

# ГОРОДСКАЯ ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

ЛЕКЦИЯ 3

# План лекции

- ▶ 1. Создание и реконструкция сетей полигонометрии в населенных пунктах.
- ▶ 2. Закрепление пунктов полигонометрии.
- ▶ 3. Привязка полигонометрических ходов к пунктам геодезической сети.
- ▶ 4. Определение и учёт элементов приведения. Предварительная обработка результатов измерений.

▶ 1. СОЗДАНИЕ И РЕКОНСТРУКЦИЯ СЕТЕЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ В  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Создание и реконструкция геодезической сети в населенных пунктах методом полигонометрии осуществляются в случае:

- ▶ - необходимости доведения плотности геодезического обоснования в населенных пунктах до необходимого уровня;
- ▶ - отсутствия условий для производства спутниковых наблюдений.

**На территории населенных пунктов развиваются сети полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.**

Полигонометрические сети создаются в виде отдельных ходов или систем ходов с узловыми точками, опирающихся на исходные пункты, - пункты спутниковой геодезической сети.

- ▶ Отдельные ходы полигонометрии должны опираться на два исходных пункта.
- ▶ На исходных пунктах полигонометрической сети должны быть измерены примычные углы.

При отсутствии между исходными пунктами видимости с земли допускается:

- ▶ - проложение отдельного хода полигонометрии, опирающегося на два исходных пункта, без угловой привязки на одном из них;
- ▶ - отсутствие примычных углов на отдельных исходных пунктах в системе полигонометрических ходов.

Проложение висячих ходов не допускается.

При построении сетей полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов должны соблюдаться требования, приведенные в таблице

### Технические характеристики ходов полигонометрии

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км:			
- отдельного	15	5	3
- между исходной и узловой точкой	10	3	2
- между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Наименьшая длина сторон хода, км	0,25	0,12	0,08
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная погрешность хода, не более	1:25 000	1:10 000	1:5 000
Угловая невязка хода, не более, где n - число углов в ходе	$5''/\sqrt{n}$	$10''/\sqrt{n}$	$20''/\sqrt{n}$
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах), не более	2"	5"	10"

Расстояния между пунктами параллельных полигонометрических ходов одного и того же класса (разряда), по длине близких к предельным, должны быть не менее:

- ▶ - в полигонометрии 4 класса - 2,5 км;
- ▶ - в полигонометрии 1 разряда - 1,5 км.

При меньших расстояниях между пунктами параллельных полигонометрических ходов одного и того же класса (разряда) ближайшие пункты должны быть связаны ходом полигонометрии данного класса (разряда).

При измерении углов и сторон полигонометрии применяются аттестованные в установленном порядке средства измерений.

### Технические характеристики инструментов, применяемых в полигонометрии

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Средняя квадратическая погрешность угломерной части, не более	2"	5"	5"
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния, не более	5 мм + $3 \times 10^{-6} D$	10 мм + $5 \times 10^{-6} D$	10 мм + $5 \times 10^{-6} D$

Измерение углов на пунктах полигонометрии производится способом круговых приемов по трехштативной системе.

## Допуски измерений отдельных углов или направлений

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Средняя квадратическая погрешность измерения угла применяемого прибора			
	1"	2"	3"	5"
Расхождение между значениями одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	6"	8"	10"	12"
Колебание значений угла, полученных из разных приемов	5"	8"	10"	12"
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и в конце полуприема	6"	8"	10"	12"
Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю, в отдельных приемах	5"	8"	10"	12"

- ▶ При наличии угловых измерений, результаты которых не удовлетворяют установленным допускам, измерения повторяют.

Расхождения между значениями измеренного и исходного углов на примычные пункты не должны превышать:

- ▶ - в полигонометрии 4 класса - 6";
- ▶ - в полигонометрии 1 разряда - 10";
- ▶ - в полигонометрии 2 разряда - 20".

- ▶ При измерении линий светодальномерами и электронными тахеометрами количество приемов должно составлять:
- ▶ - полигонометрии 4 класса - 3 приема;
- ▶ - полигонометрии 1 и 2 разряда - 2 приема.

*Под приемом в этих случаях принимается 2 наведения на отражатель.*

Количество отсчетов в наведении регламентируется инструкцией по эксплуатации прибора.

**Общими методическими операциями и требованиями для всех типов светодалномеров и электронных тахеометров являются:**

- ▶ - установка прибора и отражателя над центром знака при помощи центрировочных устройств и уровней;
- ▶ - измерение температуры воздуха и атмосферного давления;
- ▶ - включение и прогрев прибора, выполнение необходимых тестов, предусмотренных инструкцией по эксплуатации прибора;
- ▶ - измерение линии по индивидуальной методике;
- ▶ - измерение рулеткой с точностью до 5 миллиметров высоты визирной оси прибора (светодалномера, тахеометра) и отражателей над центром знака.

- ▶ **Угловые и линейные измерения рекомендуется производить одновременно.**

Полевая обработка материалов измерений и контрольные вычисления должны производиться исполнителем.

По окончании полевых работ должны быть представлены следующие материалы и данные, относящиеся к предварительной обработке полигонометрической сети:

- ▶ - материалы поверок и исследований инструментов;
- ▶ - журналы угловых и линейных измерений;
- ▶ - материалы предварительной обработки полигонометрии;
- ▶ - схема угловых и линейных измерений;
- ▶ - пояснительная записка.

