

Методы определения положения границ земельных участков

Геодезический способ установления и восстановления границ применяется при отсутствии качественных материалов аэрофотосъемки и исполнительных съемок в масштабах 1:500 и 1:1000. В этом случае используют различные методы.

Метод обхода

Одним из наиболее часто употребляемых методов является метод обхода, т.е. проложения по граничным точкам полигонометрических или теодолитных ходов. При этом возможны различные геометрические схемы построения ходов. Некоторые из них [12] показаны на рис. 3.5.

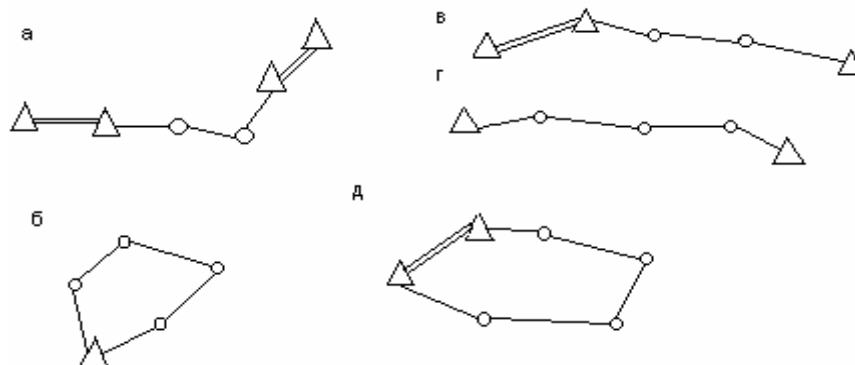


Рис. 3.5. Схемы ходов и полигонов

Для измерения углов и направлений при установлении и восстановлении границ предоставленного земельного участка используют оптические теодолиты типов Т5, Т15, Т30 и их модификации, а также электронные теодолиты и тахеометры. Применение теодолитов более высокой точности не запрещается. Кроме измерения горизонтальных и вертикальных углов указанными теодолитами допускается измерять контрольные расстояния, превышения, определять астрономические азимуты по Солнцу и звездам.

При установлении допусков на отдельные технологические операции и ход в целом следует иметь в виду, что в настоящее время используются, как правило, приборы, обеспечивающие точность измерений (СКП) линий 1-3 см, углов - $\leq 10''$. [17]

Полигонометрические и теодолитные ходы по восстанавливаемым или определяемым границам прокладывают в случаях отсутствия или недостаточной точности геодезических данных [3, 4, 6, 7, 10, 16].

При проложении ходов полигонометрии следует соблюдать требования, приведенные в табл. 3.1, а при проложении теодолитных ходов – в табл. 3.2 и 3.3.

Допускается проложение теодолитных ходов с допустимо относительными невязками

$$1/T = f_s / [S], \quad (3.1)$$

равными 1:3000, 1:2000, 1:1000 в зависимости от требуемой точности, условий местности и наличия приборов.

Длина теодолитного хода между узловыми точками или между исходной и узловой точкой должна быть на 30% меньше значений, приве-

денных в таблице 3.2 и 3.3, а между исходными пунктами в сети она может быть на 30 % больше.

Длины линий в теодолитных ходах не должны быть меньше 20 м на застроенной территории и 40 м на незастроенной территории. Максимальные длины линий при измерении их светодальномерами, светодальномерными насадками и электронными тахеометрами не ограничиваются (оптимальные длины 1,0 - 1,5 км), а при измерении их оптическими дальномерами, стальными рулетками и лентами не должны превышать 400 м.

Поправка за наклон линии к горизонту должна учитываться при величине угла наклона более $1,0^\circ$ в городах и более $1,5^\circ$ – во всех других случаях.

В длины линий, измеренные стальными рулетками и лентами, следует вводить поправку на температуру, если разность температуры воздуха при компарировании и измерении линий превышает 8°C .

Введение поправки на компарирование обязательно, если длина мерного прибора отличается от нормальной более чем на 1:10000.

Методы определения и введения в измеренные углы и линии постоянных поправок при использовании электронных тахеометров, светодальномеров, светодальномерных насадок и оптических дальномеров изложены в соответствующих описаниях и инструкциях по эксплуатации этих приборов.

При проложении теодолитных ходов погрешности центрирования прибора над точкой и редукции не следует допускать [5] более 10 мм при максимальных сторонах и 3 мм – при более коротких сторонах.

В исключительных случаях при утрате наружных знаков и отсутствии видимости между исходными пунктами допускается:

- прокладывать ходы без угловой привязки на одном исходном пункте;
- осуществлять координатную привязку к пунктам геодезической сети;
- прокладывать замкнутые ходы, опирающиеся на один исходный пункт, при условии передачи или измерения с точек хода двух дирекционных углов с погрешностью не более $45''$ на две смежные стороны по возможности в слабом месте.

При проложении ходов с координатной привязкой к пунктам геодезической сети их длины следует уменьшать [5] на 1/3 по сравнению с данными, приведенными в табл. 3.1 и 3.2. Разрешается не уменьшать длины ходов при условии увеличения в два раза точности измерения первых трех сторон хода.

Таблица 3.1

Основные нормативные показатели полигонометрии

Основные показатели	Класс		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
1	2	3	4
Предельная длина хода, км			
– отдельного	15	6,5	4
– между исходным пунктом			
– и узловой точкой	10	4	2,6
– между узловыми точками	7	2,6	2
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах), сек, не более	2	5	10
Угловая невязка в ходах или полигонах, сек, не более (n- число углов в ходе или полигоне)	$5\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$20\sqrt{n}$
Периметр полигона образованного полигонометрическими ходами в свободной сети, км, не более	30	20	12
Длина хода, км			
- наименьшая	0,20	0,12	0,08
- наибольшая	2,00	0,80	0,35
Предельная относительная погрешность хода (допустимая невязка)	1/25000	1/10000	1/5000
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Средняя квадратическая погрешность измерения длины стороны, см, не более	3	3	3

Таблица 3.2

Предельная длина теодолитного хода, км

Масштаб плана (съёмки)	Предельная абсолютная невязка	Открытая местность, застроенная территория			Закрытая местность, незастроенная территория	
		1/T=1/3000	1/T=1/2000	1/T=1/1000	1/T=1/2000	1/T=1/1000
1:10000	5,0	18,0	12,0	6,0	18,0	9,0
1:5000	2,5	9,0	6,0	3,0	9,0	4,5
1:2000	1,0	3,5	2,5	1,2	3,5	1,8
1:1000	0,5	1,8	1,2	0,6	1,8	1,0
1:500	0,3	0,9	0,6	0,3	0,6	-

Таблица 3.3

Показатели теодолитных ходов

Основные показатели	Знаменатель относительной ошибки		
	3000	2000	1000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам в ходах, полигонах), сек, не более	15	20	30
Угловая невязка в ходах или полигонах, сек, не более (n - число углов в ходе или полигоне)	$30\sqrt{n}$	$40\sqrt{n}$	$60\sqrt{n}$
Длина сторон хода, км — наименьшая — наибольшая	0,08 0,80*	0,05 0,50*	0,02 0,35*
* При измерении линий электронными тахеометрами или светодальномерами предельные длины сторон не устанавливаются, однако следует избегать перехода от наименьших сторон к наибольшим			
Число сторон в ходе, не более	20	30	40
Средняя квадратическая погрешность измерения длины стороны, см, не более	5	7	10

Примечания:

1. Если отношение длины полигона к его ширине больше двух, внутри его прокладывают диагональный теодолитный ход такой же точности.
2. Если число сторон в теодолитном ходе больше указанных значений, дополнительно должны передаваться дирекционные углы с пунктов геодезических сетей на отдельные стороны хода или определяться азимуты этих сторон по Солнцу или Полярной звезде с ошибкой, не превышающей 45".

3. Если короткие линии по условиям местности неизбежны, их следует выделять в отдельное звено и измерять замыкающую и углы β_I , β_{II} , образуемые замыкающей линией с начальной и конечной линиями звена. Допускается замыкающую не измерять, а вычислять.

4. В обоих случаях замкнутая фигура около звена уравнивается самостоятельно. В уравнивание же всего хода включаются результаты измерения (вычисления) длины замыкающей и измеренные углы β_I , β_{II} .

5. С целью повышения точности построения хода (за счет уменьшения числа сторон) к этому приему следует прибегать, как только обнаруживается взаимная видимость через несколько поворотных пунктов хода.

6. Если точки теодолитного хода отстоят меньше чем на 0,5 км от точек другого параллельного хода, а оба хода не образуют замкнутый полигон, то между этими ходами должна быть осуществлена связь проложением хода более низкого порядка точности [5].

Привязка полигонометрических (теодолитных) ходов к стенным знакам

При отводе земельных участков, расположенных в городах, поселках и на промышленных территориях широкое применение получили стенные знаки. Каждый пункт полигонометрии может быть закреплен одним стенным знаком или группой из двух-трех знаков, образуя ориентирные или восстановительные системы [8, 15, 18].

Восстановительные системы характерны тем, что координаты на стенные знаки, входящие в систему, не передаются, а временные рабочие центры в случае их утраты восстанавливаются по тем же элементам, по которым они определялись. Различают следующие виды восстановительных систем: створно-восстановительная, створно-восстановительная с дополнительным контролем, системы равностороннего, прямоугольного и равнобедренного треугольников.

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 (теодолитных) ходов. В результате получаем ориентированную систему из двух базисов, позволяющую осуществить привязку к ней полигонометрических и теодолитных ходов (и восполнить контроль). В случае утраты временных рабочих центров их определяют при привязке или проложении новых ходов полигонометрии. Передача координат на стенные знаки с рабочих центров может осуществляться методом редуцирования, полярным, угловой и линейной засечкой [15].

Метод редуцирования применяется, когда пункт закреплен одним стенным знаком.

Полярный метод применяется при передаче координат с временных рабочих центров на стенные знаки, когда пункты закреплены в виде одинарных знаков, двойных и тройных систем.

Метод угловой засечки целесообразно применять, когда непосредственное измерение расстояний от временных рабочих центров до стенных знаков затруднено интенсивным движением транспорта и пешеходов.

Метод линейной засечки выгодно использовать, если стенные знаки незначительно удалены от временных рабочих центров и нет никаких помех для линейных измерений.

Все измерения в ориентирных системах для передачи координат с временных рабочих центров на стенные знаки выполняют с суммарной средней квадратической ошибкой 2 мм. Для обеспечения такой точности инструмент должен центрироваться на временном рабочем центре с точностью не ниже 1 мм, которую могут обеспечить только оптические центриры.

