

Список литературы: 1. Инструменты для проверки прямолинейности корпуса вращающейся печи/Микольский Ю. Н., Кравченко В. М., Зеленый И. Т. др. — Цемент, 1975, № 2. 2. Лазерные геодезические приборы в строительстве./Грузинов В. В., Иванищев В. И., Коугия В. А. и др. М., Недра, 1977. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве/Большаков В. Д., Васютинский И. Ю., Ключин Е. Б. и др. М., Недра, 1976. 4. Платонов В. С., Буренков И. Д., Дмитриев В. В. Скоростные методы ремонта цементных вращающихся печей. М., Стройиздат, 1970.

Работа поступила в редколлегию 23 декабря 1977 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.

ИДК 528.024.1.06

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

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ИСПОЛНЕНИЯ И ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ НИВЕЛИРОВАНИЯ 1-го КЛ.

Нивелирная сеть 1-го кл. — главная высотная основа для установления единой системы высот на всей территории страны, а также для решения многих научных и практических задач. Особенно важную роль в этих случаях играет точность получаемых отметок высотных знаков. Оценку точности нивелирования 1-го кл. производят двумя способами:

- 1) по разностям превышений  $d_5$  и  $d_6$  соответственно правых и левых, прямых и обратных ходов;
- 2) по невязкам полигонов.

Среднюю квадратическую случайную ошибку на 1 км нивелирного хода вычисляют по формулам:

$$\eta_1^2 = \frac{1}{4n} \left[ \frac{d_6^2}{r} \right]; \quad (1) \quad \eta_2^2 = \frac{1}{4n} \left[ \frac{d_5^2}{r} \right], \quad (2)$$

где  $n$  — число секций в ходе;  $r$  — длина секций.

Результаты оценки точности по формулам (1) и (2) нивелирования 1-го кл., выполненного в СССР после 1945 г., показали, что  $\eta_1 = \pm 0,66$ , а  $\eta_2 = \pm 0,26$  мм на 1 км хода [3].

Однако случайная средняя квадратическая ошибка нивелирования 1-го кл. того же периода, вычисленная по невязкам  $\omega$  полигонов (табл. 1) на основании формулы

$$\eta^2 = \frac{1}{N} \left[ \frac{\omega^2}{P} \right] \quad (3)$$

составила  $\eta = \pm 1,71$  мм на 1 км. Здесь  $N$  — число полигонов;  $P$  — периметр полигона.

По существу, формулы (1) и (2) тождественны, а формула (3) также близка к двум первым, но причины и механизм накопления величин  $d_5$ ,  $d_6$  и  $\omega$  — разные, поэтому различны и результаты оценки точности одного и того же нивелирования.

Т а б л и ц а 1

Невязки полигонов нивелирования 1-го кл., исполненного после 1945 г.

$P$ , км	$\omega$ , мм	$P/2$ , км	$\omega^2$	$P$ , км	$\omega$ , мм	$P/2$ км	$\omega^2$
887,1	- 20,5	443,6	420,25	3223,8	- 73,3	1611,9	5372,89
220,1	- 65,7	110,0	4316,49	3054,8	+ 52,6	1527,4	2766,76
3057,9	+134,8	1529,0	18 171,04	2629,0	- 85,9	1314,5	7378,81
321,4	+ 41,6	160,7	1730,56	3604,4	-104,0	1802,2	10 816,00
2031,9	+ 83,4	1016,0	6955,56	2678,2	+ 5,7	1289,1	32,49
269,9	+ 38,2	135,0	1459,24	3371,3	-134,1	1635,6	17 983,00
520,5	- 9,3	260,2	86,49	2497,0	- 66,9	1248,5	4475,61
3302,3	+ 78,4	1621,2	5146,56	1395,3	- 90,3	697,6	8154,09
3544,4	+111,8	1772,2	12 499,24	1463,3	- 30,1	731,6	906,01
531,0	- 39,4	265,5	1552,36	87,6	- 1,0	43,8	1,00
62,5	+ 2,1	31,2	4,41	369,2	+ 0,3	184,6	0,09
156,0	+ 10,3	78,0	106,09	1639,5	+ 10,6	819,8	112,36
496,1	+ 32,5	248,0	1056,25				

Поскольку как правые и левые, так и прямые и обратные хода фактически образуют замкнутые полигоны, а величины  $d_5$  и  $d_6$  являются невязками этих же полигонов, то значение  $r$  соответственно равно полупериметру, т. е.

$$P = 2r. \quad (4)$$

Следовательно, для получения однородных результатов необходимо преобразовать формулу (1):

$$\eta^2 = \frac{1}{4N} \left[ \frac{\omega^2}{P/2} \right]. \quad (5)$$

На основании формулы (5) и данных, приведенных в табл. 1,  $\eta = \pm 1,21$  мм на 1 км хода.

