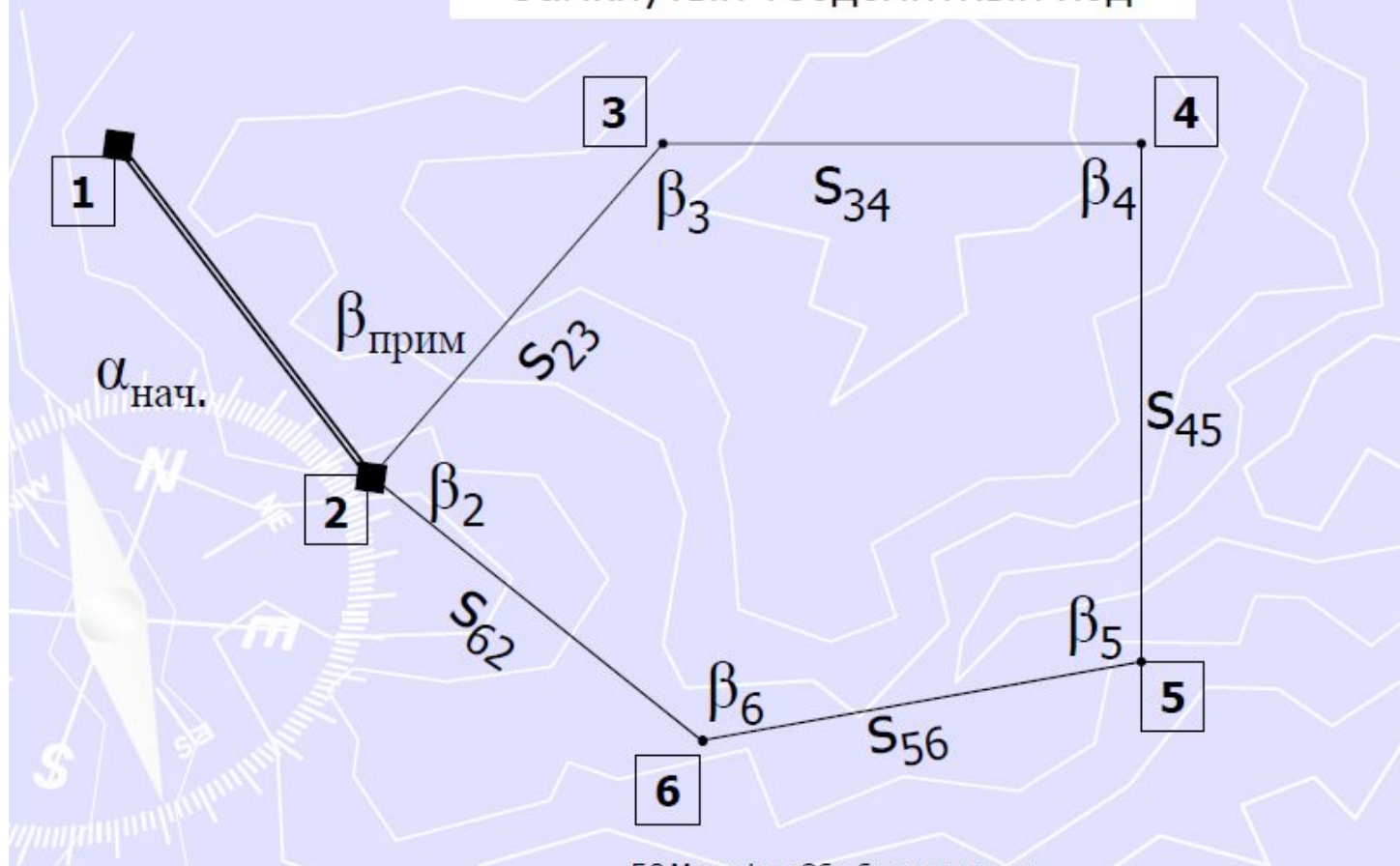


# Обработка теодолитного хода

# Геометрия построения

Замкнутый теодолитный ход



# Обработка теодолитного хода

- ▶ Математическая обработка результатов измерений в теодолитном ходе выполняется, как правило, упрощенным методом.
- ▶ Процесс математической обработки оформляется на специальном унифицированном бланке – **ведомости координат теодолитного хода.**