## ▶ 2. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПУНКТОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

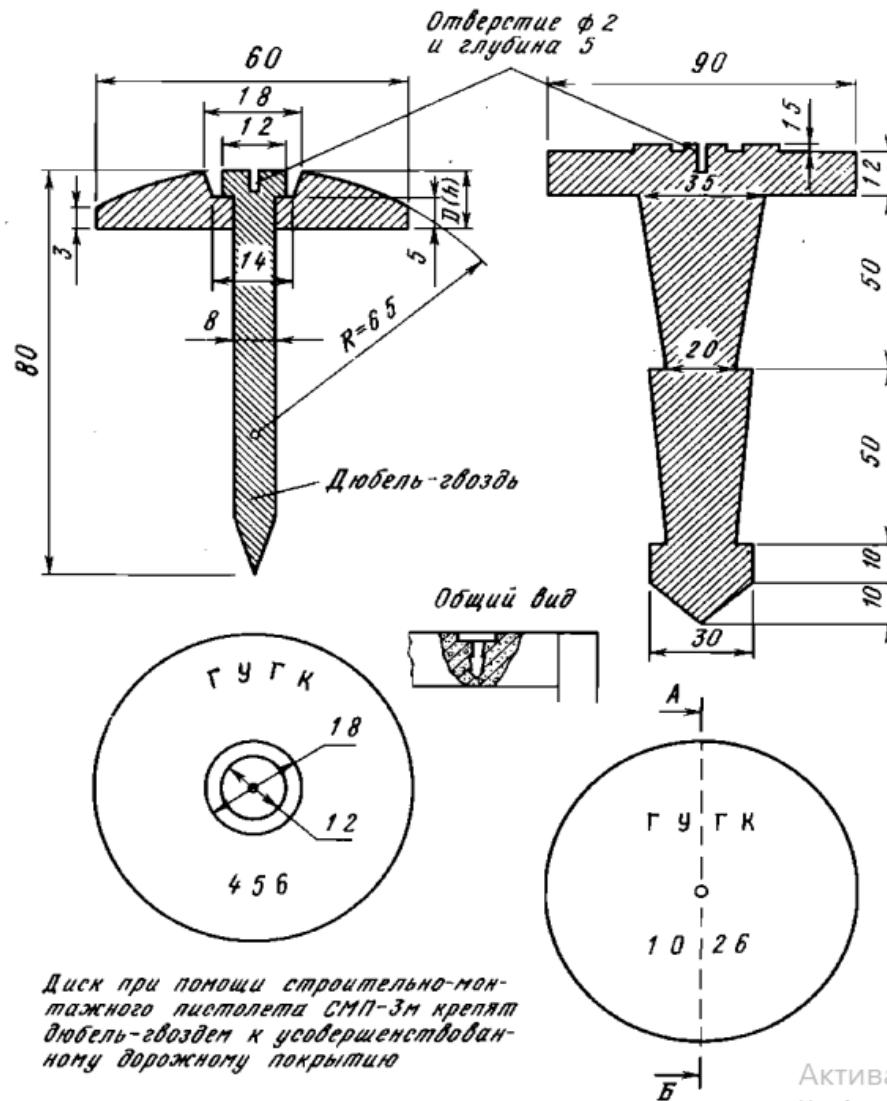
- ▶ В застроенной части города знаки полигонометрии располагают в основном на углах кварталов, чтобы обеспечить простую связь съёмочных ходов с пунктами полигонометрии.
- ▶ Места закладки знаков выбирают вне проезжей части улиц, на краях тротуаров и обочинах дорог и на теневых сторонах улиц.
- ▶ При выборе типов центров, предпочтение следует отдавать стенным знакам, которые более долговечны, просты при закладке, не требуют согласований с организациями, отвечающими за подземные коммуникациями.

▶ **Места закладки стенных знаков выбирают, руководствуясь следующим:**

- ✓ рабочие центры (временные грунтовые знаки, рис.1) не должны быть удалены более чем на 20 м от стенных знаков;
- ✓ места на стенах зданий для установки стенных знаков выбирают на высоте 0,3 - 1,2 м от поверхности земли с таким расчётом, чтобы архитектурные элементы и конструктивные выступы не препятствовали установке на знаках нивелирных реек;
- ✓ если пункт сети закрепляется системой знаков, то все они должны быть установлены на одном уровне в пределах 10 см;

- ✓ между рабочим центром и стенными знаками визирный луч должен проходить не ниже 0,5 м от поверхности местных предметов;
- ✓ стенные знаки на угловых зданиях перекрёстков должны располагаться не ближе 0,3 м от угла и должны обеспечивать возможность свободного развития ходов по направлениям перекрёстка.

# Временный (рабочий) центр полигонометрии 4 класса 1 и 2 разрядов



# Грунтовый знак пункта полигонометрии 4 класса 1 и 2 разрядов

Грунтовые центры (рис. 2) закладываются, как правило, на незастроенных территориях, а также там, где невозможна установка стенных знаков.

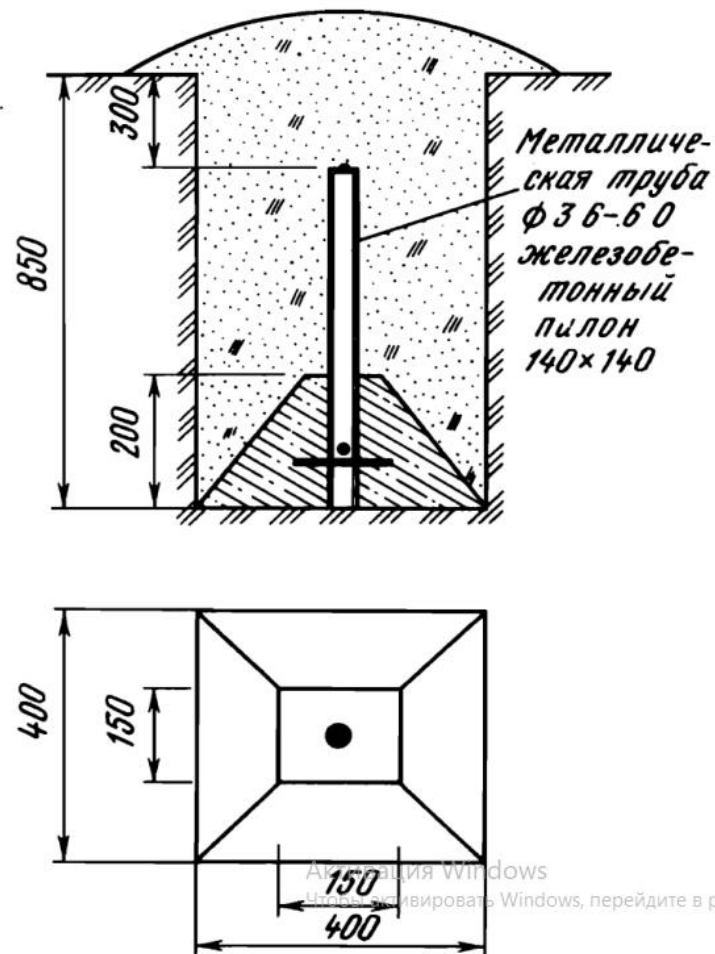


Рисунок 2

# Стенной знак пункта полигонометрии 4 класса 1 и 2 разрядов

Стенные знаки (рис. 3) по сравнению с грунтовыми имеют ряд существенных преимуществ. Они более устойчивы, стоимость их изготовления и закладки значительно меньше, ими удобнее пользоваться. Поэтому, при возможности, стенным знакам следует отдавать предпочтение.

