

# Лекция №10

Организация полевых работ при построении съёмочного обоснования. Вычисления в разомкнутом теодолитном ходе

# Подготовительные работы

- Рекогносцировка местности
- Закрепление точек съёмочного обоснования
- Подготовка абрисов горизонтальной съёмки
- Поверки теодолита и нивелира
- Компарирование мерных приборов

# Измерительная часть

- Привязка теодолитного хода
- Измерение длин линий хода
- Измерение горизонтальных углов и углов наклона
- Горизонтальная съёмка
- Тахеометрическая съёмка
- Геометрическое нивелирование по точкам хода

# Рекогносцировка и закрепление точек съёмочного обоснования

**Целью рекогносцировки** является выбор мест заложения точек теодолитного хода, с которых в дальнейшем будет выполняться, например, топографическая съёмка местности. Выбор положения точек съёмочного обоснования во многом определяется целями и задачами его построения, а также сложностью участка местности, на котором оно строится. Во-первых, число точек съёмочного обоснования должно быть минимальным при обеспечении решения поставленной задачи. Во-вторых, с каждой из точек съёмочного обоснования должен обеспечиваться хороший обзор местности. В-третьих, схема привязки теодолитного хода должна быть оптимальной, и она должна обеспечивать привязку с необходимой точностью. В-четвертых, с каждой из точек теодолитного хода должны быть видимы две её соседних точки.

Оптимально, чтобы обеспечивалась непосредственная видимость соседних точек обоснования.

# Закрепление точек хода на местности

Точки теодолитного хода закрепляют на местности различными способами. В одних случаях ими могут быть деревянные колья круглого или квадратного сечения, в торец которых забивают гвоздь, либо ввинчивают шуруп.

В других случаях ими могут быть металлические трубы диаметром 10 мм, либо металлические штыри того же или несколько меньшего диаметра. Часто в качестве точки съёмочного обоснования используют накерненные на обечайках смотровых колодцев, либо других металлических конструкциях, метки. В твёрдое покрытие (асфальт, бетон и т.п.) забивают стальные дюбели со сферической головкой.

Во многом способ закрепления точек съёмочного обоснования определяется необходимым временем сохранности указанного геодезического знака (временный или долговременный знак). В связи с этим точки следует выбирать в местах, обеспечивающих их сохранность на необходимый период времени.

# Подготовка абрисов горизонтальной съёмки

**Абрис** – это зарисовка ситуации местности (иногда с примерными формами рельефа) в принятом удобном масштабе относительно точек и линий съёмочного обоснования, с которых планируется выполнять в дальнейшем топографическую (горизонтальную) съёмку.

Несмотря на то, что составление абрисов относится к измерительной части работы, целесообразно зарисовку абрисов выполнять в процессе рекогносцировки (если, конечно, съёмочное обоснование строится именно для выполнения топографической съёмки). Это позволит оптимизировать схему теодолитного хода, а также выявить ее возможности для выполнения горизонтальной или другой съёмки.

# Компарирование мерных приборов

**Компарирование** – сравнение длины мерного прибора с длиной эталона. Мерные приборы, например, рулетки, выпускают определенной номинальной длины  $l_0$ . Фактическая длина полотна рулетки может несколько отличаться от номинала на величину  $\Delta$ . Компарирование заключается в определении значения  $\Delta$  при какой-либо температуре компарирования  $t$ . Для этой температуры с достаточной точностью известна длина эталона. Компарирование может проводиться и другими методами, в лабораторных условиях, например, с помощью интерферометра.

Полевой компаратор представляет собой базис длиной 120 м, величину которого определяют точными методами. Базис полевого компаратора несколько раз (4-5 раз) измеряют рабочим мерным прибором с одновременным измерением температуры  $t$  окружающего воздуха. Разность между средним значением базиса, измеренного рабочим мерным прибором, и точным значением базиса является поправкой  $\Delta$  за компарирование.