## Ведомость вычисления координат

№ верш ин	Внутренние углы		Дирекци онные углы	Румбы	Горизонтал ьные проложения , м	Приращения, м				Координаты, м	
	измере нные углы	исправл енные углы				вычисленные		исправленные		Ха	Уа
						Ха	Уа	Ха	Уа		
1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а	11а	12а
1а	87 <sup>0</sup> 25 <sup>в</sup>	87 <sup>0</sup> 23 <sup>а</sup>	*	*	а	а	а	а	а	450,00а	750,00а
а	а	*	20 <sup>0</sup> 30 <sup>в</sup>	СВ: 20 <sup>0</sup> 30 <sup>а</sup>	125,12а	+3 <sup>в</sup> -117,20 <sup>в</sup>	-2 <sup>в</sup> +43,82а	<sup>в</sup> +117,23а	<sup>в</sup> +43,80а	а	а
2а	91 <sup>0</sup> 00 <sup>в</sup>	91 <sup>0</sup> 00 <sup>в</sup>	*	*	а	а	а	а	а	567,23а	793,80а
а	а	*	109 <sup>0</sup> 30 <sup>в</sup>	ЮВ: 70 <sup>0</sup> 30 <sup>в</sup>	124,28а	+2 <sup>в</sup> -41,49а	-2 <sup>в</sup> +117,15а	<sup>в</sup> -41,47а	<sup>в</sup> +117,13а	а	а
3а	92 <sup>0</sup> 38 <sup>в</sup>	92 <sup>0</sup> 37 <sup>а</sup>	*	*	а	а	а	а	а	525,76а	910,93а
а	а	*	196 <sup>0</sup> 53 <sup>в</sup>	ЮЗ: 16 <sup>0</sup> 53 <sup>в</sup>	121,61а	+2 <sup>в</sup> -116,37а	-2 <sup>в</sup> -35,32а	<sup>в</sup> -116,35а	<sup>в</sup> -35,34а	а	а
4а	88 <sup>0</sup> 59 <sup>в</sup>	88 <sup>0</sup> 59 <sup>в</sup>	*	*	а	а	а	а	а	409,41а	875,59а
а	а	*	287 <sup>0</sup> 54 <sup>в</sup>	СЗ: 72 <sup>0</sup> 06 <sup>в</sup>	131,95а	+3 <sup>в</sup> +40,56а	-3 <sup>в</sup> -125,56а	<sup>в</sup> +40,59а	<sup>в</sup> -125,59а	<sup>в</sup> а	<sup>в</sup> а
1а	$\sum \beta_{\text{изм}}$	*	*	*	P= <sup>в</sup> 502,96а	<sup>в</sup> $\sum \pm X_{\text{выч}}$	<sup>в</sup> $\sum \pm Y_{\text{выч}}$	<sup>в</sup> 0а	<sup>в</sup> 0а	<sup>в</sup> 450а	<sup>в</sup> 750а
а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	а	$\sum \pm X_{\text{теор}} = 0а$	$\sum \pm Y_{\text{теор}} = 0а$	а	а	а	а
а	$f_{\text{в}}$	*	*	*	а	$f_{\text{вс}} = 0а$		а	а	а	а
а	$f_{\text{доп}}$	*	*	*	а	а	а	а	а	а	а

В колонку 1 «№ вершин» записываем номера точек через строчку.

В колонку 2 «Внутренние углы (измеренные)» выписываем из журнала теодолитного хода внутренние углы.

Из журнала в колонку 6 «Горизонтальное проложение, м» выписываем для каждой линии горизонтальное проложение (между строчек).