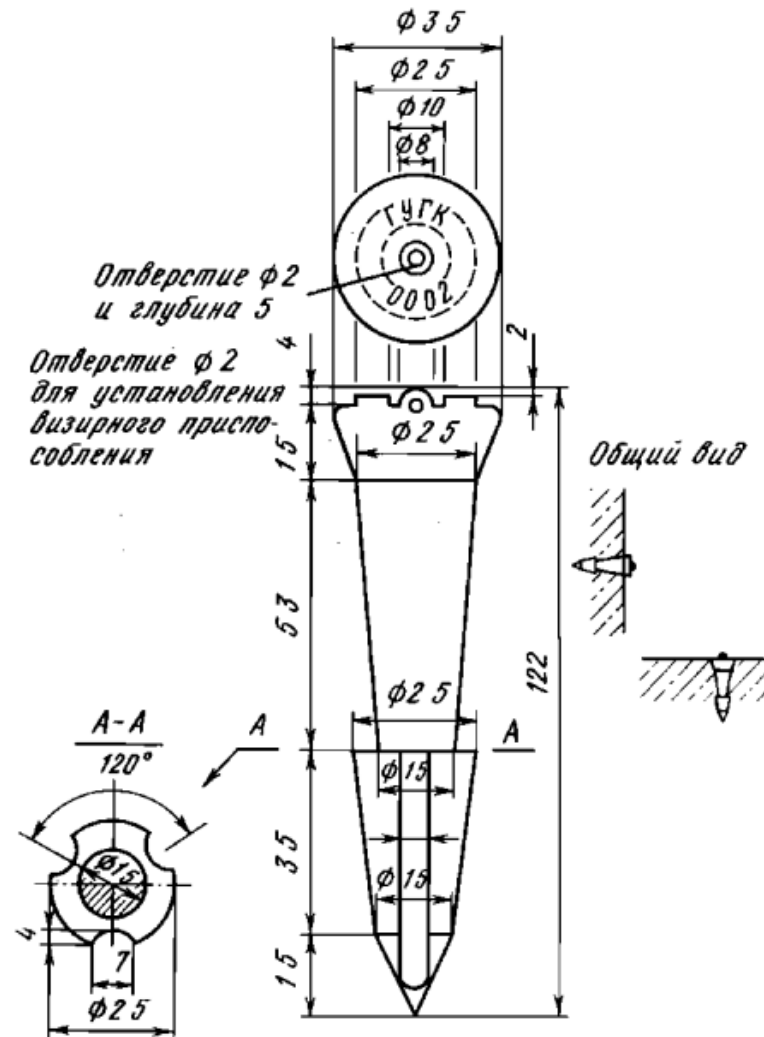


Рисунок 3

### **3. ПРИВЯЗКА ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ К ПУНКТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ**

- ▶ Привязка полигонометрического хода к пунктам ГГС предназначена для передачи координат на точки полигонометрии, но также и для осуществления контроля ориентирования этого хода.
- ▶ Наиболее простой способ привязки - это непосредственное примыкание пунктов полигонометрии к пунктам спутниковых определений или другим пунктам ГГС высшего порядка.

## *Непосредственная привязка.*

- ▶ На рис. 4. точки А, В, С, D, Е, F - пункты государственной геодезической сети, углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  называют примычными углами.
- ▶ По координатам исходных пунктов государственной геодезической сети вычисляют дирекционные углы начального  $\alpha_n$  и конечного  $\alpha_k$  направлений.
- ▶ По горизонтальным углам полигонометрического хода и исходным дирекционным углам вычисляют дирекционные углы сторон хода.
- ▶ Решая прямую геодезическую задачу, получают координаты пунктов полигонометрии.

*Такой вид привязки и порядок работ наиболее распространён на производстве.*

- ▶ От точности измерения примычных углов зависит точность ориентирования всего хода, эти углы измеряют особенно тщательно.
- ▶ В исключительных случаях, когда на одном исходном пункте нет видимости на смежные пункты геодезической сети, допускается примыкание хода полигонометрии к такому пункту без угловой привязки.
- ▶ В этом случае для контроля угловых измерений используются направления на ориентирные пункты геодезической сети, а также дирекционные углы, полученные из астрономических наблюдений.

# Непосредственная привязка полигонометрического хода к исходным пунктам

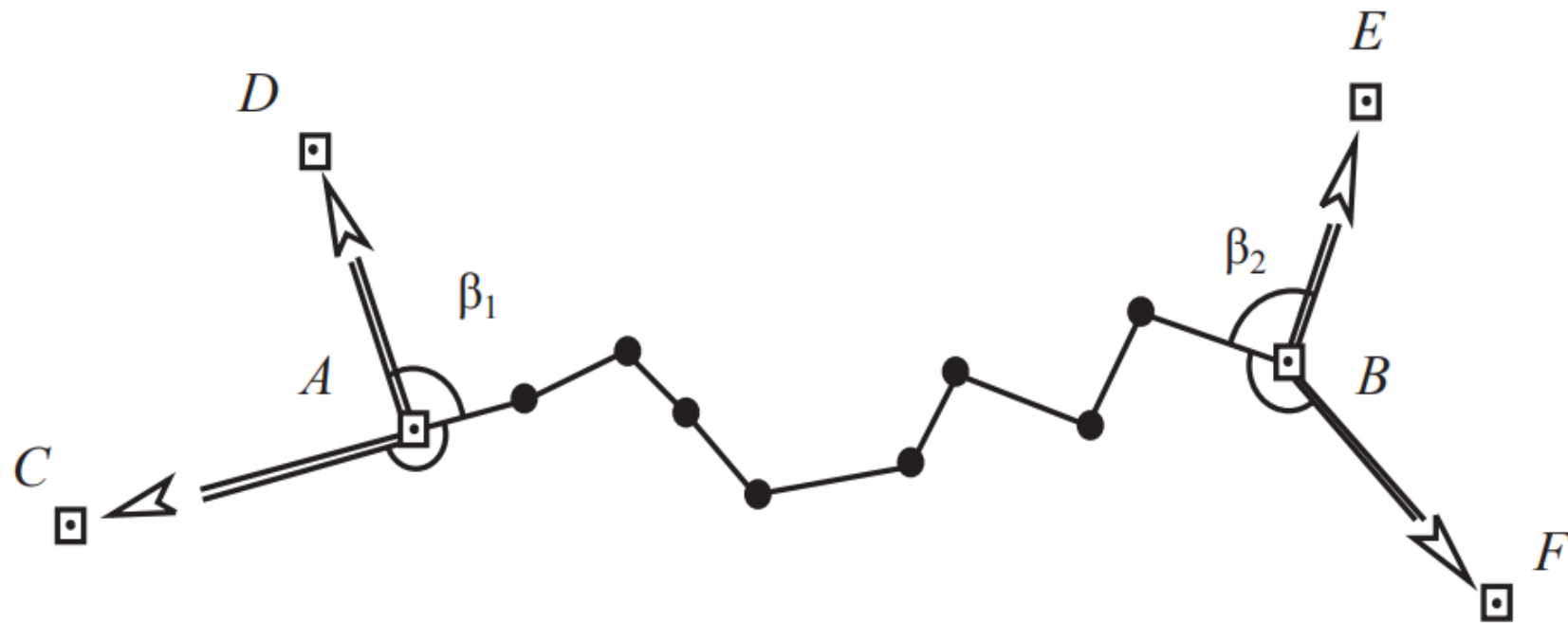


Рисунок 4

Не всегда возможны случаи непосредственного примыкания полигонометрии к пунктам высшего порядка.

