

В. Н. СОУСТИН

МЕТОДЫ ПОВЕРКИ ГЛАВНОГО УСЛОВИЯ НИВЕЛИРА ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЙ

Главным условием нивелира любой конструкции является горизонтальность линии визирования. В нивелирах с самоустанавливающимися линиями визирования это условие выверяется непосредственно. В нивелирах с цилиндрическими уровнями, скрепленными с трубой (в так называемых «глухих» нивелирах), поверка сводится к установлению параллельности осей уровня и визирования. Исключения составляют нивелиры с наклонным лучом визирования (типа НЛ-3), у которых линия визирования в момент взятия отсчетов по рейкам может быть негоризонтальна. Однако и для нивелиров такого типа необходимым является условие совпадения высотного штриха со средней горизонтальной нитью сетки при горизонтальном положении линии визирования.

Поверка главного условия нивелира общеизвестным методом двойного нивелирования одной и той же линии на практике не всегда достаточно удобна, так как заставляет считаться с погодой и не обеспечивает достаточной быстроты, необходимой при массовой поверке инструментов. Особенно неудобно производить эту поверку в зимнее время, когда возникают трудности с закреплением точек на местности, а холод затрудняет точную юстировку прибора. Следует иметь в виду и то, что за последнее время геодезические приборы и методы измерений стали широко применяться при работах, связанных с монтажом оборудования и проверкой крупногабаритных изделий машиностроения. Эти работы производятся обычно внутри помещений, часто в течение длительного времени, и именно в таких условиях геодезисты стремятся поверять инструменты.

В нашей статье дано описание и анализ двух методов поверки главного условия нивелира на специальных установках, оборудованных внутри помещений. При использовании этих установок отпадает необходимость в каких-либо вычислениях, а сам процесс поверки и юстировки значительно ускоряется и упрощается. Такие установки могут быть предназначены также для быстрой поверки и юстировки места нуля вертикального круга теодолита.

Первый способ поверки нивелира. Используемая для поверки нивелира установка (рис. 1) состоит из подставки 1 для инструмента, линейки 2 с бегунком для точного измерения высоты инструмента и контрольной шкалы. Для поверки горизонтальности линии визирования испытуемый нивелир устанавливается на подставку 1, приводят в рабочее положение и с помощью линейки 2 измеряют высоту инструмента i . При этом, размещая линейку 2 на расстоянии около 10 мм от окуляра зрительной трубы и глядя на нее через объектив, наблюдатель устанавливает бегунок на линейке 2 в такое положение, при котором нить бегунка делит видимое поле зрения пополам. Отсчет по нити бегунка, зафиксированный в этом положении, определяет высоту инструмента i . Для того чтобы нить бегунка была отчетливо видна, часть поверхности

бегунка, попадающую в поле зрения, рекомендуется закрасить краской белого цвета или наклеить на бегунок кусочек восковки, на фоне которой нить также видна очень хорошо. Возможен и несколько иной способ фиксации положения нити бегунка, заключающийся в том, что на кусочке восковки аккуратно вычерчивают окружность диаметром 3—4 мм и наклеивают восковку на поверхность бегунка так, чтобы нить бегунка проходила точно через центр окружности. Передвигая бегунок вверх и вниз, подбирают такое его положение, при котором на восков-

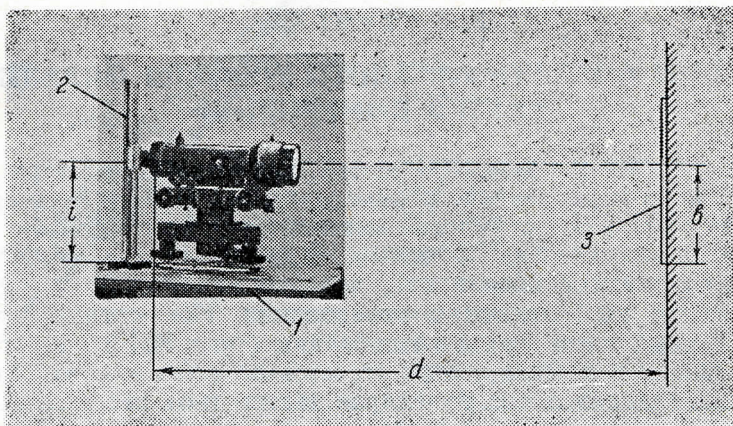


Рис. 1. Схема испытательной установки первого типа.

