

ТЕМА 1.
КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАДАСТРА И
ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА

ЛЕКЦИЯ 3
Построение сетей сгущения по
методу полигонометрии

Рекомендуема литература:

- 1. Неумывакин, Ю.К. Земельно-кадастровые геодезические работы: Учеб. / Ю.К. Неумывакин, Перский М.И. – М.: КолосС, 2008.-183 с.
- 2. Гладкий В.И., Спиридонов В.А. Городской кадастр и его картографо-геодезическое обеспечение. – М.: Недра, 1992.
- 3. Назаров. А.С. Координатное обеспечение топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ. – Минск. - Учеб. центр по повышению квалификации и перепод. землеустроит. и картографо-геод. службы.–2008. – 83с.
- 4. Современные электронные геодезические приборы: Информ. обзор / Научн.-исслед. респ. унитарн. предп. по землеустройству, геодезии и картографии «БелНИЦзем» / Сост. Д.А. Чиж, С.И. Помелов. – Мн., 2005. – 40 с.

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

- 1. Основные требования к полигонометрии. Особенности городской полигонометрии.
- 2. Измерение углов и линий
- 3. Привязка съемочных сетей к стенным знакам.

1. Основные требования к
полигонометрии. Особенности
городской полигонометрии

Преимущества метода полигонометрии

- 1. Применение высокоточных электронных дальномеров и тахеометров, позволяет автоматизировать все процессы от полевых измерений до получения уравненных значений координат пунктов плановой геодезической опоры

- Для сгущения пунктов основного геодезического обоснования, полученного методом триангуляции, при городских крупномасштабных съемках строят полигонометрические сети 1 и 2 разрядов.
- При малых размерах городских территорий, где триангуляционные сети строить не целесообразно, полигонометрические сети являются самостоятельным первичным геодезическим обоснованием

- Точностные показатели полигонометрии позволяет использовать ее в качестве первичного геодезического обоснования в городах площадью от 25 до 50 км² взамен триангуляции 4 класса.

Основные показатели	Класс		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длины отдельных ходов при измерении линий светодальномерами и электронными тахеометрами в зависимости от числа n в ходе, (L)км	8 при n=30 10 при n=20 12 при n=15 15 при n=10 20 при n=6	10 при n=50 12 при n=40 15 при n=25 20 при n=15 25 при n=10	6 при n=30 8 при n=20 10 при n=10 12 при n=8 14 при n=6
Предельная длина хода при измерении линий другими методами, (L)км	15	5	3
Предельные длины ходов: между исходной и узловой точкой, между узловыми точками	2/3 длины отдельного хода, определенных в зависимости от числа сторон n		
Длина стороны хода, км			
Наименьшая	0.25	0.12	0.08
Наибольшая	2.00	0.80	0.35
Относительная ошибка хода не более	1:25000	1:10000	1:5000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), угловые секунды, не более	2	5	10

- Примечание:

- 1. При измерении сторон полигонометрии светодальномерами в отдельных случаях разрешается увеличивать длины привязочных сторон до 30%.
- В порядке исключения допускается абсолютная невязка 10 см в ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и 2 разряда до 0.5 км
- Если в ходах 1 и 2 разряда не чаще чем через 10 сторон и не реже чем 3 км хода определены дирекционные углы сторон с ошибкой менее $7''$, то длины полигонометрических ходов разрешается увеличивать до 30%.
- 2. Проложение висячих ходов не допускается.

Особенности городской полигонометрии

- Создаваемая на территории города полигонометрическая сеть должна удовлетворять требованиям крупномасштабных съемок до масштаба 1:500 включительно и обеспечивать создание крупномасштабных планов на территорию города. Для этого плотность геодезических пунктов должна быть доведена до 4-х пунктов полигонометрии и триангуляции на 1 км².
- В отдельных случаях сеть может уплотняться до 8 на 1 км²

Полигонометрию проектируют с учетом следующих требований:

- 1. Линии ходов располагают вдоль улиц, дорог, рек на участках удобных для угловых и линейных измерений; пункты намечают вблизи объектов съемки и строительства в местах, удобных для привязки и обеспечивающих их сохранность.

Предусматривается возможность привязки ходов к пунктам высшего класса (разряда).

- Полигонометрические хода должны быть, возможно вытянутыми и равносторонними с длинами сторон рекомендованной инструкцией; короткие стороны не следует располагать рядом с длинными сторонами.

- При построении городской полигонометрии возможно параллельное следование ходов одного класса или разряда. Если их длина приближается к предельной, то расстояние между их ближайшими пунктами должно быть не менее 2.5 км для 4 класса и 1.5 км для 1 разряда. При меньших расстояниях ближайшие пункты необходимо связывать ходами того же класса или разряда.

- При проектировании одиночных полигонометрических ходов с примерно одинаковыми сторонами, опирающихся на два исходных пункта и исходные дирекционные углы определяют погрешность в положении пункта и погрешность дирекционного угла в середине хода после его уравнивания.