При измерениях линий на местности измеряют рабочую температуру окружающего воздуха и учитывают ее при от этого расстояния по формуле:

$$l = l_0 + \Delta + \alpha l_0 (t - t_0)$$

Где  $\alpha$  – коэффициент линейного расширения стали, равный  $12 \cdot 10^{-6}$ .

# Измерение длин линий

При измерениях ленту или рулетку укладывают в створе линии, который контролируют визуально по вехам, установленным в крайних точках линии, либо с помощью теодолита. Как правило, длины линий превышают длину мерного прибора, поэтому в ее створе откладывают несколько полных длин мерного прибора (несколько номиналов), либо каких-либо фиксированных отрезков, примерно равных номиналу прибора. Остаток линии, меньший номинала, измеряют отдельно. Мерный прибор укладывают на землю с натяжением в 10 кг, что обеспечивается использованием специальных динамометров, либо определяется по опыту мерщика.

# Допуски в измерениях линий

Линию измеряют в прямом и обратном направлениях. Разность в результатах измерений в относительной форме не должна превышать установленного инструкциями допуска:

$$\delta_s = \frac{|S_{ПР} - S_{ОБР}|}{S_{СР}} = \frac{\Delta S}{S_{СР}} = \frac{1}{N} \leq \left( \frac{1}{N} \right)_{доп}$$

где  $S_{ПР}$  и  $S_{ОБР}$  – результаты измерений в прямом и обратном направлениях;

$S_{СР}$  – среднее значение измеренного расстояния;  $N$  – знаменатель относительной погрешности. Если условие выполняется, то среднее значение принимают за результат измерения.

# Относительные допустимые ошибки измерения линий

- 1:20000 – при точных разбивочных работах;
- 1:2000 ... 1:5000 – построение съёмочного обоснования для топографических съёмок; разбивочные работы средней точности; изыскания для строительства инженерных сооружений;
- 1:1500 – топографические съёмки; разбивочные работы малой точности в строительстве;
- 1:1000 – съёмочное обоснование для обеспечения геодезических работ при геологических исследованиях.

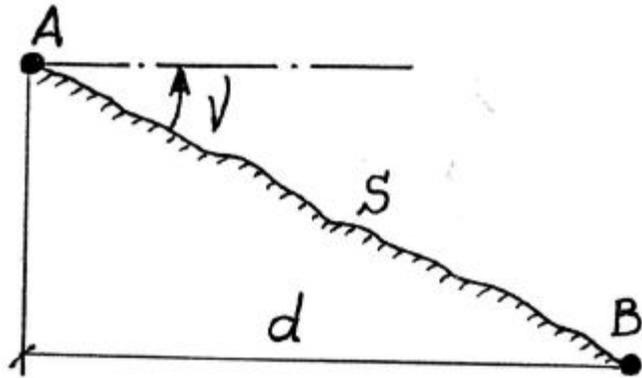
В технических теодолитных ходах, в зависимости от условий измерений, установлены следующие относительные допустимые погрешности на измерение длин линий:

1:3000 – при измерениях по ровной плотной поверхности (по асфальту, по проезжим частям дорог с покрытием и т.п.);

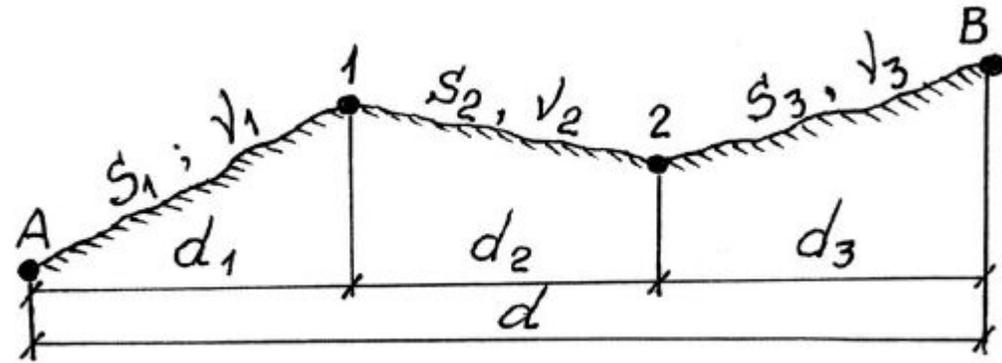
1:2000 – при измерениях по твёрдому земляному грунту по слабопересечённой местности;

