

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ОРИЕНТИРОВАНИЕ ВИЗИРНОЙ ОСИ ТЕОДОЛИТА ПАРАЛЛЕЛЬНО ОБРАЗУЮЩЕЙ КОНТРОЛИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

Цель работы: знакомство со способами ориентирования визирной оси теодолита относительно образующих контролируемого объекта и определение ошибки ориентирования.

#### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- теодолит 5"-ой точности (ЗТ5КП или аналогичный);
- штатив;
- нивелирные рейки – 2 шт.;
- рулетка.

#### ХОД РАБОТЫ

##### 1) Способ приближений

Устанавливают теодолит на небольшом расстоянии от стены, приводят в рабочее положение и направляют зрительную трубу примерно параллельно контролируемому строительному элементу (стене) на глаз. Нивелирные рейки укладывают горизонтально, перпендикулярно стене. Берут отчеты по рейкам:  $a_1$  по ближней и  $b_1$  по дальней (рис.1). Устанавливают на дальнюю рейку отчет  $b_2$ , равный отсчету по ближней ( $a_1$ ), и берут отчет по ближней рейке  $a_2$ , и опять устанавливают на дальнюю рейку отчет, равный отсчету по ближней. Действия выполняют до тех пор пока отчеты по обеим рейкам не будут одинаковыми:  $a_0 = b_0$ , в пределах точности отсчета. Визирная линия будет параллельна направлению контролируемого объекта.

При прочих равных условиях количество приближений будет меньше при условии  $l_1 < l_2$ . Точность ориентирования будет тем выше, чем больше расстояние между рейками –  $l_2$ .

Все отсчеты заносят в табл. 1.

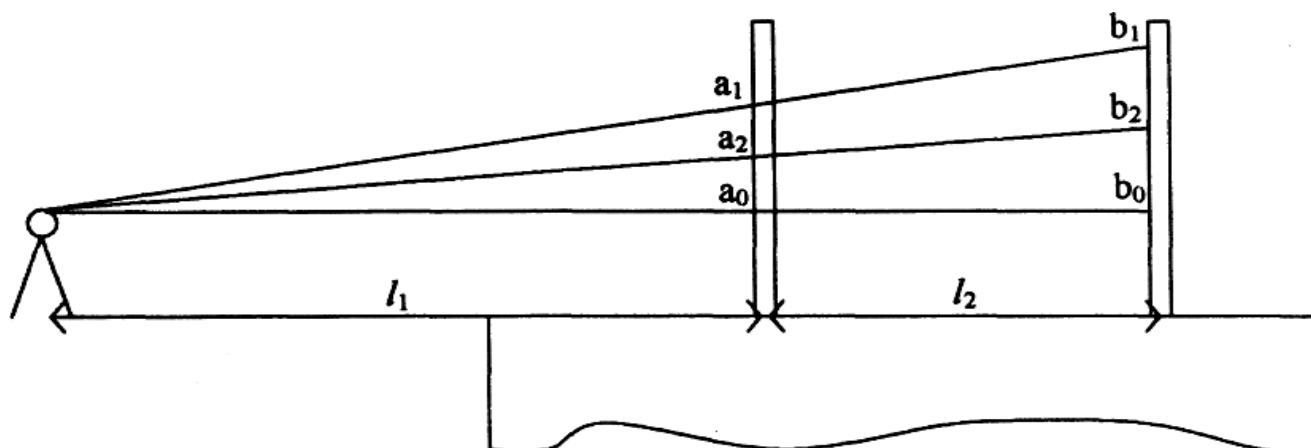


Рис. 1. Схема ориентирования визирной оси теодолита способом приближений

Таблица 1

№ приближения	$a$	$b$
1		
2		
...		
n		

## 2) Способ ориентирования путем разворота на заданный угол

Устанавливают теодолит и укладывают рейки как в способе приближений. Берут отсчеты по ближней и дальней рейкам  $a_1$  и  $b_1$  и отсчет  $A_1$  по горизонтальному кругу теодолита. Измеряют расстояние между рейками  $l$  (рис. 2). Вычисляют угол  $\alpha$ , на который необходимо повернуть алидадную часть прибора, чтобы его визирная ось стала параллельна стене, по формуле:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{b_1 - a_1}{l}\right). \quad (1)$$

Вычисляют отсчет, который необходимо установить на горизонтальном круге теодолита, чтобы визирная ось стала параллельной контролируемой образующей:

$$A_2 = A_1 \pm \alpha. \quad (2)$$

Устанавливают на лимбе вычисленный отсчет  $A_2$  и проверяют

правильность ориентирования прибора. Для этого берут отсчеты по рейкам, они должны быть равны между собой :  $a_0 = b_0$ .

