

В. Д. ЧЕМРАТ

РАЗРАБОТКА СПОСОБА КОНТРОЛЬНО-МОНТАЖНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОЦЕНКА ЕГО ТОЧНОСТИ

Для контроля монтажа строительных конструкций по отклонению от вертикали, створа и горизонтальной плоскости разработан прибор с самоустанавливающейся во всех плоскостях линией визирования. Прототипом его является прибор СПГ-1 [2]. Основные отличия нового прибора от существующего заключаются в следующем: визирная ось устанавливается автоматически в вертикальную или горизонтальную плоскости при двух положениях зрительной трубы; зрительная труба нивелира или теодолита заменяется оптическим отвесом или лазерным визиром при измерениях в затемненных помещениях; прибором определяется крен, створность и горизонтальность контролируемого ряда строительных конструкций.

Рассмотрим схему и принцип действия прибора, оборудованного двусторонним оптическим отвесом. Устройство оптического отвеса подробно изложено в литературе [3, 4, 7]. Его визирный луч переключается в надир или зенит. Снабжен двумя взаимно перпендикулярными уровнями с ценой деления $\tau=20''$. Пределы фокусирования ± 5 диоптр. при расстоянии от цели более 0,5 м. Увеличение оптической системы 2,5—8х. Оптический отвес 16 крепится к прибору фиксатором 14 втулки круга 15 (радиус 25, толщина 5 мм). Круг соединен жестко со скользящей оболочкой 9, имеющей форму куба со стороной 70 мм (см. рисунок). Для уравнивания куба предназначена балансирующая рама 8. Куб состоит из двух разъемных оболочек 11, охватывающих шар 7 (радиус 25 мм) с выступающим хвостовиком 6. Шар свободно скользит в оболочке куба. С помощью груза 1 куб можно повернуть на 180° или установить так, что круг с прикрепленным к нему оптическим центриром займет горизонтальное или вертикаль-

ное положение. При этом линия визирования 17 расположится соответственно в горизонтальной или вертикальной плоскостях. Прибор крепится к строительной конструкции 20 специальным устройством 4, имеющим две пластины (стационарная 3 и подвижная 2) и винт с направляющим штырем 19. Приспособление соединено с хвостовиком винтом 5. Хвостовик можно переместить в горизонтальной плоскости от 0 до 270° или удалить от строительной конструкции на расстояние до 600 мм.

Перед работой требования к прибору следующие:

При боковом и геометрическом нивелировании линия визирования должна автоматически занимать горизонтальное положение.

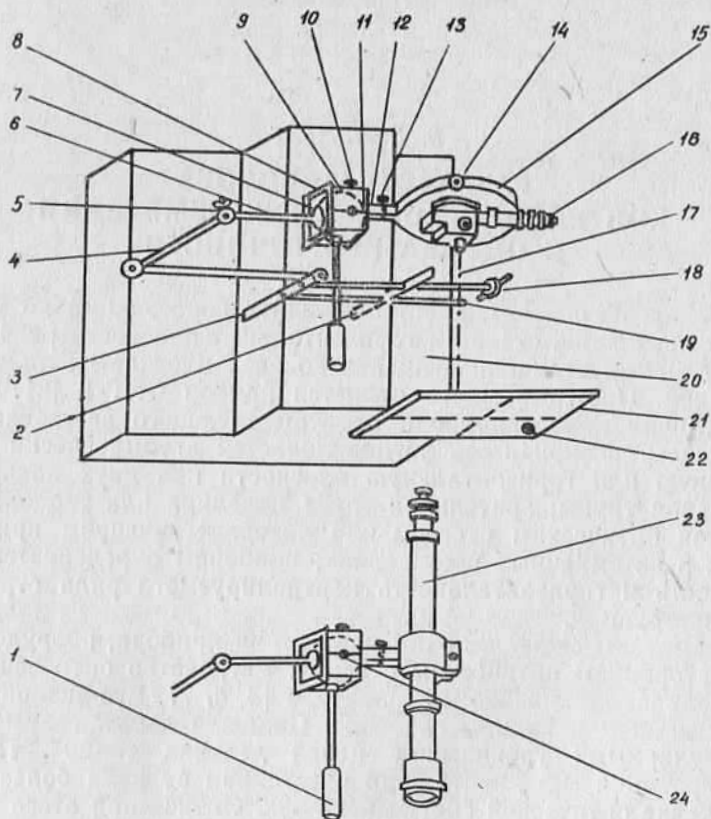


Схема устройства прибора с самоустанавливающейся линией визирования:

1 — груз; 2 — пластина подвижная; 3 — пластина стационарная; 4 — крепежное устройство; 5 — зажимной винт хвостовика; 6 — хвостовик; 7 — шар; 8 — балансирующая рама; 9 — скользящая оболочка; 10 — стопорный винт шара; 11 — шуруп; 12 — направляющий штырь куба; 13 — соединяющий винт; 14 — фиксатор втулки оптического отвеса; 15 — винт; 16 — оптический отвес; 17 — линия визирования; 18 — винт крепежного устройства; 19 — направляющий штырь крепежного устройства; 20 — тавровая колонна; 21 — палетка; 22 — установочный уровень; 23 — зрительная труба нивелира; 24 — отверстие с резьбой.

ние. Для проверки устанавливают зрительную трубу по направлению стены инженерного сооружения, на которую проецируют и фиксируют точкой положение визирной оси. Затем поворачивают зрительную трубу на 180° , переключают визирный луч по направлению стены и намечают его положение вторично. Если намеченные на стене точки совместились, то условие выполнено. В противном случае сетку нитей перемещают на половину расстояния между двумя намеченными точками.

При определении вертикальности строительных конструкций линия визирования должна автоматически занимать вертикальное положение. Эта проверка отличается тем, что зрительную трубу устанавливают вертикально. Линию визирования проецируют и фиксируют на палетке, расположенной в надире. Дальнейшие операции и юстировка идентичны описанному выше методу.

При определении крена прибор крепим к выверяемой конструкции. После автоматической установки его в рабочее положение шар закрепляем стопорным винтом 10. Палетка 21 (300×300 мм) с установочным уровнем 22 прикладывается ребром перпендикулярно к нижней, а затем к верхней частям выверяемой строительной конструкции. Отсчет берем с точностью 0,25 мм по осям абсцисс и ординат (X, Y). Значение крена вычисляем по формулам

$$K = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}; \quad \Delta X = X_1 - X_2; \quad \Delta Y = Y_1 - Y_2, \quad (1)$$

где $\Delta X, \Delta Y$ — отклонения выверяемой строительной конструкции по осям соответственно X и Y ; X_1, Y_1 — отсчеты по палетке, прикладываемой к нижней и X_2, Y_2 — верхней части конструкции.

Контрольно-монтажные измерения по поперечному сдвигу ряда конструкций проводим по способу бокового нивелирования. Груз подвешиваем методом ввинчивания к соответствующей грани куба, имеющей боковые отверстия 24 с резьбой. Автоматически установившаяся в горизонтальную плоскость линия визирования фиксируется стопорным винтом 10 шара. Нивелирование выполняем способом вперед или из середины. Так как линия визирования проходит на коротком расстоянии от испытываемого ряда элементов строительных конструкций, то влияние боковой рефракции на измерение будет ничтожно малое.

При контроле створности конструкций можно применять не только палетку, но и обычную или Z-образную рейку [8].

Для контрольно-монтажных измерений строительных конструкций по высоте, закрытых непрозрачными преградами, используется Ч-образная рейка. Методика выверки описана в [9].

Контроль монтажа строительных конструкций прибором, оборудованным зрительной трубой нивелира или лазерным визиром, осуществляется аналогично вышеизложенной методике с двусторонним оптическим отвесом.

Рассмотрим оценку ожидаемой точности способа определения крена конструкции с применением палетки и прибора, оборудо-

ванного оптическим центриром. Точность способа характеризуется формулой

$$M^K = \sqrt{m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2}, \quad (2)$$

где M^K , $m_{\Delta X}$, $m_{\Delta Y}$ — средние квадратические ошибки соответственно способа, измерения уклонения выверяемой конструкции по осям абсцисс и ординат.

Так как измерения выполняются одним прибором и палеткой при равных условиях по направлению осей абсцисс и ординат, то примем

$$m_{\Delta X} = m_{\Delta Y} = m_{\Delta}, \quad M^K = m_{\Delta} \sqrt{2} = m \sqrt{4} = 2m, \quad m = \frac{1}{2} M^K = \frac{1}{2} M,$$

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_3^2 + M_4^2 + M_5^2 + M_6^2}, \quad (3)$$

где M , m , M_1 , M_2 , M_3 , M_4 , M_5 , M_6 — средние квадратические ошибки соответственно определения крена, взгляда, изготовления прибора, приведения прибора в рабочее положение, собственно измерения, влияния личного фактора и внешних условий, волнистости граней элементов конструкций.