1:1000 – при измерениях по мягкому грунту, по кочковатым поверхностям, по зарослям высокой травы, кустарника и т.п.

# Определение горизонтальных проложений



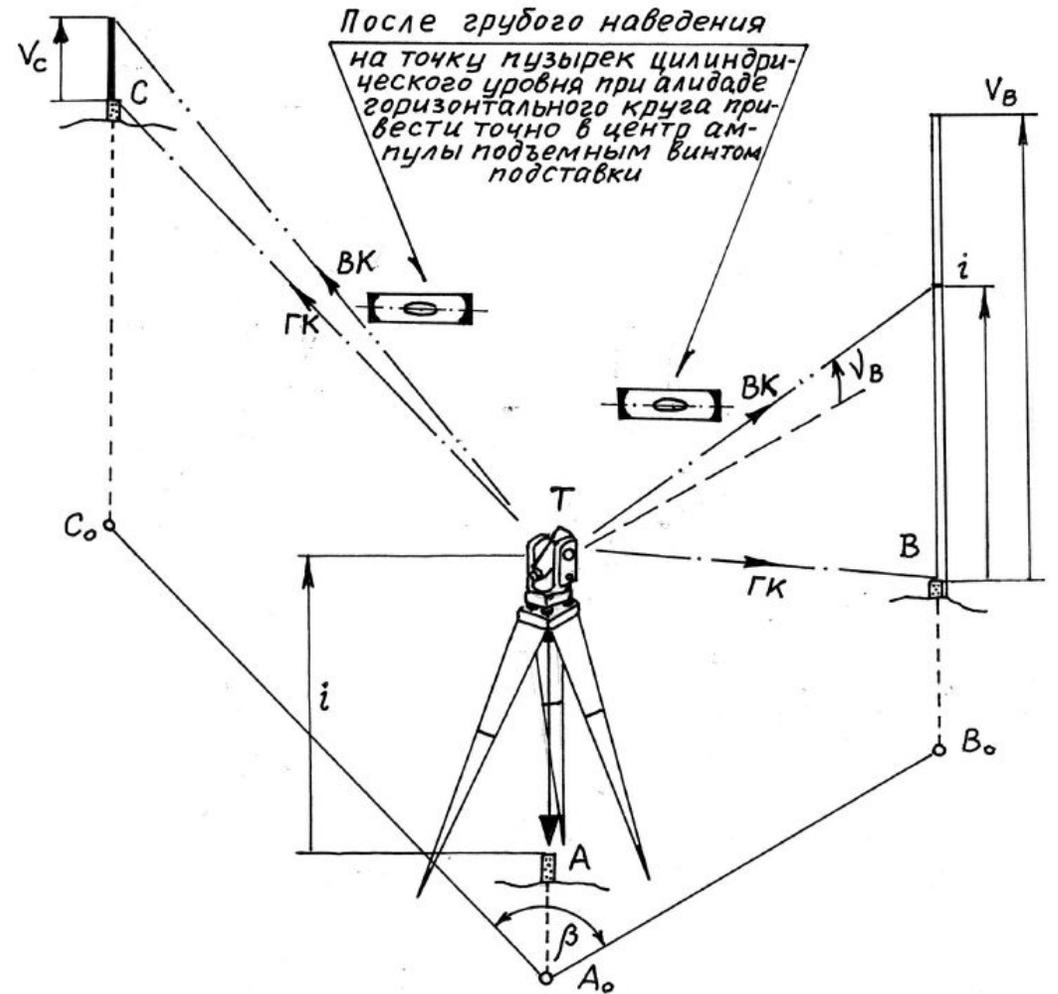
$$d = S \times \cos v$$



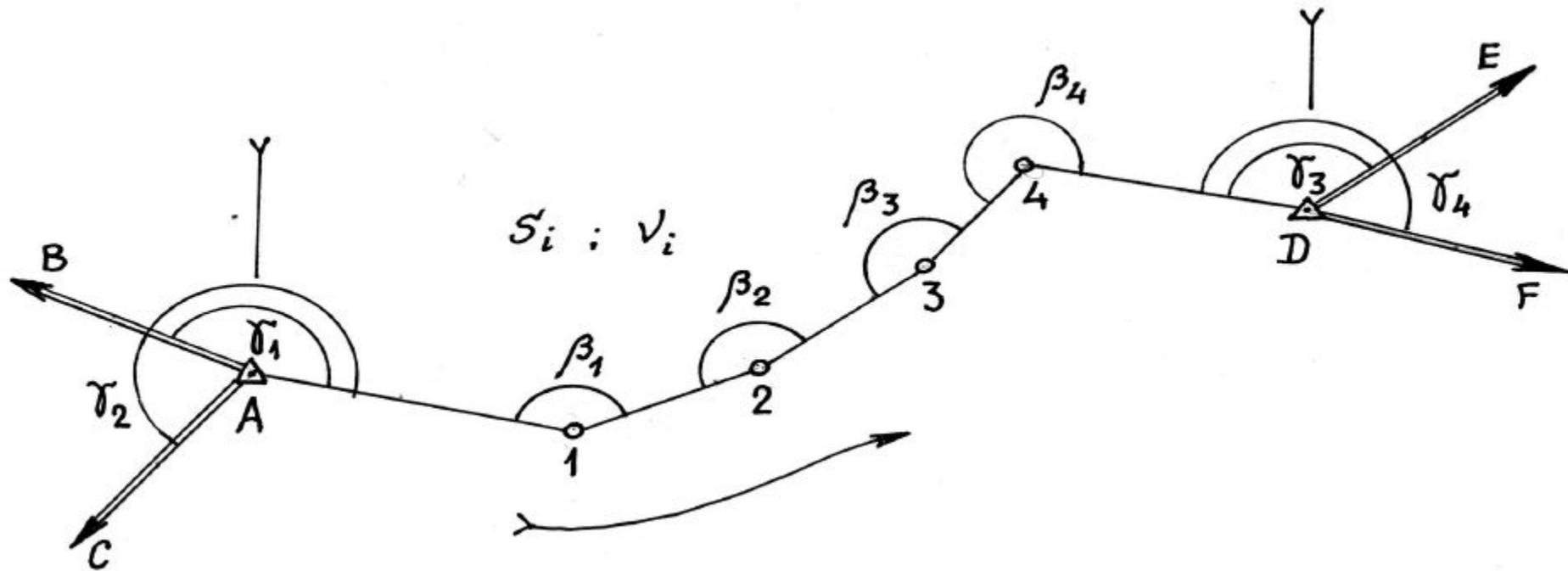
$$d = \sum S_i \times \cos v_i$$

# Измерение горизонтальных и вертикальных углов

Углы наклона для приведения наклонных расстояний к горизонту измеряют отдельно, выполняя наведение на отмеченную на вехе высоту прибора.



# Вычисления в разомкнутом теодолитном ходе



Конечной целью построения съемочного обоснования (теодолитного или полигонометрического хода) является получение координат его вершин: плановых  $x$ ,  $y$  и высот  $H$ .

В теодолитном ходе измерены горизонтальные углы  $\beta$  и  $\gamma$  (примычные) в вершинах хода, углы наклона  $v$  линий и наклонные расстояния  $S$ .