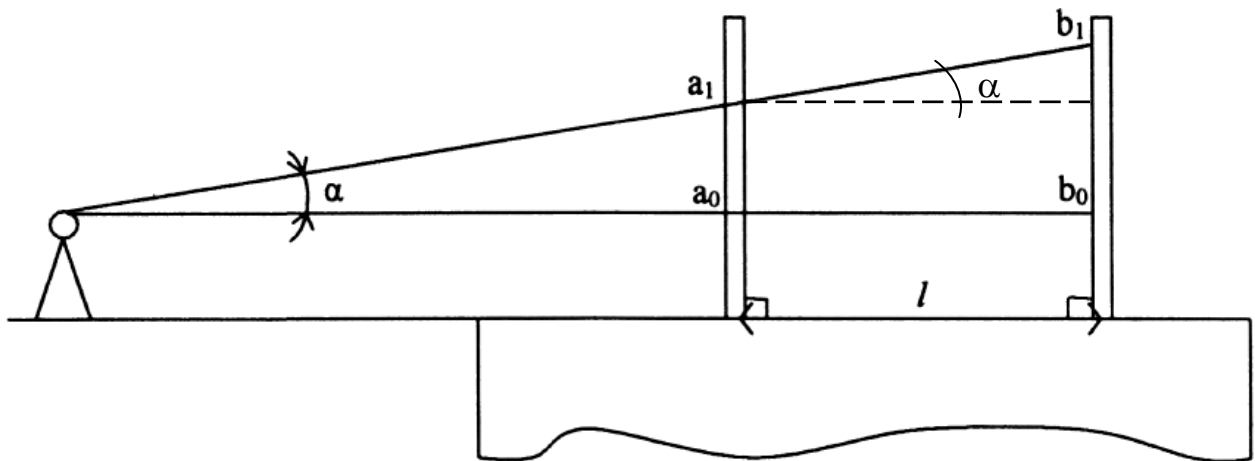


Рис. 2. Схема ориентирования визирной оси теодолита способом разворота на заданный угол

### 3) Способ подобных треугольников

После подготовительных действий, как описано в первом варианте, ориентируют прибор заведомо левее, а затем правее положения, когда визирная ось будет параллельна стене здания, берут отсчеты по рейкам  $a_1$ ,  $b_1$  и  $a_2$ ,  $b_2$  соответственно (рис. 3).

Вычисляют отсчет по рейкам, при котором визирная ось теодолита будет параллельна стене здания.

Для этого рассмотрим подобные треугольники  $\Delta Ta_1a_0$ ,  $\Delta Tb_1b_0$  и  $\Delta Ta_2a_0$ ,  $\Delta Tb_2b_0$ . Из подобия следует:

$$\frac{l_1}{l_1 + l_2} = \frac{a_1 - a_0}{b_1 - b_0} \quad \text{и} \quad \frac{l_1}{l_1 + l_2} = \frac{a_0 - a_2}{b_0 - b_2}. \quad (3)$$

Приравнивая правые части, получаем:

$$\frac{a_1 - a_0}{b_1 - b_0} = \frac{a_0 - a_2}{b_0 - b_2}. \quad (4)$$

Выразим из этого равенства  $b_0$ , учитывая, что  $a_0 = b_0$ :

$$b_0 = \frac{a_2 \cdot b_1 - a_1 \cdot b_2}{(b_1 - b_2) - (a_1 - a_2)}. \quad (5)$$

Вычисляют отсчет  $b_0$ , соответствующий параллельному положению визирной оси к контролируемому направлению и устанавливают его по дальней рейке.

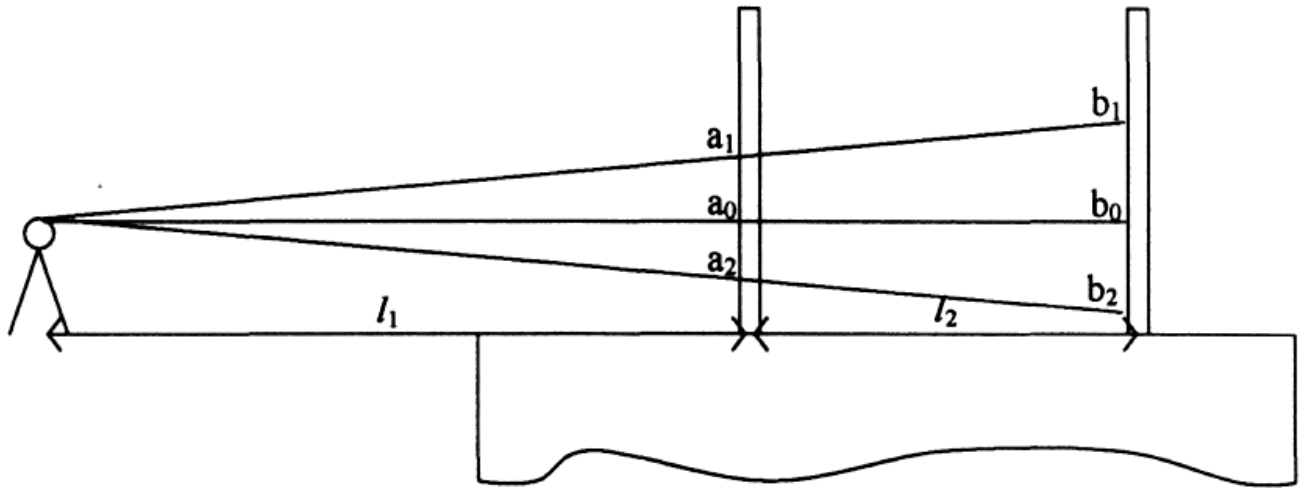


Рис. 3. Схема ориентирования визирной оси теодолита способом подобных треугольников

Контроль: берут отсчет по ближней рейке  $a_0$ . Отсчеты  $a_0$  и  $b_0$  должны совпасть между собой и с двумя предыдущими способами.