Угловые измерения следует производить так, чтобы избежать частой перефокусировки визирной трубы теодолита.

Расстояния до стенных знаков измеряют стальной рулеткой с натяжением её от руки, если длина линии не более 10 м, и при помощи динамометра силой 10 кг, если линия длиннее 10 м. Во избежание ошибок в отсчетах измерения выполняют при трех сдвигах рулетки в пределах 1-5 см. При этом колебание разностей отсчетов не должно превышать 1 мм.

Расстояние между стенными знаками измеряют при двух сдвигах рулетки. В измеренные расстояния вводят поправки на компарирование рулетки, температуру и наклон линии [18].

Вычисление ходов, закрепленных стенными знаками, выполняют двумя способами:

а) результаты измерений по временным рабочим центрам уравнивают обычным порядком и уравненные координаты передают на центры стенных знаков ориентирной системы;

б) углы и линии, измеренные в ходах по временным рабочим центрам, редуцируют на центры стенных знаков и затем выполняют уравнивание ходов обычным порядком.

При составлении каталога координат в него включают не только координаты стенных знаков, но и координаты временных рабочих центров, а также значения горизонтальных проложений линий, полученных при методе засечек, с тем, чтобы их можно было использовать для восстановле-

ния временных рабочих центров с точностью 2-3 см, достаточной 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. При этом необходимо соблюдать условие определения его положения с суммарной средней квадратической ошибкой не более 2 мм.

Привязка на местности сводится к измерению углов и линий, необходимых для вычисления с надлежащей точностью и контролем координат примычного пункта P и дирекционного угла α направления с примычного пункта на соответствующий стенной знак.

При наличии сохранившихся наземных рабочих центров привязка ходов осуществляется к последним так же, как и к обычным грунтовым знакам.

Привязка к стенным знакам, образующим одинарные, двойные и тройные ориентирные системы, при утрате наземных рабочих центров осуществляется одним из следующих способов.

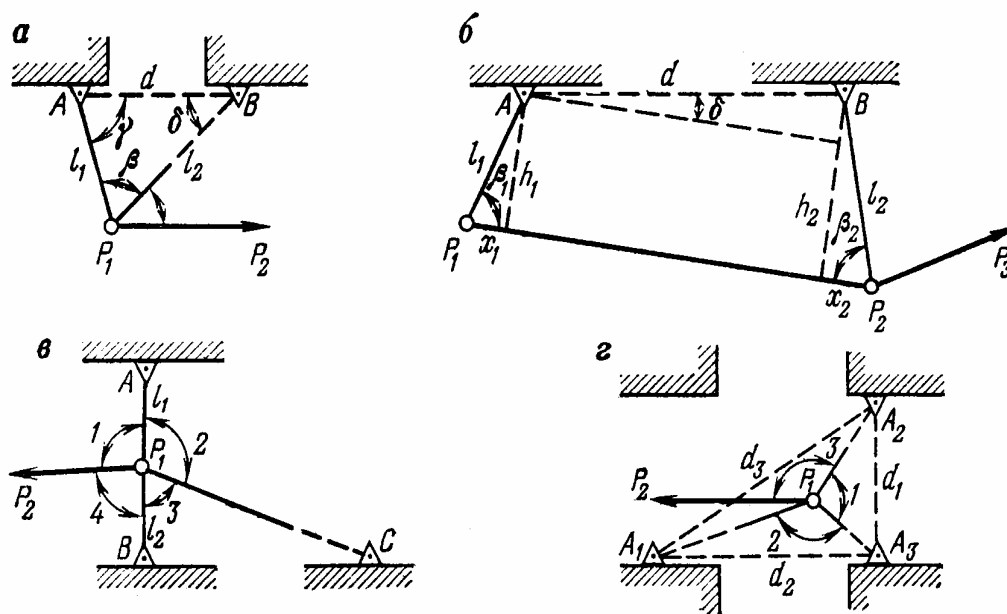


Рис. 3.6. Схемы привязки полигонометрических и теодолитных ходов к одинарным стенным знакам

Привязка к одинарным стенным знакам. Теодолит устанавливают напротив стенного знака на расстоянии не более 20 м с таким рас-

четом, чтобы был виден и соседний знак (рис.3.6, а) и измеряют расстояние l_1 до ближайшего стенного знака и угол β между направлениями на знаки. Кроме того, если позволяют условия местности, измеряют расстояние и до дальнего стенного знака l_2 .

Выполнив эти измерения, вычисляют координаты точки стояния инструмента по известным формулам

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

По координатам точек P_1 и B , решая обратную задачу, вычисляют дирекционный угол и расстояние P_1B , которое сопоставляют с непосредственно измеренным l_2 . Расхождение между ними не должно превышать 8 мм.

Дирекционный угол линии α_{P_1B} принимают в качестве исходного для привязываемого хода; ориентирование по более короткому расстоянию P_1A будет менее точным и поэтому не допускается.

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 (рис.3.6, б).

От этих точек измеряют расстояния до стенных знаков l_1 и l_2 и углы β_1 и β_2 . Координаты временной точки P_2 и дирекционный угол линии P_1P_2 , который будет служить в качестве исходного для привязываемого хода, можно определить по формулам

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

Если одинарные стенные знаки расположены на противоположных сторонах улицы, то устанавливают теодолит в их створе и в точке стояния прибора измеряют углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и временную точку хода и расстояния l_1 и l_2 до ближайших стенных знаков, в створе которых установлен инструмент (рис. 3.6, в). Координаты точки стояния прибора вычисляют по формулам

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

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

$$x_{P_1} = x_B + l_2 \cos(\alpha_{AB} \pm 180^\circ); \quad y_{P_1} = y_B + l_2 \sin(\alpha_{AB} \pm 180^\circ).$$

Контроль правильности решения задачи:

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

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

$$d_{\text{изм}} = l_1 + l_2; \quad d_{\text{изм}} = d_{\text{выч}};$$

$$\alpha_{P_1C} = \alpha_{AB} + 2; \quad \operatorname{tg} \alpha_{P_1C} = (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1}); \quad \alpha_{P_1C_{\text{изм}}} = \alpha_{P_1C_{\text{выч}}}.$$

Привязку хода к трем-четырем одинарным стенным знакам, заложенным на противоположных углах кварталов на перекрестке улиц, можно осуществить по способу, предложенному Ю.С. Хмелевским (рис. 3.6, *з*), сущность которого заключается в том, что координаты точки стояния теодолита P_1 вычисляют методом обратной засечки по формулам:

$$x_{P_1} = (P_{A_1} x_{A_1} + P_{A_2} x_{A_2} + P_{A_3} x_{A_3}) / (P_{A_1} + P_{A_2} + P_{A_3});$$

$$y_{P_1} = (P_{A_1} y_{A_1} + P_{A_2} y_{A_2} + P_{A_3} y_{A_3}) / (P_{A_1} + P_{A_2} + P_{A_3}),$$

где

$$P_{A_1} = 1 / (\operatorname{ctg} A_1 - \operatorname{ctg} 1); \quad P_{A_2} = 1 / (\operatorname{ctg} A_2 - \operatorname{ctg} 2);$$

$$P_{A_3} = 1 / (\operatorname{ctg} A_3 - \operatorname{ctg} 3).$$

Преимущество обратной засечки перед другими способами привязки произвольной точки стояния прибора особенно проявляется в условиях интенсивного движения транспорта и пешеходов, когда точные линейные измерения выполнить затруднительно или совсем невозможно.

Привязка к двойным системам стенных знаков. При такой привязке теодолит устанавливают в удобном для работы месте против стенного знака на расстоянии, примерно равном расстоянию между стенными знаками d , но не далее 20 м (рис. 3.7, *а*). После этого измеряют расстояния l_1 и l_2 до стенных знаков, а также углы 1, 2, 3, 4 между направлениями на стенные знаки и временной точкой P_2 .

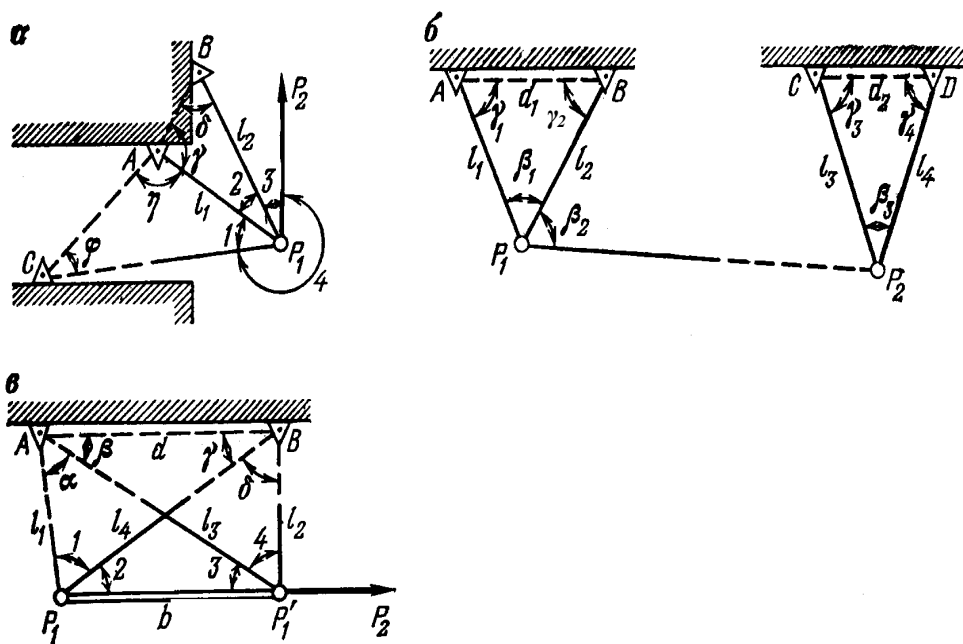


Рис. 3.7. Схемы привязки полигонометрических и теодолитных ходов к двойным системам стенных знаков

Координаты временной точки P_1 и дирекционный угол линии P_1C , которая будет служить исходной для привязываемого хода, вычисляют по формулам:

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= (l_2 \sin 2) / d; & \sin \delta &= (l_1 \sin 2) / d; \\ \gamma + \delta + 2 &= 180^\circ; & d &= \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos 2}; \\ \alpha_{AP_1} &= \alpha_{AB} + \gamma; \\ x_{P_1} &= x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1}; \\ y_{P_1} &= y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1}; \\ \operatorname{tg} \alpha_{P_1C} &= (y_C - y_{P_1}) / (x_C - x_{P_1}). \end{aligned}$$

Если из точки P_1 нет видимости на стенные знаки соседнего пункта, поступают следующим образом.