# Предварительные вычисления

Предварительные вычисления заключаются в азимутальной привязке начальной и конечной линий теодолитного хода к исходным направлениям, образованным пунктами Государственной геодезической сети, т.е. в определении дирекционных углов  $\alpha_{A1}$  и  $\alpha_{4D}$ .

$$\alpha_{A1}' = \alpha_{AB} + \gamma_1$$

$$\alpha_{A1}'' = \alpha_{AC} + \gamma_2$$

$$\alpha_{A1} = 0,5(\alpha_{A1}' + \alpha_{A1}'')$$

$$\alpha_{4D}' = \alpha_{DE} - \gamma_3 \pm 180^0$$

$$\alpha_{4D}'' = \alpha_{DF} - \gamma_4 \pm 180^0$$

$$\alpha_{4D} = 0,5(\alpha_{4D}' + \alpha_{4D}'')$$

Наклонные расстояния  $S$  приводят к горизонту по формуле

$$d = S \cos v$$

# Обработка результатов угловых измерений

Вычисление дирекционных углов сторон

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= \alpha_H \pm 180^\circ \pm \beta_1 \\ \alpha_2 &= \alpha_1 \pm 180^\circ \pm \beta_2 \\ &\dots\dots\dots \dots\dots\dots \dots\dots\dots \cdot \\ \alpha_K &= \alpha_{n-1} \pm 180^\circ \pm \beta_n\end{aligned}$$

Для левых по ходу углов

$$\alpha_K = \alpha_H \pm n180^\circ + \sum \beta$$

Для правых по ходу углов

$$\alpha_K = \alpha_H \pm n180^\circ - \sum \beta$$

# Угловая невязка хода

Поскольку  $\alpha_H$  и  $\alpha_K$  являются исходными (известными) дирекционными углами, то можно получить угловую погрешность (угловую невязку  $f_\beta$ ), которая будет характеризовать качество выполнения угловых измерений:

Для левых углов:  $f_\beta = \sum \beta - (\alpha_K - \alpha_H) \pm n180^\circ \pm R \times 360^\circ$

Для правых углов  $f_\beta = \sum \beta - (\alpha_H - \alpha_K) \pm n180^\circ \pm R \times 360^\circ$ .

# Допустимая угловая невязка хода

Для технических теодолитных ходов установлена допустимая величина угловой невязки:

$$f_{\text{вдоп}} = \pm 1' \sqrt{n},$$

где  $n$  – число измеренных углов, использованных при вычислении невязки

Выполнение условия

$$f_{\text{в}} \leq f_{\text{вдоп}}$$

говорит о качественных угловых измерениях. В противном случае необходимо проверить полевые журналы, либо повторить полевые измерения углов.

# Уравнивание углов

При допустимости угловой невязки выполняют уравнивание измеренных углов путём введения в них поправки, вычисляемой по формуле:

$$v_{\beta i} = -\frac{f_{\beta}}{n}$$

При этом:

$$\sum v_{\beta i} = -f_{\beta}$$

$$\beta_{\text{испр}} = \beta_{\text{изм}} + v_{\beta i}$$

Для левых углов:  $\sum \beta_{\text{испр}} = (\alpha_K - \alpha_H) \pm n180^{\circ} \pm R \times 360^{\circ}$

Для правых углов:  $\sum \beta_{\text{испр}} = (\alpha_H - \alpha_K) \pm n180^{\circ} \pm R \times 360^{\circ}$