### Контрольные вопросы

1. Понятие визирной оси геодезических приборов.
2. Методы ориентирования визирной оси геодезических инструментов относительно образующих выверяемых элементов.
3. Основные геометрические условия параллельности двух прямых.
4. Основные геометрические условия перпендикулярности двух прямых.
5. Условие поверки коллимационной ошибки теодолита.
6. Влияние неполного устранения коллимационной ошибки на точность ориентирования визирной оси теодолита.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### КОНТРОЛЬ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТИ ОБРАЗУЮЩИХ ИЛИ ОСЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЯ

Цель работы: знакомство со способами контроля перпендикулярности осей контролируемых элементов сооружения теодолитом.

#### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- теодолит ЗТ5КП (или прибор аналогичный по точности);
- штатив;
- нивелирные рейки.

#### ХОД РАБОТЫ

##### 1-й способ

Закрепляют произвольно выбранные точки 1 и 2 (рис. 4) вблизи контролируемых элементов сооружения. Устанавливают теодолит на точку 1, ориентируют визирную ось прибора параллельно стене, как описано в работе №1, и берут отсчет по горизонтальному кругу  $A_1$ . Затем визируют на точку 2 и также берут отсчет по лимбу  $A_2$ . Повторяют эти действия при другом круге, получают отсчеты  $A'_1$  и  $A'_2$ . Вычисляют значение угла  $\beta_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \beta_1' &= A_1 - A_2; \\ \beta_1'' &= A_1' - A_2'; \\ \text{при } \Delta\beta &= \beta_1' - \beta_1'' \leq 2t \\ \beta_1 &= \frac{\beta_1' + \beta_1''}{2} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

После этого устанавливают прибор на точке 2 и аналогично измеряют угол  $\beta_2$ . Отклонение от перпендикулярности  $\Delta\beta$  находят по формуле:

$$\Delta\beta = (\beta_1 + \beta_2) - 90^\circ. \quad (7)$$

## 2-й способ

Устанавливают теодолит на произвольно выбранную точку 3 и ориентируют визирную ось трубы, как указано в работе №1, сначала параллельно направлению на точку 2 и берут отсчет по горизонтальному кругу  $A_2$ . Затем ориентируют визирную ось трубы параллельно направлению на точку 1 и также берут отсчет по горизонтальному кругу  $A_1$ . Вычисляют отклонение от перпендикулярности  $\Delta\beta$  по формуле:

$$\Delta\beta = (A_1 - A_2) - 90^\circ. \quad (8)$$

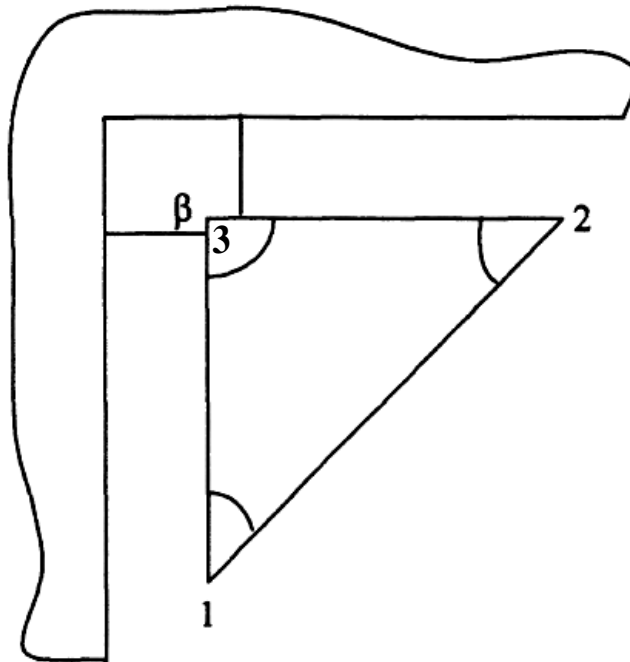


Рис. 4. Схема контроля перпендикулярности теодолитом

Для контроля повторяют действия при другом положении вертикального круга теодолита. Расхождение двух определений не должно превышать двойной точности теодолита.

## Контрольные вопросы

1. Понятие створа. Методы измерения нестворностей.
2. Программы построения створов, их сравнительная характеристика.
3. Метод бокового нивелирования.

4. Способы контроля перпендикулярности элементов сооружений.
5. Условие первой поверки теодолита.
6. Влияние отклонения оси вращения теодолита от отвесного положения на точность контроля перпендикулярности.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ВОССТАНОВЛЕНИЕ УТРАЧЕННОЙ ОСИ

Цель работы: знакомство со способом восстановления утраченной оси при помощи теодолита.

#### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- теодолит ЗТ5КП (или прибор аналогичный по точности);
- штатив;
- рулетка.

Особые условия: на сохранившейся оси в точках  $O$ ,  $1$  и  $2$  нельзя установить прибор.