ке будет правильная концентрическая относительно окружности, ограничивающей видимое поле зрения. Очевидно, что при этом нить бегунка будет проходить через геометрический центр окуляра.

После измерения высоты инструмента i зрительную трубу наводят на контрольную шкалу 3, по которой берут отсчет b . Поскольку нули линейки 2 и контрольной шкалы 3 расположены строго на одной высоте (это достигается в процессе устройства установки с помощью тщательно выверенного нивелира нивелированием из середины), то в случае соблюдения главного условия мы должны получить:

$$i = b. \quad (1)$$

В противном случае необходимо сделать юстировку, установив с помощью исправительных винтов среднюю нить сетки на отсчет по контрольной шкале, равный высоте инструмента i . Здесь описываем метод юстировки для нивелиров типа НГ, у которых юстируется положение визирной оси. На деталях юстировок других типов нивелиров мы не останавливаемся.

Допуск на возможное расхождение между величинами i и b (см. формулу (1)) устанавливаем в зависимости от расстояния d между инструментом и контрольной шкалой. Обозначаем

$$i - b = x. \quad (2)$$

Предельная величина x имеет вид

$$x_{\max} = \frac{d \times \alpha_{\max}}{\rho}, \quad (3)$$

где α_{\max} — предельный угол между осями уровня и визирования, допускаемый требованиями инструкции [2].

Принимая среднюю квадратическую ошибку m_x измерения величины x равной $0,5 x_{\max}$; $m_i = m_b = m_0$; $\alpha_{\max} = \pm 11''$ ([2], стр. 92), с учетом (2) и (3) получаем

$$m_0 = 0,000019 d. \quad (4)$$

По формуле (4) можно вычислить необходимую точность измерения величин i и b при различных расстояниях d от инструмента до контрольной шкалы.

В результате проведенных нами специальных исследований было установлено, что оценка десятых долей деления шкалы производится наблюдателем со средней квадратической относительной ошибкой около 0,043 и сравнительно мало зависит от величины делений. А. С. Чеботарев ([4], стр. 376) принимает ошибку округления при отсчете по рейке с сантиметровыми делениями равной $\pm 0,54$ мм, что соответствует относительной ошибке 0,054.

На основании сказанного среднюю квадратическую относительную ошибку отсчета по линейке с делениями при оценке десятых долей деления на глаз можно принять как

$$m_0 = \pm 0,05 l, \quad (5)$$

где l — цена одного деления линейки.

Подставляя (5) в (4) и решая полученное равенство относительно l , находим

$$l = 0,0004 d \quad (6)$$

(или правильно $l \approx 0,0004 d$).

По формуле (6) можно вычислить оптимальную цену делений на контрольной шкале, при которой будет обеспечена необходимая точность измерения величины b .

Ниже приводим цифровые данные, рассчитанные по формулам (4) и (6).

$d, м$	5	10	20	30	40	50	100
$m_0, мм$	$\pm 0,09$	$\pm 0,19$	$\pm 0,38$	$\pm 0,57$	$\pm 0,76$	$\pm 0,95$	$\pm 1,9$
$l, мм$	2	4	8	12	16	20	40
$x_{\max}, мм$	0,26	0,54	1,09	1,6	2,2	2,7	5,4

Из этих данных видно, что при употреблении расстояний от инструмента до контрольной шкалы в диапазоне 5—100 м оптимальная цена деления на контрольной шкале может колебаться в пределах 2—40 мм.

Разумеется, что при устройстве установок на практике для выбора величины цены деления на контрольной шкале нет необходимости строго следовать приведенным выше данным. Величину l надо брать целую (с некоторым запасом точности отсчитывания) и вместе с тем достаточно большую, чтобы два соседних деления не сливались вместе при рассмотрении их в зрительную трубу. При этом можно руководствоваться следующими данными:

$d, м$	5	10	20	30	40	50
$l, мм$	2	2	5	10	10	10

Таким образом, теоретический расчет показывает, что описанный метод позволяет производить поверку и юстировку главного условия нивелира при расстояниях от инструмента до контрольной шкалы пять метров и более. Следует, однако, иметь в виду, что установки с большой базой d более надежны и требуют меньшей тщательности и точности при измерении величин i и b (см. рис. 1). Поэтому в тех случаях, когда позволяют условия, расстояние от инструмента до контрольной

шкалы надо принимать равным не менее 20 м. Оптимальным расстоянием до контрольной шкалы будем считать 50—60 м. При этом высоту инструмента достаточно измерять обычной линейкой с миллиметровыми делениями (без бегунка), а на контрольной шкале иметь деления через один сантиметр.