Выбирают две точки P_1 и P_2 против стенных знаков, на которые устанавливают теодолит, и измеряют углы β_1 , β_2 и β_3 , расстояния l_1 , l_2 , l_3 , l_4 , а также расстояния d_1 и d_2 (рис.3.7, б).

Координаты точек P_1 и P_2 определяют из решения двух треугольников P_1AB и P_2CD по известным формулам

$$\begin{aligned}
\sin \gamma_1 &= (l_2 \sin \beta_1) / d_1; & \sin \gamma_2 &= (l_1 \sin \beta_1) / d_1; \\
\sin \gamma_3 &= (l_4 \sin \beta_3) / d_2; & \sin \gamma_4 &= (l_3 \sin \beta_4) / d_2; \\
\gamma_1 + \gamma_2 + \beta_1 &= 180^\circ; & \gamma_3 + \gamma_4 + \beta_3 &= 180^\circ; \\
d_1 &= \sqrt{l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos \beta_1}; & d_2 &= \sqrt{l_3^2 + l_4^2 - 2l_3l_4 \cos \beta_3}; \\
\alpha_{AP_1} &= \alpha_{AB} + \gamma_1; & \alpha_{BP_1} &= \alpha_{BA} - \gamma_2; \\
x_{P_1} &= x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1}; \\
y_{P_1} &= y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1}; \\
\alpha_{CP_2} &= \alpha_{CD} + \gamma_3; & \alpha_{DP_2} &= \alpha_{DC} - \gamma_4; \\
x_{P_2} &= x_C + l_3 \cos \alpha_{CP_2} = x_D + l_4 \cos \alpha_{DP_2}; \\
y_{P_2} &= y_C + l_3 \sin \alpha_{CP_2} = y_D + l_4 \sin \alpha_{DP_2}.
\end{aligned}$$

По координатам временных точек P_1 и P_2 вычисляют значение дирекционного угла линии P_1P_2

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1P_2} = (y_{P_2} - y_{P_1}) / (x_{P_2} - x_{P_1}).$$

Если по условиям местности непосредственное измерение расстояний от прибора до ственных знаков затруднено, то привязку к такой двойной системе ственных знаков можно осуществить способом угловой засечки с условным базисом (рис.3.7, в).

Для этого параллельно зданию, в котором заложены ственные знаки, на расстоянии, примерно равном расстоянию между знаками, в створе линии P_1P_2 разбивают и измеряют базис b , примерно равный расстоянию d , на концах которого измеряют углы $1, 2, 3, 4$ на ственные знаки. Координаты точек P_1 и P_2 вычисляют в следующей последовательности:

$$\begin{aligned}
\alpha &= 180^\circ - (1 + 2 + 3); & \delta &= 180^\circ - (2 + 3 + 4); \\
l_1 &= (b \sin 3) / \sin \alpha; \\
l_2 &= (b \sin 2) / \sin \delta; \\
l_3 &= [b \sin(1 + 2)] / \sin \alpha; \\
l_4 &= [b \sin(3 + 4)] / \sin \delta.
\end{aligned}$$

Из решения треугольников ABP_1 и ABP_1' находят

$$\sin \beta = (l_2 \sin 4) / d; \quad \sin \gamma = (l_1 \sin 1) / d;$$

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + (\beta + \alpha); \quad \alpha_{AP_1'} = \alpha_{AB} + \beta;$$

$$\alpha_{BP_1} = \alpha_{BA} - \gamma; \quad \alpha_{BP_1'} = \alpha_{BA} - (\gamma + \delta).$$

По полученным длинам линий и дирекционным углам дважды вычисляют координаты точек P_1 и P_1' по формулам

$$x_{P_1} = x_A + l_1 \cos \alpha_{AP_1} = x_B + l_4 \cos \alpha_{BP_1};$$

$$y_{P_1} = y_A + l_1 \sin \alpha_{AP_1} = y_B + l_4 \sin \alpha_{BP_1};$$

$$x_{P_1'} = x_A + l_3 \cos \alpha_{AP_1'} = x_B + l_2 \cos \alpha_{BP_1'};$$

$$y_{P_1'} = y_A + l_3 \sin \alpha_{AP_1'} = y_B + l_2 \sin \alpha_{BP_1'}.$$

Контролем вычислений может служить определение по полученным координатам точек P_1 и P_1' длины линии P_1P_1' и ее дирекционного угла.

Если непосредственное измерение базиса $P_1P_1' = b$ по условиям местности невозможно, то такую привязку осуществляют способом угловой засечки с условным базисом (задача Ганзена – определение положения двух точек по двум данным) [15].

Привязка к тройным системам стенных знаков. Теодолит устанавливают на конечной точке хода P_1 , которую выбирают против осевого стеного знака, и измеряют направления на соседний пункт привязываемого хода, а также на центры стенных знаков A , B , C ориентирного пункта. Кроме того, измеряют полярное расстояние l_0 от точки стояния теодолита до осевого стеного знака A (рис. 3.8).

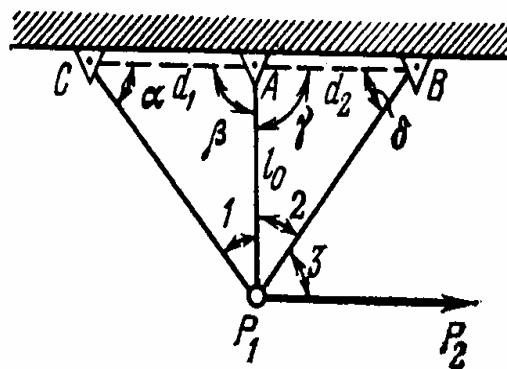


Рис. 3.8. Схема привязки полигонометрических и теодолитных ходов к тройным системам стенных знаков

Из решения треугольников CAP_1 и ABP_1 находим углы α и δ по формулам

$$\sin \alpha = (l_0 \sin 1) / d_1; \quad \sin \delta = (l_0 \sin 2) / d_2,$$

затем углы β и γ

$$\beta = 180^\circ - (\alpha + 1); \quad \gamma = 180^\circ - (\delta + 2).$$

Далее вычисляем расстояния CP_1 и BP_1

$$CP_1 = (d_1 \sin \beta) / \sin 1; \quad BP_1 = (d_2 \sin \gamma) / \sin 2.$$

По полученным данным трижды вычисляют координаты точки P_1 по формулам

$$\alpha_{AP_1} = \alpha_{AB} + \gamma; \quad \alpha_{BP_1} = \alpha_{BA} - \delta; \quad \alpha_{CP_1} = \alpha_{CA} + \alpha;$$

$$x_{P_1} = x_A + l \cos \alpha_{AP_1}; \quad y_{P_1} = y_A + l \sin \alpha_{AP_1};$$

$$x_{P_1} = x_B + BP_1 \cos \alpha_{BP_1}; \quad y_{P_1} = y_B + BP_1 \sin \alpha_{BP_1};$$

$$x_{P_1} = x_C + CP_1 \cos \alpha_{CP_1};$$

$$y_{P_1} = y_C + CP_1 \sin \alpha_{CP_1}.$$

Привязка к пунктам ориентирной системы производится с такой же точностью, как и к обычным пунктам полигонометрии.

Полярный метод

В землеустроительной практике широко используется также полярный метод определения положения граничных точек (рис. 3.9). Однако его применение требует особой тщательности и аккуратности при проведении работ. Это объясняется отсутствием в данном методе объективного контроля измерений [7].

Передача координат в полярном методе из пункта A , с известными координатами (X_A, Y_A) и дирекционным направлением (AB) , на определенный пункт P (межевой знак, контурную точку) осуществляется по измеренному на пункте A полярному углу φ и по длине расстояния $AB = S$, измеренного электронным тахеометром, светодальномером, мерным прибором (рулеткой, лентой).

В полярном методе координаты определяемого пункта вычисляются по известным формулам

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + S \cdot \cos(\alpha_{AB} + \beta) \\ Y_P &= Y_A + S \cdot \sin(\alpha_{AB} + \beta) \end{aligned} \quad (3.2)$$

а средняя квадратическая погрешность определяемого пункта P относительно исходного A будет определяться величиной

$$M_P = \sqrt{m_S^2 + S_{AP}^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}, \quad (3.3)$$

где m_S , m_β – соответственно, средние квадратические погрешности полярного расстояния S и полярного угла β ;

ρ – число угловых секунд или минут в радиане.

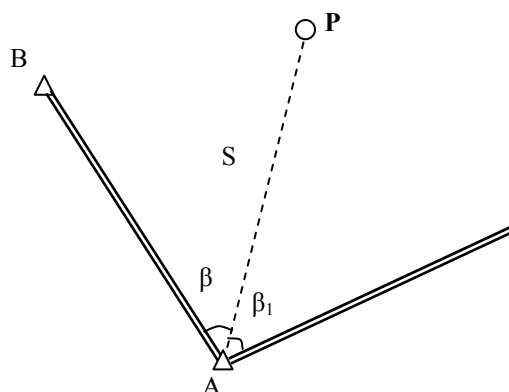


Рис. 3.9. Полярный метод

Предельные длины полярных расстояний, измеренные только от исходного пункта до определяемого, не должны превышать значений, приведенных в таблице, при измерении полярных углов β и β_1 . Однако определенные таким путем точки не должны включаться в каталог координат сгущения.

Таблица 3.4

Предельные длины полярных расстояний, м

Мас- штаб плана	Средние квадратические погрешности углов, "				
	и расстояний, см				
	10 "	20 "	20 "	20 "	30 "
	2 см	2 см	5 см	10 см	20 см
1:10000	3000	2000	1000	500	250
1:5000	2000	1000	500	250	125
1:2000	1000	500	300	150	50
1:1000	500	225	150	75	---
1:500	225	150	100	---	---

При определении координат пункта P полярным методом независимо от двух исходных пунктов A и B измерения следует выполнять с точно-

стью указанной в таблице, а предельные длины допускается увеличивать на 40 %. В этом случае определяемый пункт можно относить к пунктам сетей сгущения соответствующего разряда и включать в каталог координат, если средняя квадратическая погрешность измерений полярных углов не превышает $10''$ [5,7].

Там, где по условиям видимости невозможно определение координат точки P с двух исходных пунктов, а обеспечение контрольных измерений обязательно, необходимо использовать способы:

- контрольных углов или линий;
- сдвоенных пунктов;
- дополнительного пункта.

