

# Лекция №9

Назначение и виды теодолитных ходов. Привязка теодолитных ходов. Специальные виды теодолитных ходов

# Назначение и виды теодолитных ходов

Пункты Государственной геодезической сети расположены сравнительно далеко друг от друга. Так, например, пункты 4 класса находятся на удалении 2–5 км. Для выполнения топографических и других геодезических и маркшейдерских работ геодезическую сеть сгущают, т.е. увеличивают число опорных пунктов на единицу площади.

Как уже указывалось ранее, сети сгущения 1 и 2 разрядов строят в виде цепочек треугольников триангуляции или трилатерации, либо в виде одиночных полигонометрических ходов или их систем.

При использовании электронных тахеометров часто выполняют линейно-угловые построения

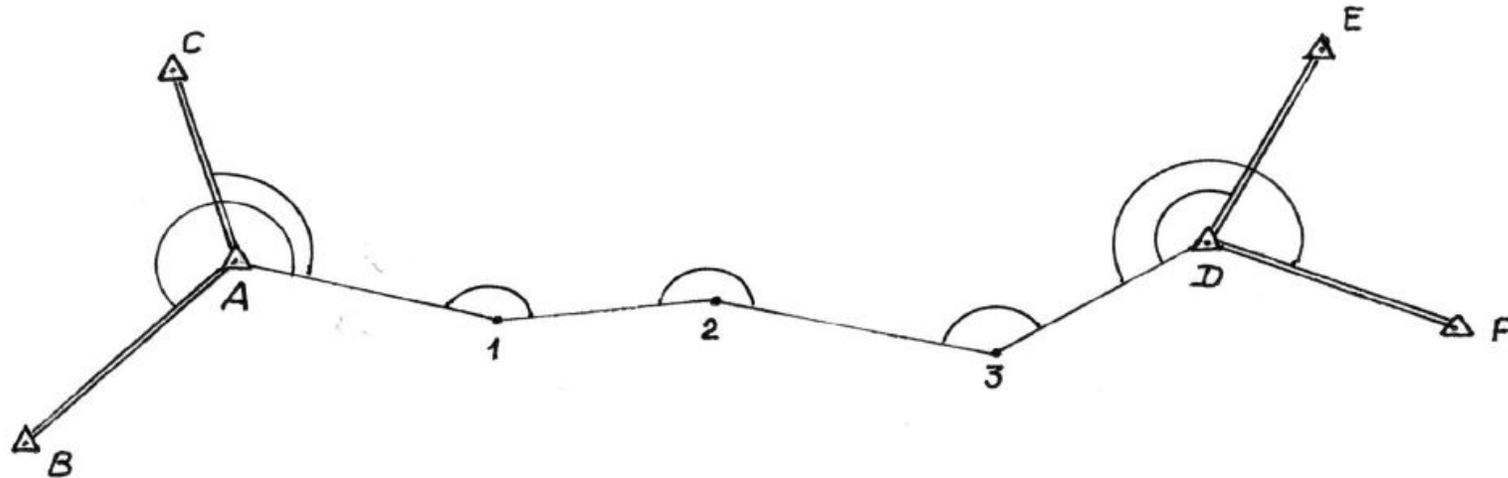
# Съёмочная геодезическая сеть

Создаётся с целью сгущения геодезической плановой и высотной основы до плотности, обеспечивающей выполнение топографических съёмок. Пункты съёмочной сети определяются построением триангуляционных сетей, проложением теодолитных ходов, а также различными видами засечек.

При развитии съёмочной сети одновременно определяются, как правило, положения точек в плане и по высоте.

Высоты точек получают геометрическим или тригонометрическим нивелированием.

# Разомкнутый теодолитный ход

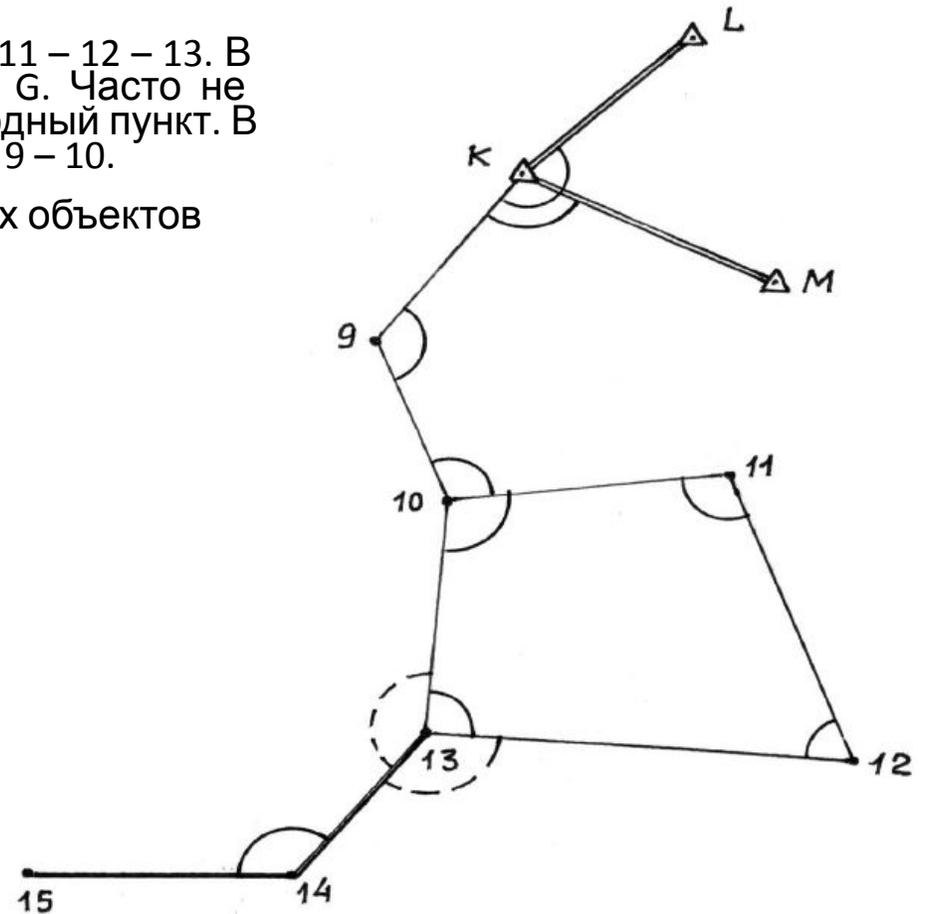
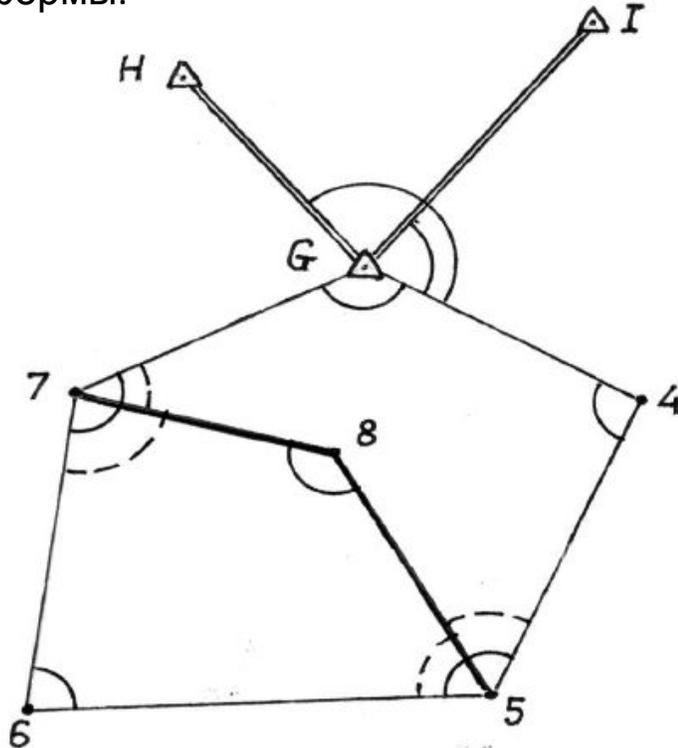


