

Н. А. ЛОШКАРЕВ

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДИКИ НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НИВЕЛИРОВ

Для сравнения точности установки визирной оси нивелиров в горизонтальное положение, определения цены деления уровня, разрешающей способности зрительной трубы и пр. нами была разработана методика исследования нивелиров с применением подвижной визирной марки с дистанционным управлением.

Это устройство состоит из двух блоков: командного, находящегося на пункте наблюдения, и исполнительного — на пункте наведения. Передача команд может осуществляться по радио и проводам. В первом случае командный блок представляет собой передатчик, работающий в ультракоротковолновом диапазоне 28,0—29,7 мГц. Несущая частота передатчика модулируется по амплитуде низкочастотными колебаниями, которые являются командными сигналами. На исполнительный блок может подаваться три сигнала: сигнал для изменения ширины биссектора на визирной марке и два сигнала для перемещения визирной цели в прямом и обратном направлении.

Исполнительный блок включает в себя приемник-усилитель сигналов, подвижную визирную цель, перемещаемую электромоторами, и отсчетное устройство для отсчитывания перемещений визирной цели. Скорость перемещения визирной цели регулируется изменением напряжения, питающего электромоторы.

На рис. 1 показана подвижная визирная марка с передачей командных сигналов по проводам и с биссекторами постоянной ширины. Для подачи командного сигнала служит двухполюсный тумблер, двумя положениями кнопки которого соответствуют перемещения визирной цели туда и обратно, — вверх и вниз при вертикальных перемещениях. Подвижная планка с биссекторами, жестко связанная со штоком индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм, перемещается вверх или вниз подающим винтом с шагом резьбы 0,3 мм. Подающий винт через редуктор приводится в движение от двух электромоторов ДП-4.

При работе с подвижной визирной маркой каждому положению визирной оси инструмента соответствует определенный отсчет положения подвижной планки с визирной целью, когда ось визирной цели приведена на линию визирования.

Используя такую подвижную визирную марку, автор исследовал точность установки визирной оси в горизонтальное положение нивелиров Ni-B3, HA-1, HB-1, HCM2A, Ni II, а (К. Цейсс, 1928 г.) и НГ-1, цену деления барабана плоско-параллельной пластинки и мертвый ход этого барабана (HA-1), цену деления уровня нивелира HA-1. Поскольку у НГ-1 нет элевационного винта, уровень его приводился на середину (как зачастую и делают геодезисты-практики) одним из подъемных

винтов. Исследования выполнялись при искусственном освещении и расстоянии до цели 13 м. В качестве визирной цели использовались два горизонтально расположенных биссектора шириной 25 и 12 сек и длиной около минуты. Отсчеты по индикатору часового типа производились через зрительную трубу теодолита ТТ-50.

При каждой установке визирной оси производилось по четыре совмещения горизонтальной нити нивелира с осью биссектора, два совмещения движением биссектора, сверху вниз и два снизу вверх, наведения снизу и сверху чередовались. Для нивелиров с уровнем визирная ось устанавливалась опусканием и подниманием трубы попеременно. Для нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования — после отвода зрительной трубы вправо и влево.

Таким образом, в серии наблюдений из k -установок визирной оси нивелира имелось $N = k \cdot n$ наведений, где n — число наведений при одной установке, равное четырем