# Ведомость координат разомкнутого теодолитного хода

№ точек	Горизонтальные углы $\beta$ (поправки)	Дирекционные углы $\alpha$	Горизонтальные проложения, м $d$	Приращения координат, м (поправки)		Координаты, м	
				$\Delta X$	$\Delta Y$	$X$	$Y$
<i>A</i>						<b>5635,22</b>	<b>6081,33</b>
<i>1</i>	(-0,2') <b>150°31,0'</b>	115°36,3'	189,04	(+0,04) -81,70	(+0,03) +170,48	5553,56	6251,84
<i>2</i>	(-0,2') <b>163°07,5'</b>	86°07,1'	113,86	(+0,02) +7,71	(+0,02) +113,60	5561,29	6365,46
<i>3</i>	(-0,3') <b>167°29,0'</b>	69°14,4'	121,57	(+0,02) +43,09	(+0,02) +113,68	5604,40	6479,16
<i>4</i>	(-0,2') <b>241°21,5'</b>	56°43,1'	93,39	(+0,02) +51,25	(+0,01) +78,07	5655,67	6557,24
<i>D</i>		118°04,4'	163,61	(+0,03) -77,00	(+0,02) +144,36	5578,70 <b>(5578,703)</b>	6701,62 <b>(6701,622)</b>
	$\sum \beta_{изм}$ 722°29,0'		$\sum d$ 681,47 м	$f_x$ -0,13 м	$f_y$ -0,10 м		
	$\sum \beta_{теор}$ 2°28,1'			$f_{\Delta X} =$ 0,17 м	$f_{\Delta Y} =$ $\frac{1}{4000}$		
$f_\beta$	+0,9'			$f_{\Delta X доп}$	$\frac{1}{2000}$		
$f_{\beta доп}$	± 2,0'						

# Вычисление приращений координат и оценка точности хода

Приращения координат вычисляются через формулы ПГЗ:

$$\Delta X = d \cos \alpha \quad ; \quad \Delta Y = d \sin \alpha$$

$$X_1 = X_H + \Delta X_1$$

$$Y_1 = Y_H + \Delta Y_1$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X_2$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_2$$

.....

.....

