

Фракции. — Геозеия, картография и аэрофото съемка, 1979, вып. 30, с. 66—69.
 3. Инструкции по нивелированию I, II, III, IV классов. — М.: Недра, 1974. — 160 с. 4. Красовский Ф. Н. О временной постановке высокоточного и точного нивелирования. — М.: Геозензат, 1956, т. 2. — 557 с. 5. Куккамяки Т. Н. Формулы и таблицы для вычисления нивелирной рефракции. — Публикация финского геодезического института, 1939, № 27, с. 18—25. 6. Померинцев Н. А. Исследование земной рефракции. — Приложение к 18-му тому Записок Академии наук, 1884, № 3. — 76 с. 7. Стацишин И. И. Разработка и исследование методов учета нивелирной рефракции в турбулентной атмосфере: Автореф. дис. канд. техн. наук. — Львов, 1983. — 24 с. 8. Striase W. Beschreibung der zur Ermittlung des Höhenunterschiedes dem Schwaigen und dem Caspischen Meere... ausgeführten Messungen. СПб, 1849. — 150 S.

Статья поступила в редколлегию 14. 01. 85

УДК 528.44

Д. Н. ПЕРОВИЧ, Е. Ю. ИЛЬКИН

ОБ ОЦЕНКЕ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ГАЗОКОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Среди задач, решаемых прикладной геодезией, важное место принадлежит определению деформаций инженерных сооружений и оборудования, обусловленных осадками. Наиболее распространенным методом определения осадок является высокоточное геометрическое нивелирование короткими лучами [2, 4]. При этом возникают трудности с тем, что нивелирование выполняется в различных прежде всего с тем, что нивелирование выполняется в различных специфических условиях. Например, в цехах газоконденсорных станций (ГКС) к таким факторам следует отнести: стесненные условия, что приводит к значительным неравенствам плеч (до 10 м) на станции; плохую освещенность; влияние вибрации работающих механизмов; неравномерное тепловое поле. Поэтому использование инструкций [5] не всегда приемлемо.

Нами поставлена задача произвести оценку точности и установить допуски для производства высокоточного геометрического нивелирования в производственных помещениях ГКС магистральных газопроводов. Для решения этой задачи использован проламподственный материал, накопленный при наблюдении за деформациями инженерных сооружений газопроводов «Союз», «Братство», «Уренгой—Ужгород». Измерения проводили нивелиром НА-1 и одной ниварной рейкой при двух горизонтах прибора [2]. Для оценки использованы разности превышений и высот нудей шкал рек, измеренных на станции, а также невязки ходов. Все данные были разбиты на четыре группы в зависимости от условий наблюдений:

— газотурбинные цехи (ГТЦ) газопровода «Союз» (с агрегатами ГТК-10 и);

— ГТЦ газопровода «Братство» (с агрегатами ГТК-10);
 — газоконденсорные цехи (ГКС) газопровода «Братство» (с установками МК-8);
 — ГТЦ газопровода «Уренгой—Ужгород» (с агрегатами ГТК-25-И).

Обработка по разностям двойных равнооточных * измерений включала [1]:

— вычисление разностей d_i превышений h_1 и h_2 , измеренных при двух горизонтах на i -й станции нивелирования

$$d_i = h_1 - h_2; \quad (1)$$

— исключение грубых ошибок;
 — выявление систематических ошибок по критерию

$$| |d| | \leq 0,25 | |d| |. \quad (2)$$

В случае невыполнения условия (2) находят остаточную систематическую ошибку

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{|d|}{n}, \quad (3)$$

где n — число двойных разностей.

Средняя квадратическая ошибка превышения составляет

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}, \quad (4)$$

а в случае невыполнения условия (2) —

$$m_h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d'^2]}{n}}, \quad (5)$$

где $d' = d_i - \delta_{\text{ср}}$.

Для оценки точности по разностям двойных измерений использовано 574 пары превышений, измеренных в ГТЦ «Союз», 547 — в ГТЦ «Братство» и 130 — в ГКС, 79 — в ГТЦ «Уренгой—Ужгород». Полученные средние квадратические ошибки (табл. 1) измеренных превышений хорошо отражают условия наблюдений. Так, в ГТЦ газопровода «Союз» по сравнению с ГТЦ «Братство» значительно лучше освещенность, более стабильное температурное поле, меньше влияние вибрации. Систематических ошибок по критерию (2) не обнаружено.

Оценка точности нивелирования по невязкам проводилась по следующей программе [1]:

* Результаты, полученные при обработке измерений как равнооточных (с выбором весов в зависимости от длины и разности плеч на станции), существенно не отличаются от полученных значений для равнооточных измерений. Это связано с тем, что помимо длины плеч на точность измерений значительно влияют другие факторы (температурные воздействия, неравномерное тепловое поле, вибрация и т. д.), учесть которые при выборе весов трудно.

