_{з}$  — амплитуда колебаний изображений штриха на переднюю и заднюю рейки в баллах;  $d$  — расстояние от нивелира до рейки;

$$\Delta h_k = 0,047 (\sigma_{п} h_{зп}^{-1/2} - \sigma_{з} h_{пз}^{-1/2}) L^{1/2}, \quad (2)$$

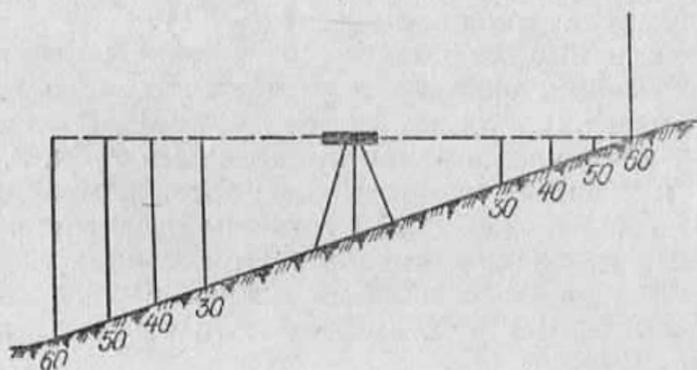
где  $\sigma_{п}$ ,  $\sigma_{з}$  — амплитуды колебаний, изображений штрихов по передней и задней рейкам, мм;  $h_{зп}$ ,  $h_{пз}$  — эквивалентные высоты визирных лучей на заднюю и переднюю рейки;  $L$  — длина визирного луча;

$$\Delta h_r = 0,054 L^2 \frac{P}{T^2} \cdot \frac{\Delta T}{1_{п} \frac{Z_{в}}{Z_{п}}} \left( \frac{1}{h_{зз}} - \frac{1}{h_{зп}} \right), \quad (3)$$

\* Поправки за рефракцию для длины визирного луча 20 м не вычислялись ввиду их неощутимой малости.

где  $P$  — атмосферное давление, мм рт. ст.;  $T$  — температура воздуха, К;  $\Delta T$  — температурный градиент на высоте 1 м;  $Z_{\text{в}}$ ,  $Z_{\text{н}}$  — высоты верхнего и нижнего психрометров.

Исследование закономерностей распределения поправок за рефракцию в зависимости от длины визирного луча выполнено на модели (см. рисунок), которая представляет собой наклонный участок длиной 120 м с однообразным уклоном. Отсчеты на зад-



Модель наклонного участка нивелирования.

нюю и переднюю рейки (при  $L=60$  м) составили 0 и 3 м. Для длин визирного луча 30, 40 и 50 м вычислены отсчеты по рейкам, а эквивалентные высоты на задние и передние рейки определяли как полусуммы высоты инструмента и соответствующего отсчета, так как трасса выбранной модели имеет равномерный уклон. Далее, следуя работе [2] и задаваясь значениями  $P$ ,  $T$ ,  $L$ ,  $h$ ,  $D$ ,  $\gamma$ ,

Таблица 2  
Значения поправок за рефракцию, вычисленных на модели по формулам (1)—(3)

Название элементов определения	$i=1,50$			
	Длина визирного луча, м			
	30	40	50	60
Отсчеты по рейкам, м				
на заднюю	0,75	0,50	0,25	0
на переднюю	2,25	2,50	2,75	3,00
Эквивалентные высоты, м				
на заднюю рейку	1,13	1,00	0,88	0,75
на переднюю рейку	1,88	2,00	2,13	2,25
$\Delta h_{k(1)}$	1,80	2,5	3,3	3,8
$\Delta h_h$ — по формуле (1), мм	0,27	0,5	0,82	1,14
$\Delta h_{k(II)}$	1,60	2,5	3,9	5,3
$\Delta h_h$ — по формуле (2), мм	0,22	0,5	0,97	1,60
$\Delta h_I$ — по формуле (3), мм	0,15	0,38	0,80	1,53

вычисляли в секундах максимальные амплитуды колебаний изображений по формуле

$$\sigma_{\alpha_{\max}} = 234 \frac{P}{T} \left( \frac{L}{h_0} \right)^{1/2} D^{-1/6} \gamma, \quad (4)$$

где  $P$  — атмосферное давление, мм рт. ст. ( $P=760$  мм рт. ст.);  $T$  — температура воздуха, К ( $T=293, 16$  К);  $L$  — длина визирного луча, м ( $L=30, 40, 50, 60$  м);  $h_0$  — эквивалентные высоты визирного луча (из табл. 2);  $D$  — диаметр объектива, см ( $D=6$  см);  $\gamma$  — температурный градиент ( $\gamma=1$ ).

Принимая во внимание полуразности максимальных амплитуд при различных длинах визирного луча на задние и передние рейки, по (1)—(3) вычисляли на модели поправки за рефракцию в миллиметрах. Значения поправок приведены в табл. 2.

Из табл. 1 и 2 видно, что закономерность изменения поправок, вычисленных по (1) и (2) соответственно для модели и для экспериментальных данных, одинакова. При длинах лучей от 30 до 50 м все формулы дают близкие по величине результаты. Однако для длин плечей  $L > 50$  м возможно существенное различие поправок, вычисленных по (1).

Таким образом, упрощенную для вычислений формулу учета вертикальной рефракции (1) можно применять при длинах плечей до 50 м. При длине визирного луча более 50 м следует применять формулу с учетом эквивалентных высот (2).

1. Джуман Б. М., Павлив П. В., Стаццишин И. И. Метод определения нивелирной рефракции. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 30, с. 66—69. 2. Джуман Б. М. Зависимость амплитуды колебаний изображений от высоты визирного луча. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1983, вып. 38, с. 16—21. 3. Павлив П. В. Проблемы высокоточного нивелирования. — Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те, 1980. — 124 с.