Ведомость вычисления координат

№ вершин	Внутренние углы		Дирекционные углы	Румбы	Горизонтальные проложения, м	Приращения, м				Координаты, м	
	измеренные углы	исправленные углы				вычисленные		исправленные		Ха	Уа
						Ха	Уа	Ха	Уа		
1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а	11а	12а
1а	87°25'30"	87°23'30"	*	*	а	а	а	а	а	450,00а	750,00а
а	а	*	20°30'30"	СВ:20°30'30"	125,12а	+3" -117,20"3	-2" +43,82а	" +117,23а	" +43,80а	а	а
2а	91°00'00"	91°00'30"	*	*	а	а	а	а	а	567,23а	793,80а
а	а	*	109°30'30"	ЮВ:70°30'30"	124,28а	+2" -41,49а	-2" +117,15а	" -41,47а	" +117,13а	а	а
3а	92°38'30"	92°37'30"	*	*	а	а	а	а	а	525,76а	910,93а
а	а	*	196°53'30"	ЮЗ:16°53'30"	121,61а	+2" -116,37а	-2" -35,32а	" -116,35а	" -35,34а	а	а
4а	88°59'30"	88°59'30"	*	*	а	а	а	а	а	409,41а	875,59а
а	а	*	287°54'30"	СЗ:72°06'30"	131,95а	+3" +40,56а	-3" -125,56а	" +40,59а	" -125,59а	а	а
1а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	P=" 502,96а	" $\sum \pm X_{\text{выч}}$	" $\sum \pm Y_{\text{выч}}$	" 0а	" 0а	" 450а	" 750а
а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	а	$\sum \pm X_{\text{теор}} = 0а$	$\sum \pm Y_{\text{теор}} = 0а$	а	а	а	а
а	$f_{\beta}$	*	*	*	а	$f_{\beta c} = 0$		а	а	а	а
а	$f_{\text{доп}}$	*	*	*	а	а	а	а	а	а	а



# Вычисление угловой невязки

Определяют сумму измеренных углов внутри полигона ¶

$$\sum_1^n \beta_{\text{изм.}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \dots + \beta_n,$$
$$\sum \beta_{\text{изм.}} = 87^{\circ}25' + 91^{\circ}00' + 92^{\circ}38' + 88^{\circ}59' = 360^{\circ}02' \text{ ¶}$$

Определяют теоретическую сумму углов в замкнутом полигоне ¶

$$\sum_1^n \beta_{\text{Т}} = 180^{\circ} \cdot (n-2),$$

где n — количество углов полигона ¶

$$\sum \beta_{\text{Т}} = 180^{\circ} \cdot (4-2) = 360^{\circ} \text{ ¶}$$

Определяют угловую невязку ¶

$$f_{\beta} = \sum_1^n \beta_{\text{изм.}} - \sum_1^n \beta_{\text{теор.}}$$

¶

$$f_{\beta} = 360^{\circ}08' - 360^{\circ} = 0^{\circ}02' \text{ ¶}$$

Допустимую угловую невязку определяют по формуле ¶

$$f_{\beta \text{ доп.}} = \pm I \cdot \sqrt{n} = 1' \cdot \sqrt{4} = 2',$$

где n — число измеренных углов. ¶

Увязку измеренных углов производят, если ¶

$$f_{\beta} \leq f_{\beta \text{ доп.}}$$

путём введения поправок с обратным знаком невязки. ¶

В колонку 3 «Внутренние углы (исправленные)» записываем исправленные углы.

Производим контроль:  $(\sum \beta_{\text{ИСПР}} = \sum \beta_{\text{ТЕОР}})$

Вычисляем дирекционные углы линий по формуле для правых углов:

по исходному дирекционному углу  $\alpha_{1-2}$  вычислить дирекционные углы линий последующих по формуле

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^0 - \beta_2,$$

где  $\alpha_{2-3}$  – дирекционный угол линии последующей, град;

$\beta_2$  – внутренний угол между линией 1-2 и 2-3, град.

Вычисление произвести с контролем:

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^0 - \beta_1,$$

если при этом полученный угол будет равен исходному, то вычисления сделаны правильно. Дирекционные углы записываем в колонку 4 (между строчек).