$$X_K = X_{n-1} + \Delta X_K$$

$$Y_K = Y_{n-1} + \Delta Y_K$$

-----

-----

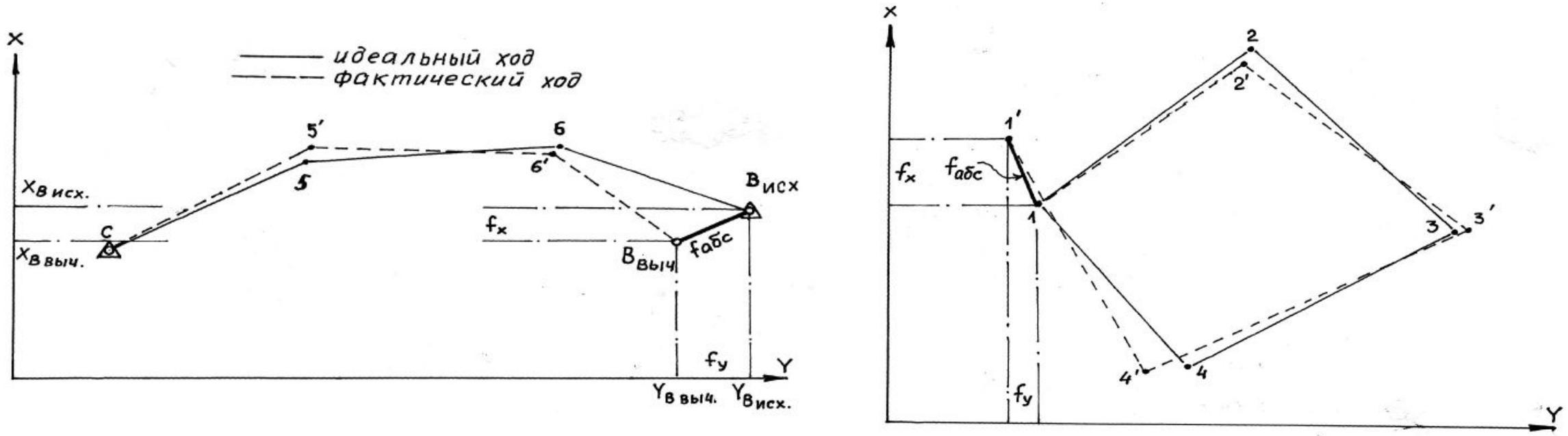
$$X_K = X_H + \sum \Delta X$$

$$Y_K = Y_H + \sum \Delta Y$$

Величины линейных невязок в ходе будут вычисляться по формулам

$$f_X = \sum \Delta X - (X_K - X_H); \quad f_Y = \sum \Delta Y - (Y_K - Y_H).$$

# Физический смысл линейных невязок



Общая (абсолютная) невязка получается по формуле:

$$f_{ABC} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2}$$

# Относительная линейная невязка

$$f_{\text{отн}} = \frac{1}{\left(\frac{\sum d}{f_{\text{абс}}}\right)}$$

где  $\sum d$  - длина теодолитного хода (периметр – для замкнутого хода; сумма горизонтальных проложений)

Критерием качества работ является выполнение условия

$$f_{\text{отн}} \leq f_{\text{отн доп}}$$

# Уравнивание приращений координат

В приращения координат, при обеспечении условия, вводят весовые поправки  $v_{X_i}$  и  $v_{Y_i}$ , зависящие от величины горизонтального проложения, по которому было вычислено данное приращение. Знаки поправок должны быть обратными зт

$$v_{X_i} = -\frac{f_X}{\sum d} d_i ; \quad v_{Y_i} = -\frac{f_Y}{\sum d} d_i$$

$$\sum v_{X_i} = -f_X ; \quad \sum v_{Y_i} = -f_Y$$

$$\Delta X_{\text{ИСПР}} = \Delta X_{\text{ИВЫЧ}} + v_{X_i} ; \quad \Delta Y_{\text{ИСПР}} = \Delta Y_{\text{ИВЫЧ}} + v_{Y_i}$$

$$\sum \Delta X_{\text{ИСПР}} = (X_K - X_H) ; \quad \sum \Delta Y_{\text{ИСПР}} = (Y_K - Y_H)$$

# Вычисление координат

Координаты точек теодолитного хода вычисляют последовательно по формулам подстановкой в них исправленных значений приращений координат.

Контрольное вычисление производится по формуле:

$$X_{\text{КВЫЧ}} = X_{n-1} + \Delta X_{\text{КИСПР}} ; Y_{\text{КВЫЧ}} = Y_{n-1} + \Delta Y_{\text{КИСПР}}$$

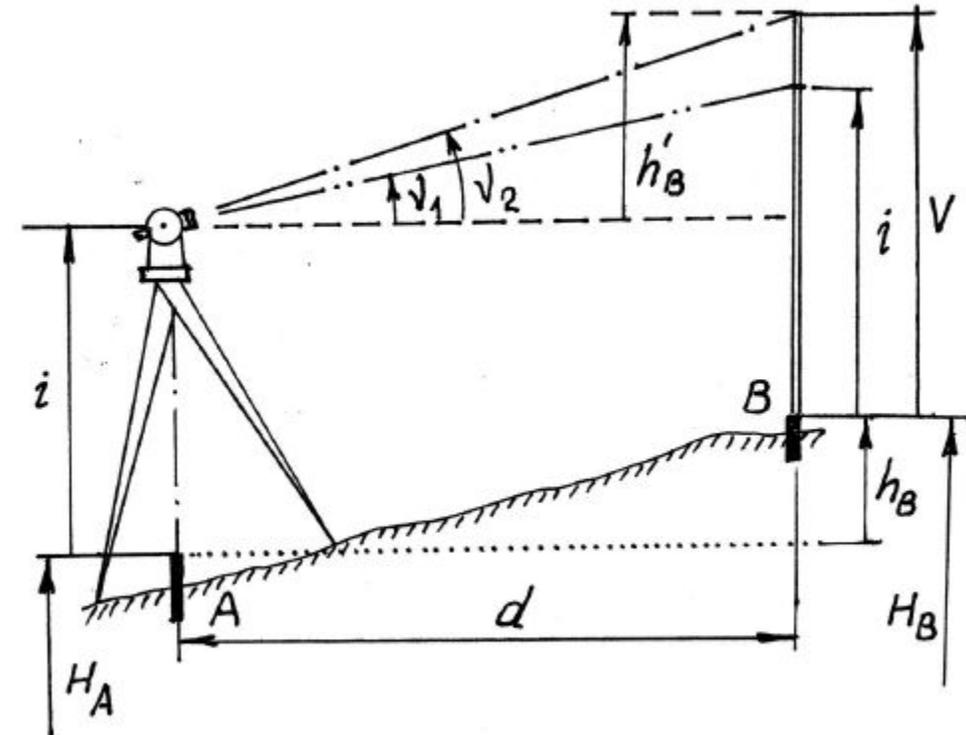
Полученные вычисленные значения координат конечной точки хода должны точно совпадать (в пределах округлений) с их исходными значениями:

$$X_{\text{КВЫЧ}} = X_{\text{КИСХ}} ; Y_{\text{КВЫЧ}} = Y_{\text{КИСХ}}$$

# Обработка ведомости высот

Высоты точек теодолитного хода чаще всего определяют способом геометрического нивелирования. Однако в ряде случаев используют метод тригонометрического нивелирования, в котором превышения точек по принятому направлению хода определяют по формуле  $h_{j+1} = d_{j(j+1)} \operatorname{tg} v_{j(j+1)} + i - V$

где  $j$  – номер точки;  $v$  – угол наклона;  $i$  – высота прибора (расстояние на станции от центра зрительной трубы до верха закрепленной точки);  $V$  – высота наведения на точку теодолитного хода, следующую по принятому направлению.



# Уравнивание высот

$$H_1 = H_H + h_1$$

$$H_2 = H_1 + h_2$$

..... ..

$$H_K = H_{n-1} + h_K$$

-----

$$H_K = H_H + \sum h$$

Высотная невязка

$$f_h = \sum h - (H_K - H_H).$$

Допустимая невязка в ходе

$$f_{\text{доп}} = \pm \frac{0,04 \sum d}{100 \sqrt{n}}, \text{ М}$$

Выполненные работы считаются качественными, если выполняется следующее условие:

$$f_h \leq f_{\text{доп}}$$

# Вычисление поправок

$$v_{hi} = - \frac{f_h}{\sum d} d_i$$

$$\sum v_{hi} = -f_h$$

$$h_{ИСПР} = h_{ИЗМ} + v_{hi}$$

$$\sum h_{ИСПР} = (H_K - H_H)$$

Ведомость высот разомкнутого теодолитного хода

№№ точек	Горизонтальные проложения, м	Углы наклона	Превышения		Высоты точек, м	№№ точек
			вычисленные	исправленные		
A					<b>142,75</b>	A
	<b>189,04</b>	<b>+4°36,5'</b>	(-0,02) +15,24	+15,22		
1					157,97	1
	<b>113,86</b>	<b>+2°27,0'</b>	(-0,02) +4,87	+4,85		
2					162,82	2
	<b>121,57</b>	<b>-0°43,7'</b>	(-0,02) -2,58	-2,60		
3					160,22	3
	<b>93,39</b>	<b>-2°11,3'</b>	(-0,01) -3,57	-3,58		
4					156,64	4
	<b>163,61</b>	<b>+4°08,0'</b>	(-0,02) +11,82	+11,80		
D					168,44	D
	$\sum d = 681,47$ м		$\sum h_{ВЫЧ} = +25,78$ м			
			$\sum h_{ТЕОР} = +25,69$ м			
			$f_h = +0,09$ м	$f_{ДОП} = \pm 0,12$ м		

**Спасибо за  
внимание**