представляет собой вытянутую ломаную линию, опирающуюся на обоих ее концах на исходные пункты и исходные направления. По своей форме он подобен полигонометрическому ходу, и к нему часто применяют такое же название. Разомкнутые теодолитные ходы используют при топографической съёмке вытянутых участков местности, при съёмках рек, съёмках под строительство линейных инженерных сооружений и т.п..

# Замкнутый теодолитный ход

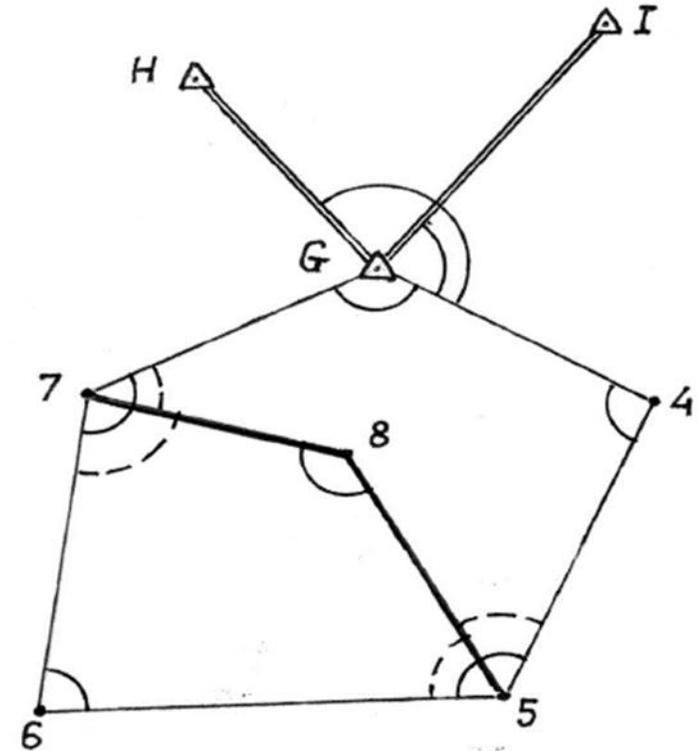
представляет собой многоугольник  $G - 4 - 5 - 6 - 7 - G$  или  $10 - 11 - 12 - 13$ . В первом случае многоугольник включает в себя исходный пункт  $G$ . Часто не представляется возможным непосредственно включить в ход исходный пункт. В таких случаях к замкнутому ходу прокладывают подходной ход  $K - 9 - 10$ .

Замкнутые теодолитные ходы используют при съёмках площадных объектов примерно округлой формы.

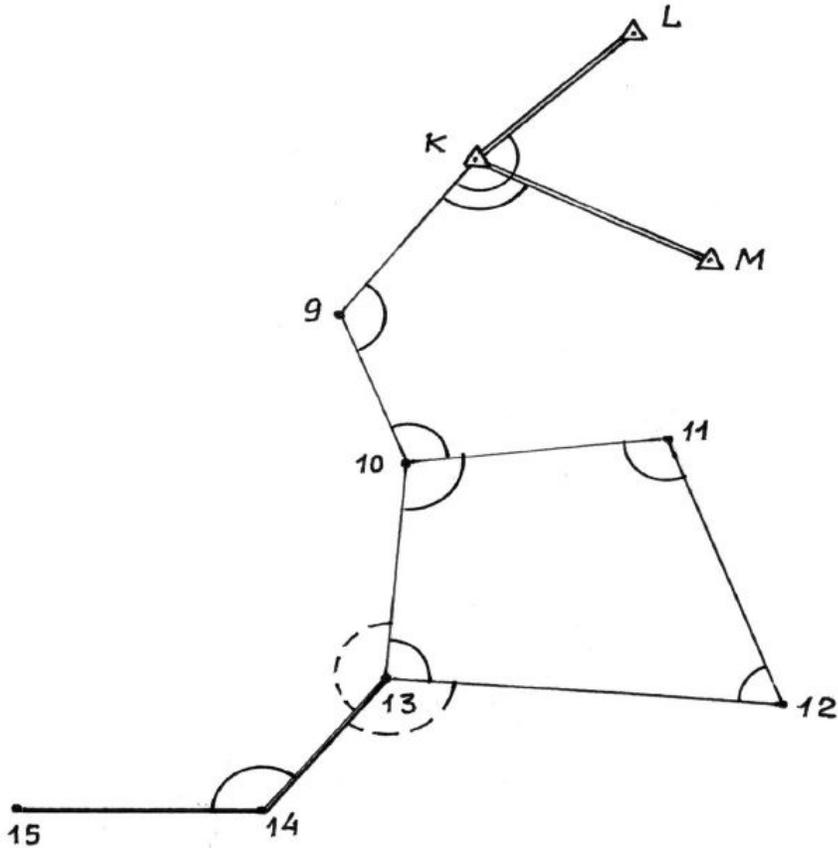


# Диагональный ход

Диагональный теодолитный ход 7 – 8 – 5 прокладывают обычно в замкнутых ходах в тех случаях, когда с точек основного хода невозможно обеспечить съёмку всего участка. Такое положение весьма часто встречается при съемках плотно застроенных участков местности. По принципу построения диагональный ход подобен разомкнутому ходу, опирающемуся на точки и линии основного хода. Требования к точности построения диагонального хода ниже, чем основного, примерно в 1,5 раза.



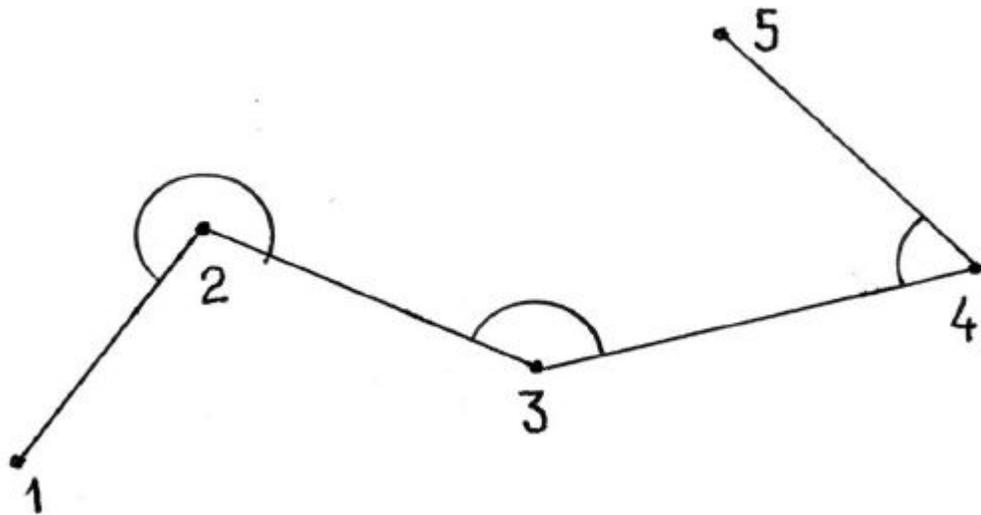
# Висячий теодолитный ход («висячка»)