Способ **контрольных углов** заключается в дополнительных измерениях углов по границам землепользования через три межевых знака (точки), координаты которых определены полярным методом путем измерения полярного угла и расстояния. Так, в шестиугольнике (рис. 3.10) потребуется измерение двух, а не всех шести углов. Вместо двух контрольных углов γ_1, γ_2 можно измерить три контрольные стороны (S_1, S_2, S_3). Кроме этого, контрольные величины могут выступать и в их комбинациях.

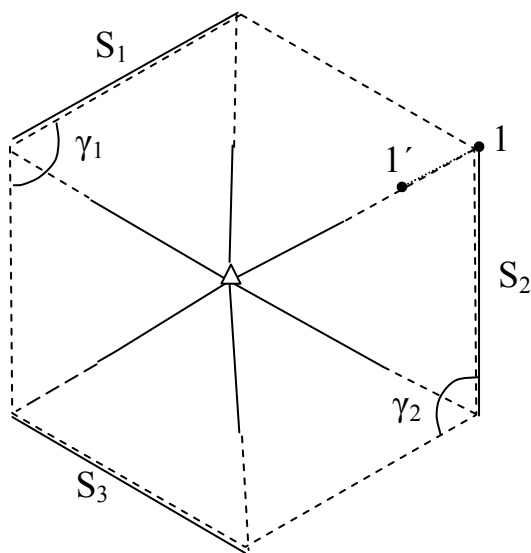


Рис. 3.10

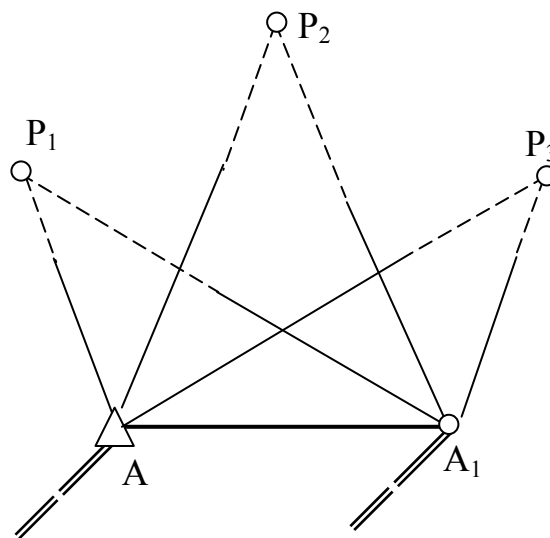


Рис. 3.11

В случаях, когда видимость между смежными пунктами не обязательна (граница проходит по обочинам дорог, канав и т.п.), с целью контроля геодезических определений можно воспользоваться **сдвоенными пунктами**. Для этого на межевом знаке 1 устанавливают отражатель и на

него электронным тахеометром производят измерения. После этого отражатель перемещается в сдвоенный пункт $1'$, на него выполняют измерения и находят координаты. Решая обратную геодезическую задачу по координатам точек 1 и $1'$, вычисляют расстояние между ними. Полученное расстояние сравнивают с измеренным. Последнее можно определить карманной рулеткой, нивелирной рейкой или другим способом. Предельная разность значений измеренной (контрольной) и вычисленной стороны допускается равной относительной невязке теодолитного хода точности 1:1000 [7]. Для контрольных углов предельные значения разностей не должны превышать $120''$ при длинах сторон до 200 м и $90''$ – более 200 м.

Сущность дополнительного пункта заключается в определении положения точек полярным методом с двух пунктов (рис. 3.11) – основного (исходного) A и дополнительного A_1 , выбираемого рядом с основным (на расстоянии 5-20 м от него). Координаты дополнительного пункта получают путем передачи с основного пункта полярным методом. Расстояние AA_1 следует измерить в прямом и обратном направлениях.

Для планового определения выбранных точек P_i с обоих исходных пунктов (основного и дополнительного) наблюдают направления и измеряют расстояния. Таким образом, каждую точку определяют дважды. Контролем измерений служит сходимость координат в пределах точности принятого масштаба плана. В качестве окончательных координат принимают их среднее значение.

Геодезические засечки – наиболее распространенный метод определения планового и высотного положения точек на местности в геодезической и землеустроительной практике. В [3,7], как и в [14], засечки делят на прямые, обратные, комбинированные, угловые, линейные, линейно-угловые и т.п.

Прямая угловая засечка заключается в определении координат точки по измеренным на исходных пунктах горизонтальным углам. Прямые угловые засечки выполняются не менее чем с трех исходных пунктов или узловых межевых знаков так, чтобы углы между направлениями на определяемой точке (знаке) были не менее 30° и не более 150° .

Обратная угловая засечка заключается в определении координат точки по измеренным на ней горизонтальным углам. Обратные угловые засечки выполняются не менее чем по четырем исходным пунктам так, чтобы определяемая точка не находилась вблизи окружности, проходящей через любые три исходных пункта. Способ обратных засечек обладает

преимуществами при работе в открытой и полужакрытой местности с большим числом удаленных или труднодоступных пунктов.

Комбинированные угловые засечки встречаются при выполнении геодезических работ в сложных условиях, когда из-за ограниченной видимости или удаленности и недоступности исходных пунктов нет возможности применить прямые и обратные угловые засечки. В таких случаях положение искомого пункта можно найти по углам β_1 и β_2 , измеренным на исходном и определяемом пунктах.

Общее решение комбинированных угловых засечек основано [14] на отыскании точек пересечения прямой, проведенной под углом β_1 к исходной стороне, и окружности, вмещающей измеренный на определяемом пункте угол β_2 (рис. 3.12, а), т.е. на совместном решении уравнений

$$\begin{aligned} (Y_P - Y_A) - (X_P - X_A) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{AP} &= 0 \\ (Y_P - Y_0)^2 + (X_P - X_0)^2 - R^2 &= 0 \end{aligned} \quad (3.4)$$

где $\alpha_{AP} = \alpha_{AB} + \beta_1$ – дирекционный угол линии AP;

X_A, Y_A – координаты исходного пункта, на котором измерен угол β_1 ;

X_0, Y_0 и R – координаты центра окружности и её радиус;

X_P, Y_P – координаты определяемой точки.

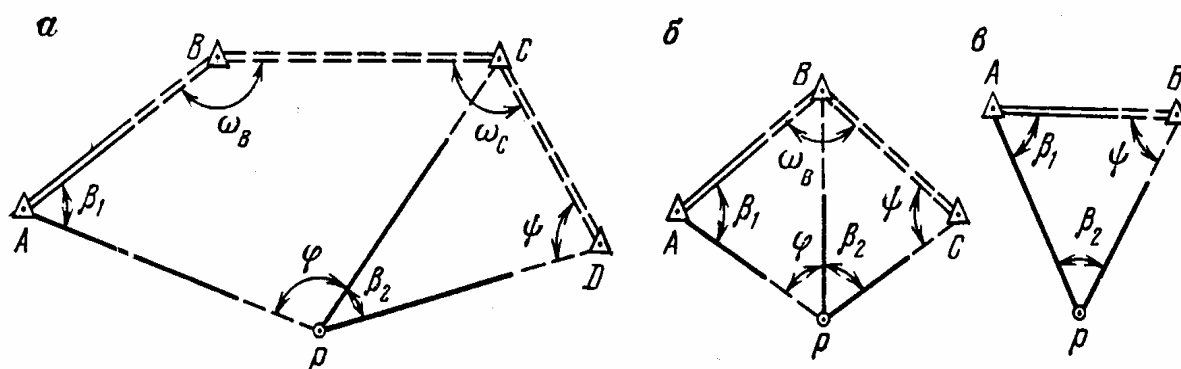


Рис. 3.12. Комбинированные угловые засечки

Координаты точек пересечения прямой с окружностью вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} X_P &= (X_0 + \Delta \cdot \sin \alpha_{AP}) \pm \sqrt{R^2 - \Delta^2} \cdot \cos \alpha_{AP}; \\ Y_P &= (Y_0 - \Delta \cdot \cos \alpha_{AP}) \pm \sqrt{R^2 - \Delta^2} \cdot \sin \alpha_{AP}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

где

$$\begin{aligned}
\Delta &= (Y_0 - Y_A) \cdot \cos \alpha_{AP} - (X_0 - X_A) \cdot \sin \alpha_{AP}; \\
X_0 &= \frac{I}{2} [(X_C + X_D) + (Y_C - Y_D) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2]; \\
Y_0 &= \frac{I}{2} [(Y_C + Y_D) - (X_C - X_D) \cdot \operatorname{ctg} \beta_2]; \\
R &= \frac{S_{CD}}{2 \sin \beta_2}.
\end{aligned} \tag{3.6}$$

В формулах (3.6) принято, что X_C , Y_C и X_D , Y_D – координаты исходных пунктов, направления на которые образуют угол β_2 . В частных случаях комбинированной угловой засечки (рис. 3.12, б, в) вместо пунктов C и D необходимо брать те исходные пункты, которые использовались при измерении угла β_2 .

При решении комбинированных угловых засечек по приведенным выше формулам вычисляются координаты двух точек пересечения прямой с окружностью. Для выбора искомого пункта при полевых измерениях можно определить с помощью буссоли дирекционный угол линии PC или PD .

Точность комбинированных угловых засечек определяется по формулам, полученным на основании теории градиентов [14], т.е.

$$\begin{aligned}
m_{X_P} &= \frac{m_\beta}{\rho \sin \tau} \sqrt{S_{AP}^2 \cdot \sin^2 \alpha_2 + \frac{S_{CP}^2 S_{DP}^2}{S_{CD}^2} \sin^2 \alpha_1}; \\
m_{Y_P} &= \frac{m_\beta}{\rho \sin \tau} \sqrt{S_{AP}^2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \frac{S_{CP}^2 S_{DP}^2}{S_{CD}^2} \cos^2 \alpha_1}; \\
m_{P_{ИЗМ}} &= \sqrt{m_{X_P}^2 + m_{Y_P}^2} = \frac{m_\beta}{\rho \sin \tau} \sqrt{S_{AP}^2 + \frac{S_{CP}^2 S_{DP}^2}{S_{CD}^2}},
\end{aligned} \tag{3.7}$$

где $\alpha_1 = \alpha_{AP} + 90^\circ$ – направление градиента угла β_1 ;

$\alpha_2 = \alpha_{PC} + \alpha_{PD} - \alpha_{CD} + 90^\circ$ – направление градиента угла β_2 ;

$\tau = \alpha_2 - \alpha_1$ – угол засечки;

α_{ij} и S_{ij} – дирекционные углы и длины линий между пунктами i и j .