вычисление среднего значения невязок

$$\bar{W} = \frac{[W]}{n} \quad (6)$$

Здесь W — невязка хода; C — число невязок. Определение W_{cp}' :

$$W_{cp}' = \sqrt{\frac{[(W - \bar{W})^2]}{C-1}} \quad (7)$$

Средняя квадратическая ошибка превышения на станции составляет

$$m_h = W_{cp}' / \sqrt{K}, \quad (8)$$

где K — число станций в ходе.

Таблица 1
Оценка точности нивелирования

Название объекта	Разности двойных измерений		Невязки ходов	
	число разностей	m_{μ} , мм	число невязок	m_{μ} , мм
ГТЦ «Союз»	574	0,08	56	0,15
ГТЦ «Братство»	547	0,16	25	0,41
ГКЦ «Братство»	130	0,11	—*	—*
ГТЦ «Уренгой-Ужгород»	79	0,11	—*	—*

* Оценка точности не проводилась ввиду недостаточного числа невязок.

Для оценки точности нивелирования использовано 56 невязок для ГТЦ «Союз» при числе станций 4 и 25, ГТЦ «Братство» при $K=20$ (см. табл. 1). Следует отметить, что при установленной нами методике число станций в ходе остается неизменным. Полученные средние квадратические ошибки, как и в случае оценки точности по разностям двойных измерений, хорошо согласуются между собой и объективно отражают условия наблюдений. Так, для ГТЦ «Союз» $m_h = 0,15$, а для ГТЦ «Братство» — 0,41 мм (см. табл. 1).

Во всех случаях средние квадратические ошибки, вычисленные по разностям двойных измерений, оказались меньше десятикратной по невязкам ходов для ГТЦ «Союз» в 2 раза, ГТЦ «Братство» — в 2,5 раза.

Это обусловлено тем, что m_h характеризует влияние случайных ошибок на результаты измерений, в то время как m_h позволяет судить о совместном действии случайных и систематических ошибок.

Выделим из средней квадратической ошибки превышения на станции, полученной по невязкам, ее систематическую часть. Для этого используем выражение [1]

$$W_{cp}' = \sqrt{\sigma_{cl}^2 K + \sigma_{сст}^2 K^2}, \quad (9)$$

где σ_{cl} и $\sigma_{сст}$ — соответственно случайная и систематическая составляющие средней квадратической ошибки на станции. Из (8) имеем

$$\sigma_{сст} = \sqrt{(W_{cp}'^2 - \sigma_{cl}^2 K) / K^2}. \quad (10)$$

Отсюда получим $\sigma_{сст}$ для ГТЦ «Союз» — 0,06 мм; для ГТЦ «Братство» — 0,08 мм.

Как видим, систематическая часть средних квадратических ошибок превышений довольно значительна. Из этого следует, что необходимо дополнительно принимать меры для уменьшения систематического влияния методик нивелирования, а где возможно уравнивать измерения с учетом систематических ошибок [3].

Используя результаты табл. 1, можно установить допуски на расхождение превышений, измеренных при двух горизонтах нивелира.

Для отбраковки результатов измерений используем нормированный размах [1]

$$R_e = \frac{(X_n - X_1)_{доп}}{m}, \quad (11)$$

где $R_e = (X_n - X_1)_{доп}$ — размах; X_n, X_1 — результаты измерений; m — средняя квадратическая ошибка определения величины X . Для нашего случая $l=2$. Задавшись доверительной вероятностью $\beta=0,99$, имеем [1]

$$R_{\beta}/m = 3,64. \quad (12)$$

Отсюда

$$(X_2 - X_1)_{доп} = 3,64 \cdot m, \quad (13)$$

или

$$(h_1 - h_2)_{доп} = 3,64 \cdot m_h', \quad (14)$$

где $m_h' = m_h \sqrt{2}$ — средняя квадратическая ошибка превышения, измеренного при одном горизонте.

Результаты вычислений допусков приведены ниже:

В делениях барабанчика микрометра	Единица измерения		ГТЦ «Союз»		ГТЦ «Братство»		ГТЦ «Уренгой-Ужгород»	
	ГТЦ «Союз»	ГТЦ «Братство»	ГТЦ «Союз»	ГТЦ «Братство»	ГТЦ «Уренгой-Ужгород»	ГТЦ «Уренгой-Ужгород»	ГТЦ «Уренгой-Ужгород»	
8	0,41	0,82	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	

Как видим, допуск, установленный для ГТЦ «Союз», соответствует требованиям [5]. Остальные допуски значительно больше, что вызвано сложными условиями наблюдений.

