

Глава 6. СПОСОБЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ПЕРЕНЕСЕНИИ НА МЕСТНОСТЬ ОСЕЙ И ПРОЕКТНЫХ ГРАНИЦ СООРУЖЕНИЙ

6.1. Способы геодезических работ при перенесении на местность планового положения точек

Плановое положение проектных точек при их выносе на местность можно получить различными способами (рис. 6.1). Применение каждого из способов диктуется топографическими условиями местности, густотой исходных пунктов, конфигурацией проектных объектов, наличия измерительных средств и другими факторами.

Ошибки, зависящие от геометрии способа разбивки, т.е. от способа построения в натуре проектных линий и углов, называют *ошибками собственно разбивочных работ*. Ожидаемые величины этих ошибок $m_{с.р}$ вычисляют по известным в геодезии формулам [6].

На точность разбивочных работ влияют *ошибки исходных данных* $m_{исх}$, т.е. ошибки в положении опорных пунктов, с которых производится разбивка. Их учитывать довольно сложно, поэтому для каждого способа разбивки определяют их приближённые значения.

Ошибка фиксации возникает при фиксировании точки в натуре. При применении визирных марок с оптическим центриром, эта ошибка может составить 1 мм. При использовании нитяных отвесов в помещении ошибка фиксации увеличится до 2–3 мм, на открытой местности при слабом ветре – до 3–5 мм [6].

При отложении проектных углов и задании проектного направления возникают *ошибки центрирования* угломерного прибора и визирных целей и *ошибки визирования*.

Ошибка визирования зависит от увеличения Γ^x зрительной трубы [6]

$$m''_{виз} = \frac{20''}{\Gamma^x}. \quad (6.1)$$

В линейной мере эта ошибка имеет вид

$$m_{виз} = \frac{m''_{виз} S}{\rho''}, \quad (6.2)$$

где S – расстояние визирования, мм.

Независимо от выбранного способа выноса на местность проектных точек до начала полевых работ в камеральных условиях вычисляют соответствующие проектные значения горизонтальных углов и расстояний – *разбивочные элементы*. Для этого используют соответствующие формулы и делают необходимые расчеты. По полученным данным составляют *разбивочный чертёж*¹ выноса в натуре проектных точек, являющийся одним из основных

¹ *Разбивочный чертёж* – чертёж, содержащий все необходимые данные для перенесения отдельных элементов сооружения в натуре [ГОСТ 22268-76].

графических документов, включаемых в состав проекта производства работ.



Рис. 6.1. Способы геодезической работы при переносе на местность планового положения точек

Рассмотрим способы определения на местности планового положения проектных точек.

6.1.1. Способ полярных координат

Способ полярных координат применяется главным образом для выноса в натуру с пунктов геодезической основы красных линий, точек пересечения продольных и поперечных осей зданий, сооружений, а также колодцев и углов поворота трасс коммуникаций.

Сущность работы по перенесению на местность проектной точки С (рис. 6.2) заключается в построении проектного горизонтального угла β и откладывании по полученному направлению проектного расстояния S . Проектный угол и проектное расстояние являются здесь разбивочными элементами.

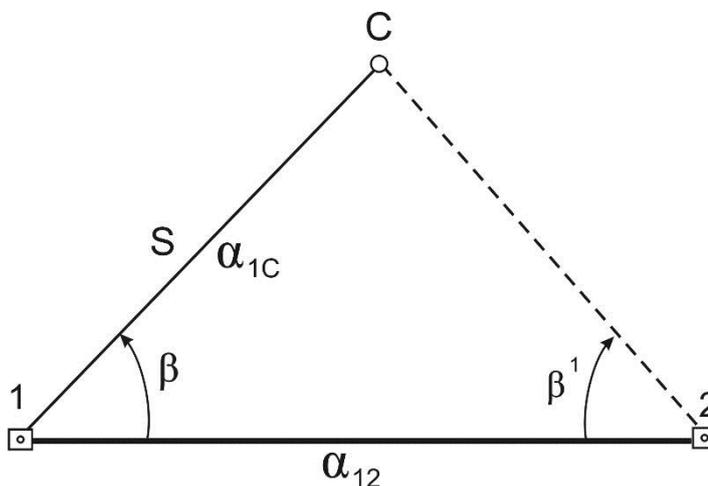


Рис. 6.3. Разбивка способом полярных координат: а – аналитическая схема с данными для разбивки, б - процесс разбивки [35]