Полученное по формуле (5) значение  $\eta$ , хотя и несколько уменьшилось по сравнению со значением, найденным на основании формулы (3), однако существенно превышает то, которое определено на основании формул (1) и (2).

Примерно такое же соотношение  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  и  $\eta$  получено при оценке точности высокоточного нивелирования, выполненного в более ранние периоды [8].

Учитывая, что основной результат рассматриваемого нивелирования — отметки высотных знаков, дальнейший анализ должен установить, какие значения случайных средних квадратических ошибок более объективно характеризуют точность этих отметок.

Исследования точности нивелирования 1-го и 2-го кл. за последние годы показали, что для решения поставленной задачи лучше всего использовать результаты корреляционного анализа [1, 4, 5, 6, 9].

Так, на основании результатов корреляционного анализа в работе [6] был сделан вывод о том, что в разностях правого и левого нивелирования исключаются систематические ошибки, зависящие от расстояния. Исключение в разностях указанных ошибок можно объяснить наличием ряда общих погрешностей при отсчетах по рейкам в правых и левых нивелирных ходах. Эти погрешности обусловлены температурными воздействиями на нивелир и рейки, освещенностью шкал, рефракцией, лунно-солнечными притяжениями и приливными явлениями земной коры и др. Следовательно, превышения  $h_{\text{п}}$  и  $h_{\text{л}}$ , полученные из правого и левого нивелирных ходов, содержат примерно одинаковые ошибки. Из-за одинаковых условий правого и левого нивелирования эти ошибки исключаются только в разностях их превышений  $d_b$ , однако всей величиной влияют на механизм накопления ошибок нивелирной линии.

Нивелирование в прямом и обратном направлениях выполняется в разное время дня, но одним исполнителем, одним комплектом инструментов по переходным точкам одного и того же типа и примерно в один и тот же период года. Следовательно, условия прямого и обратного нивелирования, хотя и значительно отличаются друг от друга, однако одинаковый характер действия многих факторов также не позволяет проявиться в разностях  $d_b$  многим источникам погрешностей, проявляющимся только в невязках полигонов  $\omega$ .

Чтобы проиллюстрировать механизм накопления и компенсацию ошибок в средних значениях из прямого и обратного нивелирования, рассмотрим результаты двойного высокоточного нивелирования [8], исполненного на горизонтальных и наклонных участках Подмосковья (1951 г.) и Северного Кавказа (1952 г.). Первое из нивелирований исполнено при длине визирного луча 50 м, а второе 16,6 м. Как в Подмосковье, так и на Северном Кавказе при нивелировании длинным лучом использовали один инструмент, а при нивелировании коротким — другой.

Поэтому указанные нивелирования более независимы, чем нивелирования в прямом и обратном направлениях. Кроме того, расчеты показывают, что нивелирование коротким лучом дает возможность свести к минимуму влияние многих источников погрешностей, в том числе и нивелирной рефракции.

Таким образом, превышения, полученные в работе [8] в результате нивелирования коротким лучом, были приняты эталонными. Для анализа рассмотрим разности  $\Delta\rho$  между превышениями, полученными из нивелирования длинным  $h_d$  и коротким  $h_k$  лучами  $\Delta\rho = h_d - h_k$ . Причем сгруппируем эти разности так же, как в статье [5], с той лишь разницей, что группирование

$\Delta p$  в данном случае выполнено для утренних и вечерних измерений отдельно (табл. 2, 3).

По средним значениям этих разностей можно проследить механизм накопления ошибок. Так, на горизонтальном участке при среднем значении  $\Delta$ , равном для одной станции 0,02—0,03 мм, среднее значение разности на 1 км нивелирного хода составит 0,20—0,30 мм. Для наклонных участков среднее значение рассматриваемых разностей на одну станцию составляет 0,04 мм или же 0,40 мм на 1 км.

Таблица 2

Разности превышений, полученные в результате нивелирования длинным и коротким лучами в Подмоскowie в 1951 г.