- Средняя квадратическая погрешность в слабом месте хода после уравнивания:

$$M_{сл} = \frac{1}{2} M$$

где M – средняя квадратическая погрешность в положении конечного пункта хода.

- Ожидаемая средняя квадратическая погрешность в положении конечного пункта вытянутого хода и хода произвольной формы :

$$M^2 = m_s^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} \quad (1)$$

$$M^2 = m_s^2 \cdot n + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{0,i}^2] \quad (2)$$

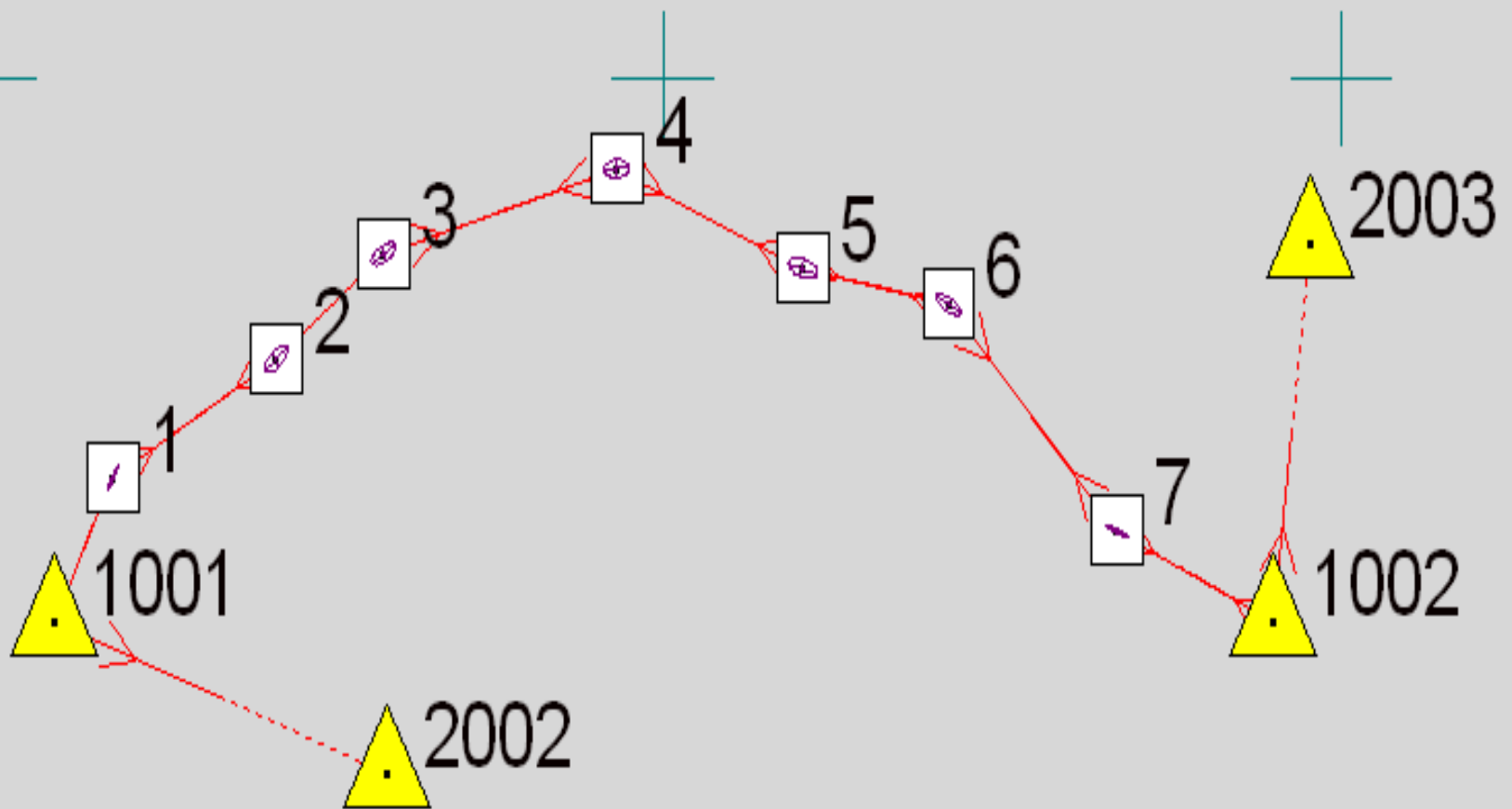
где $D_{0,i}$ – расстояние от каждой вершины хода до его центра тяжести;

m_s – средняя квадратическая ошибка измерения стороны;

m_β – средняя квадратическая ошибка измерения угла;

L – длина замыкающей.

Теодолитный ход



Координаты центра тяжести вычисляются по приближенным координатам (снятым с карты, на которой ход запроектирован) точек хода

$$X_0 = \frac{[X_i]}{n+1} \quad Y_0 = \frac{[Y_i]}{n+1} \quad (3)$$

- 7. Новые сети триангуляции и полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разряда уравнивают совместно, как единую сеть, с учетом соответствующих весов измерений углов и длин сторон, приняв в качестве исходных пункты государственной геодезической сети (ГГС) 1, 2, 3, 4, классов.

