

*И. С. ТРЕВОГО*, канд. техн. наук, *Д. И. МАСЛИЧ*, канд. техн. наук,  
*В. О. ЛИТИНСКИЙ*, *Б. Т. ТЛУСТЯК*, канд. техн. наук

Львовский политехнический институт

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ БОРТОВ КАРЬЕРА**

При наблюдениях за деформациями бортов карьера в соответствии с инструкцией [2] необходимо прокладывать по борту ходы геометрического нивелирования 2—3 кл. или тригоно-

---

\* В сильно аномальных и высокогорных районах это утверждение может оказаться и недостаточно обоснованным (Прим. ред.).

метрического нивелирования с длинами визирного луча не более 50 м. На бортах с углом наклона 30° и более процесс нивелирования очень трудоемок, а на оползневых участках и небезопасен.

В связи с этим представляет практический интерес способ определения деформаций с противоположного борта или основания карьера. Преимущества данного способа заключаются в выполнении работы с одной станции, в более безопасном ведении работ и повышении производительности труда. Для определения вертикальных деформаций можно успешно использовать одностороннее тригонометрическое нивелирование при удалении точки размещения приборов до 500 м.

Таблица 1

Предвычисление погрешностей тригонометрического нивелирования, мм

z	d				
	100	200	300	400	500
75°	±2,7	±3,3	±4,1	±5,0	±6,0
80°	±2,3	±3,1	±3,8	±4,9	±5,6
85°	±2,3	±2,9	±3,7	±4,7	±5,5

Предвычислим точность тригонометрического нивелирования для данного случая. Превышение  $h$  из тригонометрического нивелирования с достаточной точностью определяем по известной формуле

$$h = d \operatorname{ctg} z + \frac{(1 - k) d^2}{2R \sin^2 z} + i - v, \quad (1)$$

где  $d$  — горизонтальное расстояние до репера;  $z$  — зенитное расстояние;  $k$  — коэффициент вертикальной рефракции;  $R$  — радиус кривизны Земли;  $i$  — высота теодолита;  $v$  — высота визирования. Причем среднюю квадратическую погрешность превышения можно определить из выражения

$$m_h = \pm \sqrt{\operatorname{ctg}^2 z \cdot m_d^2 + \frac{d^2}{\sin^4 z} \left( \frac{m_z''}{\rho''} \right)^2 + \frac{d^4}{4R^2 \sin^4 z} \cdot m_k^2 + m_i^2 + m_v^2}, \quad (2)$$

где  $m_d$ ,  $m_z$ ,  $m_h$ ,  $m_i$  и  $m_v$  — соответственно средние квадратические погрешности горизонтального положения, зенитного расстояния, коэффициента вертикальной рефракции, высоты инструмента и высоты визирной цели.

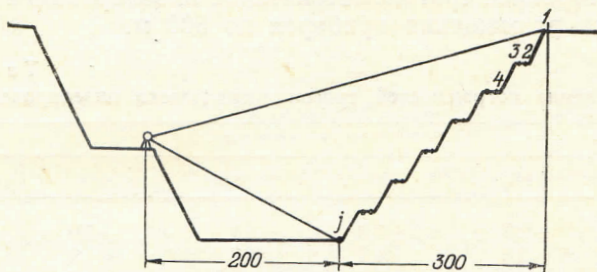
При типичных значениях  $m_d = \pm 6$  мм,  $m_z = \pm 2''$ ,  $m_h = \pm 0,05$  и  $m_i = m_v = 2$  мм значения  $m_h$  приведены в табл. 1.

Отметим, что согласно инструкции [3], при геометрическом нивелировании профильных линий предельное расхождение между прямым и обратным ходом равно  $2,6 \text{ мм} \sqrt{n}$ , где  $n$  — число станций. В нашем случае при глубине карьера 70—80 м и  $n = 36$  это расхождение составит  $\pm 15,6$  мм.

