

Б. М. ДЖУМАН, канд. техн. наук,
Львовский политехнический институт,

П. В. ПАВЛИВ, канд. техн. наук,
Львовский лесотехнический институт,

И. И. СТАЩИШИН,

Львовский сельскохозяйственный институт

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИВЕЛИРНОЙ РЕФРАКЦИИ

На высокоточное геометрическое нивелирование влияют погрешности различного характера, значительное место среди которых занимают погрешности, вызванные рефракцией.

Вопросам нивелирной рефракции посвящен ряд исследований советских и зарубежных авторов. В работах Н. А. Павлова, Ф. Н. Красовского, Т. Н. Куккамьяки изучено влияние рефракции и доказано, что рефракция при нивелировании на затяжных склонах имеет систематический характер. И хотя в настоящее время высказываются и противоположные мнения, в исследованиях А. Л. Островского, И. Н. Кметко убедительно показано, что влияние рефракции в геометрическом нивелировании имеет систематический характер. Это мнение также подтверждает ряд работ зарубежных авторов.

Поскольку полученные различными авторами формулы для вычисления поправок за рефракцию довольно громоздки и не дают требуемой точности, они не нашли применений на производстве. Однако известно, что между колебаниями визирных целей и погрешностями измерений, вызванными рефракцией, существует связь. Поэтому по вертикальным колебаниям изображений можно определять значение погрешностей измерений [1—7].

Для дальнейшего исследования возможности учета нивелирной рефракции по колебаниям изображений рассмотрим результаты полевых наблюдений, выполненных на геодезическом полигоне Львовского сельскохозяйственного института.

Вдоль шоссе с асфальтовым покрытием были заложены на расстоянии 100 м один от другого два репера. Штатив устанавливали на деревянные колья. Исследования проводили в июле и августе в течение 16 дней при различной погоде через каждый час на протяжении светлой части суток. Наблюдения выполняли нивелиром НА-1 на инварные рейки, которые в вертикальном положении закрепляли на реперах специальными станками. При отчетах по рейкам одновременно фиксировали максимальную амплитуду колебания изображений штрихов рейки по методике, изложенной в работе [3] и заключавшейся в том, что амплитуду колебаний изображений штриха инварной полосы рейки измеряют вилкой биссектора в четырехбальной системе расстоянием вертикальной нити сетки от края инварной полосы рейки. Около инструмента руч-

ным анемометром измеряли скорость ветра, анероидом — давление и психрометрами Асмана — температуру на высотах 1,4 и 2,9 м. Температура воздуха на высоте инструмента колебалась в среднем в пределах от 13° до 28,7°. Скорость ветра не превышала 3 м/с, давление воздуха составляло 737—739 мм рт. ст.

По результатам полевых наблюдений для каждого часа были составлены средние значения измеренных превышений h , разностей амплитуд колебаний изображений по задней и передней рейкам $a_{п}—a_{з}$ и разностей температур ΔT (таблица). Обработывались только те наблюдения, которые выполнены при неустойчивой и нейтральной стратификации, когда колебания изображений характеризуют поле градиента показателя преломления.

Учет влияния рефракции по амплитуде колебаний изображений

Время	Измерение h , мм	Разность амплитуд колебаний изображений $a_{п} - a_{з}$	ΔT	$\Delta h_{к}$	Исправленное $h' = h + \Delta h_{к}$	Δh_{T}
7 ⁰⁰	2462,14	0	0	0	2462,14	0
8 ⁰⁰	2,10	+0,11	-0,05	0,04	2,14	0,05
9 ⁰⁰	2,04	+0,36	-0,15	0,16	2,20	0,15
10 ⁰⁰	1,97	0,56	-0,19	0,25	2,22	0,19
11 ⁰⁰	1,92	0,97	-0,29	0,43	2,35	0,30
12 ⁰⁰	1,95	0,94	-0,50	0,41	2,36	0,51
13 ⁰⁰	1,65	1,15	-0,42	0,51	2,16	0,43
14 ⁰⁰	1,63	1,07	-0,28	0,47	2,10	0,29
15 ⁰⁰	1,62	0,96	-0,31	0,42	2,04	0,32
16 ⁰⁰	1,88	0,78	-0,25	0,34	2,22	0,36
17 ⁰⁰	1,97	0,37	-0,28	0,16	2,13	0,29
18 ⁰⁰	2,08	0,23	-0,15	0,10	2,18	0,15
19 ⁰⁰	2,14	0,13	0	0,06	2,20	0
Среднее	2461,93			0,26	2462,19	0,23

Рассмотрим учет влияния рефракции по колебаниям изображений. Известно, что при нейтральной стратификации коэффициент рефракции не зависит от высоты прохождения визирного луча [1] и, по-видимому, в эти периоды погрешность нивелирной рефракции отсутствует.