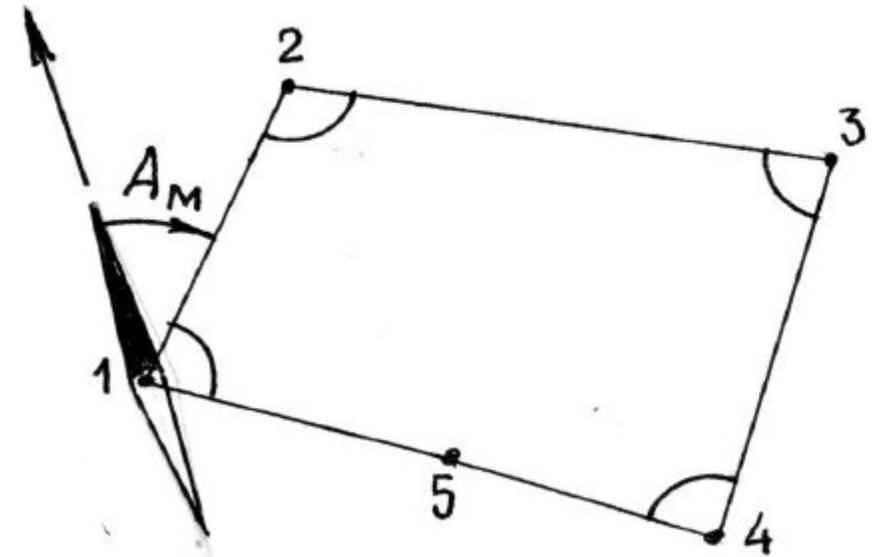
висячий теодолитный ход (13 – 14 – 15), опирается только одним своим концом на основной ход. Такие построения часто используют на застроенных территориях при съемках глухих дворов, тупиков и т. п. Висячий ход полностью является бесконтрольным для окончательных результатов (координат и высот). В связи с этим при измерениях необходимо быть весьма внимательным. Инструкцией по топографической съемке установлено, что на застроенных территориях висячие ходы могут иметь не более трех линий, на незастроенных – не более двух линий.

# Свободные теодолитные ходы

Если в техническом задании на съемку местности не предусматривается определение координат точек в общегосударственной или местной системе координат (специальные работы), то съемка выполняется в условной системе координат и высот с построением съемочного обоснования в виде разомкнутого или замкнутого свободных теодолитных ходов

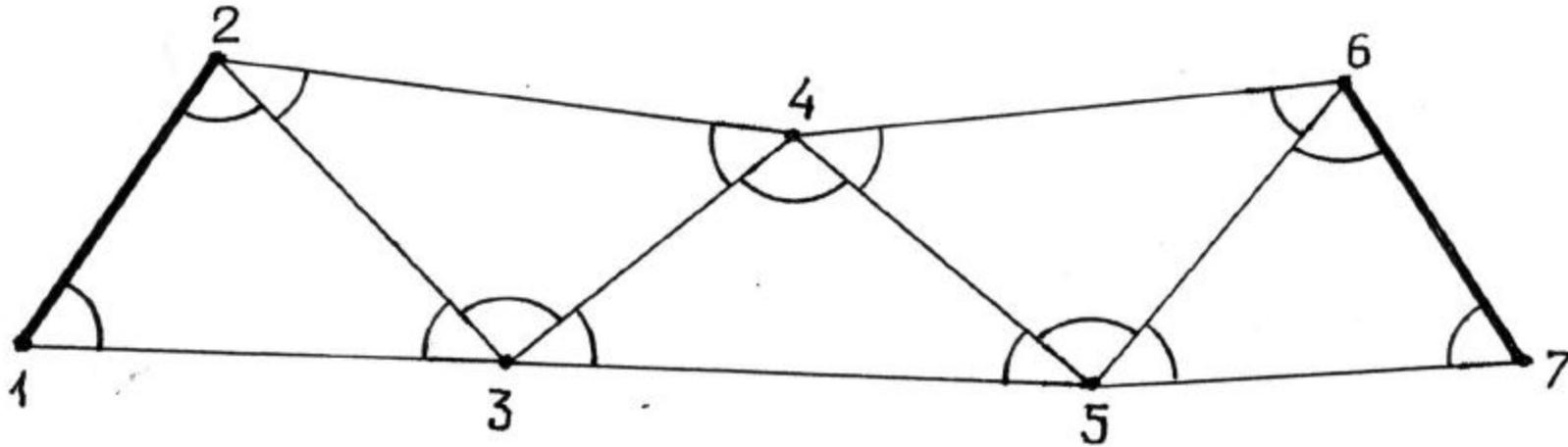


Разомкнутый



Замкнутый

# Свободная сеть



Предпочтение следует отдавать построению свободной сети треугольников, либо свободному замкнутому теодолитному ходу, поскольку в таких построениях имеется возможность внутреннего контроля. Например, по сумме измеренных углов (внутренних или внешних) многоугольника.

# Точность свободного хода

Свободный ход часто ориентируют по магнитному азимуту, для этого измеряют горизонтальный угол между направлением магнитного меридиана и направлением линии теодолитного хода в данной точке. При этом магнитное ориентирование рекомендуется выполнять на всех вершинах теодолитного хода. В принадлежности к теодолиту входит буссоль. Буссоль устанавливают при измерениях магнитного азимута на колонку теодолита.

Ориентирование по магнитному азимуту разрешается выполнять и на участках съемок масштаба 1:5000 и 1:2000 площадью 5 км<sup>2</sup>.

# Измерения в теодолитных ходах

В теодолитных ходах измеряют горизонтальные углы в их вершинах между направлениями на соседние точки хода, а также между исходными направлениями и направлениями линий теодолитного хода при выполнении азимутальных привязок. Кроме того, измеряют наклонные расстояния линий теодолитного хода и углы наклона этих линий с целью приведения наклонных расстояний к горизонту, а также определения превышений и высот точек хода. Горизонтальные углы и углы наклона измеряют теодолитом, а расстояния – мерной лентой, рулеткой или светодальномером. При использовании электронных тахеометров указанные работы выполняются одновременно с автоматическим вычислением полных координат точек хода.