## Ведомость вычисления координат

№ вершин	Внутренние углы		Дирекционные углы	Румбы	Горизонтальные проложения, м	Приращения, м				Координаты, м	
	измеренные углы	исправленные углы				вычисленные		исправленные		Ха	Уа
						Ха	Уа	Ха	Уа		
1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а	11а	12а
1а	87°25'30"	87°23'30"	*	*	а	а	а	а	а	450,00а	750,00а
а	а	*	20°30'30"	СВ: 20°30'30"	125,12а	+3" -117,20"а	-2" +43,82а	┘ +117,23а	┘ +43,80а	а	а
2а	91°00'00"	91°00'00"	*	*	а	а	а	а	а	567,23а	793,80а
а	а	*	109°30'30"	ЮВ: 70°30'30"	124,28а	+2" -41,49а	-2" +117,15а	┘ -41,47а	┘ +117,13а	а	а
3а	92°38'30"	92°37'30"	*	*	а	а	а	а	а	525,76а	910,93а
а	а	*	196°53'30"	ЮЗ: 16°53'30"	121,61а	+2" -116,37а	-2" -35,32а	┘ -116,35а	┘ -35,34а	а	а
4а	88°59'30"	88°59'30"	*	*	а	а	а	а	а	409,41а	875,59а
а	а	*	287°54'30"	СЗ: 72°06'30"	131,95а	+3" +40,56а	-3" -125,56а	┘ +40,59а	┘ -125,59а	а	а
1а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	P=┘ 502,96а	┘ $\sum \pm X_{\text{выч}}$	┘ $\sum \pm Y_{\text{выч}}$	┘ 0а	┘ 0а	а	а
а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	а	$\sum \pm X_{\text{теор}} = 0а$	$\sum \pm Y_{\text{теор}} = 0а$	а	а	а	а
а	$f_{\beta}$	*	*	*	а	$f_{\beta c} = 0а$		а	а	а	а
а	$f_{\text{доп}}$	*	*	*	а	а	а	а	а	а	а

Пользуясь формулами зависимости между дирекционными углами и румбами, вычисляем румбы линий и записываем в колонку 5 «Румбы» (между строчек):

$$\text{СВ } r_1 = \alpha_1$$

$$\text{ЮВ } r_2 = 180^0 - \alpha_2$$

$$\text{ЮЗ } r_3 = \alpha_3 - 180^0$$

$$\text{СЗ } r_4 = 360^0 - \alpha_4$$

## Ведомость вычисления координат

№ вершин	Внутренние углы		Дирекционные углы	Румбы	Горизонтальные проложения, м	Приращения, м				Координаты, м	
	измеренные углы	исправленные углы				вычисленные		исправленные		Ха	Уа
						Ха	Уа	Ха	Уа		
1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а	11а	12а
1а	87°25'30"	87°23'30"	*	*	а	а	а	а	а	450,00а	750,00а
а	а	*	20°30'30"	СВ: 20°30'30"	125,12а	+3" -117,20"а	-2" +43,82а	┘ +117,23а	┘ +43,80а	а	а
2а	91°00'00"	91°00'30"	*	*	а	а	а	а	а	567,23а	793,80а
а	а	*	109°30'30"	ЮВ: 70°30'30"	124,28а	+2" -41,49а	-2" +117,15а	┘ -41,47а	┘ +117,13а	а	а
3а	92°38'30"	92°37'30"	*	*	а	а	а	а	а	525,76а	910,93а
а	а	*	196°53'30"	ЮЗ: 16°53'30"	121,61а	+2" -116,37а	-2" -35,32а	┘ -116,35а	┘ -35,34а	а	а
4а	88°59'30"	88°59'30"	*	*	а	а	а	а	а	409,41а	875,59а
а	а	*	287°54'30"	СЗ: 72°06'30"	131,95а	+3" +40,56а	-3" -125,56а	┘ +40,59а	┘ -125,59а	а	а
1а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	P=┘ 502,96а	┘ $\sum \pm X_{\text{выч}}$	┘ $\sum \pm Y_{\text{выч}}$	┘ 0а	┘ 0а	а	а
а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	а	$\sum \pm X_{\text{теор}} = 0а$	$\sum \pm Y_{\text{теор}} = 0а$	а	а	а	а
а	$f_{\beta}$	*	*	*	а	$f_{\beta c} = 0а$		а	а	а	а
а	$f_{\text{доп}}$	*	*	*	а	а	а	а	а	а	а