Следует отметить правомерность измерения высоты инструмента таким образом, как изображено на рис. 1. На первый взгляд может показаться, что здесь возможна ошибка, сопоставимая по величине с расчетной точностью измерения величин i и b , поскольку измерение высоты инструмента производится не до средней нити сетки, а до геометрического центра окуляра, находимого путем деления видимого поля зрения пополам. Однако здесь необходимо иметь в виду, что теоретически центры всех оптических компонентов зрительной трубы (центр объектива, центр фокусирующей линзы, центр окуляра, крест нитей сетки) в отъюстированном приборе должны находиться на одной прямой, совпадающей с главной оптической осью. Возможное отклонение любого из перечисленных компонентов от геометрической оси зрительной трубы обычно не превышает $\pm 0,1$ мм [3].

Принимая величину 0,1 мм за предельную ошибку, можно с вероятностью $\pm 0,95$ утверждать, что измеряя расстояние i до геометрического центра окуляра и принимая его за высоту инструмента отъюстированного прибора, мы допускаем ошибку порядка $\pm 0,07$ мм. Сравнивая эту величину со значениями m_0 (рассчитанными по (4) и (6) стр. 75), видим, что она сопоставима с точностью измерения величин i и b лишь в том случае, когда расстояния от инструмента до рейки составляют менее 10 м.

Некоторым неудобством конструкции линейки для измерения высоты инструмента (см. рис. 1) является необходимость передвигать бегунок рукой.

В более совершенной конструкции приспособления для измерения высоты инструмента, разработанной и изготовленной нами, основной частью приспособления является стандартный микрометр, употребляемый при измерениях в машиностроении. Роль «бегунка» здесь выполняет микрометрический винт, на поверхности которого нанесена черта-индекс. Вращая барабан микрометра, наблюдатель устанавливает риску на такой высоте, при которой черта делит видимое поле зрения пополам. Отсчет по шкале микрометра в этом положении принимают условно за «высоту инструмента». Отсчет по шкале микрометра производится с точностью до 0,01 мм. Однако действительная точность измерения «высоты инструмента» составляет около $\pm 0,05$ мм. Основным источником погрешности, как и при использовании линейки с движком, является деление видимого поля зрения на глаз.

Для поверки и юстировки места нуля вертикального круга теодолита поступают следующим образом. После установления теодолита на подставку 1 (см. рис. 1) совмещают нули верньера и вертикального круга (при этом пузырек уровня при вертикальном круге должен быть на середине). Описанным выше способом измеряют высоту инструмента. Погрешностью, обусловленной тем, что в момент измерения место нуля может быть не равно нулю и, следовательно, зрительная труба может иметь небольшой наклон, можно пренебречь ввиду ее малости. После измерения высоты инструмента наводят зрительную трубу на контрольную шкалу и совмещают среднюю нить сетки с отсчетом, равным высоте инструмента. Если при этом окажется, что нули верньера и вертикального круга не совпадают, то их совмещают с помощью микрометрического винта алидады вертикального круга, а затем, действуя исправительными винтами уровня, возвращают пузырек уровня на середину ампулы.

Таким образом, проверка сводится к совмещению средней нити сетки с отсчетом по контрольной шкале, равным высоте инструмента. При этом отпадает необходимость в отсчетах по вертикальному кругу и в вычислениях.

Поскольку юстировка места нуля не требует большей точности по сравнению с юстировкой главного условия нивелира, совершенно очевидно, что описанный метод обеспечит необходимую точность для всех типов теодолитов.