- Совместное уравнивание городских сетей разных классов и разрядов как единой системы более надежно локализует грубые ошибки измерений, что облегчает их выявление, повышает обусловленность системы нормальных уравнений и тем самым точность уравненных элементов системы.
- При уравнивании городских сетей применение принципа от общего к частному не желательно.

- 8. Пункты полигонометрии 4 класса и 1-2 разрядов прокладываемых в населенных пунктах, должны, как правило, закрепляться стенными знаками закладываемых в стены и фундаменты капитальных зданий на высоте 0,5-1,0 м от земной поверхности с учетом удобства линейных и угловых измерений.

- Грунтовые знаки могут закладываться лишь на участках, где не имеется надежных зданий для закладки стенных знаков.
- При закладке грунтовых знаков необходимо учитывать расположение подземных коммуникаций, по возможности избегать участков с интенсивным движением и предполагаемых мест будущей застройки.

2.Измерение углов и линий



- Для измерения углов в полигонометрии 4 класса и 1-2 разрядов применяются теодолиты Т₂, 2Т₂, 3Т₂КП, Те0010А, -Т₅, 2Т₅, 2Т₅КП, или им равноточные приборы (тахеометры).
- В качестве вех используются визирные марки, устанавливаемые на штативах.
- Измерения углов выполняется по способу измерения отдельных углов или способом круговых приемов.

Число круговых приемов в зависимости от класса или разряда измерений и инструментов

Полигонометрия	Инструменты	Число приемов
4 класс	T1 (OT2)	4
	T2 (ТБ1)	6
1 разряд	T2	2
	T5	3
2 разряд	T2	2
	T5	2

При наблюдениях на пункте следует
придерживаться следующих рекомендаций

- Не изменять фокусировки трубы и отсчетного устройства во время наблюдений.
- При вращении теодолита вокруг вертикальной оси, пузырек цилиндрического уровня не должен отклоняться более чем 2 деления.
- наведение на визирные цели биссектора нитей трубы осуществляют наводящим винтов на

- Отсчеты по шкале оптического микрометра снимают дважды после совмещения изображений штрихов
- В процессе измерений необходимо контролировать и при необходимости корректировать центрирование приборов.
- Угловые измерения на солнечной стороне проводить в пасмурную погоду.
- В ясную погоду летом целесообразно организовывать измерения до 9 часов и после 15-19 часов в зависимости от ориентировки улиц.

Допуски на измерение углов и направлений

Элементы измерений к которым относятся допуски	Тип приборов		
	T1	T2	T5
Расхождение значений одного и того же угла полученного из двух полуприемов	6 ^{//}	8	0,2 [/]
Колебание значений угла, полученных из разных приемов	5	8	0,2
Расхождение результатов наблюдений на начальное направление в начале и конце приема	6	8	0,2

Измерение горизонтальных углов в полигонометрии сопровождаются ошибками:

- редукции,
- центрирования,
- приборными,
- собственно измерений,
- влияния внешней среды и исходных данных.

Ошибки редукции и центрирования возникают в следствие неточной установки над центрами пунктов визирных целей и теодолита.

- Для ослабления их влияния применяют оптические центриры.

Ошибка редукции выражается случайной величиной l_1 влияние m_p которой на результат измерения горизонтального угла определяется формулой

$$m_p^2 = m_{p1}^2 + m_{p2}^2 = \rho^2 \frac{l_1^2}{2} \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right) \quad (3)$$

при равенстве $S_1=S_2=S$

$$m_p = \frac{\rho l_1}{S} \quad (4)$$

отсюда

$$l_1 = \frac{m_p S}{\rho} \quad (5)$$

Для полигонометрии 4 класса $m_p = 1''$,

при длинах линий более 500 м значение линейного
элемента редукции 2,9 мм, $m_p = 2''$

при минимальной длине линии 250 м – 1,4 мм.

Соответственно, для полигонометрии 1 разряда

значение линейного элемента редукции 2,9 и 1,4 мм,

для 2 разряда $m_p = 5''$ - 4 мм и 1,6 мм.

- Ошибка центрирования характеризуется случайной величиной l и выражается формулой

$$m_{\text{ц}} = \frac{\rho l}{\sqrt{2S_1 S_2}} L \quad (6)$$

где L – диагональ соединяющая визирные цели.

$$\begin{aligned} S_1 &\approx S_2 \\ L &= 2S \end{aligned}$$

$$m_{\text{ц}} = \frac{\rho l}{S} \sqrt{2} \quad (7)$$

$$l = \frac{m_{\text{ц}} S}{\sqrt{2} \rho} \quad (8)$$

Для полигонометрии 4 класса значения должны быть - 2 и 1 мм,
для 1 разряда - 2 и 0,8 мм,
для 2 разряда - 2,8 и 1,1 мм.