В периоды неустойчивой стратификации редуцированное на периоды спокойных изображений зенитное расстояние равно измеренному обычным методом минус полуамплитуда колебаний изображений [2], т. е.

$$Z_p = Z_{изм} - \frac{a}{2}. \quad (1)$$

Тогда поправка в измеренное превышение

$$\Delta h_k = \frac{a_n - a_3}{2} \cdot b, \quad (2)$$

где b — коэффициент перехода от колебаний, выраженных в баллах, к колебаниям, выраженным в миллиметрах; a_n, a_3 — амплитуды колебаний в баллах.

Чтобы определить коэффициент « b », с помощью шкалы барабана выполнено многократное измерение расстояния между нитями биссектора, соответствующего четырем баллам. Коэффициент « b » для нашего нивелира равен 0,88 мм на 1 балл колебания при расстоянии до рейки, равном 50 м. Очевидно, что для различных расстояний

$$b = 0,88 \frac{d}{50}, \quad (3)$$

где d — расстояние от прибора до рейки. Подставляя формулу (3) в (2), окончательно записываем

$$\Delta h_k = 0,44 (a_n - a_3) \frac{d}{50}. \quad (4)$$

Значения величин приведены в таблице, из которой видно, что средняя систематическая величина за рефракцию на станции равна +0,26 мм. Дисперсия исправленных превышений h' значительно меньше измеренных h .

Для сравнения полученных поправок Δh_k выведем формулу нивелирной рефракции с использованием метеорологических элементов. Для этого используем зависимость [4].

$$k = k_n + 668,7 \frac{P}{T^2} \cdot \frac{c}{h_3}, \quad (5)$$

где k_n — коэффициент рефракции при нейтральной стратификации, равный +0,15; c — аномальный вертикальный градиент температуры на высоте 1 м.

Разность температур, если пренебречь $\left(\frac{dT}{dz}\right)_n \sim 0,01$, записываем в виде

$$\Delta T = \int_{z_n}^{z_B} \frac{c}{z} dz. \quad (6)$$

Здесь ΔT — разность температуры, измеренной на высоте z_B и z_n . Интегрируя правую часть формулы (6), получаем

$$c = \frac{\Delta T}{\ln \frac{z_B}{z_n}}. \quad (7)$$

Подставляя уравнение (7) в (5), определяем

$$k = k_n + 668,7 \frac{P}{T^2} \cdot \frac{\Delta T}{\ln \frac{z_B}{z_H}} \cdot \frac{1}{h_3} \quad (8)$$

Теперь записываем разность коэффициентов рефракции на переднюю и заднюю рейки

$$\Delta k = 668,7 \frac{P}{T^2} \frac{\Delta T}{\ln \frac{z_B}{z_H}} \left(\frac{1}{h_{3_3}} - \frac{1}{h_{3_n}} \right) \quad (9)$$

Заменяя в формуле (9) $\Delta k = \frac{\Delta h_T}{d^2} 2R$, после простых преобразований окончательно имеем:

$$\Delta h_T (\text{мм}) = 0,052 d^2 \frac{P}{T^2} \frac{\Delta T}{\ln \frac{z_B}{z_H}} \left(\frac{1}{h_{3_3}} - \frac{1}{h_{3_n}} \right) \quad (10)$$

Детальный анализ формулы (10) показывает, что для уверенного получения поправок необходимо точно определять h_3 и высоты измерения температур z .

Вычисленные по формуле (10) поправки за рефракцию приведены в таблице. Как видим, значения поправок Δh_T близки к поправкам Δh_k , полученным по колебаниям изображений.

Таким образом, в периоды неустойчивой стратификации представляется возможным исключить влияние нивелирной рефракции по колебаниям изображений штрихов рейки.

Список литературы: 1. Джуман Б. М. О точности измерения зенитных расстояний в периоды спокойных изображений при ветре. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1966, вып. 4. 2. Джуман Б. М. Редуцирование измеренных зенитных расстояний на периоды спокойных изображений по максимальной амплитуде вертикальных колебаний изображений. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1978, вып. 28. 3. Джуман Б. М., Павлив П. В. Об определении допустимых колебаний изображений при высокоточном нивелировании. — Геодезия и картография, 1977, № 6. 4. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — Тр. ЦНИИГАиК, 1955, вып. 102. 5. Островский А. Л., Сидорик Р. С. Определение промежутков времени суток с минимальным действием земной рефракции по радиационному балансу. — Инженерная геодезия, 1966, вып. 3. 6. Павлив П. В. Учет влияния рефракции на результаты нивелирования I и II классов по величине колебаний изображений. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1978, вып. 28. 7. Хижак Л. С. Связь колебаний изображений с ошибками рефракционного происхождения. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1964, вып. 1.

Работа поступила 5 мая 1978 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского сельскохозяйственного института.