На рис. 5 приведена схема, отражающая ситуацию привязки, когда с двух пунктов полигонометрии  $P_n$  и  $P_{n+1}$  видны два пункта спутниковых определений А и В.

Могут возникнуть варианты, связанные с возможностью установки отражателей на исходные пункты А и В и с отсутствием такой возможности.

# 1) Привязка двух пунктов полигонометрии к двум пунктам ГГС

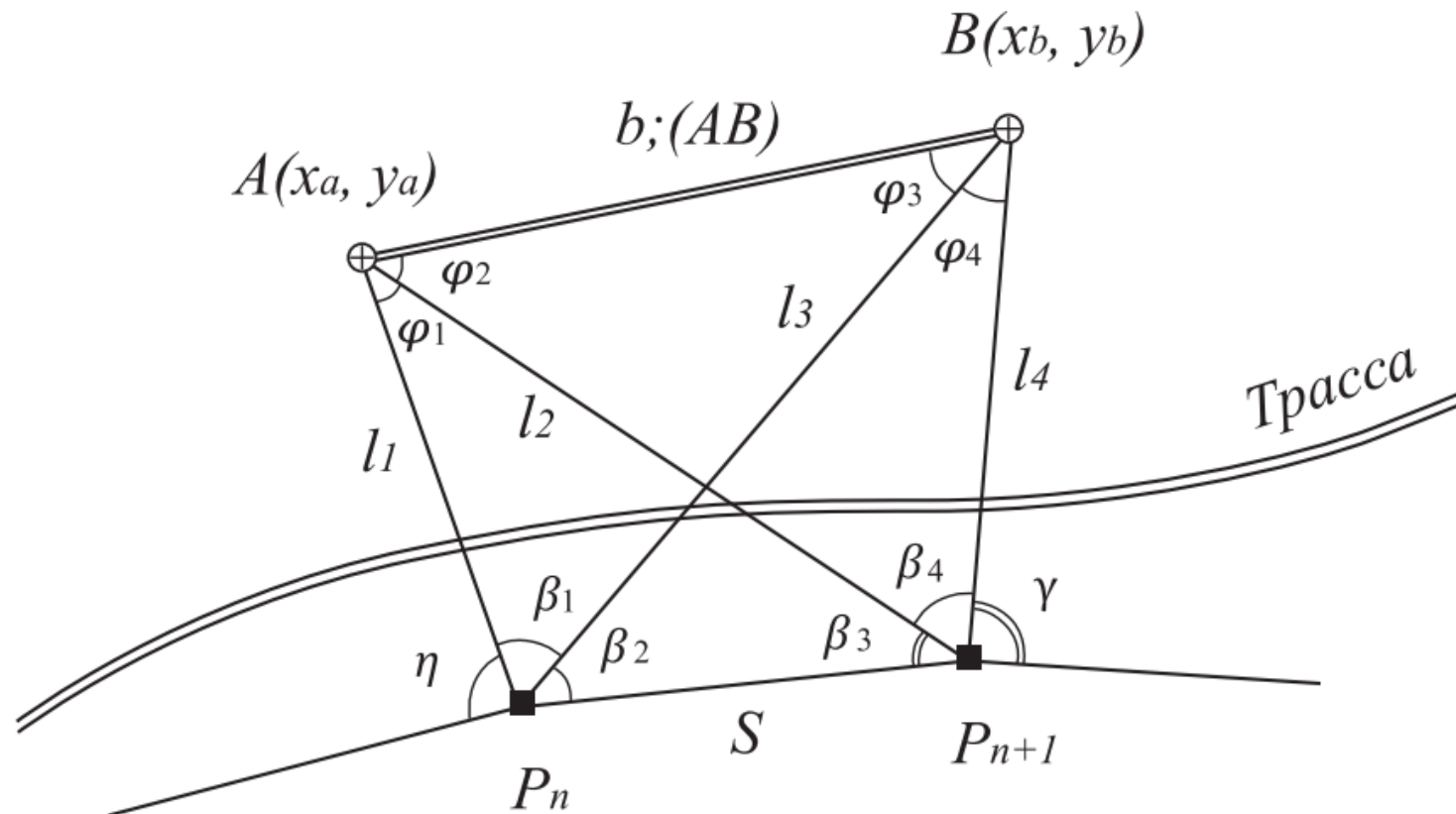


Рисунок 5

- ▶ Если на исходных пунктах установлены отражатели, то с пунктов полигонометрии  $P_n$  и  $P_{n+1}$  электронным тахеометром измеряются углы  $\beta_i$ , длины сторон  $l_i$  и примычные углы  $\gamma$  и  $\eta$ .
- ▶ Этих измерений достаточно для решения поставленных задач привязки. Наличие избыточных измерений позволяет выполнить уравнительные вычисления, надёжно передать дирекционный угол на сторону  $P_nP_{n+1}$  и определить координаты пунктов  $P_n$  и  $P_{n+1}$ .

- ▶ Рассмотрим случай, когда отражатели не могут быть установлены на пунктах ГГС и нет возможности с этих пунктов произвести какие либо измерения.
- ▶ Задача по определению координат пунктов полигонометрии  $P_n$  и  $P_{n+1}$  может быть решена, если на этих пунктах измерены горизонтальные углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  - задача Ганзена.
- ▶ Рассмотрим вариант задачи, когда длина стороны полигонометрии  $S$  измерена (известна). Рассматривая треугольники  $AP_nP_{n+1}$  и  $P_nBP_{n+1}$ , можно легко найти углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_4$  при вершинах  $A$  и  $B$ :

$$\varphi_1 = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3);$$

$$\varphi_4 = 180^\circ - (\beta_2 + \beta_3 + \beta_4).$$

Из треугольников  $ABP_n$  и  $ABP_{n+1}$ , находят стороны этих треугольников:

$$l_1 = S \frac{\sin \beta_3}{\sin \varphi_1} \quad l_2 = S \frac{\sin(\beta_1 + \beta_2)}{\sin \varphi_1}; \quad l_3 = S \frac{\sin(\beta_3 + \beta_4)}{\sin \varphi_4}; \quad l_4 = S \frac{\sin \beta_2}{\sin \varphi_4}.$$

Затем, используя найденные значения  $l_i$ , вычисляют углы  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ :

$$\sin \varphi_2 = \frac{l_4}{b} \sin \beta_4; \quad \sin \varphi_3 = \frac{l_1}{b} \sin \beta_1.$$

- ▶ Полевой контроль найденных значений может быть выполнен вычислением сумм углов в треугольниках  $ABP_n$  и  $ABP_{n+1}$ :

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \beta_1 = 180^\circ; \quad \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 + \beta_4 = 180^\circ.$$

