

П. В. ПАВЛИВ

О ВЛИЯНИИ ОТЛИЧИЙ ДЛИН МЕТРОВЫХ ИНТЕРВАЛОВ КОМПЛЕКТА РЕЕК НА ТОЧНОСТЬ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Использование при обработке результатов высокоточного нивелирования так называемого среднего метра обуславливает накопление одной наиболее значительной погрешности из числа погрешностей, вызываемых применением инварных реек [3]. Эта погрешность особенно активизируется при нивелировании в районах со значительным рельефом и значительной длины однообразно направленных склонов.

Разработка методики, ослабляющей или исключающей действие названного источника погрешностей, требует дальнейшего исследования особенностей механизма их накопления. С этой целью проанализируем зависимости, на основании которых находим превышения на нивелирных станциях, с одной стороны, и методику определения поправочного коэффициента Δl за отклонение среднего метра (комплекта реек), с другой.

Для простоты анализа принимаем, что определенные при компарировании дециметровых делений реек систематические отклонения отдельных метровых интервалов от длины среднего метра (комплекта реек) являются систематическими ошибками в отсчетах, получаемых из соответствующих интервалов реек.

Таким образом, при превышениях со знаком плюс и значительных однообразных уклонах будем иметь:

$$\begin{aligned} h_{10} + \Delta h_{10} &= (a_{10} + \Delta l'_{0n}) - (b_{10} + \Delta l'_{0n}); \\ h_{1\partial} + \Delta h_{1\partial} &= (a_{1\partial} + \Delta l'_{\partial n}) - (b_{1\partial} + \Delta l'_{\partial n}); \end{aligned}$$

$$h_{20} + \Delta h_{20} = (a_{20} + \Delta l'_{0в}) - (b_{20} + \Delta l'_{0н}); \quad (1)$$

$$h_{2\partial} + \Delta h_{2\partial} = (a_{2\partial} + \Delta l'_{\partial в}) - (b_{2\partial} + \Delta l'_{\partial н});$$

$$h_{30} + \Delta h_{30} = (a_{30} + \Delta l'_{0в}) - (b_{30} + \Delta l'_{0н});$$

$$h_{3\partial} + \Delta h_{3\partial} = (a_{3\partial} + \Delta l'_{\partial в}) - (b_{3\partial} + \Delta l'_{\partial н}) \text{ и. т. д.}$$

В общем виде приведенные выше зависимости для нечетных номеров станций $(2k-1)$ и четных $2k$ примут следующую форму:

$$h_{(2k-1)0} + \Delta h_{(2k-1)0} = (a_{(2k-1)0} + \Delta l'_{0в}) - (b_{(2k-1)0} + \Delta l'_{0н});$$

$$h_{(2k-1)\partial} + \Delta h_{(2k-1)\partial} = (a_{(2k-1)\partial} + \Delta l'_{\partial в}) - (b_{(2k-1)\partial} + \Delta l'_{\partial н});$$

$$h_{2k0} + \Delta h_{2k0} = (a_{2k0} + \Delta l'_{0в}) - (b_{2k0} + \Delta l'_{0н}), \quad (2)$$

$$h_{2k\partial} + \Delta h_{2k\partial} = (a_{2k\partial} + \Delta l'_{\partial в}) - (b_{2k\partial} + \Delta l'_{\partial н}),$$

где значения на первой, второй, третьей или в общем виде нечетных и четных станциях соответственно погрешностей превышений $\Delta h_{10}, \Delta h_{1\partial}, \Delta h_{20}, \Delta h_{2\partial}, \Delta h_{30}, \Delta h_{3\partial}, \dots, \Delta h_{(2k-1)0}, \Delta h_{(2k-1)\partial}, \Delta h_{2k0}, \Delta h_{2k\partial}$; отсчетов по задним рейкам $a_{10}, a_{1\partial}, a_{20}, a_{2\partial}, a_{30}, a_{3\partial}, \dots, a_{(2k-1)0}, a_{(2k-1)\partial}, a_{2k0}, a_{2k\partial}$; отсчетов по передним рейкам $b_{10}, b_{1\partial}, b_{20}, b_{2\partial}, b_{30}, b_{3\partial}, \dots, b_{(2k-1)0}, b_{(2k-1)\partial}, b_{2k0}, b_{2k\partial}$; отклонений в первой и второй рейках нижних и верхних метровых интервалов основных и дополнительных шкал от среднего метра комплекта реек $\Delta l'_{0н}, \Delta l'_{0в}, \Delta l'_{\partial н}, \Delta l'_{\partial в}, \Delta l''_{0н}, \Delta l''_{0в}, \Delta l''_{\partial н}, \Delta l''_{\partial в}$.

