

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

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РЕФРАКЦИИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ НИВЕЛИРОВАНИЯ 1 И 2 КЛ. ПО КОЛЕБАНИЯМ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Для учета нивелирной рефракции имеются многочисленные формулы [6], которые, однако, из-за сложности и несовершенства не нашли применения.

В то же время исследования [1, 2] показали, что между степенью влияния вертикальной рефракции и колебаниями изображений существует прямая зависимость. Кроме того, в период спокойных изображений при наличии ветра коэффициент

рефракции не зависят ни от длины, ни от высоты прохождения визирного луча над подстилающей поверхностью [1].

Учитывая сказанное, для разработки методики, ослабляющей влияние нивелирной рефракции, летом 1975 г. автором были проведены специальные экспериментальные исследования на геодезическом полигоне Львовского ордена Ленина политехнического института в г. Бережаны Тернопольской области УССР.

Площадка для исследований была выбрана на северной окраине г. Бережаны и расположена на высоком (35 м) берегу реки Золотая Липа в 10 м от бровки восьмиметрового откоса железнодорожного полотна. Визирные лучи на переднюю и заднюю рейки проходили над дорогой, расположенной параллельно речной долине, имеющей меридиальное направление. Условия площадки были близкими к условиям высокоточного нивелирования вдоль шоссе с асфальтовым покрытием.

Исследования были выполнены при различной (солнечной, облачной, переменной) погоде и при различной температуре воздуха и скорости ветра на протяжении всего светлого периода суток.

При исследовании использовали нивелир Н-1 № 08024 и инварные рейки № 9018 и 9019, причем первую устанавливали на заднем репере, а вторую — на переднем. Расстояние между реперами составляло 100 м. Кроме амплитуды колебаний изображений штрихов по задней рейке V_a и передней V_b , определяемой в среднем через каждые 15 мин, на станции систематически находили превышения, среднее значение которых составило 1,976 м. Градиенты температуры воздуха определяли с помощью аспирационных психрометров Асмана, подвешенных на кронштейнах металлической мачты на высотах 0,6 и 2,6 м, соответствовавших высотам отсчитывания по передней и задней рейке. Мачта была установлена вблизи нивелира. Скорость ветра и атмосферное давление на высоте инструмента измеряли соответственно анемометром и анероидом. Максимальные градиенты температуры за время исследований составили $+0,8^\circ$ и $-0,3^\circ$ на 2 м. Температура воздуха на высоте инструмента в отдельные дни была $11,0-26,6^\circ\text{C}$ и только 13 августа не превышала $14,2^\circ\text{C}$.

За время исследований при различных метеорологических условиях в разное время суток определено всего 1144 колебаний изображений штрихов инварных реек и, соответственно, 286 пар превышений между задней и передней рейками.

Амплитуду колебаний изображений измеряли по пятибалльной шкале, используя ширину вилки биссектора и ее расстояние от края рейки. Спокойные изображения оценивали в 0 баллов. Амплитуда колебаний, уместившаяся в вилке при положении ее вершины на $1/4$ ширины рейки, оценивалась в 1 балл, на $2/4$ ширины рейки — в 2 балла, на $3/4$ — в 3 балла и на $4/4$ (край рейки) — в 4 балла.

При обработке полученные превышения были последовательно распределены на семь групп. В первую группу вошли те пары превышений, при наблюдении которых амплитуда колебаний при четырех отсчетах по рейкам не превышала 0,0, во вторую — 0,5, в третью — 1,0, в четвертую — 1,5, в пятую — 2,0, в шестую — 3,0, в седьмую — 4,0 балла.

Таблица 1

Влияние колебаний V изображений штрихов шкалы реек
на изменение превышений h

Максимальная амплитуда колебаний V	n	m_d	$3 m_d$	$h_{\text{ср}}, 1/2 \text{ дм}$
0,0	49	2,6	7,8	39,5211
0,5	73	3,6	10,8	223
1,0	17	3,5	10,5	190
1,5	22	4,1	12,3	214
2,0	53	4,2	12,6	160
3,0	52	4,6	13,8	134
4,0	20	4,7	15,1	126

Результаты группирования приведены в табл. 1. Анализ данных табл. 1 показывает, что между амплитудой колебаний изображений и изменениями превышений существует тесная корреляционная связь [4], т. е. вследствие влияния нивелирной рефракции при колебаниях изображений, превышающих 1,5 балла, проводить высокоточное нивелирование нецелесообразно. Однако результаты специальной статистической обработки тех же экспериментальных материалов позволяют сделать вывод, расширяющий диапазон учета влияния нивелирной рефракции.

С целью изучения степени влияния рефракции на результаты нивелирования была исследована связь между изменениями измеренных превышений h_0 и соответствующими разностями амплитуд колебаний

$$\Delta V = V_a - V_b, \quad (1)$$

где V_a и V_b — соответственно амплитуды колебаний изображений штрихов во время отсчетов по задней и передней рейкам.