#### ХОД РАБОТЫ

1) Устанавливают теодолит в точке  $A$ , расположенной примерно на утраченной оси  $OO'$  и измеряют углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рис.5) между направлениями на отмеченные точки  $1$ ,  $2$  и направлением на точку  $O$ , расположенную на восстанавливаемой оси. Рулеткой измеряют расстояние  $l_1$  и  $l_2$  от точки  $O$  (задающей пересечение осей) до точек  $1$  и  $2$  соответственно. Вычисляют угол  $\beta_0$  по формуле:

$$\operatorname{ctg} \beta_0 = \left( \frac{l_2 \cdot \operatorname{ctg} \beta_2 - l_1 \cdot \operatorname{ctg} \beta_1}{l_1 + l_2} \right). \quad (9)$$

Вывод формулы (10) студенты выполняют самостоятельно, используя теорему синусов, для треугольников  $OIA$  и  $AO2$ . Учитывая, что расстояние  $d$  мало, вычисляют расстояния от точки стояния теодолита (т.А) до точек  $O$  и  $O'$

( $S$  и  $d$ ) по формулам:

$$S = l_1 \frac{\sin(\beta_1 + \beta_2)}{\sin \beta_1}, \quad d = S \cdot \cos \beta, \quad (10)$$

где  $S$  – расстояние между точками  $O$  и  $O'$ .

2) Находят положение точки  $O'$  путем последовательного отложения угла  $\beta_0$  от направления  $AO$  и отрезка  $d$  по направлению коллимационной плоскости инструмента.

3) Контролируют правильность действий. Для этого устанавливают теодолит над точкой  $O'$ , измеряют углы  $\beta'_1$  и  $\beta'_2$  и вычисляют по формуле (9) угол  $\beta'_0$ , который должен быть, пределах двойной точности измерений, равен  $90^\circ$ .

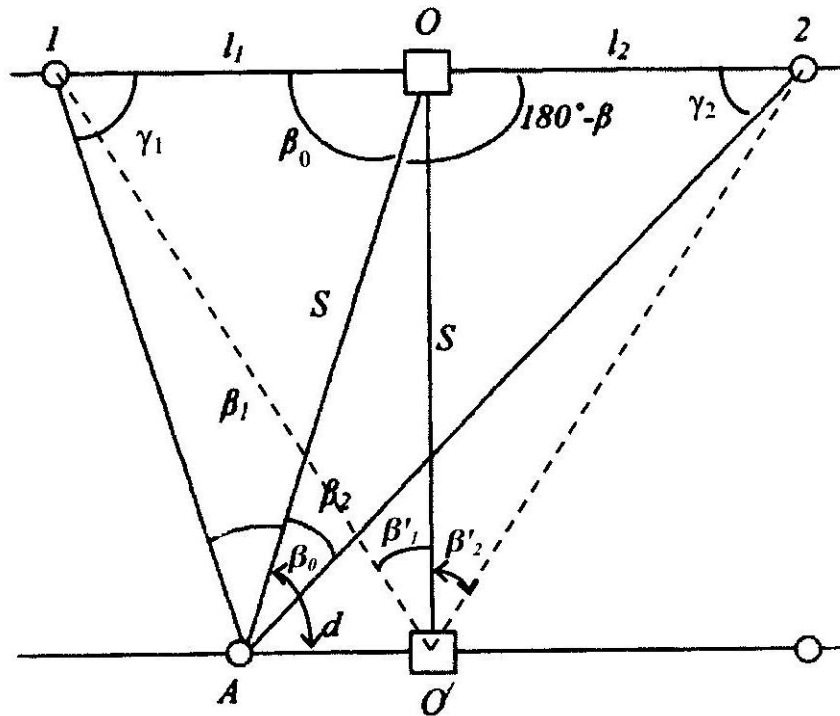


Рис. 5. Схема восстановления утраченной оси:

$OO'$  - утраченная ось;  $I-2$  - ось, перпендикулярная утраченной;

$O$  - точка пересечения двух вышеперечисленных осей

### Контрольные вопросы

1. Признаки перпендикулярности.
2. Понятие «пересекающиеся прямые».



3. Понятие «перекрещивающиеся прямые».
4. Признаки параллельности.
5. Понятие «смежный угол».

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### КОНТРОЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОСТИ ОБРАЗУЮЩИХ ИЛИ ОСЕЙ ЭЛЕМЕНТОВ СООРЖЕНИЯ

Цель работы: знакомство со способами контроля параллельности осей контролируемых элементов сооружений при помощи теодолита.

#### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

- Теодолит 3Т5КП (или прибор аналогичный по точности);
- штатив;
- нивелирные рейки.