При тригонометрическом нивелировании рабочих реперов профильной линии (рисунок) погрешность превышения между конечными реперами составит

$$m_h = \pm \sqrt{m_{h_1}^2 + m_{h_j}^2}. \quad (3)$$

В формуле (3)  $m_{h_1}$  и  $m_{h_j}$  — соответственно погрешности определения превышений первого и последнего реперов. При  $d_1 = 500$  м,  $d_j = 200$  м и отклонении визирного луча от горизонта  $\pm 15^\circ$   $m_h = \pm 6,8$  мм. Предельная погрешность будет равна  $\pm 13,6$  мм.



Профильная линия наблюдательной станции карьера.

Таким образом, возможна замена геометрического нивелирования тригонометрическим с противоположного борта.

Требования, предъявляемые к погрешностям отдельных источников, принятых при расчете табл. 1, достижимы в случае использования современных геодезических приборов. Так, для получения погрешности  $m_d \leq 6$  мм рекомендуют применять светодальномеры МСД-1М или ЕОК 2000 с усовершенствованной нами программой измерений [4, 5], рассчитанной на более строгий учет «постоянной» поправки прибора, соблюдение постоянного уровня сигнала и т. д.

Современные оптические теодолиты типа Т2 обеспечивают среднюю квадратическую погрешность измерения вертикальных углов  $\pm 2''$ . В результате обработки 38 серий наблюдений по четыре приема в каждой нами получена средняя квадратическая погрешность измерения зенитного расстояния теодолитом Т2 по внутренней сходимости  $m_z = \pm 1,9''$ .

Среднюю квадратическую погрешность определения коэффициента вертикальной рефракции при относительно большой высоте визирного луча можно принять равной  $\pm 0,05$  [1], а коэффициент вертикальной рефракции — 0,16.

Для определения превышения между двумя реперами профильной линии с учетом формулы (1) получим

$$h = h_{0,i} - h_{0,i-1} = d_{0,i} \operatorname{ctg} z_{0,i} - d_{0,i-1} \operatorname{ctg} z_{0,i-1} + \frac{1-k}{2R} \left( \frac{d_{0,i}^2}{\sin^2 z_{0,i}} - \frac{d_{0,i-1}^2}{\sin^2 z_{0,i-1}} \right) - v_{0,i} + v_{0,i-1}, \quad (4)$$

где  $h_{0,i}$  и  $h_{0,i-1}$  — превышения двух реперов профильной линии над точкой установки теодолита.

Из формулы (4) следует, что измерять высоту теодолита нет необходимости. Однако для редуцирования наклонных расстояний к горизонту высоту теодолита надо измерять, но, как показывают наши расчеты, с невысокой точностью  $\pm 1$  см.

Точность измерения высоты визирования оказывает существенное влияние на определяемое превышение. Поэтому измерения высот следует вести компарированной рулеткой или специальным приспособлением, обеспечивающим точность  $\pm 1$ — $2$  мм. В этом плане целесообразно так выбирать точку размещения теодолита, чтобы визировать непосредственно на верхнюю часть рабочих реперов.

Метод тригонометрического нивелирования с противоположного борта был применен нами с 1976 г. на наблюдательной станции для изучения деформаций бортов крупного карьера. При экспериментальной проверке на 5-ти профильных линиях, включающих по 10—14 реперов на бортах карьера, выполнено одновременно геометрическое и тригонометрическое нивелирование. Зенитные расстояния измеряли теодолитом Т2 четырьмя приемами в разное время дня, исключая периоды сильных колебаний изображений визирных целей. Расстояния до рабочих реперов измерялись светодальномером ЕОК 2000 также четырьмя приемами по программе [4]. При этом светодальномер и теодолит поочередно устанавливали на одной станции (металлической трубе с площадкой для принудительного центрирования).

При обработке экспериментальных данных в результаты измерений были введены необходимые поправки. Обработку результатов тригонометрического нивелирования вели по разработанной нами на ЭВМ «М-222» программе [4].

В табл. 2 приведены результаты сравнения превышений  $h_T - h_r$  и высот  $H_T - H_r$ , полученных из тригонометрического и геометрического нивелирования.