Для определения высот точек теодолитных ходов при использовании оптических геодезических приборов применяют метод геометрического нивелирования

# Допустимые точности прокладки ходов

Теодолитные ходы прокладываются с предельными относительными погрешностями 1:3000, 1:2000, 1:1000 в зависимости от условий съемки

Масштаб плана	$m_s = 0,2$ мм в масштабе плана			$m_s = 0,3$ мм в масштабе плана	
	1/3000	1/2000	1/1000	1/2000	1/1000
	Допустимые длины ходов между исходными пунктами, км				
1 : 5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1 : 2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1 : 1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1 : 500	0,9	0,6	0,3	-	-

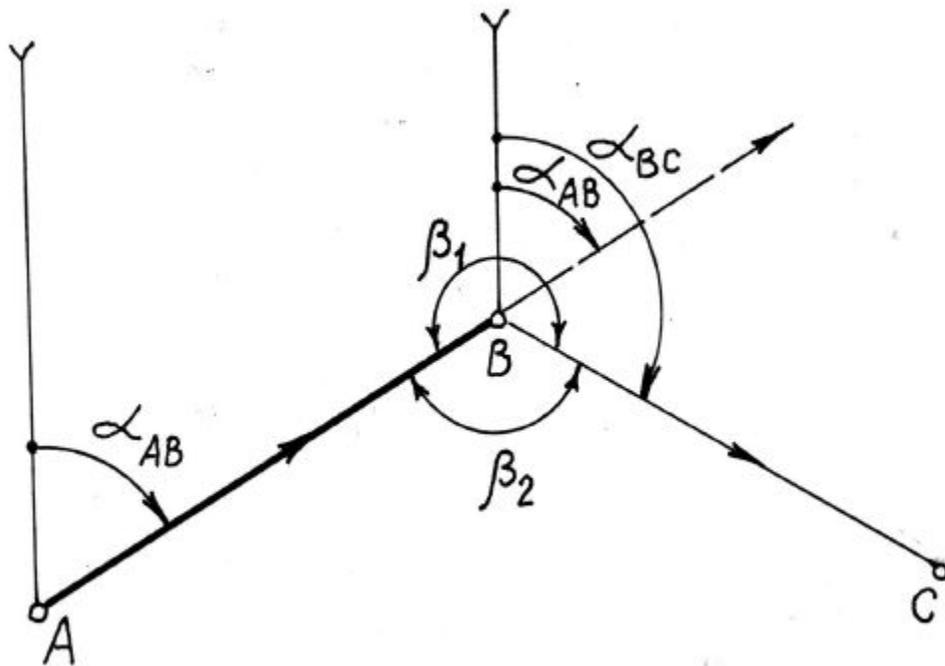
# Общие рекомендации к построению ХОДОВ

- длины сторон в теодолитных ходах не должны быть более 350 м и менее 20 м на застроенных территориях и от 40 м до 350 м – на незастроенных территориях;
- на застроенной территории максимальная длина теодолитного хода должна быть примерно в 1,5 раза меньше, чем на незастроенной территории;
- висячие ходы должны являться исключением, могут иметь одну-две точки поворота и иметь длину не более 0,1 максимальной длины хода; длины висячих ходов на застроенной территории устанавливаются для ряда масштабов 1:5000 – 1:2000 – 1:1000 – 1:500 соответственно в пределах 350, 200, 150 и 100 м, а на незастроенных территориях – 500, 300, 200 и 150 м;

- длина диагонального хода не должна превышать 0,5 максимальной длины хода; относительная погрешность диагонального хода не должна быть больше 1:1000;
- углы в теодолитных ходах измеряют теодолитом не менее 30-секундной точности одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами примерно на  $90^{\circ}$ ; при измерении углов теодолитами типа Т5 лимб между полуприемами переставляют примерно на  $1^{\circ} - 2^{\circ}$ ; разница значений углов, полученных в полуприемах не должна превышать  $45''$ ;
- центрирование в вершине измеряемого угла выполняется с помощью отвеса или оптического центрира с погрешностью не более 3 мм;
- линии в ходах измеряют стальными лентами или рулетками в прямом и обратном направлениях с установленной относительной погрешностью, либо в прямом направлении при использовании оптических дальномеров и светодальномеров.

# Взаимосвязь дирекционных углов с измеренными на местности горизонтальными углами

Для последовательной передачи координат на точки теодолитных ходов необходимо последовательно решать прямые геодезические задачи для каждой из точек, а для этого необходимо знать значения дирекционных углов каждой из линий и их горизонтальные проложения.



$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} \pm 180^{\circ} + \beta_1$$

$$\alpha_{BC} = \alpha_{AB} \pm 180^{\circ} - \beta_2$$

Общая формула взаимосвязи имеет вид

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n \pm 180^{\circ} \pm \beta$$

Знак «+» – для левых по ходу горизонтальных углов

Знак «-» – для правых по ходу горизонтальных углов

# Примеры решений

1. Исходные данные:  $\alpha_{AB} = 115^{\circ}36,7'$ ;  $\beta$  (левый по ходу) =  $253^{\circ}14,5'$ .

**Решение 1.**

$\alpha_{BC} = 115^{\circ}36,7' + 180^{\circ} + 253^{\circ}14,5' = 548^{\circ}51,2' - 360^{\circ} = 188^{\circ}51,2'$ , поскольку значение дирекционного угла получилось больше  $360^{\circ}$ .

2. Исходные данные:  $\alpha_{AB} = 5^{\circ}02,7'$ ;  $\beta$  (правый по ходу) =  $274^{\circ}16,8'$ .

**Решение 2.**

$\alpha_{BC} = 5^{\circ}02,7' + 180^{\circ} - 274^{\circ}16,8' = -89^{\circ}14,1' + 360^{\circ} = 270^{\circ}45,9'$ , поскольку значение дирекционного угла получилось отрицательным.

3. Исходные данные:  $\alpha_{AB} = 201^{\circ}42'08''$ ;  $\beta$  (правый по ходу) =  $36^{\circ}14'32''$ .

**Решение 3.** ( через дирекционный угол исходящего направления).

$\alpha_{BA} = 201^{\circ}42'08'' - 180^{\circ} = 21^{\circ}42'08''$ .

$\alpha_{BC} = 21^{\circ}42'08'' - 36^{\circ}14'32'' = -14^{\circ}32'24'' + 360^{\circ} = 345^{\circ}27'36''$ .

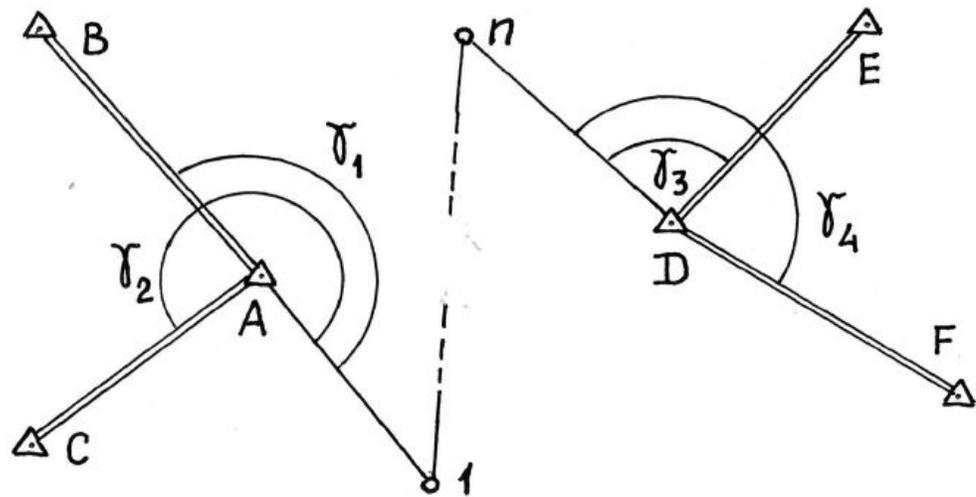
# Привязка теодолитных ходов

Целью привязки теодолитных ходов к пунктам Государственной геодезической сети 1, 2, 3 и 4 классов, а также к пунктам съемочной сети 1 и 2 разрядов является определение с заданной точностью координат вершин указанных ходов.