#### ХОД РАБОТЫ

##### 1-й способ

Закрепляют произвольно выбранные точки 1 и 2 (рис.6) вблизи контролируемых элементов сооружения (стены). Устанавливают теодолит на точку 1, ориентируют визирную ось прибора параллельно стене (по методике, описанной в №1) и берут отсчет по горизонтальному кругу  $A_1$ . Затем визируют на закрепленную точку 2 и так же берут отсчет по горизонтальному кругу  $A_2$ . Повторяют выше описанные действия при другом круге, получают отсчеты  $A'_2$  и  $A'_1$ . Вычисляют значения угла  $\beta_1$ :

$$\left. \begin{aligned} \beta_1' &= A_1 - A_2; \\ \beta_1'' &= A_1' - A_2'; \\ \text{при } \Delta\beta &= \beta_1' - \beta_1'' \leq 2t \\ \beta_1 &= \frac{\beta_1' + \beta_1''}{2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

После этого устанавливают прибор на точке 2 и аналогично измеряют угол  $\beta_2$ . Отклонение от параллельности  $\Delta\beta_{\Pi}$  находят по формуле:

$$\Delta\beta_{\Pi} = (\beta_1 + \beta_2) - 180^\circ. \quad (12)$$

### 2-й способ

Устанавливают теодолит на точку 1 и измеряют угол  $\beta_1$  по выше приведенной методике. Затем прибор переносят на точку 2, ориентируют его вдоль образующей зеркально противоположно ориентированию, выполненному в точке 1. Выполняют измерения угла  $\beta_{2(\text{смежн})}$ , являющегося смежным углом  $\beta_2$ . Вычисляют отклонение от параллельности  $\Delta\beta_{\Pi}$  по формуле:

$$\Delta\beta_{\Pi} = \beta_1 - \beta_{2(\text{смежн})}. \quad (13)$$

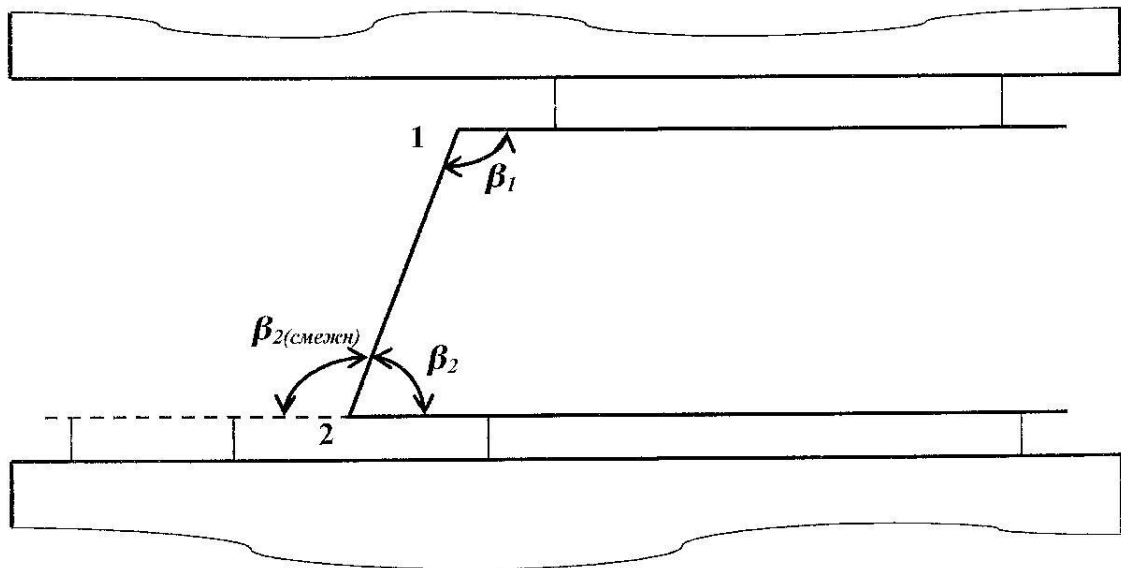


Рис.6. Схема контроля параллельности

### Контрольные вопросы

1. Признаки параллельности двух прямых.
2. Способы контроля параллельности.
3. Египетский треугольник.
4. Понятие секущей прямой.
5. Условие поверки теодолита о равенстве подставок.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

## КОНТРОЛЬ ПЛОСКОСТНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЙ

Цель работы: знакомство со способом контроля плоскостности при помощи электронного тахеометра.

## ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- электронный тахеометр;
- штатив;
- ПЭВМ.

## ХОД РАБОТЫ

1) Устанавливают тахеометр на штатив вблизи контролируемого объекта (стены), приводят его в рабочее положение и направляют зрительную трубу примерно параллельно контролируемому объекту (рис.7).

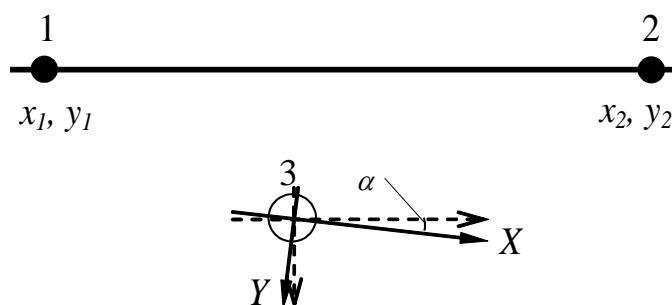


Рис. 7. Схема ориентирования электронного тахеометра по двум точкам

2) Определяют ориентировку тахеометра относительно исследуемого объекта, для этого измеряют координаты  $X$  и  $Y$  двух крайних точек 1 и 2, расположенных на объекте и по ним вычисляют дирекционный угол контролируемой образующей (линии 1-2) по формуле:

$$\alpha = \arctg \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \quad (14)$$

3) Вычисленный дирекционный угол устанавливают на горизонтальном круге тахеометра и полученное направление обнуляют. Таким образом, прибор ориентирован параллельно исследуемого объекта.