Исходя из принципа равного влияния систематических (M_1 , M_2 , M_5) и случайных (M_3 , M_4 , M_6) ошибок, совместное их влияние не должно превышать следующие допуски:

$$M \leq \sqrt{M_{\text{ст}}^2 + M_{\text{сл}}^2} = M_0 \sqrt{2}, \quad M_0 \leq \frac{1}{\sqrt{2}} M = 0,71 M,$$

$$M_{\text{ст}} \leq \lambda N_{\text{ст}} n = 3\lambda n, \quad M_{\text{сл}} \leq \mu \sqrt{N_{\text{сл}} n} = \mu \sqrt{3n},$$

$$\lambda \leq \frac{1}{4,24n} M, \quad \mu \leq \frac{1}{2,45 \sqrt{n}} M, \quad (4)$$

где λ , μ — коэффициенты влияния соответственно систематических и случайных ошибок; n — количество измерений; $N_{\text{ст}}$, $N_{\text{сл}}$ — количество систематических и случайных ошибок.

Так как измерения выполняют всегда с контролем, то $n=2$,

$$M_{\text{ст}} = \sqrt{M_1^2 + M_2^2 + M_5^2} = 0,71 M, \quad (5)$$

$$M_{\text{сл}} = \sqrt{M_3^2 + M_4^2 + M_6^2} = 0,71 M. \quad (6)$$

Ошибка изготовления прибора значительно превосходит ошибку приведения его в рабочее положение и влияния внешних условий, а ошибка собственно измерения превышает ошибку влияния личного фактора [8]. Практически можно считать:

$$M_2 = 3M_5, \quad M_1 = 3M_4 = 9M_5, \quad M_3 = 3M_4, \quad M_6 = 4M_4. \quad (7)$$

Тогда систематические и случайные ошибки соответствуют

$$M_{\text{ст}} = 9,54 M_5; \quad (8)$$

$$M_{\text{сл}} = 5,10 M_4. \quad (9)$$

Следовательно,

$$M_4 = \frac{0,71}{5,10} M; \quad (10)$$

$$M_5 = \frac{0,71}{9,54} M. \quad (11)$$

Учитывая, что геодезический контроль монтажа строительных конструкций не должен превышать 33% строительного допуска [8], составляющие компонента средней квадратической ошибки предлагаемого способа можно записать так:

$$M = 0,33 \Delta, \quad M_1 = 0,67 M, \quad M_2 = 0,22 M, \quad M_3 = 0,42 M, \\ M_4 = 0,14 M, \quad M_5 = 0,07 M, \quad M_6 = 0,56 M, \quad (12)$$

где Δ — строительный допуск.

Испытаем эти ошибки.

Средняя квадратическая ошибка изготовления прибора определяется формулами

$$M_1^K = \sqrt{m_0^2 + m_{\text{дел}}^2 + m_{\text{ур}}^2}; \quad (13)$$

$$m_{\text{ур}} = \sqrt{m_l^2 (\sec \beta - 1)^2 + l^2 \operatorname{tg}^2 \beta \sec^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}; \quad (14)$$

$$m_l = m_{\text{ур}} = \frac{M_1^K}{\sqrt{3}} \leq \frac{M_1}{\sqrt{3}}, \quad (15)$$

где m_0 , $m_{\text{дел}}$, $m_{\text{ур}}$, m_l , m_β — средние квадратические ошибки соответственно приведения сетки нитей от руки, нанесения делений на палетку, неперпендикулярности установочного уровня к плоскости палетки, измерения длины l стороны палетки, определения угла β перпендикулярности.