Общая погрешность в нивелирном ходе

$$\sum_1^n \Delta h = \frac{1}{2} \left(\sum_1^n \Delta h_0 + \sum_1^n \Delta h_{\partial} \right),$$

исходя из методики обработки журнала после исключения основной части превышения, выразится зависимостью

$$\begin{aligned} \sum_1^n \Delta h = & \frac{n}{2} (\Delta l'_{0в} + \Delta l'_{\partial в} + \Delta l''_{0в} + \Delta l''_{\partial в}) - \\ & - \frac{n}{2} (\Delta l'_{0н} + \Delta l'_{\partial н} + \Delta l''_{0н} + \Delta l''_{\partial н}). \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) показывает, что при нивелировании в указанных выше условиях отклонение верхнего метрового интервала включается в значение суммарного превышения только со знаком плюс, а нижнего — только со знаком минус, и наоборот, при превышениях со знаком минус отклонения нижнего метра — со знаком плюс, а верхнего — со знаком минус. Если отклонения верхнего и нижнего метрового интервала имеют

одно и то же значение, то, как видно из зависимости (3), они взаимно исключаются из суммарного превышения.

Однако анализ многочисленных результатов компарирования инварных реек показывает, что отклонения верхнего обычно не соответствуют отклонениям нижнего метра, как основной так и дополнительной шкалы и даже могут иметь противоположные знаки.

Если принять, что среднее значение из отклонений основной и дополнительной шкалы верхнего и соответственно нижнего метра рабочей части рейки составляет $\frac{1}{3}$ из максимально допустимого, то есть из 0,1 мм, то при противоположных знаках отклонений погрешность в каждом превышении, как видно из зависимостей (3), составит 0,06 мм, или если количество станций более 15 на 1 км хода, то погрешность превысит 0,9 мм/км.

Рассмотрим методику определения поправочного коэффициента [1, 2], используемого для вычисления поправки за компарирование. Для этой цели используют следующие зависимости:

$$\begin{aligned} l' &= \frac{l'_{0н} + l'_{0в} + l'_{дн} + l'_{дв}}{4}; \\ l'' &= \frac{l''_{0н} + l''_{0в} + l''_{дн} + l''_{дв}}{4}; \\ l &= \frac{l' + l''}{2}, \end{aligned} \quad (4)$$

где $l'_{0н}$, $l'_{0в}$, $l'_{дн}$, $l'_{дв}$, $l''_{0н}$, $l''_{0в}$, $l''_{дн}$, $l''_{дв}$, l' , l'' и l — соответственно значения верхних и нижних метровых интервалов основных и дополнительных шкал первой и второй рейки, а также средние значения одного метра первой и второй рейки (комплекта реек).

Следовательно,

$$\begin{aligned} \Delta l'_{0н} &= l'_{сн} - l; & \Delta l''_{0н} &= l''_{0н} - l; \\ \Delta l'_{0в} &= l'_{0в} - l; & \Delta l''_{0в} &= l''_{0в} - l; \\ \Delta l'_{дн} &= l'_{дн} - l; & \Delta l''_{дн} &= l''_{дн} - l; \\ \Delta l'_{дв} &= l'_{дв} - l; & \Delta l''_{дв} &= l''_{дв} - l. \end{aligned} \quad (5)$$

С учетом зависимостей (4), (5) и принятых обозначений получим

$$\Delta l = \frac{\Delta l'_{0н} + \Delta l'_{0в} + \Delta l'_{дн} + \Delta l'_{дв} + \Delta l''_{0н} + \Delta l''_{0в} + \Delta l''_{дн} + \Delta l''_{дв}}{8}. \quad (6)$$

В тех случаях, когда по расчетам ошибка превышает 0,9 мм/км, формула (6) показывает, что Δl равняется 0.