4) Контролируют правильность ориентирования прибора, для этого повторно измеряют координаты точек 1 и 2. Координаты  $Y$  этих точек должны быть равны (в пределах точности измерений).

5) Контролируемый объект покрывают дискретно распределёнными точками (например, по сетке квадратов) и измеряют их координаты, результаты заносят в табл. 2.

Таблица 2

№ точки	Координаты в м			$\Delta$
	$x$	$y$	$z$	
1				
2				
...				
$n$				
$\Sigma$		$y_{cp.}$		

6) Вычисляют величины отклонений  $\Delta$  всех контрольных точек исследуемого объекта от вертикально ориентированной плоскости (от среднего значения ординат) по формуле:

$$\Delta_i = y_i - y_{cp.}, \quad y_{cp.} = \frac{\sum y_i}{n}. \quad (15)$$

7) Составляют «Схему контроля плоскостности стены» (рис.8), на которой показывают вертикально ориентированную плоскость, номера точек контролируемого объекта, подписывают значения отклонений точек  $\Delta$  контролируемого объекта от вертикально ориентированной плоскости.

8) Определяют деформационные характеристики контролируемого объекта, для этого вычисляют поперечные и диагональные амплитуды

контрольных точек, используя величины отклонений  $\Delta$  от вертикально ориентированной плоскости.

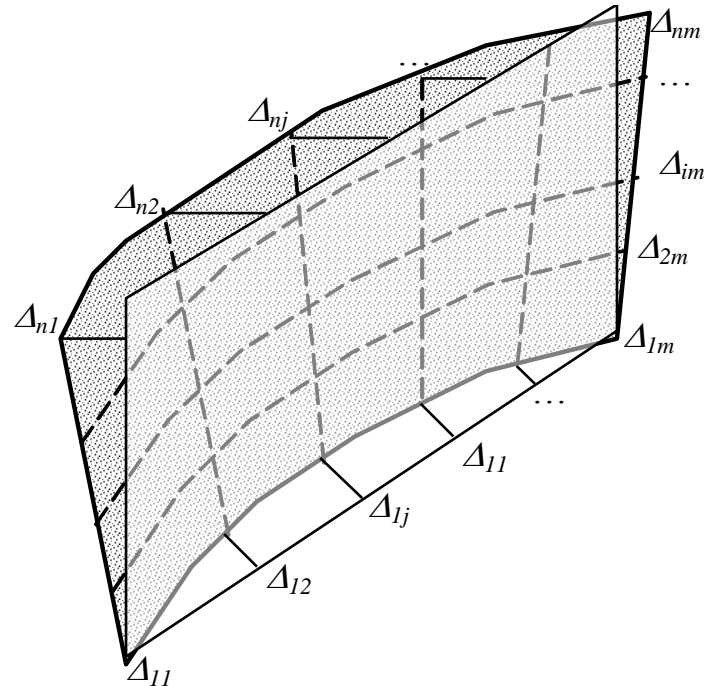


Рис. 8. Схема контроля плоскостности стены

**Амплитуда** – это линейная величина, отсчитанная по перпендикуляру от исследуемой точки до линии, проходящей через две смежные с ней точки (рис.9).

Амплитуду называют симметричной при условии равенства расстояний между точкой и смежной с ней точкой, т.е.  $l_{i-1} = l_{i+1}$ . Если эти расстояния не равны, то амплитуда называется несимметричной.

Симметричная амплитуда вычисляется по формуле:

$$A_i = \frac{(\Delta_{i-1} - \Delta_{i+1})}{2} - \Delta_i. \quad (16)$$

Несимметричная амплитуда вычисляется по формуле:

$$A_i = \frac{l_{(i-1)-i} \cdot (\Delta_{i-1} - \Delta_{i+1})}{(l_{(i-1)-i} + l_{i-(i+1)})} - \Delta_i. \quad (17)$$

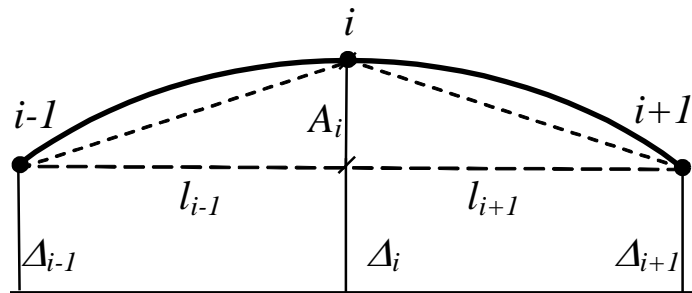


Рис. 9. Схема симметричной амплитуды

Принимая во внимание, что расстояния между точками в столбцах и рядах равны, вычисления выполняют по формуле (16) для симметричных амплитуд.