Вынос производят следующим образом. Сначала устанавливают теодолит на точке ОА/7В (рис. 6.3, б), затем ориентируют трубу в точке 7В и по углу α_2 фиксируют направление на точку А/5. Длину створа линии определяют «на глаз», но всегда принимают несколько больше проектного значения. Далее откладывают расстояние L_1 , получают на местности точку А/5.

Положение точек, разбитых полярным способом, контролируется сличением измеренных в натуре расстояний между ними с проектными значениями. Следует отметить, что полярный способ, хотя и является одним из наиболее точных, требует особо благоприятных внешних условий и на строительстве применяется редко.

Пример 6.1 [7].

Оцените точность разбивки проектного положения точки с пунктов ходов полигонометрии, для которой средняя квадратическая погрешность в положении исходного пункта $m_{AB} = 10$ мм.

Примем: $S = 100$ м, $e = 1$ мм, $m_\phi = 1$ мм, $\frac{m_s}{S} = \frac{1}{5000}$, $m_\beta = 10''$.

Погрешность отложения проектной линии составит

$$m_s = \frac{100}{5000} = 20 \text{ мм},$$

линейная величина погрешности построения проектного угла

$$\frac{m_\beta}{\rho} S = \frac{10'' \cdot 100000}{206000''} = 5 \text{ мм}.$$

Из соотношения полученных величин видно, что погрешностями центрирования и фиксации можно пренебречь. Таким образом, средняя квадратическая погрешность выноса в натуре точки С составит

$$m_C = \sqrt{20^2 + 5^2 + 2 \cdot 10^2} = 25 \text{ мм}.$$

6.1.2. Способ прямоугольных координат

Способ *прямоугольных координат* применяют при наличии на строительной площадке строительной сетки или ранее возведённых зданий и сооружений. При этом необходимо, чтобы оси разбиваемого здания или сооружения были параллельны сторонам строительной сетки.

Суть способа заключается в том [10], что на местности положение проектной точки С может быть определено от исходной линии, например 1–2 (рис. 6.4), с помощью двух отрезков $S_1 = x$ и $S_2 = y$, один из которых откладывают по направлению линии 12, а другой S_2 – по перпендикуляру к ней.

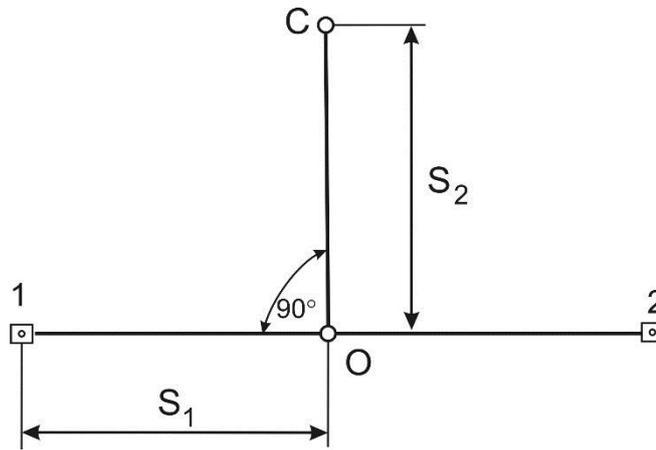


Рис. 6.4. Разбивка способом прямоугольных координат [30]

Прямой угол с вершиной в точке O можно построить в зависимости от требуемой точности различными способами. Так, при работах технической точности, если отрезок S_2 окажется менее 5 м, то прямой угол можно построить с помощью рулетки. В том случае, когда $5 \text{ м} < S_2 < 25 \text{ м}$, для построения прямого угла можно применить экер, а во всех остальных случаях при работе нужно использовать теодолит.