Приборные ошибки вызваны несоблюдением технологических и геометрических условий и включают ошибки :

- делений лимба,
- отсчетной системы,
- эксцентриситет,
- наклон лимба, коллимационную ошибку,
- наклон горизонтальной оси.

Влияние приборных ошибок учитывается при оптимальной методике измерений и введением поправок.

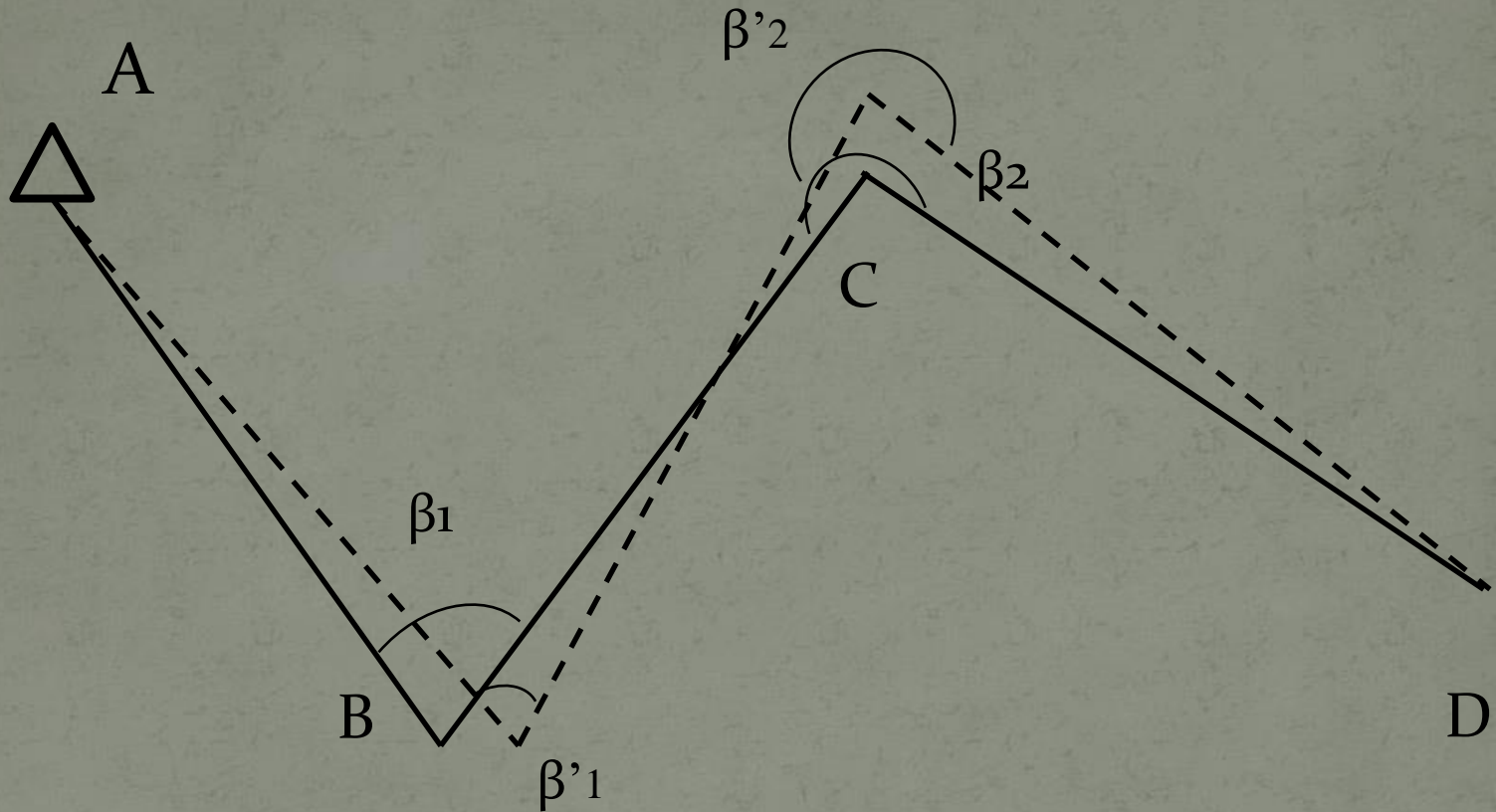
- Ошибка собственно измерения угла складывается из ошибок визирования и ошибок отсчитывания. Носит случайный характер.
- Ошибки вызванные влиянием внешней среды объясняются горизонтальной рефракцией, особенно в городах, помехами и неустойчивостью приборов из-за движения транспорта и т.д.
- Ошибки исходных данных не искажают сами измерения, но влияют на величины невязок и на результаты уравнивания.

При линейных измерениях как и при угловых возникают ошибки. Источники и характер их примерно одинаков :

- ошибки центрирования и редукции,
- приборные ошибки,
- личностные ошибки
- и ошибки влияния внешней среды.