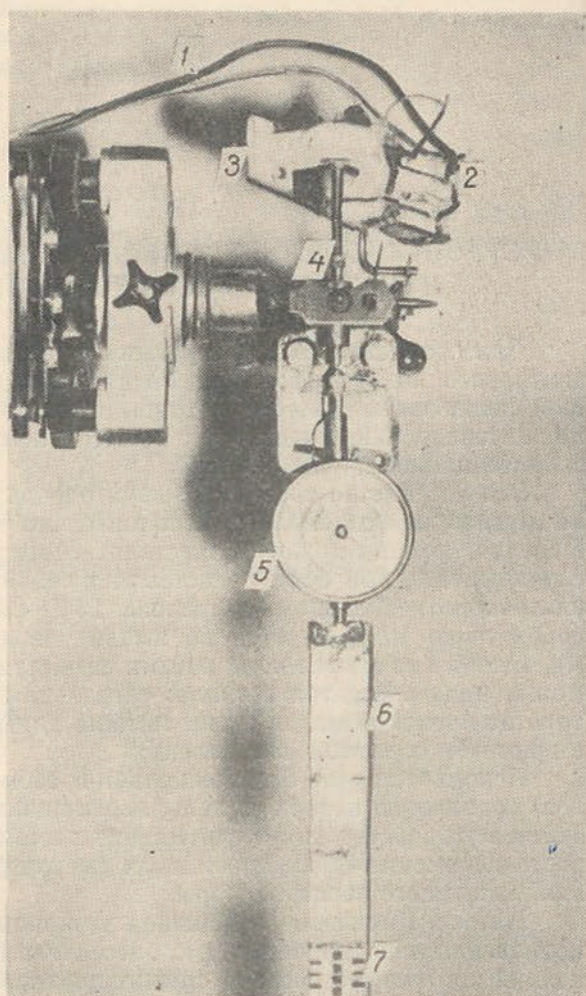


Рис. 1. Автоматическая подвижная марка:

1 — линия связи и питания; 2 — электромоторы; 3 — редуктор; 4 — подающий винт; 5 — отсчетное устройство; 6 — подвижная планка; 7 — биссекторы.

При достаточной точности наведения с помощью дисперсионного анализа легко обнаружить наличие систематических разностей в средних значениях из четырех наведений, обусловленных ошибками установки визирной оси. Для этого достаточно вычислить отношение

$$F = \frac{s_a^2}{s_r^2} \dots \quad (1)$$

$$s_a^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{i=k} n (\bar{x}_i - \bar{x})^2; \quad \bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} x_i;$$

$$s_r^2 = \frac{1}{N-k} \sum_{i=1}^{i=k} \sum_{v=1}^{v=n} (x_{iv} - \bar{x}_i); \quad \bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{i=k} \bar{x}_i.$$

Что касается ошибки наведения, то, как показали исследования, с помощью подвижной визирной марки средняя квадратическая случайная

ошибка установки нити на ось биссектора не превышает 0,4" у опытного наблюдателя при хорошей контрастности и малом расстоянии до цели. Поскольку наблюдения производятся в стационарных условиях, изменением систематической ошибки наведения в нашем случае можно пренебречь.

Случайная ошибка одного наведения характеризуется средним квадратическим отклонением, вычисленным по формуле

$$s_{\text{виз}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=k} \sum_{v=1}^{v=n} (x_{iv} - \bar{x}_i)^2}{N - k}} \dots \quad (2)$$

В табл. 1 приведены значения случайных ошибок наведения, оцениваемые средними квадратическими отклонениями, вычисленными по формуле (2).

Таблица 1

Средние квадратические ошибки наведения
для исследуемых нивелиров

Нивелир	Характеристика изображений	Среднее квадратическое отклонение, $s_{\text{виз}}$	Число наведений, N
Ni-B3	удовлетворительное	0,49"	80
HA-1	хорошее	0,34"	92
HB-1	отличное	0,33"	60
HГ-1	хорошее	0,38"	48
HCM2A	удовлетворительное	0,44"	80
Ni II, а	хорошее	0,30"	80

Здесь следует отметить, что для нивелиров Ni-B3, HГ-1 и HCM2A, имеющих низкую разрешающую способность объектива и толстые нити, биссектор в 12" был слишком узок, и использование более широкого биссектора повысило бы точность наведения. В этом отношении резко выделяется нивелир Ni II, а (К. Цейсс, 1928 г.), нити которого очень тонки, а изображение цели очень четкое по краям контура. О высокой точности наведения говорит и то обстоятельство, что автор не ставил условий для отбрасывания «выскакивающих» наведений — все наведения считались годными.