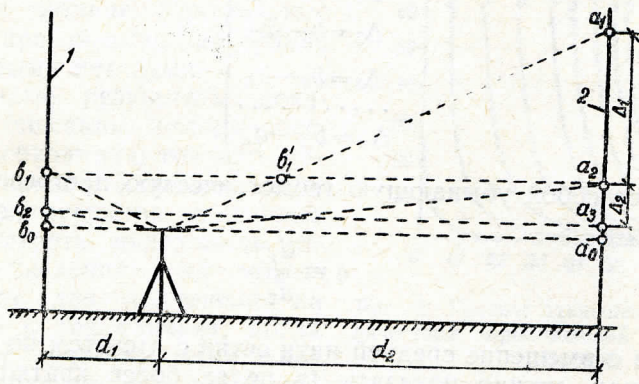


Рис. 2. Схема испытательной установки второго типа.

Второй способ проверки нивелира. Установка состоит из двух линеек 1 и 2, укрепленных вертикально на стенах здания или конструкциях сооружения (рис. 2). Нули обеих линеек должны находиться строго на одной высоте. Это достигается в процессе устройства установки с помощью тщательно выверенного нивелира нивелированием из середины. Если по конструкции обе линейки неподвижны, то разметку делений на них следует делать после того, как они обе будут укреплены на стене. Если одну из линеек сделать подвижной, то установку нулей линеек на одном уровне можно обеспечить перемещением этой линейки вверх и вниз до момента, когда отсчеты по обеим линейкам будут одинаковыми при нивелировании из середины.

Для проверки главного условия испытуемый нивелир устанавливают на расстоянии около трех метров от одной из линеек, приводят его в рабочее положение и производят отсчеты a_1 и b_1 по линейкам 1 и 2 (см. рис. 2). При выполнении главного условия нивелира должно иметь место равенство

$$a_1 = b_1. \quad (7)$$

Если разность $a_1 - b_1$ превышает допустимый предел (величина этой разности зависит от расстояний d_1 и d_2), производят юстировку прибора, перемещая среднюю нить сетки с помощью исправительных винтов сетки в такое положение, при котором отсчеты по обеим линейкам будут одинаковы. Величина нужного отсчета по рейке определяется как

$$a_0 = a_1 + \frac{d_2}{d_2 - d_1} (b_1 - a_1). \quad (8)$$

Необходимости измерять расстояния d_1 и d_2 и производить вычисления по формуле (8) можно избежать, если производить юстировку методом постепенных приближений. Периодически поворачивая зрительную трубу на 180° и наблюдая попеременно линейки 1 и 2, последовательно совмещают (с помощью исправительных винтов сетки) среднюю

нить сетки с отсчетами $a_2, a_3, a_4, \dots, a_n$ по линейке 2, численно равными отсчетам $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$ по линейке 1, до момента, когда отсчеты по обеим линейкам будут одинаковыми в пределах точности отсчитывания по линейкам. При отсчетах необходимо следить за тем, чтобы пузырек цилиндрического уровня все время находился на середине. Количество приближений зависит от соотношения между расстояниями d_1 и d_2 и от степени разъюстировки прибора. Из рис. 3 видно, что ряд величин

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= b_1 - a_1, \\ \Delta_2 &= b_2 - a_2, \\ \Delta_3 &= b_3 - a_3, \\ \dots &\dots \dots \\ \Delta_n &= b_n - a_n \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

представляет собой убывающую геометрическую прогрессию со знаменателем

$$q = \frac{d_1}{d_2}. \quad (10)$$

Считая совмещение средней нити сетки с отсчетом по рейке *первым приближением*, можно показать (в целях более краткого изложения мы не приводим здесь доказательство, основанное на свойствах геометрической прогрессии), что для необходимого количества приближения p справедлива формула

$$p = \frac{\lg \alpha_n - \lg \alpha_1}{\lg q}, \quad (11)$$

где α_1 — угол между осями уровня и визирования до юстировки, характеризующий степень разъюстировки прибора; α_n — угол между осями уровня и визирования, допускаемый инструкцией [2].