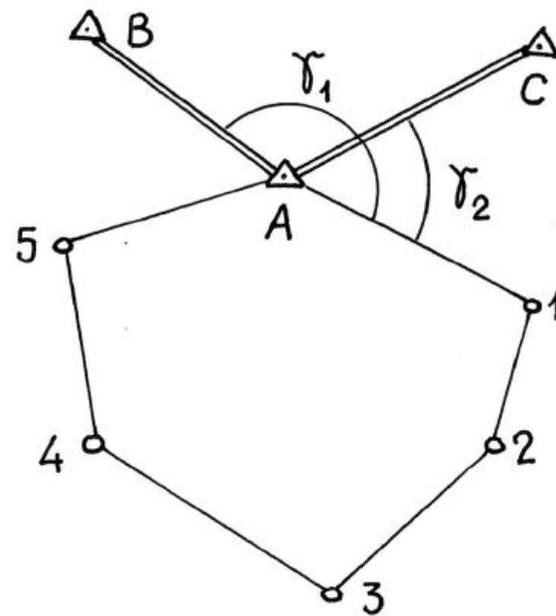
В зависимости от расположения теодолитного хода на местности, условий съемки, сложности ситуации и других факторов схемы и способы привязки элементов теодолитного хода могут быть различными. Во многих случаях приходится выполнять дополнительные геодезические построения. Тем более, что любая привязка должна иметь надежный контроль, который, чаще всего, обеспечивается избыточными измерениями и дополнительными геодезическими построениями.

Под элементом теодолитного хода понимают одну из его точек, координаты которой необходимо найти, и дирекционный угол линии теодолитного хода, исходящей из определяемой точки.

# Способ примыкания



Для разомкнутого хода



Для замкнутого хода

# Прямая угловая засечка Схема №1

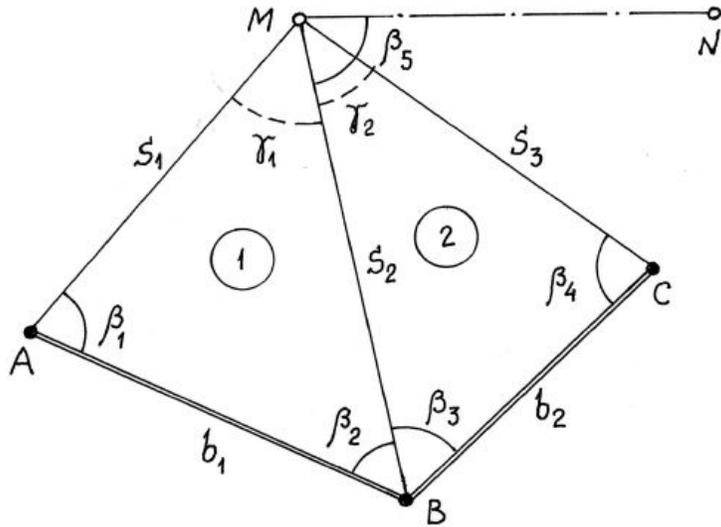


Схема №1

Формулы Юнга

$$X_M = \frac{X_A \operatorname{ctg} \beta_2 + X_B \operatorname{ctg} \beta_1 + Y_B - Y_A}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}$$
$$Y_M = \frac{Y_A \operatorname{ctg} \beta_2 + Y_B \operatorname{ctg} \beta_1 + X_A - X_B}{\operatorname{ctg} \beta_1 + \operatorname{ctg} \beta_2}$$

# Прямая угловая засечка Схема №2

Формулы Гаусса:

Формула тангенсов:

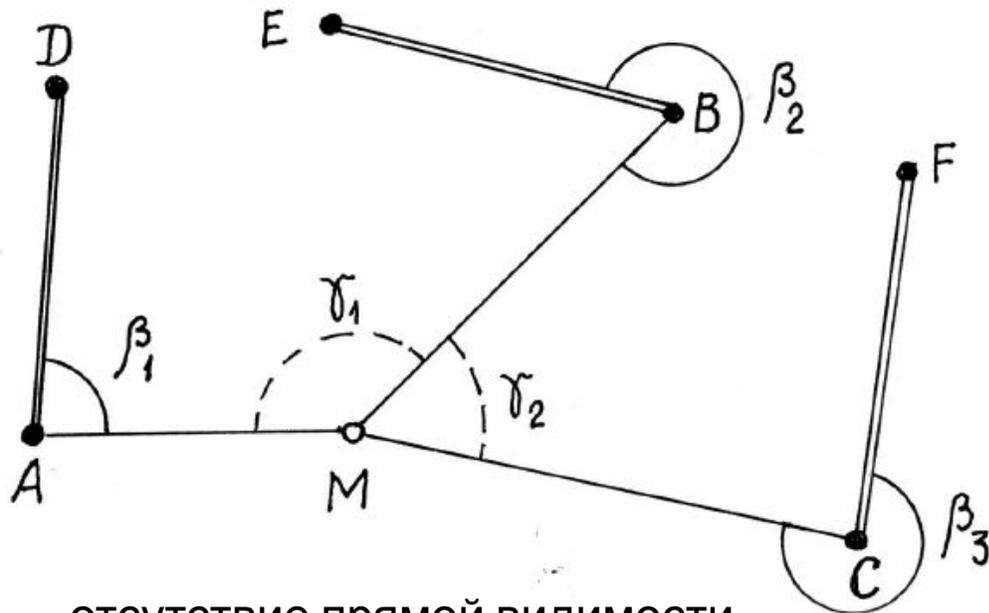
$$X_M = \frac{X_A \operatorname{tg} \alpha_{AP} - X_B \operatorname{tg} \alpha_{BP} - Y_A + Y_B}{\operatorname{tg} \alpha_{AM} - \operatorname{tg} \alpha_{BM}},$$

$$Y_M = Y_A + (X_M - X_A) \operatorname{tg} \alpha_{AM} = Y_B + (X_M - X_B) \operatorname{tg} \alpha_{BM}$$

Формула котангенсов

$$Y_M = \frac{Y_A \operatorname{ctg} \alpha_{AM} - Y_B \operatorname{ctg} \alpha_{BM} - X_A + X_B}{\operatorname{ctg} \alpha_{AM} - \operatorname{ctg} \alpha_{BM}},$$