# Знаки приращение

Таблица 4

Знаки приращений координат

$\alpha$	СВ 1-четверть	ЮВ 2-четверть	ЮЗ 3-четверть	СЗ 4-четверть
$X\alpha$	$+\alpha$	$-\alpha$	$-\alpha$	$+\alpha$
$Y\alpha$	$+\alpha$	$+\alpha$	$-\alpha$	$-\alpha$

# Вычисление приращений

По румбам линий и их горизонтальным проложениям вычисляем с точностью до 0,01 м приращения координат по формулам, записываем в колонку 7, 8

$$\Delta X = d \cdot \cos r,$$

$$\Delta Y = d \cdot \sin r,$$

где  $d$  – горизонтальное проложение, м;

$r$  – румб линии, градус.

При вычислении приращений координат можно пользоваться четырёхзначными таблицами Брадиса или Геодезическими таблицами.

## Ведомость вычисления координат

№ вершин	Внутренние углы		Дирекционные углы	Румбы	Горизонтальные проложения, м	Приращения, м				Координаты, м	
	измеренные углы	исправленные углы				вычисленные		исправленные		Ха	Уа
						Ха	Уа	Ха	Уа		
1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а	11а	12а
1а	87°25'30"	87°23'30"	*	*	а	а	а	а	а	450,00а	750,00а
а	а	*	20°30'30"	СВ: 20°30'30"	125,12а	+3" -117,20"а	-2" +43,82а	┆ +117,23а	┆ +43,80а	а	а
2а	91°00'00"	91°00'30"	*	*	а	а	а	а	а	567,23а	793,80а
а	а	*	109°30'30"	ЮВ: 70°30'30"	124,28а	+2" -41,49а	-2" +117,15а	┆ -41,47а	┆ +117,13а	а	а
3а	92°38'30"	92°37'30"	*	*	а	а	а	а	а	525,76а	910,93а
а	а	*	196°53'30"	ЮЗ: 16°53'30"	121,61а	+2" -116,37а	-2" -35,32а	┆ -116,35а	┆ -35,34а	а	а
4а	88°59'30"	88°59'30"	*	*	а	а	а	а	а	409,41а	875,59а
а	а	*	287°54'30"	СЗ: 72°06'30"	131,95а	+3" +40,56а	-3" -125,56а	┆ +40,59а	┆ -125,59а	а	а
1а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	P=┆ 502,96а	┆ $\sum \pm X_{\text{выч}}$	┆ $\sum \pm Y_{\text{выч}}$	┆ 0а	┆ 0а	450а	750а
а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	а	$\sum \pm X_{\text{теор}} = 0а$	$\sum \pm Y_{\text{теор}} = 0а$	а	а	а	а
а	$f_{\beta}$	*	*	*	а	$f_{\beta c} = 0а$		а	а	а	а
а	$f_{\text{доп}}$	*	*	*	а	а	а	а	а	а	а



Вычисляют алгебраическую сумму приращений координат  $\Sigma \pm \Delta X$  и  $\Sigma \pm \Delta Y$  (записываем в колонку 7, 8).

Для замкнутого теодолитного хода алгебраическая сумма приращений координат теоретически должна быть равна нулю, т.е.

$$\Sigma \Delta X = 0, \Sigma \Delta Y = 0.$$

Практически это условие не соблюдается, образуется линейная невязка  $f_x, f_y, m$ , по формуле

$$\begin{aligned} \Sigma \Delta x_{\text{выч.}} &= \pm f_x, \\ \Sigma \Delta y_{\text{выч.}} &= \pm f_y. \end{aligned}$$

Полученную невязку сравнивают с допустимой. Для этого сначала определяют абсолютную  $f_{\text{абс}}$ , м, невязку по формуле

$$\dots\dots\dots f_{\text{абс}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \dots\dots\dots (22)$$

Затем вычисляют невязку относительную  $f_{\text{отн}}$ , м, по формуле

$$\dots\dots\dots f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{АБС}}}{P} \leq \frac{1}{2000}, \dots\dots\dots (23)$$

где  $P$  — периметр сторон полигона, м.