- Для исключения влияния ошибок редуцирования и центрирования на результаты измерения углов применяют трехштативную систему.
- Выполняют совместное измерение углов и длин линий со штативов.

- Этот способ предусматривает выполнение при измерении следующего условия: ось вращения теодолита при установке его над центром знака должна занимать в пространстве то же самое положение, которое занимала ось вращения марки до и после установки теодолита.



- На практике трехштативная система осуществляется путем установки в трех соседних вершинах А, В и С хода штативов с закрепленными на них подставками. На заднем А и переднем С штативах устанавливаются марки, а на среднем В — теодолит (тахеометр).

- После измерения угла штатив с подставкой из А переносится в D , а два других штатива с подставками остаются на месте.
- Марку, стоявшую в точке А, переставляют в подставку, установленную в точке В. Теодолит ставят в точку С, а переднюю марку из точки С переносят в подставку, установленную уже на штативе в точке D.

Как следует из рисунка, если угол β_1' вследствие указанных источников ошибок меньше угла β_1 , то угол β_2' больше угла β_2 на такую же величину, и, таким образом, на передачу дирекционного угла ошибка центрирования и редукции в этом воздушном полигоне не влияет. Следовательно, угловые невязки в полигонах не зависят от ошибок за центрировку и редукцию.

- Так же измеряют и другие углы.
- При трехштативной системе измеряют углы поворота так называемого воздушного полигона. Вследствие ошибок центрирования прибора и марок вместо углов β_1, β_2 и т. д. измеряют углы β_1', β_2' и т. д.

- Чтобы связать воздушный ход с ходом, составленным точками, отмеченными соответствующими знаками на земле, нужно установку каждого штатива с подставкой над точкой местности производить оптическим центриром.

Привязка съемочных сетей к стенным знакам



- При использовании стенных знаков обеспечивается возможность использования координат пунктов на длительный срок по сравнению с использованием грунтовых знаков.
- Средний срок службы грунтовых знаков в городах не превышает 7 лет.

Каждый пункт полигонометрии может быть закреплен одним знаком или группой из 2-3 знаков, образуя **ориентирные** или **восстановительные** системы.

Восстановительные системы характерны тем, что координаты на стенные знаки входящие в систему, не передаются, а временные рабочие центры в случае утраты восстанавливаются по тем же измерениям по которым они определялись.

В ориентирных системах на все стенные знаки, входящие в систему, передаются координаты с временных рабочих центров, на которых выполняются все угловые и линейные измерения полигонометрических ходов.

Передача координат осуществляется полярной, угловой и линейной засечками.

- Все измерения в ориентирных системах для передачи координат с временных рабочих центров на стенные знаки выполняют с суммарной средней квадратической ошибкой 2 мм.
- Для этого инструмент должен центрироваться на временном рабочем центре с точностью не ниже 1 мм.

- При составлении каталога координат в него включают координаты стенных знаков, координаты временных рабочих центров, а также значения горизонтальных проложений линий, полученных методом засечек, для восстановления временных рабочих центров с точностью 2-3 см, которая достаточна для съемочных работ.

Значения координат пунктов и длин сторон должны быть представлены в каталоге с точностью до 0,001 м, а дирекционных углов – до 0,1".

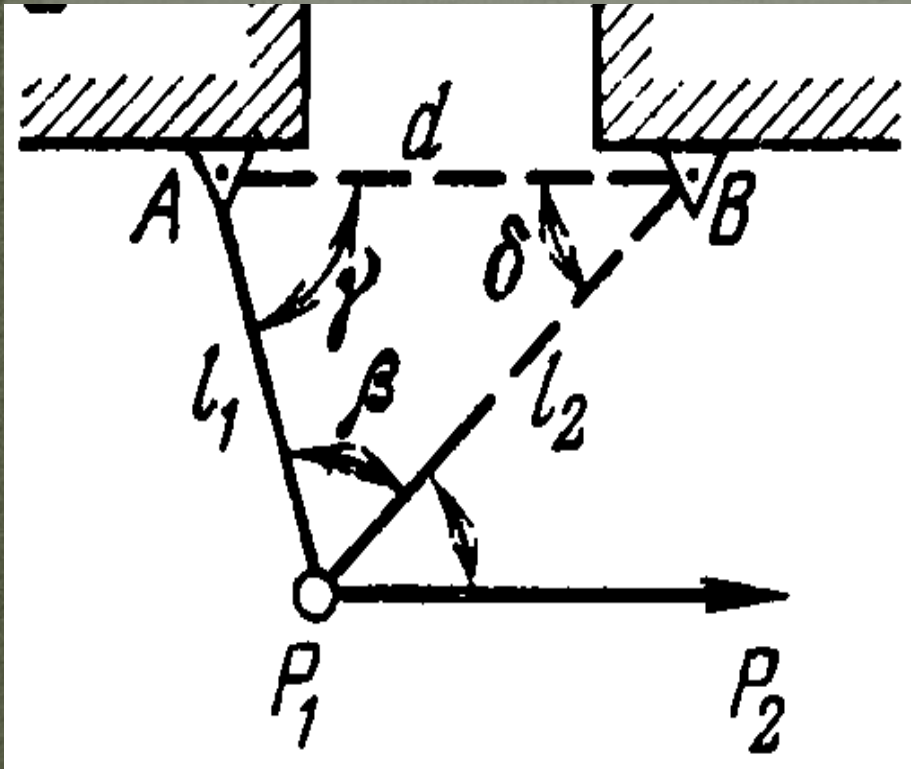
Привязка ходов к стенным пунктам, исключая восстановительные системы, осуществляется через примычный пункт P_i , который представляет собой начальный или конечный пункт полигонометрического хода