Расчитаем допустимые расхождения при вычислении разностей высот нулевой шкалы рейки, а также превышений, вычисленных по основной и дополнительной шкалам δ . Для нашего случая запишем

$$m_{\delta} = \sqrt{\frac{[rr']}{2p}}, \quad (15)$$

где r — разность между значениями пятки рейки, полученными в процессе измерений и исследовании; m_0 — средняя квадратическая ошибка в отсчете по рейке; p — число значений r . С учетом (11) имеем

$$(O_d - O_0)_{\text{доп}} = 3,64 m_0, \quad (16)$$

где O_d и O_0 — соответственно отсчеты по дополнительной и основной шкалам рейки. Тогда $\delta = 2(O_d - O_0)_{\text{доп}}$.

Результаты вычисления допусков разностей высот нугей, нанесенных на шкалах реек, а также превышений, определенных по основной и дополнительной шкалах, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Допуски разностей высот нугей шкал реек и превышений, вычисленных по основной и дополнительной шкалам (в делениях барабаничка микрометра)

Наименование объекта	Число равностей	Допуски разностей	
		высот нугей реек	превышений, вычисленных по основной и дополнительной шкалам
ГТП «Союз»	282	6	12
ГТП «Братство»	410	8	16
ГКД «Братство»	50	7	14
ГТП «Уреньга—Ужгород»	135	7	14

Установим предельные значения невязок ходов в ГТП «Союз» и ГТП «Братство».

Согласно [1] имеем

$$W_{\text{доп}} = t \cdot \bar{m}_n \sqrt{K}, \quad (17)$$

где t — нормированный множитель.

По распределению Стьюдента [1] и при числе степеней свободы 55 и 24 соответственно имеем $t = 2,62$ и $2,80$. С учетом данных табл. 1 получим для ГТП «Союз»

$$W_{\text{доп}} = 0,4 \sqrt{K}; \quad (18)$$

для ГТП «Братство»

$$W_{\text{доп}} = 1,2 \sqrt{K}. \quad (19)$$

Таким образом, полученные значения допусков можно рекомендовать к использованию геодезическим службам, выполняющим высокоточное геометрическое нивелирование в производственных помещениях газоконденсаторных станций магистральных газопроводов.

Список литературы: 1. *Большаков В. Д., Гайдаев П. А.* Теория математической обработки геодезических измерений. — М.: Недра, 1977. — 366 с. 2. *Гавишин В. И., Стороженко А. Ф., Вуденков Н. А.* Измерение вертикальных смещений сооружений и анализ устойчивости реперов. — М.: Недра, 1981. —

214 с. 3. *Марклизе Ю. И.* Уравнивание и оценка точности плановых геодезических сетей. — М.: Недра, 1982. — 189 с. 4. *Пискунов М. Е.* Методика геодезических наблюдений за деформациями сооружений. — М.: Недра, 1980. — 240 с. 5. Руководство по наблюдениям за деформациями оснований фундаментов зданий и сооружений. — М.: Стройиздат, 1975. — 76 с. 6. *Тарасенко Н. И.* Разработка методики и исследование точности прецизионного геометрического нивелирования в промышленных условиях: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Львов, 1984. — 17 с.

Статья поступила в редакцию 03. 12. 84

УДК 528.48+528.74

З. П. ТАМУТИС

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ НИВЕЛИРНЫХ СЕТЕЙ

Кинематическими нивелирными сетями называют такие сети, для которых третья координата в системе прямоугольных координат является переменной. Подобная ситуация обусловлена процессами, вызванными различными природными и антропогенными факторами. Кинематические нивелирные сети учитывают пространственное изменение положений точек.

Кинематические нивелирные сети проектируются для выявления вертикальных движений земной коры, определения осадок зданий и сооружений и т. д. Особенность их по сравнению со статистическими сетями заключается в том, что в качестве неизвестных выступают не только высоты точек, но и их осадки или скорости осадок.

Уравнения поправок для кинематических нивелирных сетей имеют вид: для первого цикла

$$e_i^{(1)} = \sum_{j=1}^m a_{ij} x_j + l_i^{(1)}; \quad i = \overline{1, n}; \quad (1)$$

для второго (или любого другого) цикла)

$$e_i^{(2)} = \sum_{j=1}^m a'_{ij} x_j + \sum_{j=1}^m \Delta t_{ij} v_j + l_i^{(2)}; \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где x_j — отметки точек (или поправки к ним); v_j — скорости осадок точек; $l_i^{(1)}$, $l_i^{(2)}$ — свободные члены уравнений поправок; a_{ij} , a'_{ij} — коэффициенты при неизвестных x_j , которые могут принять значения $+1, 0, -1$; Δt_{ij} — разность во времени между циклами наблюдений.

В матричном виде уравнительную модель для двух циклов нивелирования кинематической сети представим в виде

$$\begin{bmatrix} e^{(1)} \\ e^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & 0 \\ A_2 & B \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L^{(1)} \\ L^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (3)$$