Относительная невязка теодолитного хода должна быть меньше или равна  $1/2000$ .

Относительная невязка получилась допустимой, поэтому приращения необходимо исправить, т.е. их алгебраическая сумма должна быть равна нулю. Для этого невязка распределяется с обратным знаком пропорционально длине каждой стороны теодолитного хода

$$\dots\dots\dots \delta_{\Delta X_n} = \frac{f_x}{P} d_n \quad \text{и} \quad \delta_{\Delta Y_n} = \frac{f_y}{P} d_n, \dots\dots\dots$$

где  $P$  — периметр хода;

$d$  — длины сторон полигона.

После нахождения поправок, вычисляют исправленные приращения, записывают их в колонки 9, 10.

Проводят контроль:  $\Sigma \Delta X = 0$ ,  $\Sigma \Delta Y = 0$ .

После нахождения исправленных приращений вычисляют координаты вершин полигона производят по формулам:

$$\begin{aligned} X_n &= X_{n-1} \pm \Delta X_{\text{исп.}}, \\ Y_n &= Y_{n-1} \pm \Delta Y_{\text{исп.}}, \end{aligned}$$

где  $X_n, Y_n$  – координаты последующей точки;

$X_{n-1}, Y_{n-1}$  – координаты предыдущей точки;

$\Delta X_{\text{исп.}}, \Delta Y_{\text{исп.}}$  – исправленные приращения координат.

Результаты вычислений записывают в колонки 11, 12.

Ведомость вычисления координат

№ вершин	Внутренние углы		Дирекционные углы	Румбы	Горизонтальные проложения, м	Приращения, м				Координаты, м	
	измеренные углы	исправленные углы				вычисленные		исправленные		Xа	Ya
						Xа	Ya	Xа	Ya		
1а	2а	3а	4а	5а	6а	7а	8а	9а	10а	11а	12а
1а	87°25'30"	87°23'30"	*	*	а	а	а	а	а	450,00а	750,00а
а	а	*	20°30'30"	СВ: 20°30'30"	125,12а	+3" -117,20"а	-2" +43,82а	1" +117,23а	1" +43,80а	а	а
2а	91°00'00"	91°00'00"	*	*	а	а	а	а	а	567,23а	793,80а
а	а	*	109°30'30"	ЮВ: 70°30'30"	124,28а	+2" -41,49а	-2" +117,15а	1" -41,47а	1" +117,13а	а	а
3а	92°38'30"	92°37'30"	*	*	а	а	а	а	а	525,76а	910,93а
а	а	*	196°53'30"	ЮЗ: 16°53'30"	121,61а	+2" -116,37а	-2" -35,32а	1" -116,35а	1" -35,34а	а	а
4а	88°59'30"	88°59'30"	*	*	а	а	а	а	а	409,41а	875,59а
а	а	*	287°54'30"	СЗ: 72°06'30"	131,95а	+3" +40,56а	-3" -125,56а	1" +40,59а	1" -125,59а	а	а
1а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	P=1 502,96а	1" $\sum \pm X_{\text{выч}}$	1" $\sum \pm Y_{\text{выч}}$	1" 0а	1" 0а	1" 450а	1" 750а
а	$\sum \beta_{\text{теор}}$	*	*	*	а	$\sum \pm X_{\text{теор}} = 0а$	$\sum \pm Y_{\text{теор}} = 0а$	а	а	а	а
а	$f_{\beta}$	*	*	*	а	$f_{\beta c} = 0а$		а	а	а	а
а	$f_{\text{доп}}$	*	*	*	а	а	а	а	а	а	а