## 2) Прямая угловая засечка

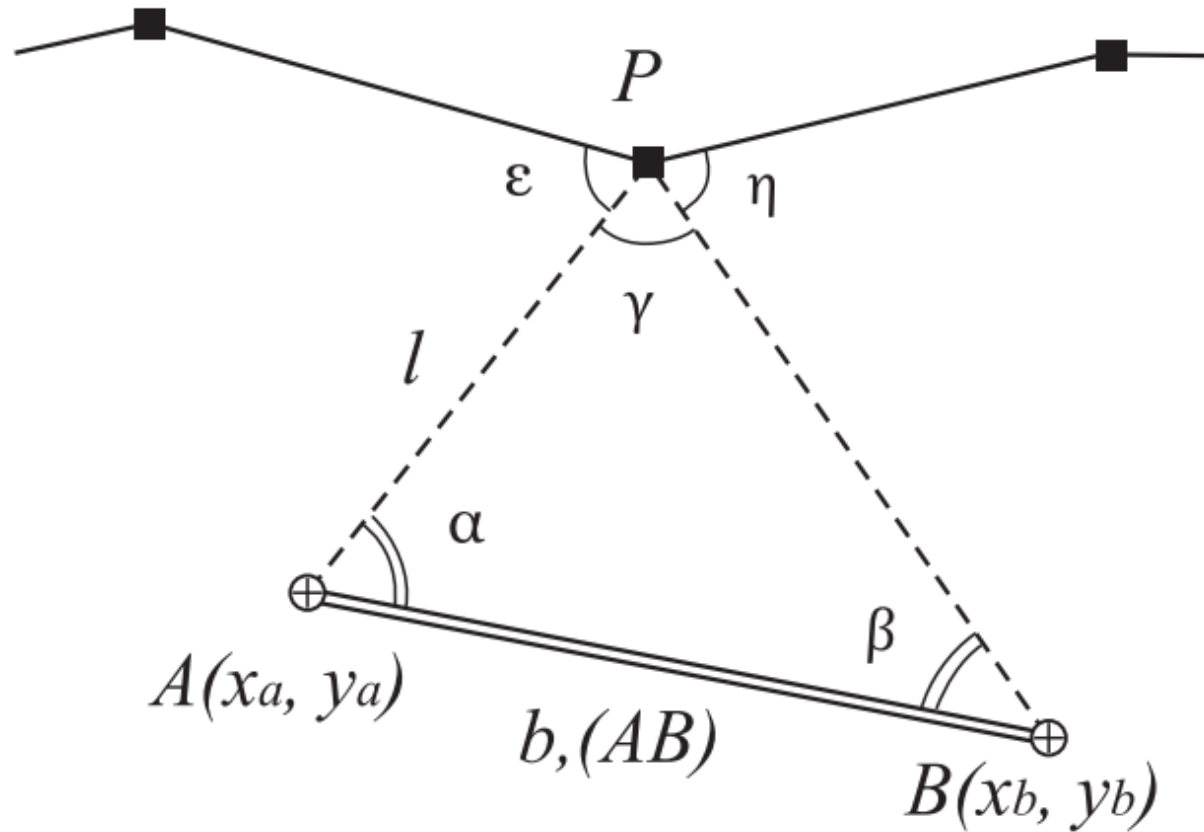


Рисунок 6

На рис. 6 приведена схема привязки, где Р - пункт полигонометрии, пункты А и В - пункты спутниковых определений.

- ▶ Исходными данными являются координаты пунктов А и В (следовательно, расстояние между точками А и В и дирекционный угол (АВ) известны).
- ▶ Измеренными величинами являются два угла  $\alpha$  и  $\beta$  - *классическая схема прямой угловой засечки.*

- Задача решается по формулам Юнга для вершин треугольника по котангенсам его углов:

$$x_p = \frac{x_a \operatorname{ctg} \beta + x_b \operatorname{ctg} \alpha + (y_b - y_a)}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta};$$

$$y_p = \frac{y_a \operatorname{ctg} \beta + y_b \operatorname{ctg} \alpha + (x_a - x_b)}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}.$$

## Привязка полигонометрического хода к пунктам, расположенным на зданиях и сооружениях

В городских геодезических сетях встречается достаточно часто.

Возможно несколько вариантов.

1) Если на пункты можно установить отражатели, то электронным тахеометром решается обратная засечка и находятся координаты точки Р (рис. 7).

# Схема передачи координат с пункта сети на рабочий центр

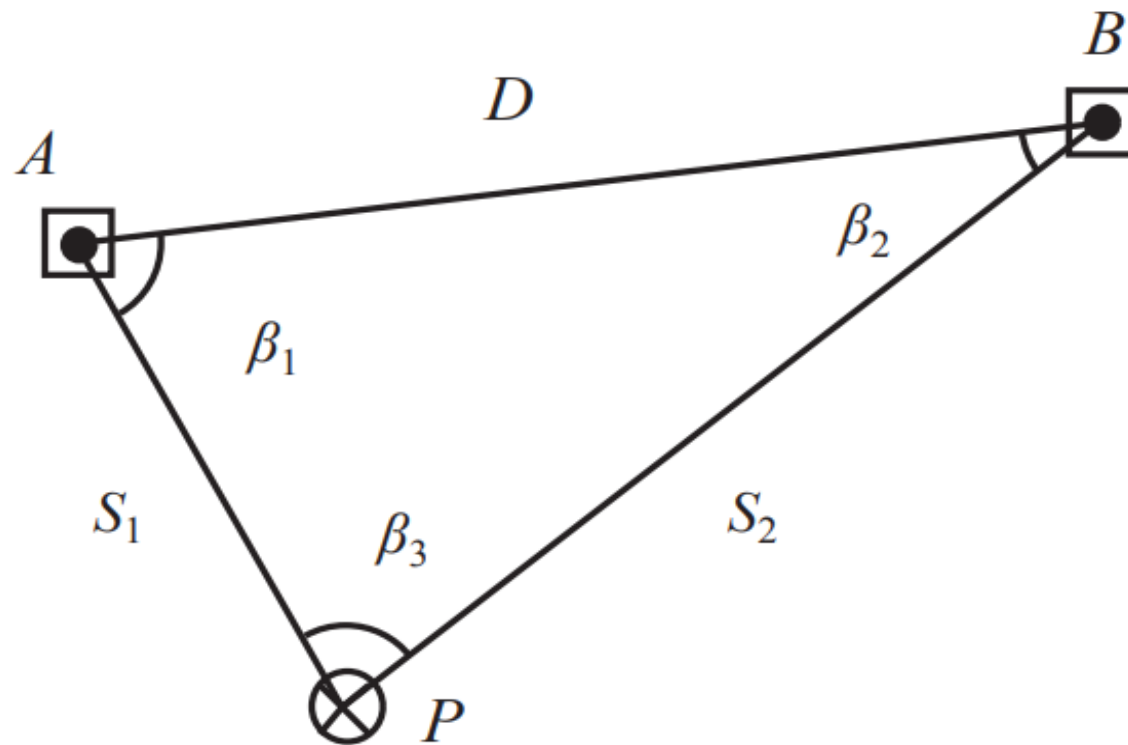


Рисунок 7

## Передача координат с вершины на землю

- ▶ Если видны только визирные цилиндры пунктов  $A$  и  $B$  (рис. 8) наземной сети и измерить расстояния до этих пунктов не представляется возможным, то задача решается следующим образом.