Горизонтальный участок		Наклонный участок			
(16, 18, 23 июня; 31 июля; 23, 24 августа)		(9—11, 14, 19 июля)		(3, 4, 11, 21 августа)	
$n$	$\bar{\Delta p}$	$n$	$\bar{\Delta p}$	$n$	$\bar{\Delta p}$

У т р о

30	+0,040	25	+0,012	20	-0,044
30	+0,086	25	+0,022	20	-0,030
30	+0,080	25	+0,042	20	-0,031
30	+0,033	25	+0,048	20	-0,013
30	+0,002	25	+0,030	20	-0,044
30	+0,014	25	+0,047	20	-0,015
180	+0,255	150	+0,201	120	-0,187

В е ч е р

30	+0,063	25	+0,058	20	-0,040
30	-0,006	25	+0,032	20	-0,029
30	+0,019	25	+0,005	20	-0,041
30	+0,012	25	+0,004	20	-0,048
30	-0,017	25	-0,001	20	-0,071
30	+0,048	25	+0,018	20	-0,042
180	+0,119	150	+0,116	120	-0,271

Согласно действующей инструкции, нивелирование 1-го кл. в прямом и обратном направлениях выполняют в разные половины дня участками в 25—30 км по схеме «восьмерка», т. е. одну половину секций участка сначала проходят в прямом направлении, а другую — в обратном, а затем наоборот. В этом случае нивелирование участка проводится несколько дней, что примерно соответствует периодам, приведенным в табл. 2, 3. Следовательно, можно условно принять измеренные разности в утренний период как нивелирование в прямом направлении, а в вечерний — в обратном. Данные табл. 2, 3 показывают, что основная часть этих разностей не компенсируется. Так, на подмосковном участке остаточное значение после осреднения составляет 197%, а на Северном Кавказе — 52% от разности средних значений, соответствующих первой и второй половине дня.

них измере-  
проследить  
ом участке  
ции 0,02—  
рного хода  
днее значе-  
составляет

Однако, как видим из таблиц, компенсация указанных величин усиливается, если возрастает различие погодных условий при нивелировании в прямом и обратном направлениях, обусловленное в данном случае различием стратификации приземного слоя воздуха, а следовательно, и характером действия рефракции. Так, если принять, что в группах для наклонных участков Подмосковья (погодные условия которых отличаются больше, чем для соответствующих групп Северного Кавказа) прямые ходы прокладывались в утренний период, соответствующий дням

Таблица 3

Разности превышений, полученные в результате нивелирования длинными и короткими лучами на Северном Кавказе в 1952 г.

Горизонтальный участок		Наклонный участок			
(1, 4 сентября)		(29, 30 июля; 4—7 августа)		(11, 14, 21, 22 августа)	
<i>n</i>	$\bar{\Delta p}$	<i>n</i>	$\bar{\Delta p}$	<i>n</i>	$\bar{\Delta p}$
У т р о					
10	-0,145	30	+0,046	25	-0,026
10	-0,083	30	+0,024	25	+0,009
10	-0,022	30	-0,006	25	-0,030
10	-0,017	30	-0,003	25	-0,060
10	+0,039	30	-0,020	25	-0,098
10	+0,036	30	+0,001	25	-0,096
60	-0,192	180	+0,042	150	-0,301
В е ч е р					
10	-0,010	30	-0,014	25	-0,040
10	-0,017	30	-0,040	25	-0,058
10	+0,041	30	-0,027	25	-0,059
10	+0,018	30	-0,018	25	-0,005
10	+0,011	30	-0,015	25	-0,006
10	-0,011	30	-0,022	25	+0,076
60	+0,032	180	-0,136	150	-0,092

го кл.  
е поло-  
», т. е.  
ом на-  
В этом  
ей, что  
2, 3.  
ности  
лени,  
т, что  
а под-  
я сос-  
сред-  
е дня.

первой подгруппы, а обратные — в вечерний период, соответствующий дням второй подгруппы, и наоборот, то остаточные значения разностей  $\Delta p$  будут минимальными. Этого нельзя сказать о подгруппах, исследованных по материалам Северного Кавказа, поскольку для материалов первой и второй подгрупп погодные условия в данном случае более близки друг к другу [6, 8].

В настоящее время уже получены результаты исследований рефракции, лунно-солнечных притяжений и других источников погрешностей, [2, 7], на основании которых можно планировать нивелирование обратных ходов при диаметрально противоположном характере действия этих источников. Таким образом можно будет усилить независимость получаемых превышений

из нивелирования в прямом и обратном нивелированиях и повысить исключение погрешностей в их средних значениях, а значит, и более точно определить отметки нивелирных знаков.

На механизм накопления невязок полигонов, кроме погрешностей собственно нивелирования, влияют также нестабильность нивелирных знаков и неравномерные тектонические движения во время нивелирования по периметрам полигонов. Нет сомнения, что оба названные источника погрешностей, как и ошибки собственно нивелирования, влияют на точность определения отметок нивелирных знаков.