Точность положения точки C относительно исходной линии на местности зависит главным образом от точности откладывания проектных расстояний, построения прямого угла и длины проектных отрезков. Среднюю квадратическую погрешность положения проектной точки относительно исходной линии можно вычислить по формуле [7]

$$m^2_c = m_{s_1}^2 + m_{s_2}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 S_2^2 + m_{исх}^2 + m_\phi^2, \quad (6.4)$$

где m_{s_1} – средняя квадратическая погрешность построения проектного расстояния S_1 ; m_β – средняя квадратическая погрешность построения проектного угла, с; $m_{исх}$ – средняя квадратическая погрешность положения пунктов 1 и 2; m_ϕ – средняя квадратическая погрешность фиксации проектной точки (штырь, колышек и т. п.) на местности; $\rho = 206265''$.

Из формулы следует, что при выносе на местность проектной точки способом прямоугольных координат наибольший из отрезков следует откладывать вдоль исходной линии, а наиболее короткий – по перпендикуляру к ней, чтобы уменьшить значение погрешности m_p .

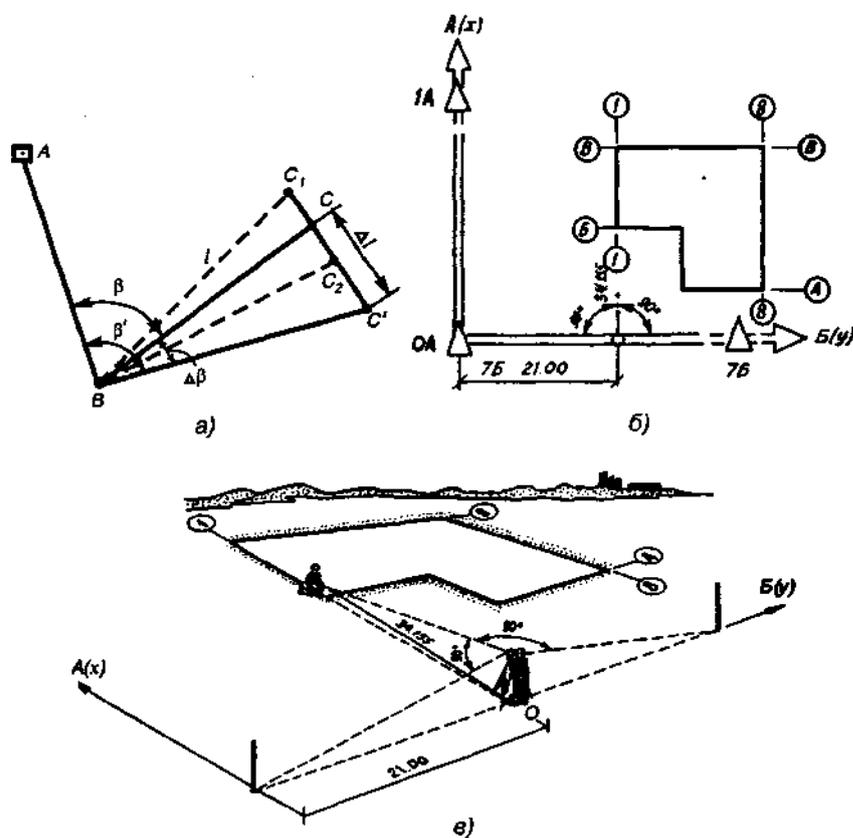


Рис. 6.5. Разбивка углов (а); разбивка способом прямоугольных координат (б), аналитическая схема с данными для разбивки; процесс разбивки (в) [35]

Полевые работы по реализации рассматриваемого способа сводятся к следующему [35]. По створу между знаками строительной сетки откладывают расстояние $\Delta y = 21,00$ м (рис. 6.5) и фиксируют на местности точку 0 временным знаком. Устанавливают над точкой 0 теодолит и строят от створа стороны сетки прямой угол. По перпендикуляру откладывают расстояние $\Delta x = 34,155$ м и фиксируют точку Б/1. Аналогичные построения выполняют от знака строительной сетки ОА/8Б и фиксируют точку А/8. По известным расстояниям между осями получают остальные точки – В/1 и В/8.