Примычный пункт выбирается произвольно напротив
стенного знака, на удалении от него до 20 м, в
удобном для измерения месте.

Необходимо соблюдать условие определения его
положения с суммарной средней квадратической
ошибкой не более 2 мм.

Способы привязки к стенным знакам

Привязка к одинарным стенным знакам



Теодолит устанавливают напротив стенного знака на расстоянии не более 20 м. Измеряют расстояние l_1 до ближайшего стенного знака и угол β .

Если позволяют условия местности, измеряют расстояние и до дальнего стенного знака l_2 .

Координаты точки вычисляют P_1 по формулам

$$\begin{aligned} \sin \delta &= (l_1 \sin \beta) / d; & \gamma &= 180^\circ - (\beta + \delta); \\ \alpha_{AP_1} &= \alpha_{AB} + \gamma; \\ x_{P_1} &= x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1}; & y_{P_1} &= y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1}. \end{aligned} \quad (9)$$

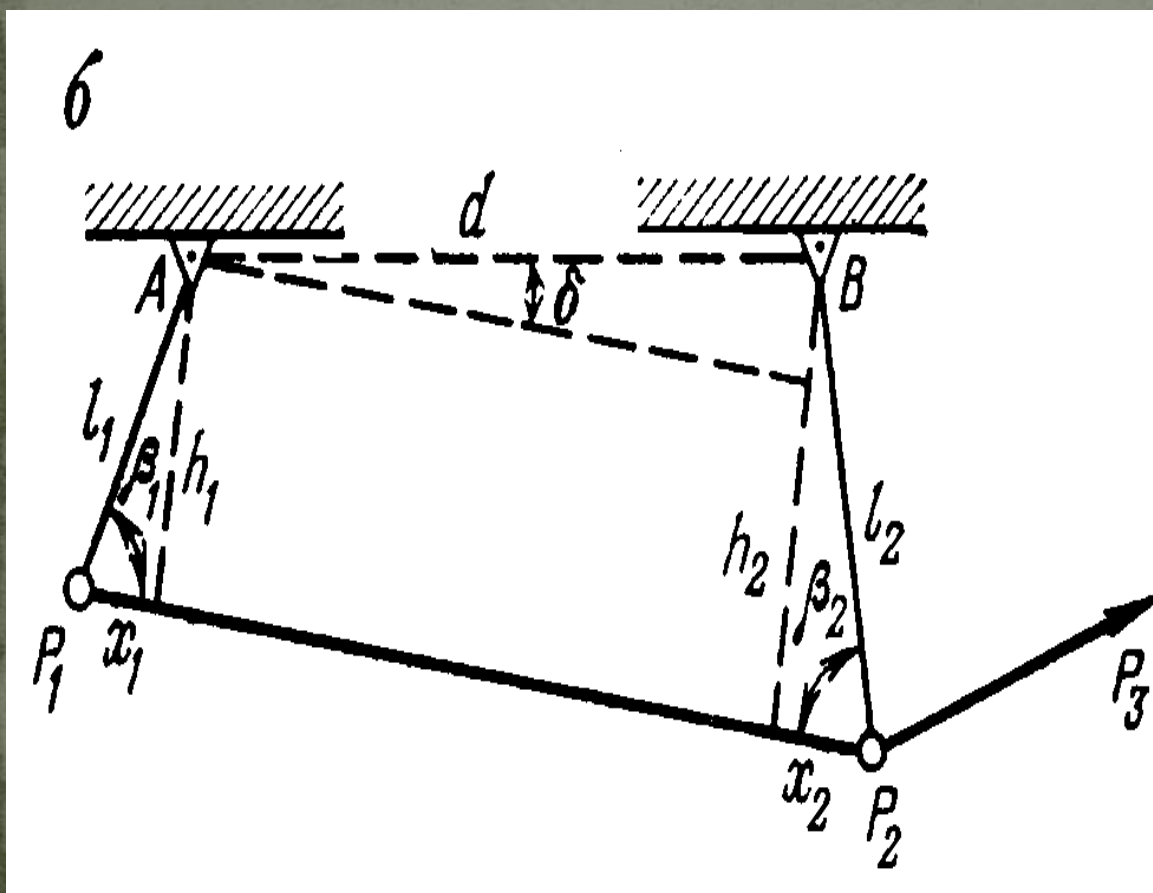
По координатам точек P_1 и B , решают обратную задачу, вычисляют дирекционный угол и расстояние P_1B , которое сопоставляют с непосредственно измеренным l_2 .