Как видно из табл. 2, разность превышений в основном составляет несколько миллиметров, а среднее квадратическое расхождение по отдельным профильным линиям находится в пределах  $\pm 4,5$ — $7,6$  мм. Общая погрешность составляет  $\pm 5,4$  мм. Произведено также сравнение высот рабочих реперов, полученных обоими методами. Здесь, как и ожидалось, расхождение оказалось несколько больше: средние квадратические расхождения по отдельным профильным линиям составили  $\pm 4,2$ — $11,2$  мм, а общее достигло  $\pm 8,0$  мм. Это, очевидно, можно объяснить действием неучтенных систематических погрешностей. Расхождения могут быть уменьшены, если учитывать погрешности геометрического нивелирования. Но даже и полученные результаты говорят о возможности замены трудоемкого геометрического нивелирования по бортам карьера тригонометрическим с противоположного борта.

## Разности превышений и высот, мм

Профиль 4			Профиль 7			Профиль 10			Профиль 4			Профиль 7		
Репер	$h_T - h_\Gamma$	$H_T - H_\Gamma$	Репер	$h_T - h_\Gamma$	$H_T - H_\Gamma$	Репер	$h_T - h_\Gamma$	$H_T - H_\Gamma$	Репер	$h_T - h_\Gamma$	$H_T - H_\Gamma$	Репер	$h_T - h_\Gamma$	$H_T - H_\Gamma$
9Т			10Т			7Т			9Т			10Т		
10	-12	+12	11	-10	+10	8	-1	+1	10	+4	3	12	+3	+3
11	+4	+7	12	+6	+3	9	+8	-7	11	-15	-11	13	+3	+6
12	-4	+11	13	-6	+5	10	-6	-3	12	+7	-4	14	+2	+8
13	+1	+9	14	-1	+5	11	-3	-1	13	-9	-13	15	-3	+5
14	+2	+6	15	-1	+6	12	+3	-5	14	+1	-12	16	-1	+4
15	-4	+10	16	-8	+12	13	-2	-3	15	+7	-5	17	-2	+2
16	+1	+8	17	0	+11	14	-7	+3	16	0	-4	18	-7	-5
17	-2	+9	18	0	+10	15	-7	+8	17	-6	-11	19	+4	-1
40Т	-3	+12	19	-3	+13	16	+8	0	18	-1	-12	20	+4	+3
19	+2	+9	20	-2	+13	17	-5	+3	40Т	+13	+1	70Т	+1	+4
			70Т	-3	+16	18	-1	+5	19	-2	0	21	-10	-7
			21	-4	+19	100Т	0	+5						
[88]	215	901		249	1515	19	-6	0			766		218	254
$m_h$	$\pm 4,6$			$\pm 4,6$			347	216		631			$\pm 4,5$	
$m_H$		$\pm 9,5$			$\pm 11,2$		$\pm 5,2$	$\pm 4,2$		$\pm 7,6$	$\pm 7,6$			$\pm 4,8$

 $m_h$  о.б.ш.  $\equiv \pm 5,4$  мм; $m_H$  о.б.ш.  $\equiv \pm 8,0$  мм.

Анализ экспериментальных данных установил, что затраты времени на производство и математическую обработку результатов тригонометрического нивелирования на 40% меньше, чем геометрического.

**Список литературы:** 1. *Изотов А. А., Пеллинен Л. П.* Исследования по земной рефракции и геодезическому нивелированию. — «Труды ЦНИИГАиК», 1956, вып. 102. 2. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов, уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. Л., ВНИМИ, 1971. 3. Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ. ВНИМИ. Л., «Недра», 1973. 4. *Тревого И. С.* Светодалномерный метод определения координат реперов профильных линий карьера. — В сб.: Автономные методы определения опорных геодезических пунктов. Киев, «Знание», 1977. 5. *Тревого И. С.* Пути повышения точности светодалномерных измерений городской полигонометрии. — «Геодезия и картография», 1977, № 6.

Работа поступила 6 мая 1977 года. Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.