Влияние погрешностей исходных пунктов на точность комбинированной угловой засечки при $m_A = m_B = m_C = m_D = m_{ИСК}$ вычисляется

по формуле

$$m_{P_{ИCX}} = \frac{m_{ИCX}}{\sin \tau} \sqrt{1 + \frac{S_{AP} S_{BP}}{S_{AB}^2} \cos \varphi + \frac{S_{CP} S_{DP}}{S_{CD}^2} \cos \beta_2}, \quad (3.8)$$

где φ – угол между линиями PC и PA (см. рис. 3.12, *a*).

Приведенные схемы угловых засечек не имеют избыточных измерений, поэтому на практике для повышения точности и контроля полевых работ необходимо измерять дополнительные направления на исходные пункты, расстояния между определяемыми пунктами и т.п. Наличие избыточных измерений в системах засечек, создаваемых из различных схем однократных засечек, позволяет широко их использовать при топографо-геодезических и инженерно-геодезических работах [14].

Применение систем геодезических засечек в условиях открытой и полузакрытой местности имеет ряд достоинств:

- широкое использование хорошо видимых, но удаленных или труднодоступных исходных пунктов;
- наблюдение минимального числа направлений с определяемых пунктов на исходные;
- возможность передачи дирекционного угла по направлениям, связывающим определяемые пункты;
- уменьшение объема полевых и камеральных работ по сравнению с традиционными методами построения плановых геодезических сетей;
- надежный контроль выполнения полевых работ.

При построении систем засечек на каждом из искомых пунктов наблюдаются один-два исходных пункта и смежные определяемые. В зависимости от количества и расположения видимых исходных пунктов можно применять множество разнообразных систем геодезических засечек. Например, при наличии двух исходных пунктов удобно, применять сдвоенную засечку Ганзена (рис. 3.13, *a*); при трех исходных пунктах – систему совмещенных обратных засечек (рис. 3.13, *б*); при четырех исходных пунктах – комбинации прямой и обратной угловых засечек (рис. 3.13, *в*, *г*) и т.п. Во всех этих случаях привязка к исходным пунктам выполняется с избыточными измерениями, что повышает надежность создаваемой сети.

При построении систем засечек применяются, как правило, обратные угловые и линейно-угловые засечки, поэтому упрощается процесс рекогносцировки пунктов, которые намечаются в наиболее удобных для дальнейшего использования местах. Системы засечек сокращают объемы и сроки выполнения полевых работ, так как уменьшается количество угло-

вых и линейных измерений, отпадает необходимость в длительных переездах и переходах к удаленным исходным пунктам. Кроме того, в условиях полузакрытой местности, когда нет видимости с некоторых определяемых пунктов на исходные, между определяемыми пунктами можно проложить полигонометрический ход, увеличивая этим количество определяемых пунктов.

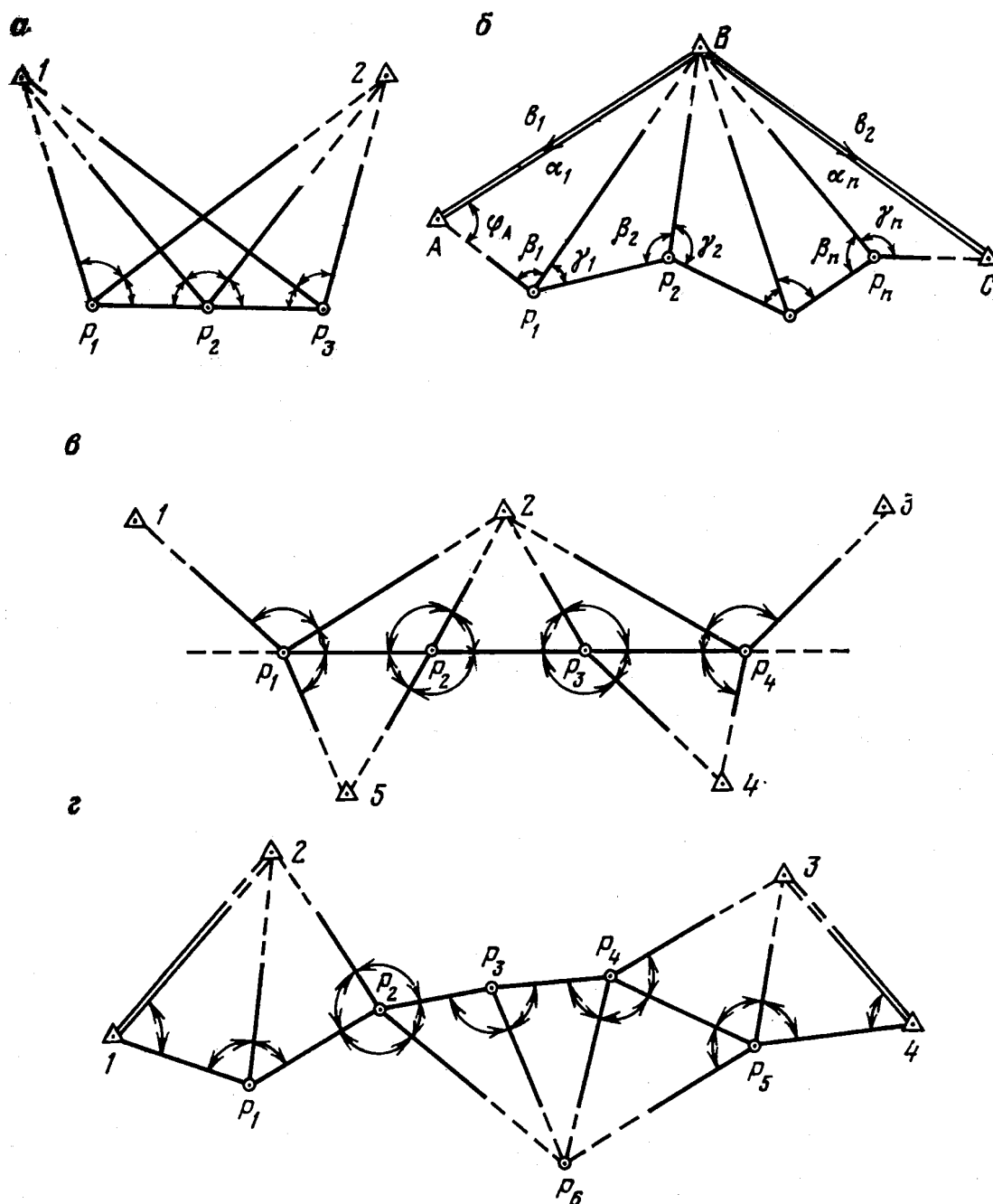


Рис. 3.13. Системы угловых засечек

При проектировании систем геодезических засечек для надежного определения положения пунктов следует избегать слишком острых и тупых углов.

Многократные геодезические засечки и их системы обычно уравнивают параметрическим методом.

Линейно-угловые засечки, в которых сочетаются угловые и линейные измерения, позволяют сократить число станций, количество избыточных измерений и исходных пунктов, при этом точность результатов не снижается. Приведем алгоритмы решения и оценки точности наиболее эффективных вариантов линейно-угловых засечек, рассмотренных в [14].

При наличии избыточных измерений эти алгоритмы применяются для вычисления предварительных координат определяемых пунктов и расчета их точности. Окончательные координаты и погрешности их определения получают в результате уравнивания измеренных величин параметрическим методом. Линейно-угловые засечки можно применять для отыскания утраченных пунктов, для определения координат пунктов съемочного обоснования, межевых знаков и плановых опознаков.

Прямые линейно-угловые засечки. Для определения положения пункта способом прямой линейно-угловой засечки необходимо измерить горизонтальный угол β на одном из исходных пунктов и расстояние S между определяемым и исходными пунктами.

В общем случае решение прямых линейно-угловых засечек основано на определении координат точек пересечения прямой, проведенной из пункта B под углом β к исходной стороне, и окружности с центром в исходном пункте A с радиусом, равным измеренному расстоянию S (рис. 3.14, а),

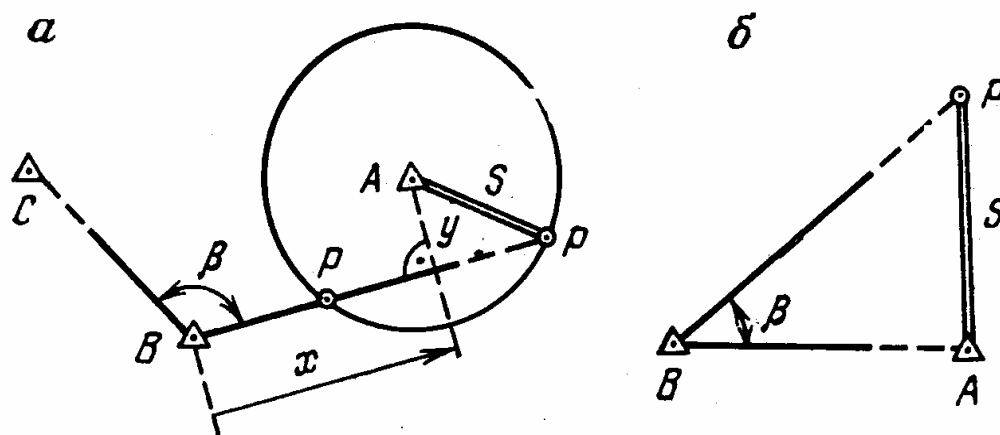


Рис. 3.14. Прямые линейно-угловые засечки одного пункта

уравнения которых имеют вид

$$\begin{aligned}(Y_P - Y_B) &= (X_P - X_B) \cdot \operatorname{tg} \alpha_{BP}; \\ (X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2 &= S^2.\end{aligned}\quad (3.9)$$

Определив условные координаты x и y центра окружности относительно линии BP по формулам

$$\begin{aligned}x &= (X_A - X_B) \cdot \cos \alpha_{BP} + (Y_A - Y_B) \cdot \sin \alpha_{BP}; \\ y &= (Y_A - Y_B) \cdot \cos \alpha_{BP} - (X_A - X_B) \cdot \sin \alpha_{BP},\end{aligned}\quad (3.10)$$

найдем координаты точек пересечения прямой BP с окружностью:

$$\begin{aligned}X_P &= X_B + (x \pm \sqrt{S^2 - y^2}) \cdot \cos \alpha_{BP}; \\ Y_P &= Y_B + (x \pm \sqrt{S^2 - y^2}) \cdot \sin \alpha_{BP}.\end{aligned}\quad (3.11)$$

Знак плюс в формуле (3.11) относится к действительной точке P , а знак минус – к мнимой точке P' , которой соответствуют те же измеренные величины. Неопределенность обычно разрешается путем измерения приближенной длины направления BP .