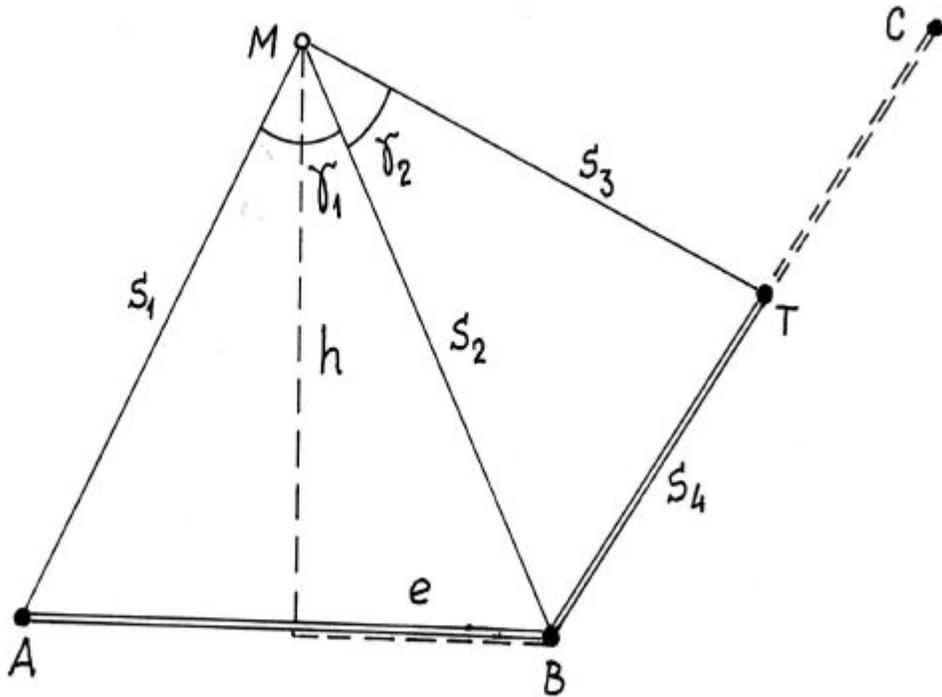
$$X_M = X_A + (Y_M - Y_A) \operatorname{ctg} \alpha_{AM} = X_B + (Y_M - Y_B) \operatorname{ctg} \alpha_{BM}$$



отсутствие прямой видимости

При использовании для вычислений микрокалькуляторов формулы тангенсов не следует применять, если дирекционные углы близки к  $90^\circ \pm 5^\circ$  или  $270^\circ \pm 5^\circ$ , а формулы котангенсов – если дирекционные углы близки к  $0^\circ \pm 5^\circ$  или  $180^\circ \pm 5^\circ$ . Это обязательно следует проверить и, при возможности, перейти к другим построениям. В любом случае использование приведенной схемы привязки необходимо начинать с вычисления (или с оценки) величин дирекционных углов.

# Линейная засечка



Этот способ удобно использовать в тех случаях, когда имеется возможность измерения расстояний  $S$  светодальномером, либо непосредственно компарированной рулеткой в одно уложение

$$X_M = X_A + \frac{(X_B - X_A)n + (Y_B - Y_A)T}{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2},$$

$$Y_M = Y_A + \frac{(Y_B - Y_A)n - (X_B - X_A)T}{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2},$$

Где

$$n = 0,5[S_1^2 - S_2^2 + (X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2],$$

$$T = \sqrt{S_1^2[(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2] - n^2}.$$

Формулы используют в том случае, когда точка  $M$  находится слева от направления из точки  $A$  на точку  $B$ . В связи с этим перед вычислениями необходимо составить схему расположения точки  $M$  относительно исходных точек  $A$  и  $OB$  и учесть это при записи разностей координат  $X$  и  $Y$ .

# Линейная засечка (модифицированная)

$$X_M = X_A + \frac{t(X_B - X_A) + h(Y_B - Y_A)}{d},$$

$$Y_M = Y_A + \frac{t(Y_B - Y_A) + h(X_B - X_A)}{d},$$

Где

$$d = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}, \quad t = \frac{S_1^2 + d^2 - S_2^2}{2d}, \quad h = \pm \sqrt{S_1^2 - t^2}$$

Значение  $h$  берут со знаком «плюс», если точка  $M$  находится слева от направления из точки  $A$  на точку  $B$ . Если точка  $M$  находится справа от указанного направления, то значение  $h$  берут со знаком «минус».

# Обратная угловая засечка

Привязка способом обратной угловой засечки может быть выполнена по трем исходным геодезическим пунктам, если определяемая точка не лежит на окружности, описанной по ним. Оптимально, когда определяемая точка находится внутри треугольника

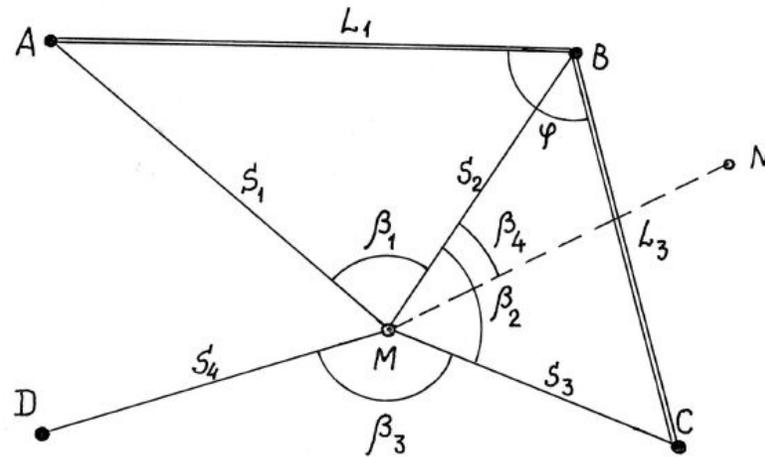


Схема засечки

# Формулы С.Г. Молочкова для обратной угловой засечки

$$X_M = X_B + \frac{K_1 + K_2 \operatorname{tg} \alpha_{BM}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{BM}} = X_B + \frac{K_3 + K_4 \operatorname{tg} \alpha_{BM}}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{BM}},$$
$$Y_M = Y_B + (X_M - X_B) \operatorname{tg} \alpha_{BM},$$