Согласно инструкции (см. [2], стр. 92), предельная погрешность в отсчете по рейке, обусловленная непараллельностью осей уровня и визирования в отъюстированном приборе, не должна быть более ± 4 мм, что соответствует углу $\pm 11''$ (при расстоянии от нивелира до рейки 75 м). Величина угла α_1 , даже в совершенно разъюстированном приборе, обычно не превышает величины $\pm 0,2^\circ$. Величину q при устройстве установки следует заключать в пределы $0 < q < 0,2$. Беря для расчета самый неблагоприятный случай, когда $\alpha_1 = 0,2^\circ$; $\alpha_n = 11'' = 0,003^\circ$; $q = 0,2$, по формуле (11) находим

$$p = \frac{\lg 0,003 - \lg 0,2}{\lg 0,2} = \frac{-2,52 + 0,70}{-0,70} = 2,6 \approx 3.$$

Расчет показывает, что в самом неблагоприятном случае потребуется выполнить не более трех приближений. В подавляющем же большинстве случаев на практике приходится делать одно-два приближения, на что надо затратить не более нескольких минут. При увеличении числа q количество приближений резко возрастает. Наглядное представление о зависимости количества приближений от величин α_1 и q можно получить из графика, составленного по формуле (11) (см. рис. 3).

Для анализа описанных методов нами были проделаны опытные поверки и юстировки десяти экземпляров теодолитов и нивелиров. Поверки и юстировки делались на установке первого типа (см. рис. 1) в лабораторных условиях. Расстояние от инструмента до контрольной

шкалы было равно 15 м. Для измерения высоты инструмента использовали линейку с бегунком, передвигаемым от руки (см. рис. 1). Отсчеты по нити бегунка производили с точностью до 0,1 мм с оценкой десятых долей миллиметра на глаз. Деления контрольной шкалы были нанесены через 5 мм. Отсчет по контрольной шкале производили с точностью $\pm 0,1$ мм деления шкалы (десятые доли оценивали на глаз), то есть с точностью $\pm 0,5$ мм. Результаты опытных и контрольных измерений приведены в таблице. Контрольные измерения производили на улице общеизвестными методами.

Полученные результаты показывают, что описанные методы обеспечивают необходимую точность проверок и юстировок. Учитывая определенные преимущества описанных методов (быстрота, надежность, отсутствие вычислений), их можно рекомендовать для применения на производстве в тех случаях, когда геодезические работы длительное время выполняются на одном участке (например, на строительной площадке) или возникает необходимость в массовой выверке инструментов.

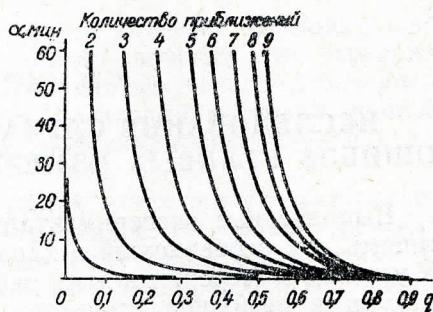


Рис. 3. График зависимости между количеством приближений и величинами α_1 и q .

Результаты опытных и контрольных измерений при использовании десяти разных экземпляров нивелиров и теодолитов

Марка и номер нивелира	Величина x	Марка и номер теодолита	Величина М. О.
	при обычном методе, мм*		при обычном методе, мин **
НВ-1 № 07802	+4	ТТ-50 № 51091	+0,8
НВ-1 № 29087	0	ТТ-50 № 51123	+0,2
НВ-1 № 28691	+3	ТТ-5 № 54864	0,0
НВ-1 № 29028	+3	ТТ-5 № 54620	+0,8
НВ-1 № 28906	-1	ТТ-4 № 22851	+0,2
НГ № 04747	-3	ТТ-4 № 22840	+0,5
НГ № 04595	+5	ТТ-3 ГР № 54044	-0,2
НГ № 08967	0	ТТ-3 ГР № Д51627	-0,5
НГ № 18503	-4	ТМ-1 № 62116	+0,8
НГ № 0560	-2	ТМ-1 № 29921	+1,8

* Для всех нивелиров величина x на установке равнялась нулю.

** На установке для всех теодолитов величина М. О. = 0°.

Являясь достаточно портативными, эти методы в то же время не требуют специального оборудования в противовес, например, коллиматорному методу, применяемому при поверке и юстировке приборов на заводах-изготовителях геодезических инструментов (см. [1], стр. 166).

ЛИТЕРАТУРА

- Гришин Б. С. Юстировка геодезических приборов. Геодезиздат, М., 1962.
- Инструкция по нивелированию I—IV класса. Геодезиздат, М., 1959.
- Монченко И. М. Влияние фокусировки зрительных труб на положение их визирных осей. «Геодезия и картография», 1959, № 1.
- Чеботарев А. С. Геодезия, часть I, Геодезиздат, М., 1948.

Работа поступила
11 марта 1970 г.