При $m_0 = 0,06$ мм [5], $m_{\text{дел}} = 0,2$ мм, $m_l = 0,64$ мм, $M_1 = 1,11$ мм, $\beta = 90^\circ$, $m_\beta = 8'$ [6], $m_{\text{ур}} = 0,64$ мм, $M_1^K = 0,64$ мм и характеризуется формулой

$$M_1^K = \sqrt{m_l^2 (\sec \beta - 1)^2 + l^2 \operatorname{tg}^2 \beta \sec^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + 0,04 \text{ мм}^2}. \quad (16)$$

Средняя квадратическая ошибка приведения прибора в рабочее положение описывается формулами

$$M_2^K = \sqrt{m_{\text{фп}}^2 + m_{\text{во}}^2 + m_{\text{нп}}^2 + m_{\text{фо}}^2}; \quad (17)$$

$$m_{\text{фп}} = m_{\text{фо}} = \frac{M_2^K}{\sqrt{4}} \leq \frac{M_2}{\sqrt{4}}, \quad (18)$$

где $m_{\text{фп}}$, $m_{\text{во}}$, $m_{\text{нп}}$, $m_{\text{фо}}$ — средние квадратические ошибки, вызванные соответственно неточной фиксацией прибора, приведением линии визирования в вертикальную плоскость (обусловленного тре-

нием шарнира), неперпендикулярностью плоскости палетки к линии визирования, фиксацией линии визирования.

При $m_{\text{нп}}=m_{\text{во}}=m_{\text{уп}}=0,64$ мм, $M_2=0,36$ мм, $m_{\text{фп}}=m_{\text{фо}}=0,18$ мм $M_2^K=0,94$ мм и имеет вид

$$M_2^K = \sqrt{2m_i^2 (\sec \beta - 1)^2 + 2l^2 \operatorname{tg}^2 \beta \sec^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + 1,39 \text{ мм}^2}. \quad (19)$$

Средняя квадратическая ошибка собственно измерения характеризуется формулами

$$M_3^K = \sqrt{m_\phi^2 + m_{\text{от}}^2}; \quad (20)$$

$$m_\phi = \frac{3''}{\rho''} (S - S_1); \quad (21)$$

$$m_{\text{от}} = \frac{2R \sqrt{\xi} \sqrt{(S - S_1)}}{\sqrt{v}}, \quad (22)$$

где m_ϕ , $m_{\text{от}}$ — средние квадратические ошибки соответственно изменения фокусирования за счет разности плеч визирования [1], собственно отсчета; S , S_1 — максимальное и минимальное расстояния от прибора до визирной цели; R — коэффициент, значение которого при определении положения нити в интервале деления шкалы на глаз 0,08; ξ — деление палетки.

При $S=3,0$ м, $S_1=1,5$ м, $\xi=1,0$ мм, $R=0,08$, $V=2,5 \times M_3^K = 0,12$ мм и определяется формулой

$$M_3^K = \sqrt{(S - S_1) \left[\frac{4R^2 \xi}{V} + \frac{9''}{(\rho'')^2} (S - S_1) \right]}. \quad (23)$$

Средние квадратические ошибки влияния личного фактора, внешних условий и волнистости граней строительных конструкций соответствуют значениям: $M_5^K=M_5=0,12$ мм, $M_4^K=M_4=0,23$ мм, $M_6^K=M_6=0,92$ мм.

После подстановки соответствующих значений компонентов в формулу (3), ошибка измерения крена составила $M=1,5$ мм и характеризуется формулой

$$M = \left[3m_i^2 (\sec \beta - 1)^2 + 3l \operatorname{tg}^2 \beta \sec^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + (S - S_1)^2 \frac{9''}{(\rho'')^2} + \frac{4R^2 \xi (S - S_1)}{V} + 2,34 \text{ мм}^2 \right]^{1/2}. \quad (24)$$

Ошибка контроля монтажа конструкций по одной оси ($m^K=1,06$ мм) и взгляда ($m_{\text{в}}=0,75$ мм) вычислены по формулам

$$M^K = \sqrt{m_{\Delta X}^2 + m_{\Delta Y}^2} = m \sqrt{2}; \quad (25)$$

$$m^K = \sqrt{m_{X_1}^2 + m_{X_2}^2} = \sqrt{m_{Y_1}^2 + m_{Y_2}^2} = 0,71 M^K = m_{\text{в}} \sqrt{2}; \quad (26)$$

$$m_{\text{в}} = \frac{m^K}{\sqrt{2}} = \frac{0,71}{\sqrt{2}} M^K = 0,5 M^K. \quad (27)$$

Для подтверждения теоретической оценки способа выполнено экспериментальное исследование опытного образца прибора. По специально разработанной программе каждым из пяти экспериментаторов измерен по 15 раз крен тавровой колонны 24-этажного строящегося жилого здания. Для определения влияния личного фактора на качество измерения применен дисперсионный анализ. Критерием значимости принято распределение Фишера, критическая область которого $F > F_{\alpha}$, где $F = \sigma_1 : \sigma_2$, а F_{α} выбрано из статистических таблиц по уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $f_1 = f_2 = q - 1$. Дисперсия вычислена по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{q-1} \left[\Sigma K^2 - \frac{(\Sigma K)^2}{v} \right]}, \quad (28)$$

где K — крен; q — количество измерений крена.

