

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 в оценке точности измеренных величин, связанные прежде всего с тем, что нивелирование выполняется в различных специфических условиях. Например, в цехах газокompрессорных 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 производственный материал, накопленный при наблюдении за деформациями инженерных сооружений газопроводов «Союз», «Братство», «Уренгой—Ужгород». Измерения проводили нивелиром НА-1 и одной инварной рейкой при двух горизонтах прибора [2].

Для оценки использованы разности превышений и высот нулевых шкал реек, 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);
- газокomppressorные цехи (ГКЦ) 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_i и h_{II} , измеренных при двух горизонтах на i -й станции нивелирования

$$d_i = h_i - h_{II}; \quad (1)$$

- исключение грубых ошибок;
- выявление систематических ошибок по критерию

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

В случае невыполнения условия (2) находят остаточную систематическую ошибку

$$\delta_{cp} = \frac{[d]}{n}, \quad (3)$$

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 $d'_i = d_i - \delta_{cp}$.

Для оценки точности по разностям двойных измерений использовано 574 пары превышений, измеренных в ГТЦ «Союз», 547 — в ГТЦ «Братство» и 130 — в ГКЦ, 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 неравнооточных (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 $W'_{\text{ср}}$:

$$\bar{W}'_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{[(W - \bar{W})^2]}{C - 1}}. \quad (7)$$

Средняя квадратическая ошибка превышения на станции составляет

$$\bar{m}_h = W'_{\text{ср}} / \sqrt{K}, \quad (8)$$

где K — число станций в ходе.

Таблица 1

Оценка точности нивелирования

Название объекта	Разности двойных измерений		Невязки ходов	
	число разностей	m_h , мм	число невязок	$\bar{m}_h$, 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» $\bar{m}_h = 0,15$, а для ГТЦ «Братство» — 0,41 мм (см. табл. 1).

Во всех случаях средние квадратические ошибки, вычисленные по разностям двойных измерений, оказались меньше подсчитанной 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 $\bar{m}_h$ 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]

$$W'_{\text{ср}} = \sqrt{\sigma_{\text{сл}}^2 K + \sigma_{\text{сист}}^2 K^2}, \quad (9)$$

где $\sigma_{сл}$ и $\sigma_{сист}$ — соответственно случайная и систематическая составляющие средней квадратической ошибки на станции.

Из (8) имеем

$$\sigma_{сист} = \sqrt{(W_{ср}^2 - \sigma_{сл}^2 K)/K^2}. \quad (10)$$

Отсюда получим $\sigma_{сист}$, 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 $\sigma_{сист}$ путем изменения методики нивелирования, а где возможно уравнивать измерения с учетом систематических ошибок [3].

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

Для отбраковки результатов измерений используем нормированный размах [1]

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

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]

$$R_2/m = 3,64. \quad (12)$$

Отсюда

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

или

$$(h_I - h_{II})_{доп} = 3,64 \cdot m_h', \quad (14)$$

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

Результаты вычислений допусков приведены ниже:

Единица измерения	ГТЦ «Союз»	ГТЦ «Братство»	ГКЦ «Братство»	ГТЦ «Уренгой-Ужгород»
В делениях барабанчика микрометра	8	16	11	11
В мм	0,41	0,82	0,56	0,56

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

Рассчитаем допустимые расхождения при вычислении разностей высот нулей шкал рейки, а также превышений, вычисленных по основной и дополнительной шкалам δ . Для нашего случая запишем

$$m_0 = \sqrt{\frac{[rr]}{2p}}, \quad (15)$$

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

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

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

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

Таблица 2
Допуски разностей высот нулей шкал реек и превышений,
вычисленных по основной и дополнительной шкалам
(в делениях барабанчика микрометра)

Наименование объекта	Число разностей	Допуски разностей	
		высот нулей реек	превышений, вычисленных по основной и дополнительной шкалам
ГТЦ «Союз»	282	6	12
ГТЦ «Братство»	410	8	16
ГКЦ «Братство»	50	7	14
ГТЦ «Уренгой—Ужгород»	135	7	14

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

Согласно [1] имеем

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

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 ГТЦ «Союз»

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

для ГТЦ «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 газокomppressorных станций магистральных газопроводов.

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

214 с. 3. *Маркузе 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 редколлегию 03. 12. 84