Где

$$K_1 = (X_A - X_B) + (Y_A - Y_B) \operatorname{ctg} \beta_1;$$

$$K_2 = (Y_A - Y_B) - (X_A - X_B) \operatorname{ctg} \beta_1;$$

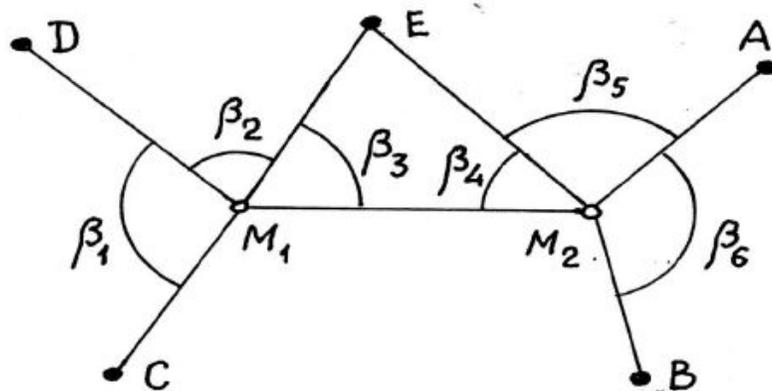
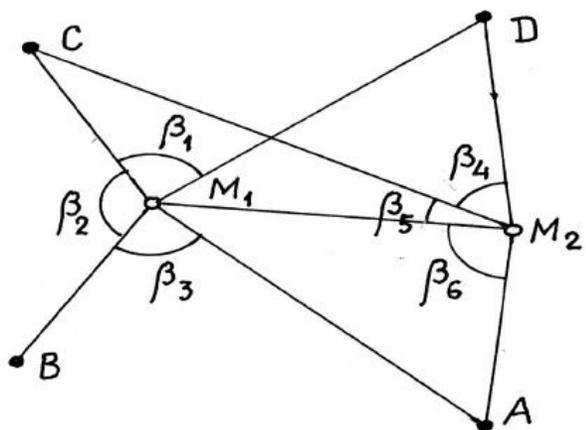
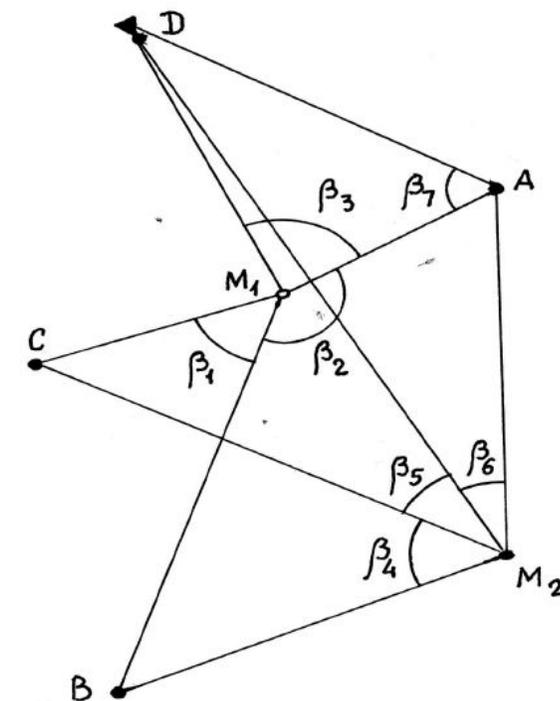
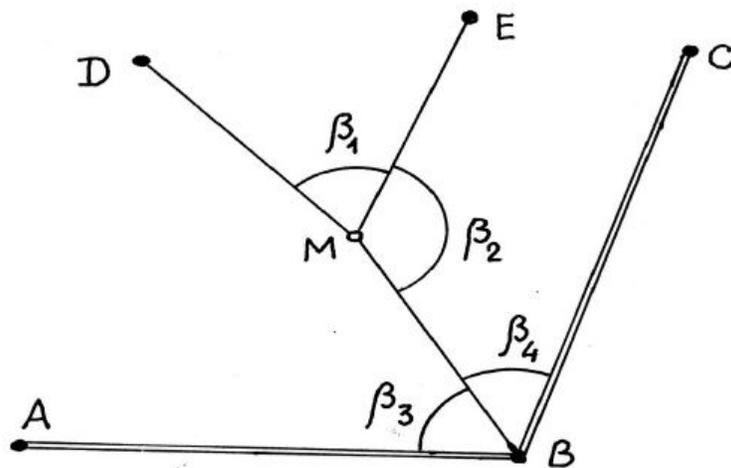
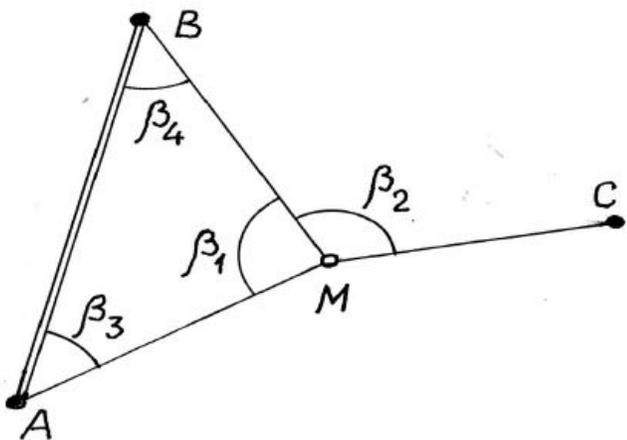
$$K_3 = (X_C - X_B) - (Y_C - Y_B) \operatorname{ctg} \beta_2;$$

$$K_4 = (Y_C - Y_B) + (X_C - X_B) \operatorname{ctg} \beta_2;$$

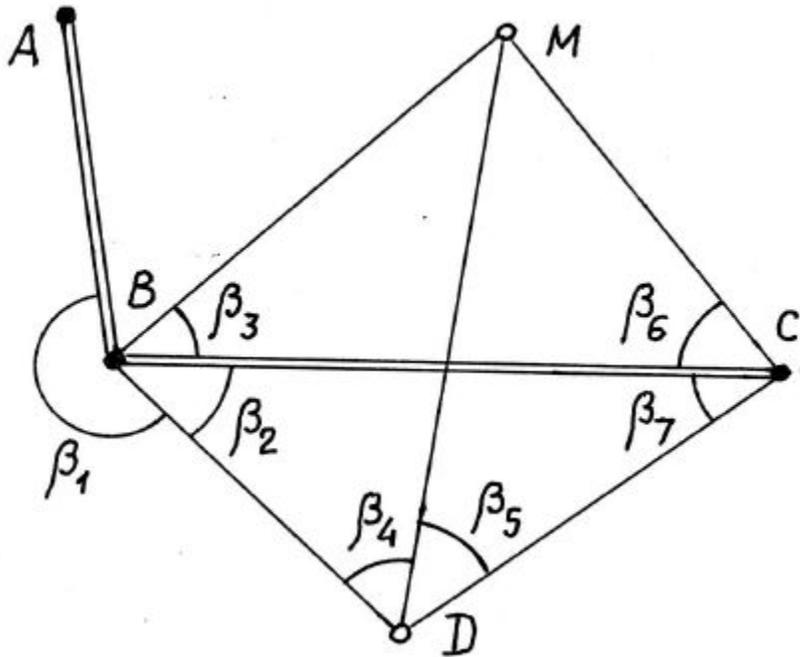
$$\operatorname{tg} \alpha_{BM} = \frac{K_3 - K_1}{K_2 - K_4}.$$

При наличии четвёртого пункта (D) координаты точки М могут быть получены дважды: при использовании пунктов D, А и В и при использовании пунктов А, В и С. При этом может оказаться, что точность определения координат будет различной, в связи с чем целесообразно установить, относительно каких пунктов следует определять координаты точки М, а какой из пунктов будет контрольным. Указанная задача решается методом инверсионных треугольников.