Приведенное решение также справедливо для прямой линейно-угловой засечки с двух исходных пунктов (рис. 3.14, б).

Точность прямых линейно-угловых засечек определяется по формулам, полученным на основе теории градиентов [14]:

$$\begin{aligned}m_{X_P} &= \frac{l}{\cos \tau} \sqrt{(m_S \cos \alpha_{BP})^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho} S_{AP} \sin \alpha_{AP} \right)^2}; \\ m_{Y_P} &= \frac{l}{\cos \tau} \sqrt{(m_S \sin \alpha_{BP})^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho} S_{AP} \cos \alpha_{AP} \right)^2}; \\ m_P &= \sqrt{m_{X_P}^2 + m_{Y_P}^2} = \frac{l}{\cos \tau} \sqrt{m_S^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S_{AP}^2}; \\ m_{P_{ИСХ}} &= \frac{m_{ИСХ}}{S_{AB}} \sqrt{\frac{S_{AP}^2 + S_{BP}^2 + S_{AB}^2}{2}},\end{aligned}\quad (3.12)$$

где m_{X_P} , m_{Y_P} – средние квадратические погрешности положения определяемой точки по направлениям координатных осей;

$m_{P_{ИСХ}}$ – средние квадратические погрешности, возникающие из-за погрешностей измерений m_β , m_S и исходных пунктов $m_{ИСХ}$;

α_{ij} и S_{ij} – дирекционные углы и длины соответствующих линий;

$\tau = \alpha_{BP} - \alpha_{AP}$ – угол засечки.

Исследования [14] показали, что в прямой линейно-угловой засечке погрешность минимальна в центре окружности, построенной на базисе как на диаметре, и максимальна на самой окружности. Поэтому при проектировании прямой линейно-угловой засечки с двух или трех исходных пунктов надо стремиться к выбору определяемых точек внутри окружности и вблизи створа исходных пунктов.

Обратные линейно-угловые засечки. Для определения положения пункта методом обратной линейно-угловой засечки необходимо выполнить измерение углов на определяемом пункте, а расстояния – между определяемыми и исходными пунктами.

Общее решение обратных линейно-угловых засечек основано на определении координат точек пересечения двух окружностей (рис. 3.15, а), одна из которых вмещает измеренный в искомой точке горизонтальный угол β , а другая построена из центра A радиусом, равным измеренному расстоянию S .

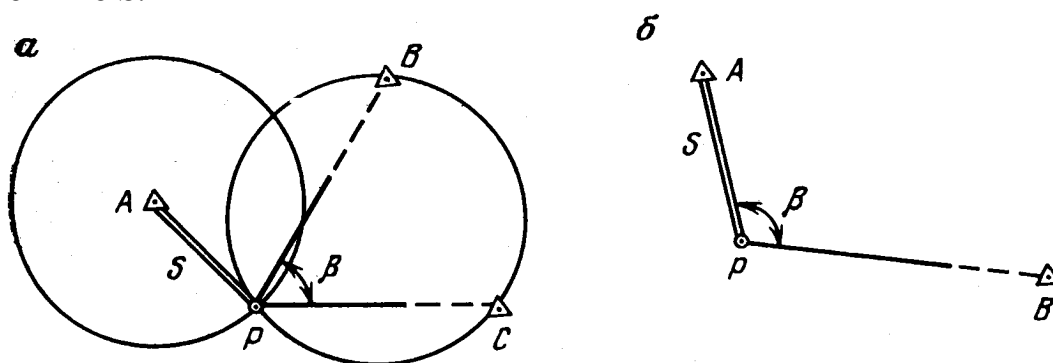


Рис. 3.15. Обратные линейно-угловые засечки одного пункта

Уравнения этих окружностей имеют вид

$$\begin{aligned} (X_P - X_0)^2 + (Y_P - Y_0)^2 &= R^2; \\ (X_P - X_A)^2 + (Y_P - Y_A)^2 &= S^2, \end{aligned} \quad (3.13)$$

где

$$\begin{aligned} X_0 &= \frac{1}{2} [(X_B + X_C) + (Y_B - Y_C) \cdot \operatorname{ctg} \beta]; \\ Y_0 &= \frac{1}{2} [(Y_B + Y_C) - (X_B - X_C) \cdot \operatorname{ctg} \beta]; \\ R &= \frac{S_{BC}}{2 \cdot \sin \beta}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Погрешность положения определяемого пункта вычисляют по формулам

$$\begin{aligned}
 m_{X_P} &= \frac{l}{\sin \tau} \sqrt{\left(m_S \cos \alpha_{II}\right)^2 + \left(\frac{S_{BP} S_{CP}}{S_{BC}} \cdot \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \sin \alpha_I\right)^2}; \\
 m_{Y_P} &= \frac{l}{\sin \tau} \sqrt{\left(m_S \sin \alpha_{II}\right)^2 + \left(\frac{S_{BP} S_{CP}}{S_{BC}} \cdot \frac{m_\beta}{\rho} \cdot \cos \alpha_I\right)^2}; \\
 m_P &= \frac{l}{\sin \tau} \sqrt{m_S^2 + \left(\frac{S_{BP} S_{CP}}{S_{BC}} \cdot \frac{m_\beta}{\rho}\right)^2}; \\
 m_{P_{ИСК}} &= \frac{m_{ИСК}}{S_{BC} \sin \tau} \sqrt{\frac{S_{AP}^2 + S_{BP}^2 + S_{BC}^2}{2}},
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

где $\tau = \alpha_{II} - \alpha_I$ – угол засечки;

α_I – дирекционный угол линии AP .

Дирекционный угол градиента линии положения угла β определяется по формуле

$$\alpha_{II} = \alpha_{PB} + \alpha_{PC} - \alpha_{BC} + 90^\circ. \tag{3.16}$$

Для обратной линейно-угловой засечки по двум исходным пунктам (рис. 3.15, б) в формулах (3.13) и (3.14) принимаем, что $X_B = X_A$, $Y_B = Y_A$ и $X_C = X_B$, $Y_C = Y_B$.

Анализ точности [14] обратной линейно-угловой засечки показывает, что средняя квадратическая погрешность положения определяемого пункта уменьшается при его приближении к исходному пункту A и увеличивается до бесконечности вблизи перпендикуляра, проведенного к линии AB в точке B .

Для обеспечения высокой степени надежности решения обратных линейно-угловых засечек исходные пункты выбирают так, чтобы определяемый пункт находился вблизи их створа или рядом с одним из них, а расстояние S измеряют до ближнего исходного пункта. Обратные линейно-угловые засечки группы пунктов выполняют в случаях, когда с каждого из определяемых пунктов есть видимость лишь на один или два исходных, а линейные измерения между определяемыми или исходными пунктами затруднены или невозможны. Измерив расстояния между смежными определяемыми пунктами и горизонтальные углы между направле-

ниями на видимые исходные пункты, получают линейно-угловую сеть без измерения примычных углов и расстояний (рис. 3.16).

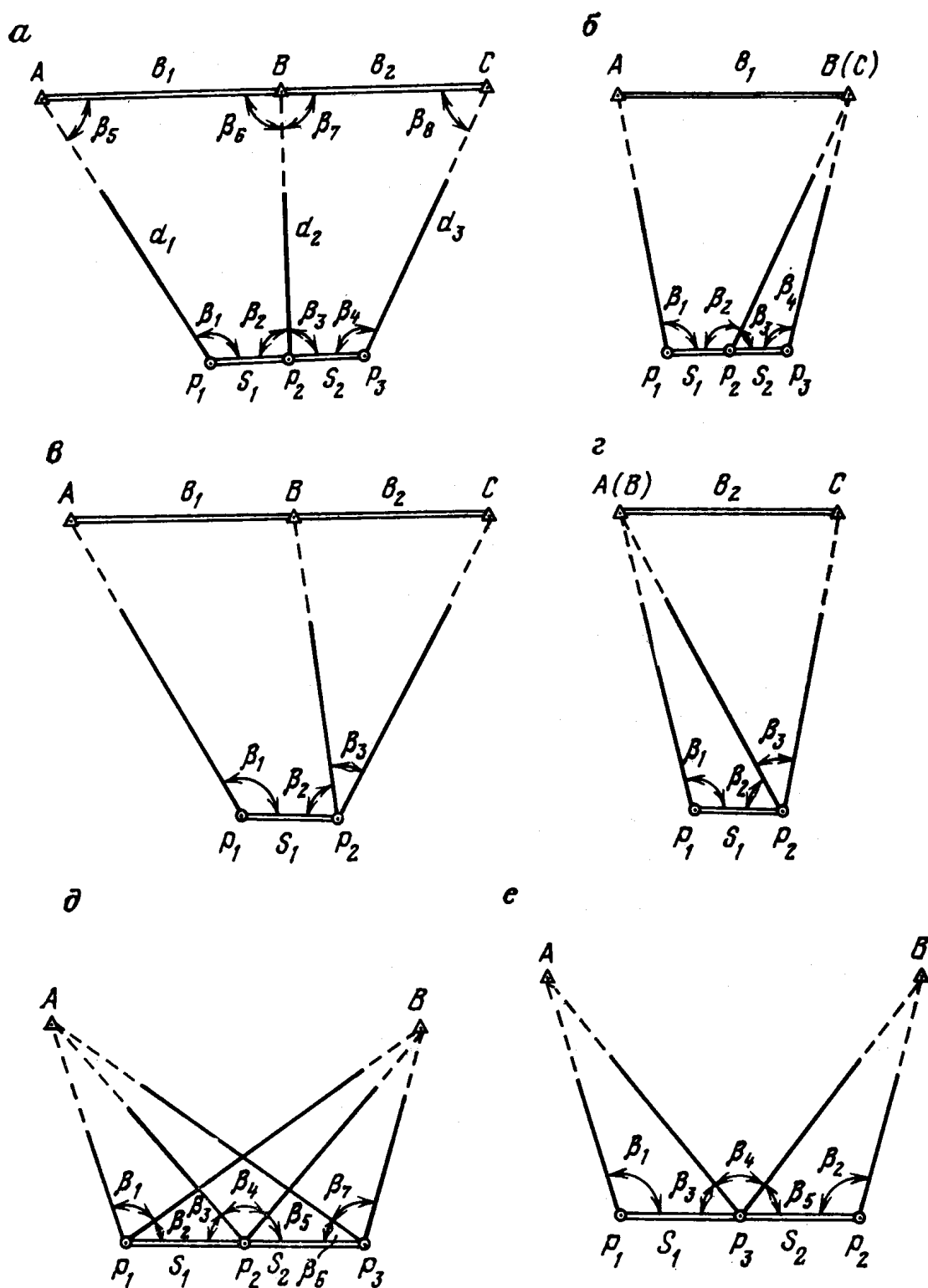


Рис. 3.16. Обратные линейно-угловые засечки группы пунктов

Эти засечки могут применяться для определения координат пунктов P_1 , P_2 и P_3 даже в тех случаях, когда нет видимости между определяемыми пунктами. Для этого достаточно между ними проложить полигонометрический ход и по условным координатам пунктов P_1 , P_2 и P_3 вычислить длины и дирекционные углы линий P_1P_2 и P_2P_3 , а затем определить углы β_1 , β_2 , β_3 и β_4 .