В табл. 2 содержатся данные, полученные при исследовании нивелира Ni II, а. Отсчеты приведены в сотых долях миллиметра. Переход от линейных величин к угловым сделан через коэффициент K'' одного деления индикатора

$$K'' = \frac{0.01 \cdot \rho''}{L},$$

где L — расстояние до марки в миллиметрах.

Если критерий F относится к критической области с принятым уровнем значимости, вычисляем среднюю квадратическую ошибку установки визирной оси нивелира по формуле

$$s_y' = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=k} (\bar{x}_i - \bar{x})^2}{k - 1} - \frac{s_r^2}{n}} \quad (3)$$

Эта формула приемлема при условии, что систематического изменения положения визирной оси во времени не происходит. Если же таковое

Из журнала записи исследования нивелира Ni II, а

Уста- новка	Отсчеты цели, x_i^y	$\bar{x}_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2$	Уста- новка	Отсчеты цели, x_i^y	$\bar{x}_i$	$(\bar{x}_i - \bar{x})$	$(\bar{x}_i - \bar{x})^2$
1	404 06 01 01	403	+1	1	12	414 13 16 16	415	+13	169
2	391 90 92 88	390	-12	144	13	409 08 08 06	408	+6	36
3	391 90 92 89	390	-12	144	14	406 02 06 03	404	+2	4
4	400 395 94 90	395	-7	49	15	404 00 02 00	402	0	0
5	398 400 397 97	398	-4	16	16	396 96 98 96	396	-6	36
6	400 02 00 01	401	-1	1	17	398 98 94 94	396	-6	36
7	402 02 02 00	402	0	0	18	409 04 07 03	406	+4	16
8	402 05 03 05	404	+2	4	19	405 05 04 01	404	+2	4
9	405 06 05 08	406	+4	16	20	403 04 06 07	405	+3	9
10	406 07 08 07	407	+5	25	21	402 08 05 03	404	+2	4
11	403 03 01 00	402	0	0	22	410 08 11 08	409	+7	49
Сумма				400					363

обнаруживается, то, принимая это изменение равномерным, вычисляем смещение визирной оси от установки к установке:

$$d_{i-1} = \bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}; \quad \bar{d} = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k-1} d_i,$$

$$s_y^* = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{k-1} (d_i - \bar{d})^2}{2(k-1)}} - \frac{s_r^2}{n}. \quad (4)$$

На рис. 2 показаны графики изменения во времени средних значений из четырех наведений. Смещение центра распределения здесь можно объяснить лишь тепловым воздействием наблюдателя на крон-