# Комбинированные засечки

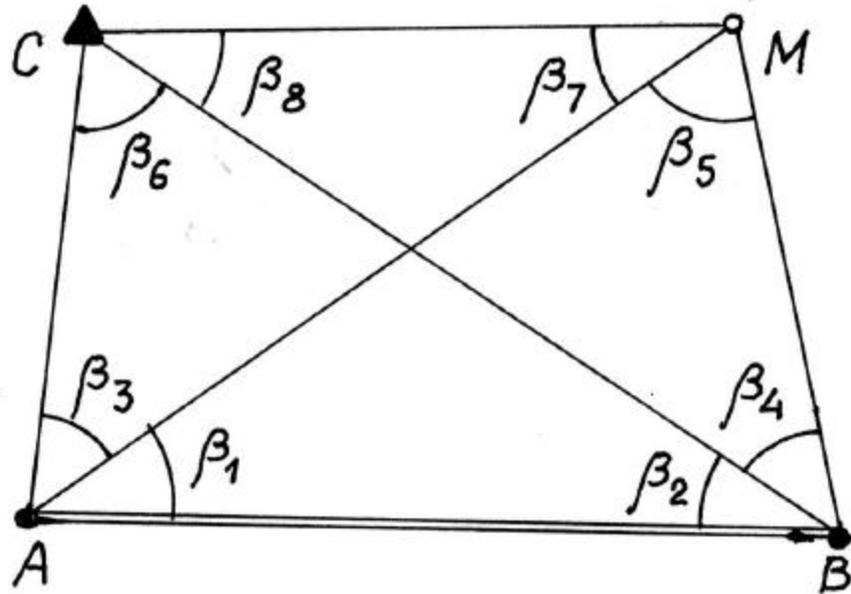


# Геодезический четырёхугольник



В указанной схеме подбирают такое положение точек  $M$  и  $N$ , чтобы все углы, кроме  $\beta_1$ , были не менее  $20^\circ$ . В замкнутом треугольнике  $BСD$  при использовании линии  $MD$  в теодолитном ходе, угловая невязка не должна превышать  $1,5'$ . Сначала, после уравнивания углов  $\beta_2$ ,  $\beta_4$ ,  $\beta_5$  и  $\beta_7$ , вычисляют координаты точки  $D$ , а затем, из двух вариантов по формулам прямой угловой засечки, координаты точки  $M$ .

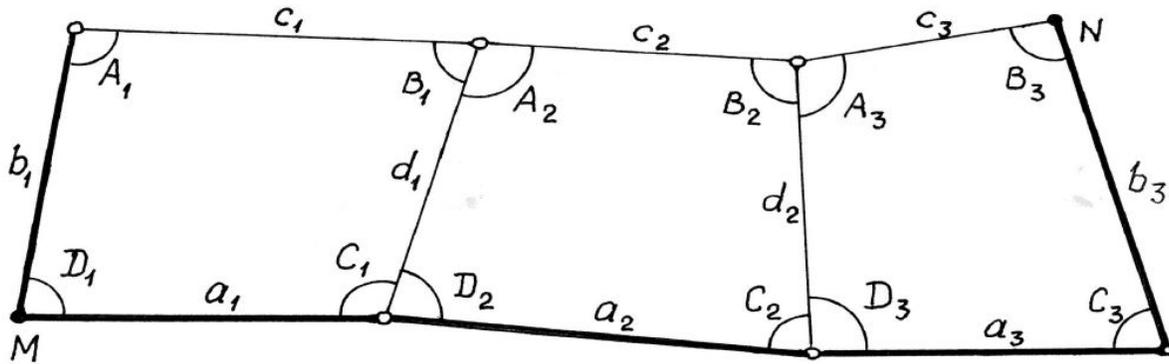
# Задача П.А. Ганзена



$$\operatorname{ctg} \beta_1 = \frac{\sin \beta_6 \sin \beta_7 \sin(\beta_7 + \beta_8 + \beta_5)}{\sin \beta_8 \sin \beta_5 \sin(\beta_8 + \beta_5 + \beta_6) \sin(\beta_7 + \beta_8)} + \operatorname{ctg}(\beta_7 + \beta_8),$$

$$\operatorname{ctg} \beta_2 = \frac{\sin \beta_8 \sin \beta_5 \sin(\beta_6 + \beta_8 + \beta_5)}{\sin \beta_6 \sin \beta_7 \sin(\beta_8 + \beta_5 + \beta_7) \sin(\beta_7 + \beta_8)} + \operatorname{ctg}(\beta_7 + \beta_8).$$

# Система И.В. Зубрицкого



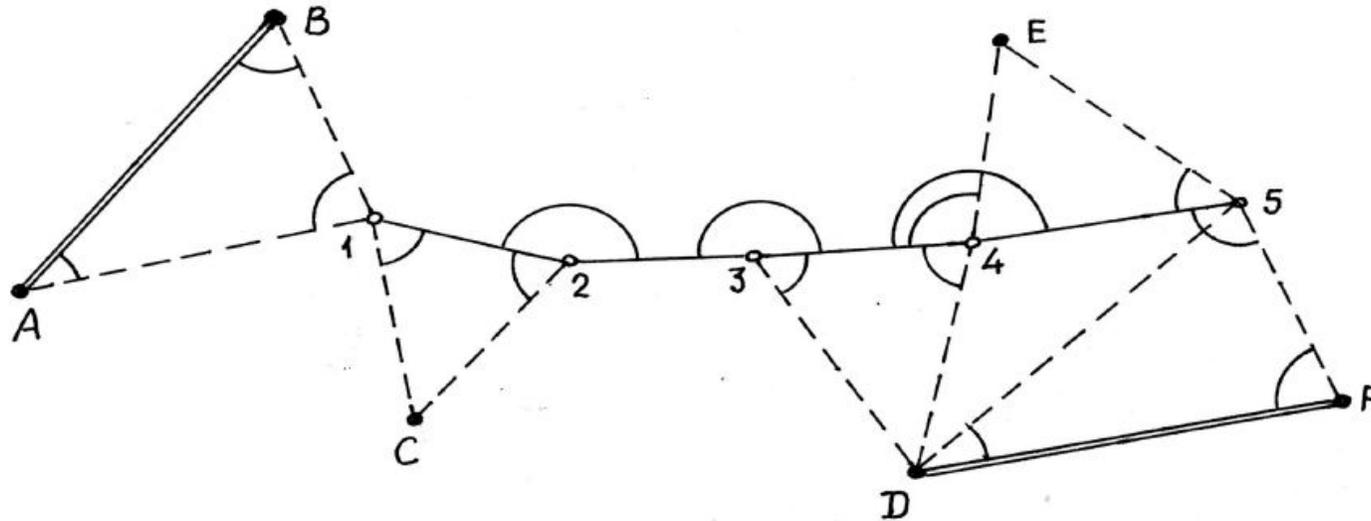
В случаях, когда на местности затруднено измерение линий (пересеченная местность, в населенных пунктах, в лесных массивах, имеющих густую сеть просек и др.), теодолитные ходы заменяют системами четырехугольников без диагоналей. Данная система предложена И.В.Зубрицким.

В указанной системе в первом и последнем четырехугольниках измеряют все углы и две стороны, а в заполняющих четырехугольниках измеряют только одну сторону и все четыре угла. Углы в четырехугольниках должны быть не менее  $30^\circ$  и не более  $150^\circ$  (оптимальные углы –  $90^\circ$ ).

На схеме измеренные углы обозначены буквами А, В, С, D, измеренные стороны – буквами а и b, вычисляемые стороны – буквами с и d. М и N – исходные геодезические пункты.

$$c = \frac{a \sin C + b \sin(A + B)}{\sin B} ; \quad d = \frac{b \sin A + a \sin(A + C)}{\sin B}$$

# Схема хода без измерения длин сторон



В каждой точке теодолитного хода 1, 2, 3, 4, 5 измеряют горизонтальные углы от направлений на видимые геодезические пункты А, В, С, D, E, F. Практически с каждой точки хода минимально необходимо брать направление на один исходный пункт.

Такую работу целесообразно выполнять с целью контроля результатов измерений. В этом случае координаты точек последовательно определяются способом угловых засечек.

**Спасибо за  
внимание**