При обратных линейно-угловых засечках используют хорошо видимые, но труднодоступные или удаленные исходные пункты. Создают сети из различных схем засечек с минимальным количеством исходных пунктов (желательно не менее трех). При этом уменьшается объем полевых работ при привязках к пунктам геодезической основы.

Электронно-блочная тахеометрия

При определении положения граничных точек удобно использовать метод свободной станции (соответствующих точек) [12]. Сущность метода заключается в том, что весь объект, подлежащий съемке, разделяют на отдельные участки-блоки. В пределах блока съемку выполняют с одной установки электронного тахеометра. Положение пикетов с граничных точек определяют полярным методом при «произвольном» ориентировании лимба горизонтального круга. При съемке пикетов в программу наблюдений включаются имеющиеся в блоке исходные пункты и связующие точки. Местоположение связующих точек определяют в процессе рекогносцировки вблизи границ смежных блоков. На геодезические исходные пункты и связующие точки измеряют расстояния, горизонтальные углы и углы наклона. В общем случае для обеспечения последующего совмещения отдельных блоков в единый необходимо иметь по две связующие точки на каждой из смежных сторон блоков. Особенностью метода является то, что необязательна видимость между смежными съемочными пунктами, на которых устанавливается электронный тахеометр.

Размеры блоков и количество съемочных пунктов (станций) зависят от местных условий. В случае равнинной местности при наличии больших зон видимости построение съемочного обоснования возможно по схеме, приведенной на рис. 3.17 из [12].

На ней обозначено: А, В, ... – исходные пункты с известными координатами; С₁, С₂ ... – связующие точки; Т₁, Т₂ ... – съемочные станции.

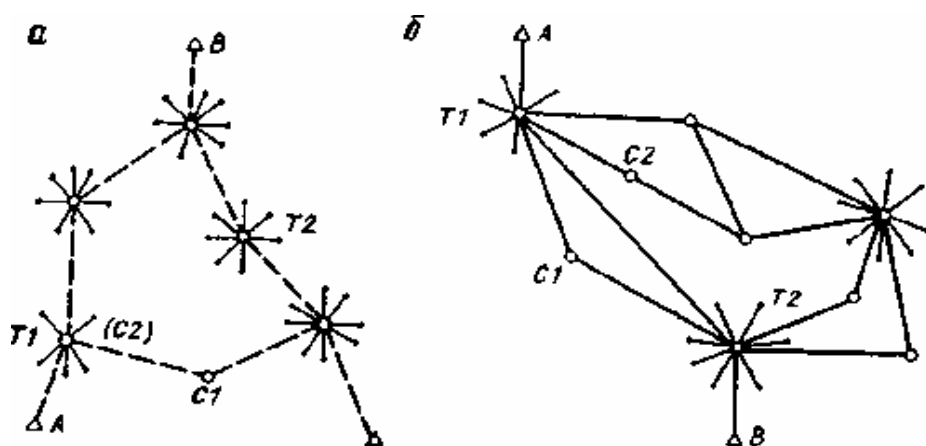


Рис. 3.17. Схемы построения съемочного обоснования

В последующем отдельные блоки (рис. 3.18) связывают в единую сеть.

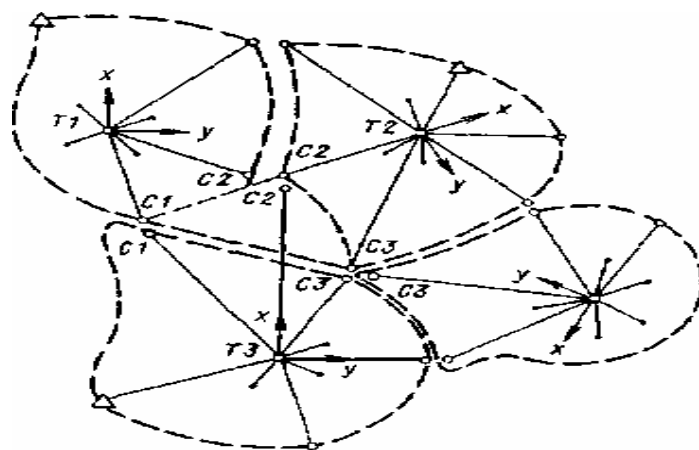


Рис. 3.18. Единая сеть съемочного обоснования

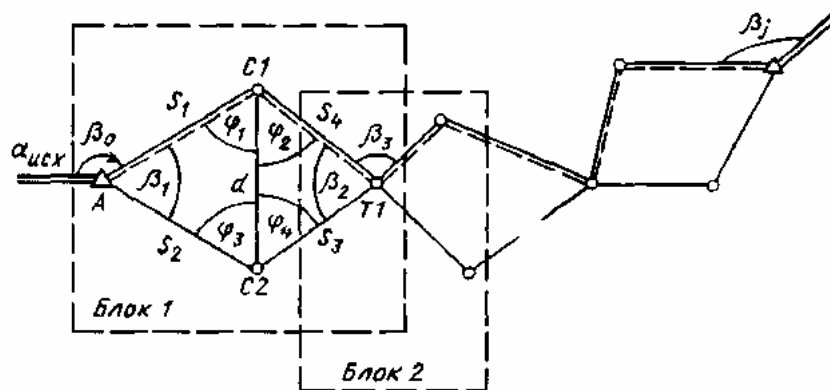


Рис. 3.19. Схема хода

Местоположение определяемых точек при этом вычисляется в единой системе координат. По окончании съемки составляется математическая модель местности, которая хранится в памяти ЭВМ и может быть реализована в виде топографического плана.

Координаты связующих точек X_c, Y_c и станций X_T, Y_T могут быть вычислены различными способами. Простейший из них заключается в вычислении соответствующих координат по измеренным значениям горизонтальных углов β_1 и β_2 (рис. 3.19), горизонтальным проложениям S_1, S_2, S_3, S_4 , примычного угла β_0 и координатам X_A, Y_A исходного пункта. Из треугольника AC_1C_2 имеем

$$\begin{aligned} d_2 &= S_1^2 + S_2^2 - 2S_1S_2 \cos \beta_1 \\ \sin \varphi_1 &= \frac{S_2}{d} \sin \beta_1 \end{aligned} .$$

Переходя к треугольнику $C_2C_1T_1$, получают

$$\sin \varphi_2 = \frac{S_3}{d} \sin \beta_2 .$$

Тогда, $X_{C_1} = S_1 \cos \alpha_{AC_1}$; $Y_{C_1} = S_1 \sin \alpha_{AC_1}$,

где $\alpha_{AC_1} = \alpha_{исх} - \beta_0 + 180^\circ$.

Следовательно,

$$X_{T_1} = X_{C_1} + S_4 \cos \alpha_{C_1T_1} ; \quad Y_{T_1} = Y_{C_1} + S_4 \sin \alpha_{C_1T_1} ,$$

где $\alpha_{C_1T_1} = \alpha_{AC_1} + (\varphi_1 + \varphi_2) - 180^\circ$.

Контролем вычислений координат является повторное определение соответствующих элементов через углы φ_3 и φ_4 .

Необходимо отметить, что углы β_1, β_2 могут быть вычислены по результатам измерения линий (аналогично методу трилатерации).

Высоты связующих точек и станций определяют методом тригонометрического нивелирования. Для этого на станциях и исходных пунктах должны быть измерены углы наклона на связующие точки. Превышения между станциями определяют как сумму двух превышений: от исходного пункта или предыдущей станции до связующей и от нее до определяемой.

При обработке можно выделить ходовую линию, по которой выполнять уравнивание результатов измерений и вычислить координаты и высо-

ты станций. В последующем, используя эти координаты, вычисляют координаты пикетов. Тем самым создают цифровую модель участка местности, которая в последующем представляется в удобном для пользователя виде.

Из сказанного следует, что в процессе обработки используются значения углов по ходовой линии, полученных как в результате их непосредственных измерений, например β_0 , β_3 (рис. 3.19), так и измеренных косвенным путем. Другой особенностью рассматриваемых сетей является наличие корреляционных связей между горизонтальными углами, принятыми в обработку и горизонтальными проложениями линий. Наличие такой связи обусловлено использованием при нахождении значений углов соответствующих тригонометрических зависимостей. Указанные обстоятельства необходимо учитывать при оценке точности сетей, построенных по принципу блочной тахеометрии. К существенным искажениям могут привести также систематические погрешности, обусловленные влиянием ошибок линейных измерений.

Принцип блочной тахеометрии дает возможность использовать для определения положения станций методы пространственных угловых, линейных засечек и их комбинаций.

Для определения трехмерных прямоугольных координат точки Р (Х, Y, Н) с двух опорных пунктов T_1 и T_2 необходимо измерить два горизонтальных угла (β_1 и β_2) и два угла наклона (или зенитные расстояния Z_1 , Z_2). В качестве исходных используются дирекционные углы начальных направлений.

При выполнении измерений необходимо контролировать положение в процессе измерений наклона горизонтальной оси прибора. В случае, если такой контроль не заложен в конструктивную схему электронного тахеометра, то в результате измерений зенитных расстояний вводят поправку σ_Z (при больших углах наклона) в измеренные горизонтальные направления.

$$\sigma_Z = \varepsilon \cdot \operatorname{tg} Z$$

В [12] отмечены некоторые особенности обработки результатов блочной тахеометрии. Определение положения связующих точек в блочной тахеометрии производится при произвольном ориентировании лимба горизонтального круга прибора на станции. Это приводит к тому, что координаты связующих точек определяются фактически в разных координатных системах. На рис. 3.20 показаны две системы координат для станций А и В. В обеих системах начало координат совмещено с точкой уста-

новки прибора, а направление осей абсцисс выбрано вдоль нулевого штриха лимба горизонтального круга. Естественно, что две системы координат будут развернуты на некоторый угол γ .