Для более наглядной иллюстрации анализа используем результаты компарирования дециметровых делений комплекта реек, которые применялись при нивелировании в горных условиях, где длина луча в среднем составила 25 м.

Систематические отклонения в мм метровых (получаемых по результатам компарирования дециметровых) интервалов от номинальной длины и отклонения от среднего значения (комплекта реек) приведены в таблице.

Отклонения метровых интервалов от их номинальной и средней длины

Метро- вые ин- тервалы реек, $\frac{1}{2} \text{ дм}$	Основные шкалы				Метровые интерва- лы реек, $\frac{1}{2} \text{ дм}$	Дополнительные шкалы			
	I рейка		II рейка			I рейка		II рейка	
	отклонения от номинальной длины, мм	отклонения от среднего зна- чения, мм	отклонения от номинальной длины, мм	отклонения от среднего значения, мм		отклонения от номинальной длины, мм	отклонения от среднего зна- чения, мм	отклонения от номинальной длины, мм	отклонения от среднего зна- чения, мм
10—30	0,033	—0,028	0,050	—0,011	70— 90	0,675	+0,014	0,058	—0,003
30—50	0,034	—0,027	0,065	+0,004	90—110	0,093	+0,032	0,079	+0,018
Σ	0,067	—0,055	0,115	—0,007		0,168	+0,046	0,137	+0,015
Ср.	0,034	—0,028	0,058	—0,004		0,084	+0,023	0,068	+0,008
$\Sigma\Sigma$					0,487				
Ср. компл.					0,061				

Подставив данные таблицы в формулу (3), получим $2\Delta h = \frac{1}{2} (-0,027 + 0,004 + 0,032 + 0,018) - \frac{1}{2} (-0,028 - 0,011 + 0,014 - 0,003) = +0,028 \text{ мм}$.

При $n=20$ на 1 км хода $\sum_{i=1}^n \Delta h_i$ составит 0,28 мм.

Следовательно, принятая действующими инструкциями [1, 2], методика введения поправок за компарирование не может полностью учесть особенностей накопления погрешностей, вызываемых рассматриваемым источником при нивелировании в горных условиях. Поэтому с целью уменьшения влияния указанного источника погрешностей следует подбирать для нивелирования в горных условиях такие рейки, отклонения нижних и верхних метров которых от номинальной длины равны по знаку и величине, или же дополнительно вводить поправки по формуле (3).

Кроме того, следует отметить, что знак и величина такого отклонения, как показывают исследования [4], может меняться в процессе работы в результате неравномерного нагрева верхней и нижней части рейки. Такой нагрев может обуславливаться свойством подстилающей поверхности отражать или излучать то или иное количество лучистой энергии Солнца, в том числе и с различной скоростью ветра.

Далее следует отметить, что в рассматриваемых условиях при отсчетах по верхней части, то есть когда рейка находится на задней точке, она может быть освещена Солнцем, и наоборот, когда находится на передней точке, при отсчетах по нижней части инварная полоса может находиться в тени.

Исследования [4] показывают, что скорость изменения температуры инварной полосы может достигать 7—8 град/мин, а температура инварной полосы может отличаться от температуры воздуха на 15—20° С.

Следовательно, если принять, что разность температур затененной и освещенной рейки составляет 15°, то на основании зависимости (3) погрешность составит не менее 0,09 мм на каждую станцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., «Недра», 1974.
2. Инструкция по вычислению нивелировок. М., «Недра», 1971.
3. Мещерский И. Н., Энтин И. И. Ошибки нивелирования, вызываемые применением инварных реек. — «Тр. ЦНИИГАиК», 1962, вып. 147.
4. Одинев Н. Н., Налетов В. А. Электротермометр для определения интегральной температуры инварной полосы нивелирной рейки. — «Современные движения земной коры», 1973, № 5.

Работа поступила в редколлегию 23 января 1975 года. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и лесной таксации Львовского лесотехнического института.