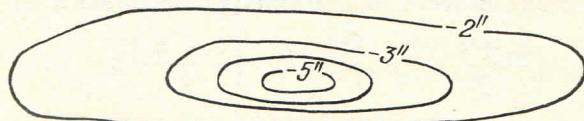


нее из высот соседних реперов;  $(q-\gamma)_m$  — среднее из аномалий силы тяжести в соседних точках.

По данным наших вычислений поправка  $\Delta E$  для Предкарпатского прогиба также менее 1 см. Таким образом, ощутимо только выражение  $\frac{u_1 - u_2}{2} s = II$ , а I и  $\Delta E$  пренебрежимо малы\*.

Введение поправок II при одностороннем тригонометрическом нивелировании глубоких скважин в зонах Предкарпатского прогиба значительно повышает точность определения вы-



Погрешности тригонометрического нивелирования, связанные с формой уровневых поверхностей Земли.

сот. Эти поправки удобно находить, используя заранее подготовленную на данную разведочную площадь схему изодефлект, представляющую собой систему плавных кривых, соединяющих точки с одинаковыми уклонениями отвесных линий (рисунок).

**Список литературы:** 1. Еремеев В. Ф. Теория ортометрических, динамических и нормальных высот. — «Труды ЦНИИГАиК», 1948, вып. 86. 2. Изотов А. А., Пеллинен Л. П. Исследование земной рефракции и методов геодезического нивелирования. — «Труды ЦНИИГАиК», 1955, вып. 102. 3. Молоденский М. С. Определение фигуры геоида при совместном использовании астрономо-геодезических уклонений отвесов и карты аномалий силы тяжести. — «Труды ЦНИИГАиК», 1937, вып. 17.

Работа поступила 5 мая 1977 года. Рекомендована топогеодезическим отрядом треста «Львовнефтегазразведка».

УДК 528.37/38:622.1

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  $30^\circ$  и более процесс нивелирования очень трудоемок, а на оползневых участках и не безопасен.

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

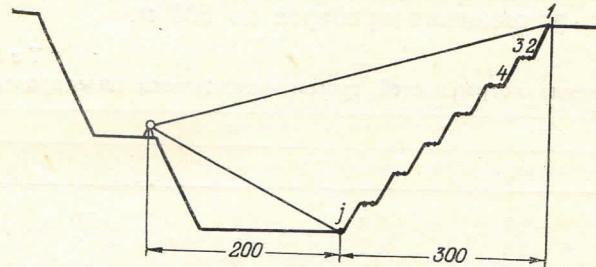
При типичных значениях  $m_d = \pm 6$  мм,  $m_z = \pm 2''$ ,  $m_k = \pm 0,05$  и  $m_i = m_v = 2$  мм значения  $m_h$  приведены в табл. 1.

Отметим, что согласно инструкции [3], при геометрическом нивелировании профильных линий предельное расхождение между прямым и обратным ходом равно 2,6 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

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

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  $h_t - h_g$  и высот  $H_t - H_g$ , 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.

Таблица 2

Разности превышений и высот, мм

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

 $m_{h \text{ общ.}} = \pm 5,4 \text{ мм};$  $m_{H \text{ общ.}} = \pm 8,0 \text{ мм.}$

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. Светодальномерный 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 светодальномерных измерений городской полигонометрии. — «Геодезия и картография», 1977, № 6.

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

УДК 528.061

А. Е. ФЕДОРИЩЕВ  
Львовский политехнический институт

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УЧЕТА РЕФРАКЦИИ

Вблизи поверхности Земли рефракция оказывает ощутимое влияние на результаты геодезических, электрооптических и астрономических определений. Скорость света и форма световой кривой зависят в основном от характеристик состояния атмосферы — градиентов температуры и давления воздуха. Действием влажности на лучи оптического диапазона обычно пре-небрегают [2, 3].

На практике трудно получить точные данные о вертикальном распределении метеоэлементов в атмосфере. В ряде случаев для установления необходимых характеристик прибегают к оценкам метеопараметров, пользуясь стандартной атмосферой, что не соответствует действительности, поскольку в нижних слоях воздуха под влиянием солнечной радиации и разнородной подстилающей поверхности метеоэлементы претерпевают значительные изменения и существенно отличаются от стандартных.

Поэтому выявление закономерностей распределения метеоэлементов в атмосфере, основанное на реальных измерениях, представляет интерес и практическую ценность.

Для изучения вертикального распределения давления воздуха и учета рефракции нами проведены исследования, базирующиеся на данных аэрологических зондирований [1, 4], вы-