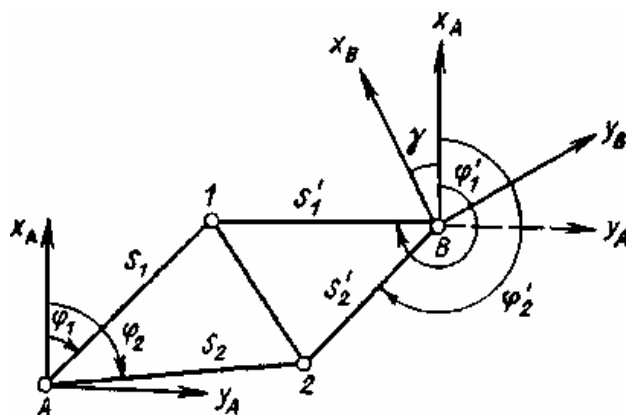


Рис. 3.20. Схема связи систем координат

В системе координат точки А координаты связующих точек определяются выражениями

$$X_{C_1} = X_A + S_1 \cos \varphi_1; \quad Y_{C_1} = Y_A + S_1 \sin \varphi_1;$$

$$X_{C_2} = X_A + S_2 \cos \varphi_2; \quad Y_{C_2} = Y_A + S_2 \sin \varphi_2,$$

где $S_1, S_2, \varphi_1, \varphi_2$ – измеренные горизонтальные проложения и соответствующие направления.

Аналогично, при определении осей γ определяют, решая обратные геодезические задачи, дирекционные углы линий, соединяющих связующие точки, и возьмем их разность. Получают

$$\gamma = \alpha_1 - \alpha_2,$$

где α_1, α_2 – дирекционный угол линии $C_1 - C_2$, полученный с соответствующих точек стояния прибора.

Параллельный сдвиг системы координат точки В относительно точки А определится путем сопоставления одноименных координат соответствующих точек.

Точность определения координат связующих точек зависит от геометрии сети и принятого способа ее уравнивания. Довольно часто на практике не производят строго уравнивание сети в целом, а ограничиваются уравниванием результатов измерений, выполненных в отдельных блоках. В последующем выделяют некоторую ходовую линию, связывающую все блоки, и вычисляют координаты и отметки пикетных точек. Для упрощения расчетов, отметки пикетов в пределах блока определяют через горизонт прибора,

а высоты станций получают путем уравнивания превышений, измеренных методом тригонометрического нивелирования по ходовой линии.

Современное использование спутниковых систем и электронных тахеометров при установлении границ земельных участков [12]

Технология работ при определении положения поворотных точек границ земельных участков геодезическими спутниковыми системами (GPS-технология) имеет важные особенности, резко отличающие GPS-технология от традиционных способов. Прежде всего, это относится к исключению необходимости наличия прямой видимости между пунктом, от которого передают координаты, и определяемым пунктом. При использовании GPS-пунктов в качестве исходных, удобно применять прямые угловые засечки, с помощью которых одновременно определяют координаты двух или трех точек.

В то же время, GPS-технология имеет ряд ограничений. Важнейшее из них – отсутствие на момент измерений препятствий на трассе «созвездие ИСЗ – антенна приемного устройства».

Известно, что границы земельных участков, особенно в сельской местности, довольно часто проходят по кромкам живых урочищ, например, лесных массивов, по оврагам, просекам, в карьерах и тому подобных «закрытых» местах.

В некотором роде конструкция (компоновка) антенных устройств спутниковых систем также является препятствием широкого использования GPS-технологий. В качестве примера укажем на невозможность установки антенны на углы зданий (на уровне их цоколя или фундамента). Однако данные элементы сооружений, особенно в городах и сельских населенных пунктах, часто являются граничными и подлежат обязательному координированию.

Поэтому возникает необходимость применения при установлении границ участков комбинированной технологии, в которой наряду с GPS-технологией используются традиционные методы (способы) определения положения (координат) точек объектов.

Рассмотрим одну из возможных комбинаций «GPS-технология» плюс «метод свободной станции (связующих точек)», разработанный в лаборатории «Спутник–Информ» Государственного университета по землеустройству [12].

При ее реализации удобно использовать комплект приемников спутниковых сигналов WILD SR299 и электронный тахеометр WILD TC 1010/1610.

Технология работ комбинированным способом предусматривает синхронные наблюдения (в рамках GPS-технологии) на не менее двух (лучше трех) опорных пунктах с известными координатами и на определяемых пунктах. Совмещение последних с поворотными точками границ участков является необязательным. Параллельно с GPS-наблюдениями проводят измерения координат ряда граничных точек полярным методом с пунктов (съёмочных станций), положение которых определяется по технологии метода свободной станции. При этом, часть пунктов, определенных по GPS-технологии, используют в качестве связующих, а в отдельных случаях и в качестве съёмочных станций.

В комплект используемых приборов входит, помимо приемных устройств, устанавливаемых на опорных пунктах, один приемник сигналов ИСЗ, электронный тахеометр и отражатели, закрепляемые на штативах и специальных вешках с уровнями.

В измерениях, проводимых непосредственно на объекте, участвуют два-три исполнителя (квалификация одного из них не ниже техника).

Исполнители, находящиеся на опорных пунктах, являются, как правило, «сторожами» и обеспечивают бесперебойную работу приемных устройств. В принципе, опорные пункты могут быть стационарными, обеспечивающими соответствующие работы не только на одном конкретном объекте, а и по всей «зоне перекрытия». На рис. 3.21 и 3.22 приведены схемы построения в рамках комбинированной технологии (опорные пункты на рисунках не показаны).

Последовательность определения граничных точек 1 – 10 состоит в следующем. По GPS-технологии определяют положение связующих точек СВ2, СВ4, СВ5, две из которых (СВ2 и СВ4) принадлежат границе земельного участка. Таким же образом находят положение одной из съёмочных станций – СТ4. В дальнейшем, устанавливая электронный тахеометр на станциях СТ1, СТ2, СТ3 и СТ4 методом обратной линейно-угловой засечки, полярным способом и их комбинациями находят положение граничных точек: 10, 1 со станции СТ1 3, 4, 5 – от СТ2; остальных – со съёмочной станции СТ4. Передача координат от одной съёмочной станции на другую осуществляется через соответствующие связующие точки (например, станций СТ1 и СТ2 через СВ1 и СВ2). Для контроля, ряд поворотных точек границы определяют дважды от разных съёмочных станций. Контроль может быть осуществлен также выполнением избыточных измерений, например, направления и расстояния от СТ4 на

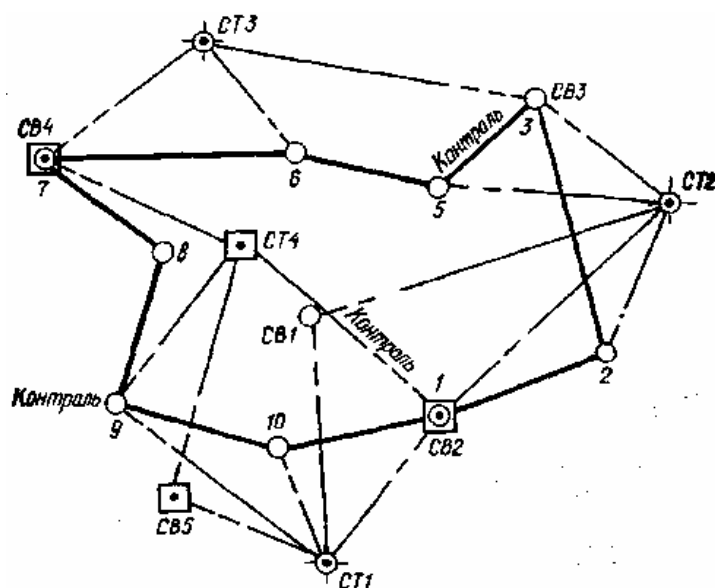


Рис. 3.21. Комбинированный способ определения положения границ земельных участков

Схема построений, показанная на рис. 3.22, отличается от изложенной тем, что положение каждой съемочной станции (СТ1 – СТ4) определено по GPS-технологии, а поворотные точки границы участка используют

в качестве связующих. Особенность работ – применение для контроля метода перпендикуляров (см. поворотные точки 18 и 19), при этом положение граничных точек 15, 16, 17 определено линейной засечкой.

Опорные пункты могут быть стационарными. Места их расположения зависят от технических параметров приемников и прежде всего от их точности и дальности действия. Под последним подразумевается расстояние между двумя смежными пунктами (опорный – определяемый), при котором взаимное положение этих пунктов определяется с необходимой точностью (конечно, при благоприятной для измерений конфигурации рабочего созвездия ИСЗ).

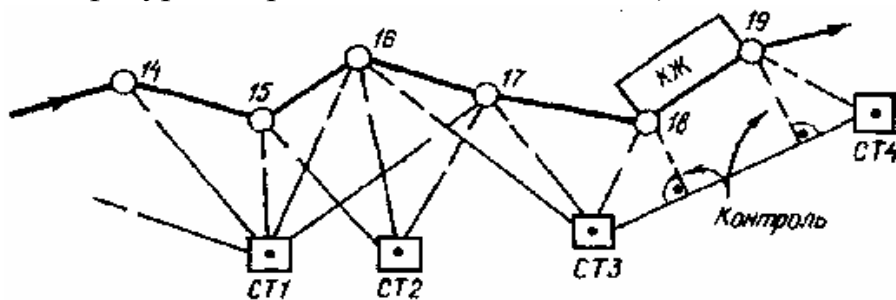


Рис. 3.22. Модификация комбинированного метода

Кроме того, в [12] отмечено, что повышение производительности труда, сокращение сроков работ на объектах и повышение качества конечной продукции возможны только с использованием новых технических средств как при полевых измерениях и сборе топографо-геодезической информации, так и при камеральной обработке информации и предоставлении результатов. Применение нового поколения технических средств позволит изменить общую структуру автоматизированной обработки информации, приблизить процесс обработки к полевым измерениям, получить результаты вычислений и возможно более полную оценку качества продукции.