9) Составляют «Схему амплитуд контрольных точек» (рис. 10), на ней показывают направление координатных осей, номера контрольных точек.

10) Вычисляют продольные, поперечные и диагональные (наклонные) амплитуды точек, за исключением тех, для которых это сделать невозможно (в данном примере точки A1, A5, D1, D5 на рис. 10). Значения амплитуд выписывают на схеме разными цветами возле соответствующих направлений.

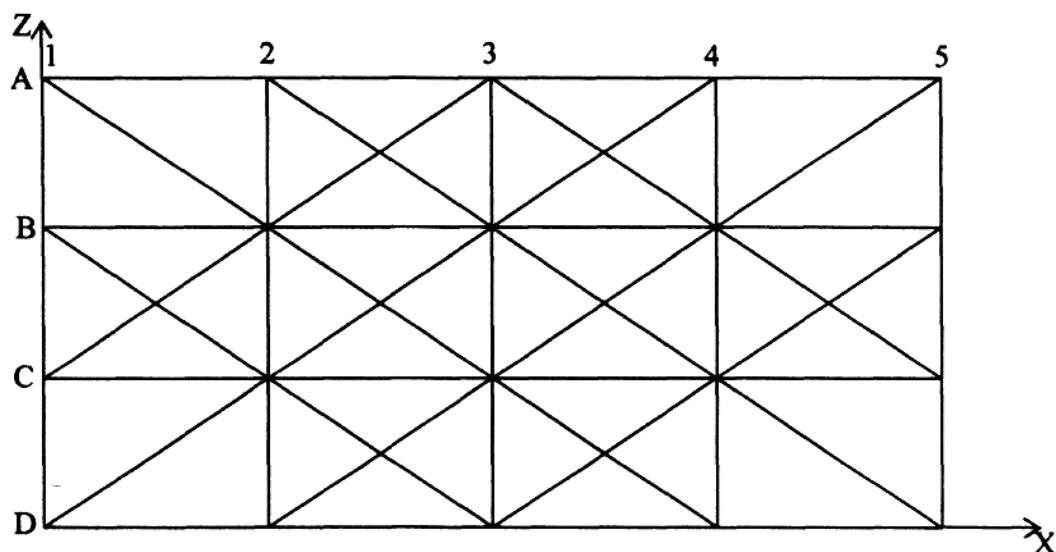


Рис. 10. Схема амплитуд контрольных точек

### Контрольные вопросы

1. Комплексные геометрические характеристики.
2. Общие геометрические характеристики.
3. Частные геометрические характеристики.
4. Понятие плоскостности.
5. Понятие прямолинейности.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

#### КОНТРОЛЬ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТИ ПО ЗАДАННОМУ СЕЧЕНИЮ

Цель работы: знакомство со способом контроля формы поверхности по заданному сечению при помощи электронного тахеометра.

#### ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:

- электронный тахеометр;
- штатив;
- ПЭВМ.

Конструктивные элементы сооружений и промышленного оборудования часто размещают по кольцу, требуют соблюдения точных геометрических параметров. Поэтому возникает задача определения геометрических параметров радиальных объектов. Данный вопрос имеет три постановки задачи:

1. Задан проектный радиус  $R_{пр}$ . необходимо определить оптимальный центр  $O_{ОПТ}$ ;
2. Задан проектный центр  $O_{пр}$ . необходимо определить оптимальный радиус  $R_{ОПТ}$ ;
3. Необходимо одновременно определить оптимальный центр  $O_{ОПТ}$  и радиус  $R_{ОПТ}$ .

Задание: определить оптимальные центр и радиус кольцевого сооружения.

## ХОД РАБОТЫ

1) Устанавливают тахеометр на штатив. Ориентируют прибор в системе координат исследуемого объекта, как указано в работе № 5.

2) Контролируемый объект покрывают дискретно распределёнными точками (рис. 11) и измеряют их координаты, результаты записывают в табл. 3.

Из известных геометрических соотношений для системы, состоящей из трех точек (рис. 12), определяют координаты центра  $x_0, y_0$  по формулам:

$$y_0 = \left( x_{cp(3-1)} - x_{cp(2-1)} + y_{cp(3-1)} \cdot \frac{\Delta y_{3-1}}{\Delta x_{3-1}} - y_{cp(2-1)} \cdot \frac{\Delta y_{2-1}}{\Delta x_{2-1}} \right) \div \left( \frac{\Delta y_{3-1}}{\Delta x_{3-1}} - \frac{\Delta y_{2-1}}{\Delta x_{2-1}} \right); \quad (18)$$

$$\begin{cases} x_0 = \frac{x_2 + x_1}{2} + \frac{y_2 + y_1}{2} \cdot \frac{\Delta y_{2-1}}{\Delta x_{2-1}} - \frac{\Delta y_{2-1}}{\Delta x_{2-1}} \cdot y_0; \\ x_0 = \frac{x_3 + x_1}{2} + \frac{y_3 + y_1}{2} \cdot \frac{\Delta y_{3-1}}{\Delta x_{3-1}} - \frac{\Delta y_{3-1}}{\Delta x_{3-1}} \cdot y_0, \end{cases} \quad (19)$$