Дисперсии по каждому экспериментатору составили: 1,11; 1,24; 1,81; 1,85; 2,11, где $F = 2,11 : 1,11 = 1,9 < F_{\alpha} = 2,49$. Отсюда вытекает, что влияние личного фактора на исследуемый незначимо.

Практическая средняя квадратическая ошибка способа, найденная экспериментальным путем ($M_0 = 1,3$ мм), имеет вид

$$M_0 = \frac{\sqrt{[\sigma]}}{\sqrt{N_0}}. \quad (29)$$

С учетом теоретической (24) и практической (29) точности, усредненное значение средней квадратической ошибки данного способа ($M_K = 1,4$ мм) вычислено по формуле

$$M_K = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(M^K)^2 + M_0^2}. \quad (30)$$

По рассмотренной методике испытан прибор, оборудованный зрительной трубой нивелира и лазерным визиром ЛВ-5М.

В результате теоретического и экспериментального исследования установлено, что точность разработанного способа выверки элементов ($H = 3,0$ м) ряда ($S = 50,0$ м) строительных конструкций, основанного на предложенном приборе и оборудованном оптическим отвесом с применением обычной и Ч-образной реек 2,5 мм (по высоте), Z-образной рейки 2,7 мм (по поперечному сдвигу), палетки 1,4 и 1,1 мм (по вертикали соответственно в двух взаимно перпендикулярных направлениях и по одной оси абсцисс или ординат); зрительной трубой нивелира с установкой на испытуемой точке обычной и Ч-образной реек 1,5 мм (по высоте), Z-образной рейки 1,8 мм (по поперечному сдвигу), палетки 1,6 и 1,2 мм (по вертикали соответственно крена и по одной оси X или Y); лазерным визиром ЛВ-5М с визуальным отсчетом по Ч- и Z-образной рейкам; по высоте 1,2 мм, по поперечному сдвигу 1,5 мм, по вертикали 1,5 и 1,1 мм (соответственно в двух взаимно перпендикулярных направлениях и по одной оси абсцисс или ординат).

Точность предложенного способа соответствует требованиям производства и СНиП. Его эффективность заключается в сниже-

нии себестоимости геодезических измерений, обусловленном исключением из работы дорогостоящих комплектов теодолита и нивелира, уменьшением количества переносимых геоприборов, сокращением затраты полезного времени, выверкой закрытых непрозрачными преградами строительных конструкций, контролем монтажа в затемненных помещениях, обеспечением безопасности работы исполнителей.

1. *Видуев Н. Г., Баран П. И., Войтенко С. П.* и др. Геодезические разбивочные работы. М., 1973. 2. *Видуев Н. Г., Гржибовский В. П., Подрезан В. В.* Геодезические работы при крупнопанельном строительстве. К., 1963. 3. ГОСТ 10529—70. Теодолиты. Типы, основные параметры и технические требования. Введ. 01.01.73. 4. *Даниленко Т. С.* Организация и производство геодезических работ при крупном строительстве. М., 1975. 5. *Пискунов М. Е.* О разработке методики наблюдений за осадками сооружений геодезическими методами // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 1974. Вып. 1. С. 83—84. 6. Справочник по инженерной геодезии / Под ред. Н. Г. Видуева. К., 1978. 7. *Сундаков Я. А.* Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М., 1972. 8. *Чемрат В. Д.* Исследование точности выверки строительных конструкций методом горизонтального луча // Инженерная геодезия. 1981. Вып. 24. С. 33—36. 9. *Чемрат В. Д.* Исследование точности метода геодезического контроля монтажа конструкций по высоте, закрытых непрозрачными преградами / Инженерная геодезия. 1982. Вып. 25. С. 9—11.