Расхождение между ними не должно превышать 8 мм.

Если нельзя выбрать для установки инструмента
такое место, с которого были бы видны два
одинарных стенных знака,
то поступают следующим образом.

Напротив двух смежных стенных знаков выбирают временные точки P_1 и P_2 с таким расчетом, чтобы углы β_1 и β_2 были в пределах $88-92^\circ$, а длины линий l_1 и l_2 не превышали

20 м

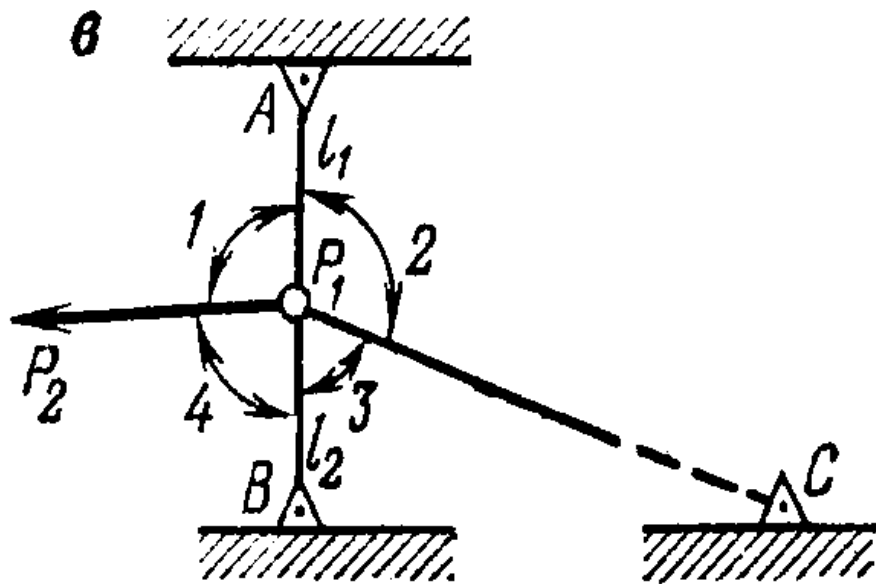


На точках P_1 и P_2 измеряют расстояния до стенных знаков l_1 и l_2 и углы β_1 и β_2 .

Координаты точки P_2 и дирекционный угол линии P_1P_2 , который будет служить в качестве исходного для привязываемого хода, можно определить по формулам:

$$\begin{aligned}\alpha_{P_1P_2} &= \alpha_{AB} + \delta; & \alpha_{BP_2} &= \alpha_{P_1P_2} + \beta_2 = \alpha_{AB} + \beta_2 + \delta; \\ h_1 &= l_1 \sin \beta_1; & h_2 &= l_2 \sin \beta_2; & \sin \delta &= (h_2 - h_1) / d; & (10) \\ x_{P_2} &= x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_2}; & y_{P_2} &= y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_2}.\end{aligned}$$

Если одинарные стенные знаки расположены на противоположных сторонах улицы, то устанавливают теодолит в их створе.



Измеряют углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и расстояния l_1 и l_2 до ближайших стенных знаков, в створе которых установлен инструмент

- Координаты точки стояния прибора вычисляют по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha_{AB} = (y_B - y_A) / (x_B - x_A);$$

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AB}; \quad y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AB};$$

$$x_{P_1} = x_B + l_2 \cos(\alpha_{AB} \pm 180^0);$$

$$y_{P_1} = y_B + l_2 \sin(\alpha_{AB} \pm 180^0)$$

(11)

Контроль правильности решения задачи:

$$1 + 4 = 180^{\circ}; \quad 2 + 3 = 180^{\circ};$$

$$d_{\text{ВЫЧ}} = (y_B - y_A) / \sin \alpha = (x_B - x_A) / \cos \alpha;$$

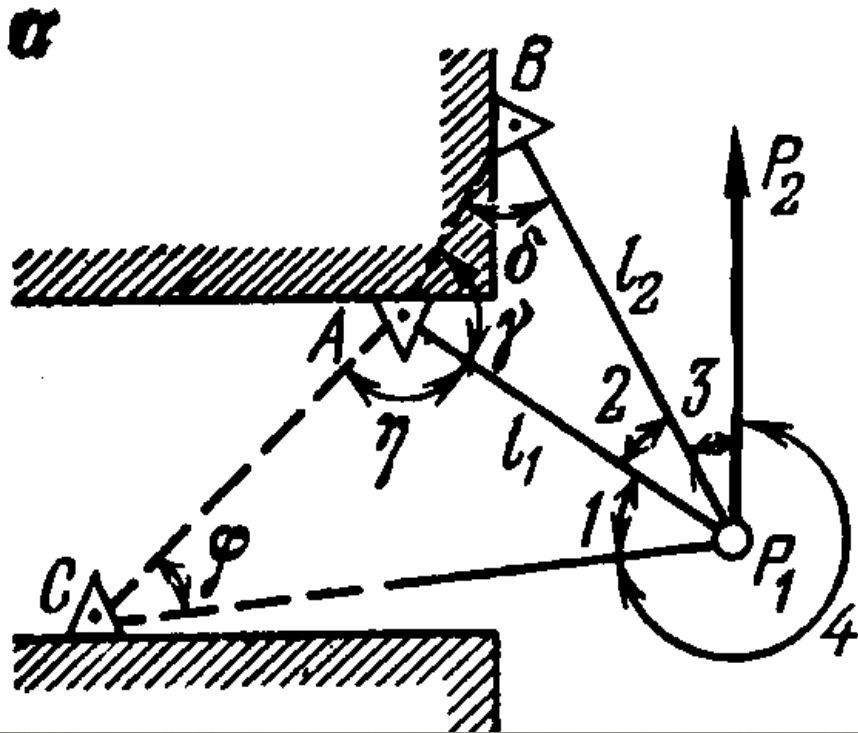
$$d_{\text{ИЗМ}} = l_1 + l_2; \quad d_{\text{ИЗМ}} = d_{\text{ВЫЧ}};$$

$$\alpha_{P_1C} = \alpha_{AB} + 2;$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1C} = (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1});$$

$$\alpha_{P_1C_{\text{ИЗМ}}} = \alpha_{P_1C_{\text{ВЫЧ}}}$$

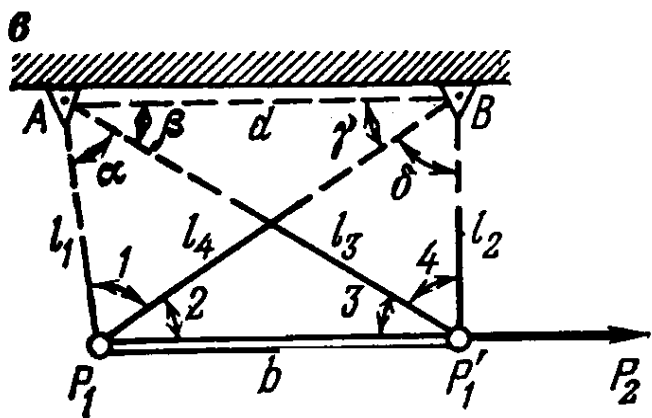
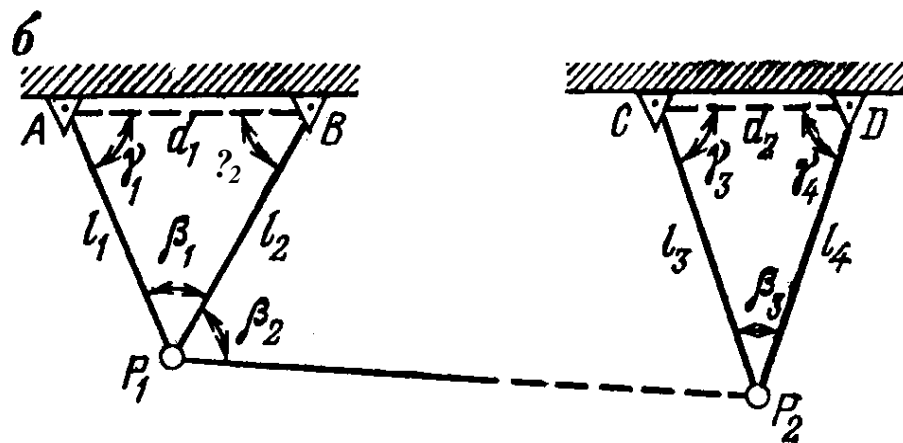
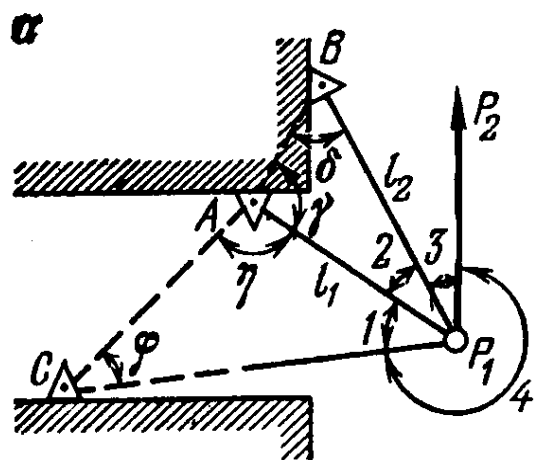
Привязка к двойным системам стенных знаков



Теодолит устанавливают против стенного знака на расстоянии, примерно равном расстоянию между стенными знаками d , но не далее 20 м.

Измеряют расстояния l_1 и l_2 до стенных знаков, а также углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и точкой P_2 . 63

Привязка к двойным системам стенных знаков



Привязка к тройным системам стенных знаков