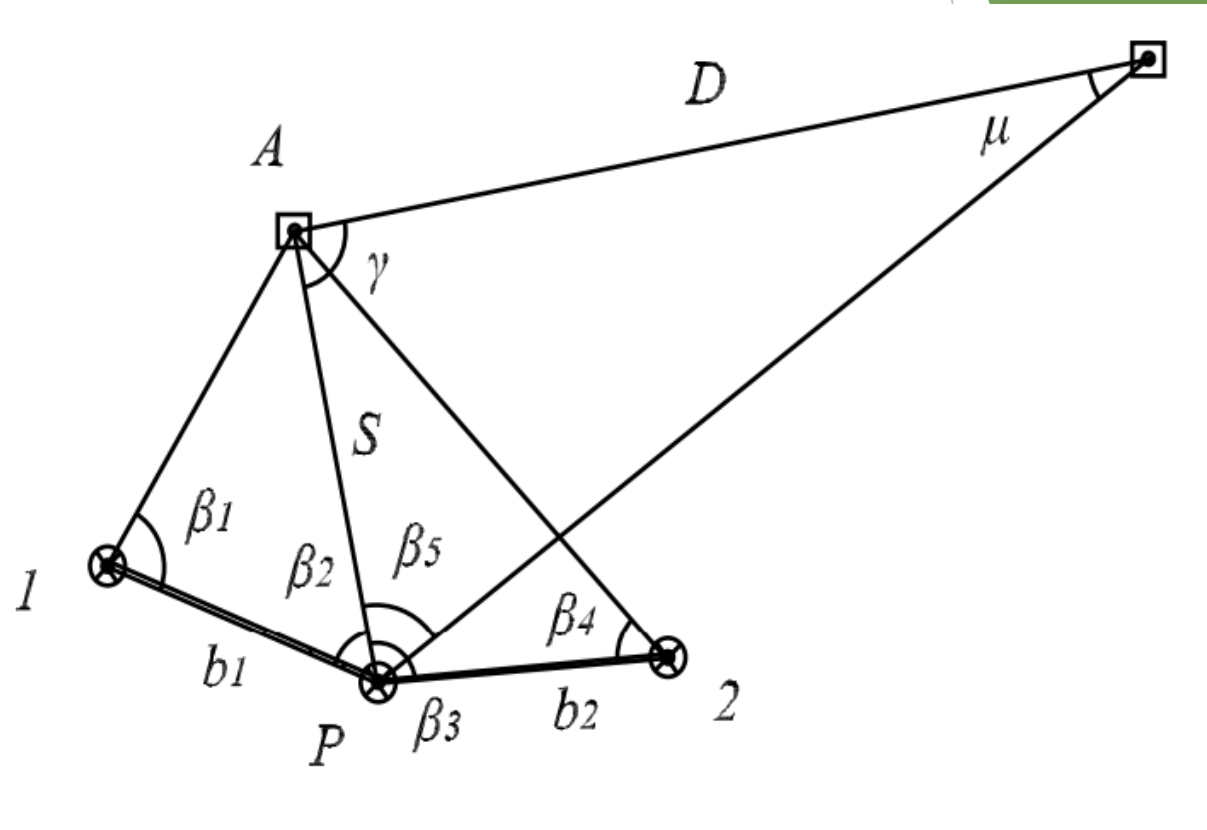


Рисунок 8

- ▶ Для вычисления координат точки Р необходимо знать длину линии  $S$  и её дирекционный угол.
- ▶ Для этих целей в точке Р разбивают два базиса  $b_1$  и  $b_2$ , а затем измеряют горизонтальные углы  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  и  $\beta_5$ . По результатам измерений вычисляется длина  $S$  и её дирекционный угол:

$$S = \frac{b_1 \sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \beta_2)} = \frac{b_2 \sin \beta_4}{\sin(\beta_3 + \beta_4)};$$
$$\sin \mu = \frac{S \sin \beta_5}{D}; \quad \gamma = 180^\circ - (\mu + \beta_5);$$
$$\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \gamma.$$

Здесь  $D$  - длина опорной стороны АВ.

- Координаты точки  $P$  вычисляются по формулам:

$$X_P = X_A + S \cdot \cos \alpha_{AP};$$

$$Y_P = Y_A + S \cdot \sin \alpha_{AP}.$$

Контроль найденных координат точки  $P$  можно выполнить дважды, вычислив дирекционный угол стороны  $PB$ :

$$\alpha_{PB} = \alpha_{PA} + \beta_5; \quad \operatorname{tg} \alpha_{PB} = \frac{Y_B - Y_P}{X_B - X_P}.$$

► 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И УЧЁТ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЯ.  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

- ▶ Измерения горизонтальных углов и длин линий в полигонометрии должны выполняться между центрами заложенных на местности пунктов.
- ▶ Это условие реализуется с достаточной точностью только при осуществлении измерений по трёхштативной схеме, когда приборы и визирные цели (отражатели) центрируются непосредственно над пунктами.
- ▶ Если над центром пункта установлен геодезический знак в виде сигнала с наблюдательным столиком и визирным цилиндром, то возникает необходимость учёта внецентренной установки как прибора на наблюдательном столике, так и визирного цилиндра на вершине знака (рис. 9).

- ▶ На рисунке 9:
- ▶ С - центр геодезического пункта, спроектированный на плоскость наблюдательного столика;
- ▶ I - проекция оси вращения прибора на эту плоскость;
- ▶ V - проекция оси визирного цилиндра на ту же плоскость.