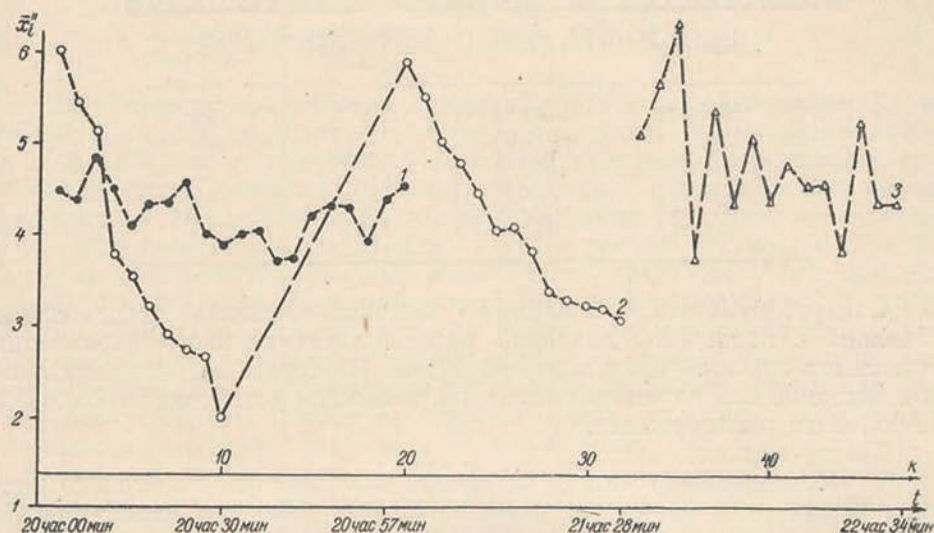


Рис. 2. Графики изменения положения визирной оси нивелира НА-1 во времени:

1 — наведения с Ni-133; 2 — наведения с НА-1; 3 — наведения с НВ-3.

штейн, на котором установлен инструмент, и на трубу нивелира. Последнее подтверждается графиком при наблюдениях с НА-1; когда после десятой установки был сделан перерыв 27 мин, визирная ось возвратилась в начальное положение, а при продолжении измерений вновь начала смещаться, как и в начале наблюдений.

В табл. 3 приведены значения отношений и средние квадратические ошибки установки визирной оси для исследуемых инструментов. У нивелиров Ni-B3 и НСМ2А колебания компенсаторов в реальных условиях измерений не затухают, чем и объясняется меньшая точность наведения при работе с указанными инструментами.

Данные этого исследования обнаруживают наличие систематической ошибки при совмещении изображений концов контактного уровня, поскольку приведение пузырька уровня на середину выполнялось попеременно перемещением пузырька то от одного, то от другого конца ампулы.

Эта величина, найденная как полуразность четных и нечетных установок визирной оси для разных нивелиров, приведена ниже:

НА-1 — 0,02"
НВ-1 — 0,41"
НГ-1 — 0,95"
Ni II, а — 0,22".

Величина ошибки зависит и от чувствительности уровня, и от качества изображения концов пузырька. Так, система призм в нивелире Ni II, а дает отличное изображение, а нивелир НГ-1 — значительно хуже.

В полевых условиях ошибка может оказаться и большей, так как она, вероятно, зависит и от скорости, и от тщательности совмещения концов пузырька уровня. Так как в нивелирах с элевационным винтом совмещение производится при отсчетах «назад» и «вперед» из разных положений пузырька в ампуле уровня, то в превышение может входить систематическая ошибка, обусловленная «инерцией» уровня.

Таблица 3

**Значения критерия и точности установки
визирной оси для исследуемых нивелиров**

Нивелир	F	Ошибки установки визирной оси	Число установок, k
Ni-B3	1,838	0,20"	20
HA-1	1,268	0,13"	23
HB-1	19,136	0,70"	15
НГ-1	195,200	2,70"	12
HCM2A	3,750	0,30"	20
Ni II, a	36,800	0,90"	22

Следует отметить, что наряду с высокой точностью исследование нивелира с подвижной визирной маркой дистанционного управления отличается хорошей производительностью. На серию из десяти установок визирной оси по четыре наведения в каждой установке необходимо не более получаса времени.

Таким образом:

1. Исследование точности установки визирной оси с помощью подвижной визирной марки с дистанционным управлением целесообразно в отношении как точности способа, так и затрат времени по сравнению с другими способами.

2. Точность установки визирной оси нивелира HB-1 достаточна для использования его в специальных работах повышенной точности с коротким лучом визирования, однако следует обратить внимание на возможные систематические ошибки в превышениях, возникающих при приведении уровня на середину подниманием и опусканием трубы.

3. Использование подвижной визирной марки может обеспечить весьма высокую точность определения превышений между точками в специальных наблюдениях с нивелирами без плоско-параллельной пластины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). Гостехиздат, М., 1955.
2. Чеботарев А. С. Оценка точности результатов нивелирования. Тр. ЦНИИГАиК, вып. 85, М., 1960.

Работа поступила
24 марта 1969 года.