Зависимость между указанными величинами аппроксимировалась уравнением

$$h = h_0 + k_h \Delta V, \quad (2)$$

где h — исправленное превышение; h_0 — среднее измеренное превышение при исключенном влиянии рефракции; k_h — коэффициент регрессии, характеризующий степень влияния рефракции на 1 балл амплитуды колебания изображения штриха.

Для установления степени корреляционной связи между h_0 и ΔV , как и в работе [4], был определен параметр k_h , входящий в формулу (2), а также коэффициент корреляции r

и средние квадратические ошибки коэффициента корреляции m_r и коэффициента регрессии m_k .

Аналогично была исследована корреляционная связь между разностью амплитуд колебаний ΔV и вертикальными температурными градиентами Δt . Полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 2

Определение поправок $\Delta \delta$ в измеренные превышения по амплитуде колебаний изображений

Время, ч, мин.	n	h_0 , мм	$\Delta \rho$, мм	h , мм	$t^\circ \text{C}$	$\Delta t^\circ \text{C}$	ΔV
15—30	8	1975,82	+0,25	1976,07	19,6	—0,50	+0,66
16—00	8	5,99	+0,24	,23	19,8	—0,38	+0,63
16—30	8	6,03	+0,17	,20	20,1	—0,60	+0,44
17—00	8	6,00	+0,19	,19	19,9	—0,50	+0,49
17—30	8	6,08	0,00	,08	19,8	—0,25	+0,01
18—00	8	6,15	—0,07	,08	19,8	—0,05	—0,18
18—30	8	6,24	+0,05	,29	19,5	+0,12	+0,12
16—00	8	6,15	+0,04	,20	19,4	0,00	+0,11
19—30	8	6,11	+0,06	,17	18,4	+0,12	+0,16
20—00	8	6,22	+0,02	,24	17,3	0,00	+0,06
20—30	8	1976,27	0,00	1976,27	16,2	+0,25	+0,01
Σ , средн.	88	1976,10	0,09	1976,18	19,1	—0,16	—0,23

Учитывая полученные результаты и зависимость (2), можно считать, что поправка $\Delta \rho$ в измеренное превышение равна коэффициенту регрессии k_h , умноженному на разность амплитуд колебаний изображений штрихов ΔV при отсчетах a и b соответственно по задней и передней рейкам

$$\Delta \rho = k_h \Delta V. \quad (3)$$

Средние квадратические отклонения превышений от их средних значений после введения вычисленных поправок уменьшились в два раза, а превышения стали близкими к измеренным в период изотермии (табл. 1, 2).

Таблица 3

Зависимость изменений превышений и вертикального градиента температуры воздуха от изменений амплитуды колебаний изображений

Величина	Средние значения	r	k	m_r	m_k
h	—1976,10	—0,84	—0,38	0,05	0,03
ΔV	0,23	—0,76	—0,72	0,07	0,06

В данном случае влияние рефракции определяется непосредственно по визирному лучу, по которому одновременно измеряются превышения. Поэтому в рассматриваемом способе уче-

та нивелирной рефракции результаты получаются более объективными.

С помощью зафиксированных таким способом колебаний изображений штрихов можно не только ежедневно корректировать программу работ относительно момента нулевых колебаний [6], но и исключать рефракционные погрешности непосредственно в измеренных превышениях.

Следовательно, используя описанную выше методику учета, можно не только свести к минимуму влияние нивелирной рефракции при высокоточном и точном нивелировании, но и повысить за счет расширения периода наблюдений с учетом введения поправок при нормальном распределении температуры в приземном слое воздуха производительность труда.

Поскольку угол вилки биссектора во всех инструментах, применяемых на производстве при точном и высокоточном нивелировании, еще не всегда строго стандартен, коэффициент регрессии k_h необходимо всегда определять заблаговременно при исследовании применяемого в работе комплекта нивелира и реек.

Список литературы: 1. Джуман Б. М. К вопросу о выгоднейшем времени измерения зенитных расстояний в геодезическом нивелировании. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1964, вып. 1. 2. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследования земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — «Труды ЦНИИГАиК», 1955, вып. 102. 3. Павлив П. В. Исследование ошибок, зависящих от превышений, при нивелировании вдоль рек. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1966, вып. 5. 4. Павлив П. В., Савяк З. Р. Методические рекомендации по учету погрешностей высокоточного нивелирования, зависящих от превышений. Львов, 1975. 5. Павлив П. В. Об асимметрии программы наблюдений при высокоточном нивелировании в горных районах. — В сб.: Автономные методы определения опорных геодезических пунктов. Киев, 1977. 6. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование. — «Труды ЦНИИГАиК», 1956, вып. 3.

Работа поступила в редколлегия 4 мая 1977 года. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и лесной таксации Львовского лесотехнического института.