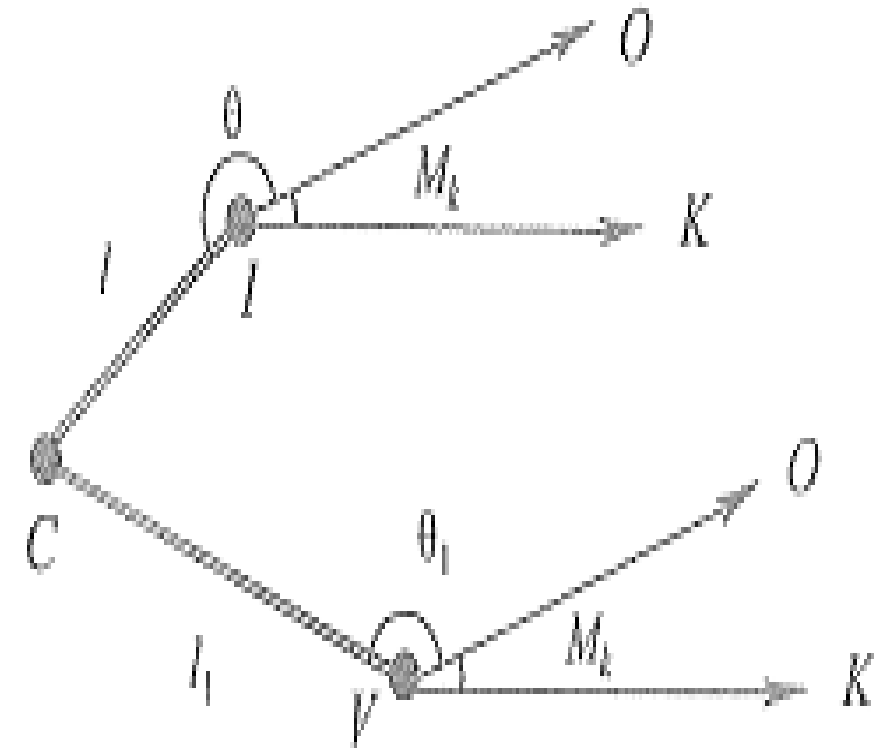


Рисунок 9. - Элементы центрировки и редукции на пункте

- ▶ Если ось вращения прибора расположена на расстоянии  $l$  от центра пункта ( $l$  - линейный элемент центрировки), то в измеренный горизонтальный угол  $M_k$ , необходимо ввести поправку за центрирование ( $c$ ).
- ▶ Для её вычисления дополнительно следует определить угловой элемент центрировки угол  $\Theta$ .
- ▶ Если со смежных пунктов  $A$  и  $B$  при измерении горизонтальных углов в качестве цели используется визирный цилиндр пункта  $C$ , то в измеренные углы на этих пунктах следует ввести поправки за редукцию визирной цели -  $r$ .
- ▶ Для этого необходимо знать линейный элемент редукции -  $l$ , и угловой элемент редукции -  $\Theta_1$ .
- ▶ **Линейные и угловые элементы центрировки и редукции называются элементами приведения.**

- ▶ Элементы приведения определяют графическим способом.
- ▶ Для этого центр пункта  $C$ , точку установки прибора и ось симметрии визирного цилиндра  $V$  проектируют при помощи теодолита на лист бумаги, который называется центрировочным листом.
- ▶ Центрировочный лист укрепляют на специальном столике или мензуре, установленной над центром знака, ориентируют и горизонтируют его.
- ▶ С трёх установок теодолита (тахеометра) в некотором отдалении от знака проектируют все вышеназванные точки на центрировочный лист таким образом, чтобы проектирующие плоскости пересекались под углом около  $120^\circ$ .

- ▶ В местах пересечения намечают соответствующие искомые точки:  $C$ ,  $I$ , и  $V$ .
- ▶ При проектировании в местах пересечения могут образоваться треугольники погрешностей, стороны которых не должны превышать 5 мм для оси прибора и центра пункта. Для проекции оси симметрии визирного цилиндра допуск составляет 10 мм.
- ▶ При соблюдении отмеченных допусков в каждом из треугольников намечают его центр, который принимается за проекцию соответствующей точки.

- ▶ Линейные элементы центрировки и редукции  $l$  и  $l_1$ , измеряют линейкой или рулеткой с точностью 1 мм.
- ▶ Для измерения угловых элементов  $\Theta$  и  $\Theta_1$ , из точек  $I$  и  $V$  наносят направления на смежные пункты.
- ▶ При отсутствии видимости центрировочный лист поднимают на наблюдательный столик, ориентируют и отчерчивают нужные направления.
- ▶ Угловые элементы центрировки и редукции измеряют на центрировочном листе при помощи геодезического транспортира с точностью 15'.

- ▶ На рисунке 10 изображены центр пункта С, проекция оси прибора I и пункты А и В, направления на которые образует из точки I угол М. Измеренный угол М следует исправить введением поправки с, чтобы привести его к центру пункта С.

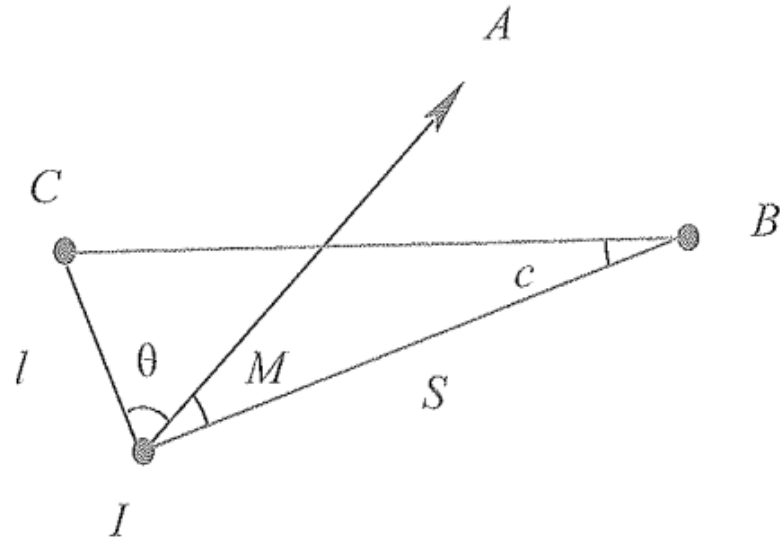


Рисунок 10. Вычисление элементов приведения

Поправка за центрировку:

$$c'' = \rho'' \frac{l \sin(M + \Theta)}{S}$$

Поправка за редукцию:

$$r'' = \rho'' \frac{l_1 \sin(M + \Theta_1)}{S}$$

Поправка за центрировку вводится в горизонтальный угол на том пункте, где были определены элементы центрировки.

Поправка за редукцию вводится в углы, с вершин которых наблюдался визирный цилиндр с элементами редукции.

Если электронный тахеометр и отражатель при измерениях установлены не над центрами знаков, то в измеренные расстояния также следует ввести поправки.

На рисунке 11:  $C$  и  $B$  - центры пунктов.

В точках установлены соответственно электронный тахеометр и отражатель.