где

$$\begin{cases} x_{cp(3-1)} = (x_3 + x_1) / 2; \\ x_{cp(2-1)} = (x_2 + x_1) / 2; \\ y_{cp(3-1)} = (y_3 + y_1) / 2; \\ y_{cp(2-1)} = (y_2 + y_1) / 2; \end{cases} \quad \begin{cases} \Delta y_{3-1} = y_3 - y_1; \\ \Delta y_{2-1} = y_2 - y_1; \\ \Delta x_{3-1} = x_3 - x_1; \\ \Delta x_{2-1} = x_2 - x_1. \end{cases}$$

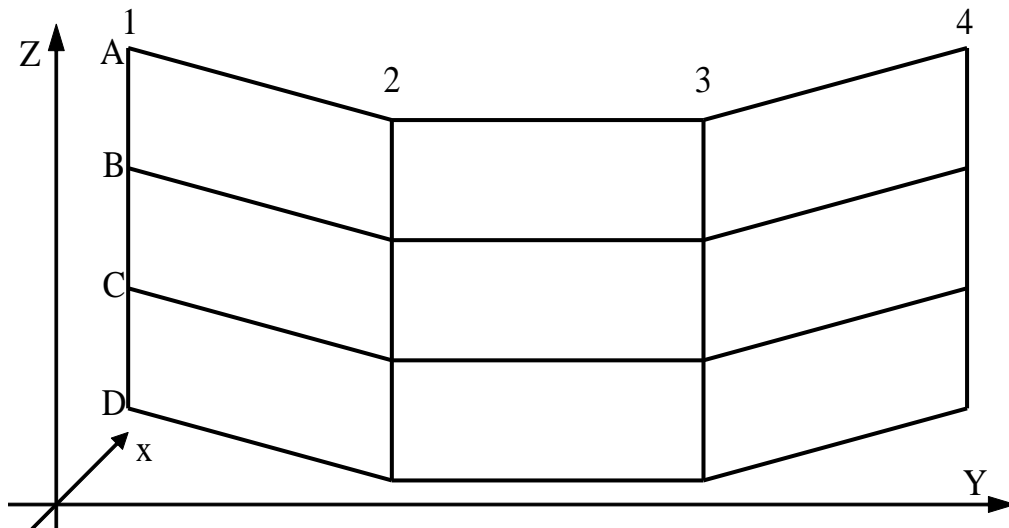


Рис. 11. Схема контроля формы поверхности по заданным сечениям



Таблица 3

№ точки	Координаты в м			$x_0$	$y_0$	$R$
	$x$	$y$	$z$			
A1						
A2						
A3						
A4						
...						
D4						
Среднее арифметическое значение						

3) Вычисляют координаты центра  $x_0$ ,  $y_0$  по всем  $k$  независимым треугольникам в системе  $n$  точек, за окончательные значения координат центра принимают среднее арифметическое из всех определений.

4) Вычисляют радиус криволинейной поверхности, используя координаты центра и точки, по формуле:

$$R_i = \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2}. \quad (20)$$

Оптимальное значение  $R_{ОПТ}$  определяется как среднее арифметическое значение из всех определений  $R_i$ :  $R_{ОПТ} = \sum R_i / n$ .

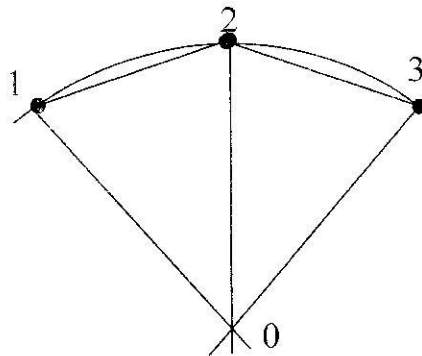


Рис. 12. Схема определения координат центра радиальной кривой

Контроль: вычисляют расстояние и направление от точки стояния прибора до вычисленного центра, переносят прибор на вынесенный центр и измеряют расстояния до трех точек контролируемого объекта. Измеренные расстояния должны быть равны вычисленным радиусам.

### **Контрольные вопросы**

1. Координатный метод контроля радиальности.
2. Линейно-угловые методы контроля радиальности.
3. Понятие «окружность».
4. Понятие круга.
5. Понятие «сектор окружности».
6. Понятие «сегмент круга».

## Литература

### Основная литература:

1. Авакян В.В. Прикладная геодезия. Технологии инженерно-геодезических работ. – М.: Академик, 2012.
2. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – 8-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
3. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. – 5-е изд. – М.: Высшая школа, 2009.

### Дополнительная литература:

1. Баран П.И. Геодезические работы при монтаже и эксплуатации оборудования – М.: Недра, 1990.
2. Справочное пособие по прикладной геодезии / В.Д. Большаков [и др.]. – М.: Недра, 1987.
3. Лазерные геодезические приборы в строительстве / В.В. Грузинов [и др.]. – М.: Недра, 1977.
4. Кузнецов П.Н., Васютинский И.Ю., Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение. – М.: Недра, 1984.
5. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия: основные методы и принципы инженерно-геодезических работ: учебник для ВУЗов. – М.: Недра, 1981. – С.284-300, 314-324.