Выполненный анализ и сравнение результатов оценки точности нивелирования 1-го кл. по разностям превышений правых и левых ходов  $d_5$ , прямого и обратного нивелирования  $d_6$ , а также же по невязкам полигонов  $\omega$  показали, что при существующей методике нивелирования 1-го кл. наиболее объективной оценки точности получаемых результатов можно достичь по невязкам полигонов.

Чтобы повысить точность нивелирования 1-го кл., его исполнение в прямом и обратном направлениях необходимо организовать не только в разные половины дня, но и по возможности в диаметрально противоположных условиях влияния внешней среды (другим исполнителем, другим комплектом инструментов, с обратными знаками поправочных коэффициентов за компарирование реек, в период диаметрально противоположного характера влияния лунно-солнечного притяжения и др.).

Такая оптимально-симметричная программа исполнения нивелирования 1-го кл., хотя в некоторых случаях вследствие симметричности влияния многих источников погрешностей увеличит значения  $d_6$ , будет более реально отражать фактическое значение превышения, в результате чего значительно уменьшатся невязки полигонов и ошибки в отметках нивелирных знаков.

С учетом того, что каждый исполнитель будет производить нивелирование только в одном направлении, можно значительно ускорить замыкание полигона и, таким образом, уменьшить влияние неравномерного движения земной коры.

Поскольку оценка точности по разностям превышений правых и левых ходов может служить только для характеристики тщательности исполнения работ, то выполнять ее следует только в случае проведения нивелирования по описанной методике.

**Список литературы:** 1. Крюков Ю. А. Применение статистических методов при исследовании ошибок высокоточного нивелирования. — Обзор ОНТИ ЦНИИГАиК, 1972, № 17. 2. Мерзенин А. В. Определение среднего многолетнего времени наименьших рефракционных влияний для территории СССР. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1977, вып. 4. 3. Мецкерский И. Н., Энтин И. И. Анализ результатов нивелирования I и II классов (1957—1966 гг.). — Тр./ЦНИИГАиК, 1972, вып. 169. 4. Павлов П. В. Исследование механизма накопления ошибок, зависящих от величины превышений. — Инженерная геодезия, 1968, вып. 5. 5. Павлов П. В. О влиянии температуры воздуха на механизм накопления ошибок, зависящих от величины превышений. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1973, вып. 18. 6. Рыви-

- на Р. М. О зависимости накопления разностей превышений от длин ходов нивелирования I класса. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1974, вып. 2. 7. Урманцев Р. М. О вычислении лунно-солнечных поправок при обработке точного нивелирования. — Геодезия и картография, 1977, № 1, 2. 8. Энтин И. И. Высокоточное нивелирование. — Тр. ЦНИИГАиК, 1956, вып. 111. 9. Lucht H. Korrelation im Präzisionsnivellement. Hannover. Druck. Lehrstuhl für Topographie und Kartographie an der Technischen Universität, 1972.

Работа поступила в редколлегия 29 ноября 1977 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского лесотехнического института.

УДК 528.3.021.6.621 396.969

В. А. ПЕРВАГО, канд. техн. наук  
Львовский сельскохозяйственный институт

П. Д. ДВУЛИТ, канд. техн. наук  
Львовский политехнический институт

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НА ИНДЕКС ПРЕЛОМЛЕНИЯ РАДИОВОЛН В ТРОПОСФЕРЕ

При измерении расстояний радиодальномерными системами одна из станций находится на значительной высоте от поверхности Земли, а измеряемые ею расстояния могут достигать нескольких сотен километров. Поэтому точность измерения расстояния в основном будет зависеть от того, с какой точностью мы сможем определить рабочую скорость распространения электромагнитных волн в атмосфере.

Поскольку в тропосфере сосредоточено более 4/5 всей массы воздуха, а наиболее существенные изменения метеорологических элементов как во времени, так и в пространстве происходят в пограничном слое, то учет его влияния на стратификацию индекса преломления  $\Delta n$  имеет важное практическое значение. Для установления влияния пограничного слоя на закономерности изменения  $\Delta n$  в тропосфере нами были использованы экспериментальные материалы радиозондирования атмосферы, полученные в 1971—1972 гг. аэрологическими станциями, расположенными в различных климатических зонах СССР [1]. Значения  $\Delta n$  от поверхности Земли до высот 26,3 км определяли на ЭВМ «Мир-1» по известной эмпирической формуле Смита—Вейнтрауба. В дальнейшем, используя методику, изложенную в работе [2], полученные значения  $\Delta n$  были распределены по группам по значению вертикальной разности индексов преломления  $\tau$  между высотами от 2 м до 1,4 км.

В табл. 1 приведены средние значения  $\Delta n$  на различных высотах, разности  $\delta \Delta n$  индексов преломления между высотами 2 м и другими высотами и значения  $\tau$ .