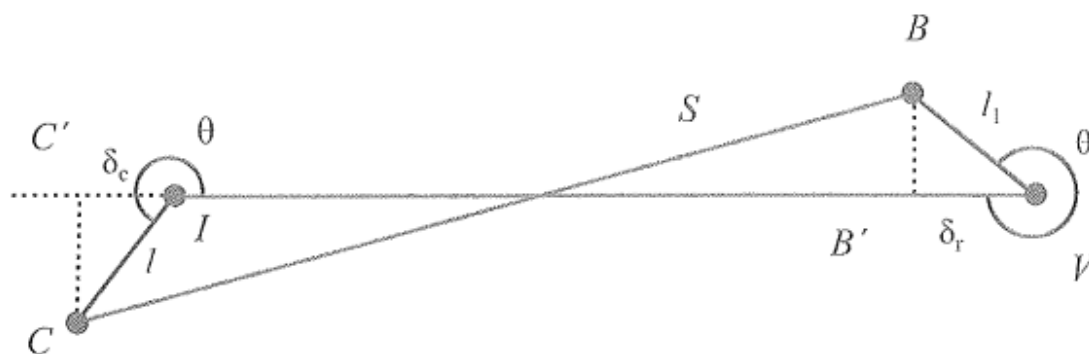


Рисунок 11. Элементы приведения при линейных измерениях

- ▶ Поправки за центрировку прибора и редукцию отражателя вычисляют аналитически по формулам:

$$\delta_c = -l \cos \Theta; \quad \delta_r = -l_1 \cos \Theta_1,$$

- ▶ где  $l, l_1$  - линейные элементы центрировки и редукции;  
 $\Theta, \Theta_1$  - угловые элементы центрировки и редукции.

## ► Предварительная обработка результатов измерений

Предварительная обработка производится в принятой для города или региона системе координат и высот.

**Предварительная обработка включает:**

- ✓ составление рабочей схемы геодезической сети города;
- ✓ подготовка исходных данных, перевод исходных пунктов в местную систему, принятую для данного города или региона;
- ✓ проверка и обработка журналов угловых и линейных измерений;
- ✓ проверка и оформление листов графического определения элементов приведения;
- ✓ проверка журналов нивелирования, составление ведомостей превышений, вычисление высот пунктов полигонометрии;
- ✓ вычисление длин линий;

- ✓ составление таблиц горизонтальных направлений и приведение измеренных длин линий на средний уровень поверхности и на плоскость проекции;
- ✓ вычисление угловых и линейных невязок в ходах и рабочих координатах пунктов полигонометрии;
- ✓ вычисление координат стенных знаков полигонометрии;
- ✓ составление ведомости рабочих координат и высот пунктов полигонометрии;
- ✓ подготовка данных для уравнительных вычислений;
- ✓ составление пояснительной записки и систематизация материалов для их сдачи.

- ▶ При обработке результатов угловых измерений выполняют вычисление поправок за центрировку и редукцию.
- ▶ Для вычисления поправок за центрировку берут средние значения элементов центрировки из всех определений на данном пункте.
- ▶ Для вычислений поправок за редукцию на наблюдаемых пунктах (с данного) берут среднее значение элементов редукций из определений.

- ▶ Углы в полигонометрии вычисляются с точностью до  $0,1''$ .
- ▶ Длины линий измеряются с ошибкой 2-5 мм. Следовательно, вычисления длин линий следует выполнять с точностью  $0,1$  мм.
- ▶ Вычисление поправок в углы и линии необходимо выполнять с точностью для углов это  $0,01''$ , а для линий  $0,01$  мм.
- ▶ После введения поправок результат округляется соответственно до  $0,1''$  и  $0,1$  мм.

- ▶ Величина искажения длин сторон геодезической сети за приведение их на референц-эллипсоид определяется по формуле:

$$\delta_H = -\frac{H_m}{R} D$$

- ▶ где  $H_m$  - средняя высота стороны над уровнем моря;
- ▶  $D$  - горизонтальная проекция стороны;
- ▶  $R = 6370$  км.

- ▶ При редуцировании длин сторон на плоскость в проекции Гаусса они увеличиваются на величину:

$$\delta_L = -\frac{y_m^2}{2R_m^2} S$$

- ▶ где  $y$  - среднее значение ординат концов стороны;
- ▶  $R$  - средний радиус кривизны для средней точки стороны;
- ▶  $S$  - длина стороны.

- ▶ Поправки вычисляют и вводят в измеренные направления с округлением до 0,1".
- ▶ Вычисление поправок в направления за кривизну изображения геодезической линии в проекции Гаусса выполняют для полигонометрии 4 класса с точностью до 0,1" по следующим упрощённым формулам:

$$\delta_{1,2} = -\frac{\rho(x_2 - x_1)y_m}{2R^2}; \quad \delta_{2,1} = +\frac{\rho(x_2 - x_1)y_m}{2R^2};$$

- ▶ где  $\delta_{1,2}$  - поправка в направлении с пункта 1 на пункт 2;
- ▶  $x, y$  - приближённые координаты пунктов 1 и 2 в км (ординаты  $y$  считаются от осевого меридиана местной системы);
- ▶  $R$  - средний радиус кривизны на средней широте пунктов 1 и 2;
- ▶  $\rho$  - число секунд в радиане.
- ▶ Поправки  $\delta_{1,2}$  и  $\delta_{2,1}$  вычисляются по координатам пунктов в общегосударственной системе координат.

- ▶ Выполняют пересчет измеренных расстояний на плоскость проекции Гаусса с местной системы координат в следующей последовательности:
- ▶ результаты линейных измерений приводятся к центрам пунктов, т. е. вычисляются измеренные (наклонные) расстояния между центрами пунктов;
- ▶ измеренные расстояния редуцируются на эллипсоид Красовского Красовского в системе СК-95, т. е. вычисляются длины геодезических линий;
- ▶ длины геодезических линий редуцируются на плоскость проекции Гаусса, т. е. вычисляются расстояния на плоскости проекции Гаусса.

- ▶ Полученные средние значения из прямых и обратных измерений горизонтальных проекций сторон полигонометрии необходимо редуцировать на поверхность эллипсоида (уровень моря, средний уровень города).
- ▶ Если  $D$  - горизонтальная проекция стороны полигонометрического хода, то её длина (геодезическая линия) на поверхности референц-эллипсоида вычисляется по формуле:

$$s = D - \frac{H_m}{R} D$$

- ▶ где  $s$  - расстояние на эллипсоиде (длина геодезической линии);
- ▶  $H_m$  - средняя высота стороны над уровнем моря;
- ▶  $R$  - средний радиус кривизны поверхности эллипсоида на средней широте  $B$  данной линии.

$$R = a \left( 1 - \frac{1}{2} e^2 \cos 2B_m \right)$$

где  $a$  - большая полуось референц-эллипсоида;

$e$  - эксцентриситет меридианного сечения эллипсоида.

Для эллипсоида Красовского  $a = 6378245$  м,  $e = 0,006693422$

При приведении измеренных линий на средний по высоте уровень города поправку вычисляют по формуле:

$$s = D - \frac{H_m - H_0}{2R} D$$

где  $H_0$  - принятый средний по высоте уровень города.

- ▶ Длина стороны полигонометрии на плоскости в проекции Гаусса находится по формуле:

$$d = s + s \frac{y_m^2}{2R_m^2}$$

где  $y_m = \frac{(y_1 + y_2)}{2}$  - средняя ордината стороны.

Для вычисления координат пунктов полигонометрии решается прямая геодезическая задача.

▶ СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!