Этот способ удобно применять в условиях слабо пересеченной открытой местности.

Порядок работ при разбивке зданий ГКС и НПС [31]. Для разбивки угломерный прибор устанавливают в одной из точек, например в точке 29 (рис. 6.6).

Затем, строго в створе линии 29–30, откладывают размеры 29–I и I–II, заданные по генеральному плану, и измеряют остаток II–30, являющийся контролем правильности отложения отрезков 29–I и I–II.

Точки I и II закрепляют временными знаками и, перейдя с теодолитом в точку I, восстанавливают перпендикуляр к линии 29–30, закрепив его вешками или шпильками. Это необходимо для наблюдения за правильностью установки в точках *a* и *b*.

Закрепление концов перпендикуляра делается на некотором расстоянии от крайней оси разбиваемого здания.

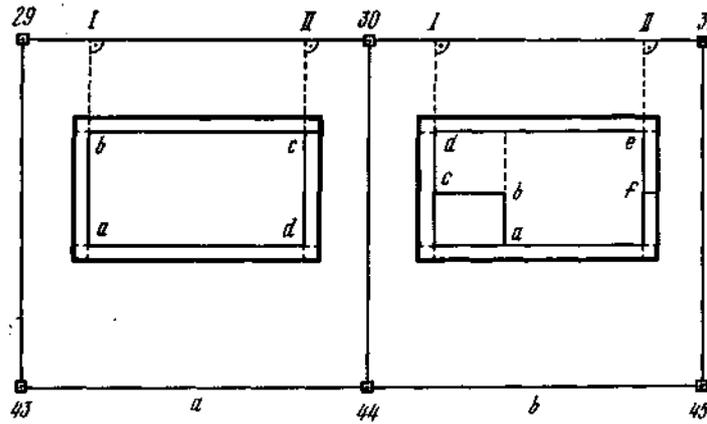


Рис. 6.6. Схема разбивки зданий ГКС и НПС способом прямоугольных координат [31]

Затем при помощи рулетки откладывают заданные по генеральному плану длины (делают привязку) I–a и ширину здания a– b. Закрепив найденные точки с помощью временных знаков, переходят к точке II и таким же способом устанавливают кольца с центрами в точках c и d.

Работа должна выполняться проверенным теодолитом и 50- или 20-метровой компарированной рулеткой.

После установки всех точек по углам будущего сооружения измеряют один угол и две прилежащие к нему стороны. Например, угол *adc* и стороны *ad* и *cd*. Если данные совпадают, то разбивка выполнена верно.

Пример 6.2 [7].

Рассчитайте точность выноса в натуру проектной точки С, расположенной в середине квадрата строительной сетки со стороной 200 м.

Примем: $\frac{m_S}{S} = \frac{1}{10000}$, $m_\beta = 10''$, $e = 1$ мм, $m_\phi = 1$ мм, $m_{AB} = 10$ мм.

Поскольку точка С расположена в середине квадрата строительной сетки, то $S_1 = S_2 = 100$ м.

Для этого случая погрешности будут составлять:

$$m_S = \frac{100000}{10000} = 10 \text{ мм},$$

$$\frac{m_\beta}{\rho} S = \frac{10 \cdot 10000}{206000} = 5 \text{ мм}.$$

В результате по формуле (6.4) получим

$$m_c = \sqrt{10^2 + 10^2 + 5^2 + 10^2} = 18 \text{ мм}.$$

Погрешности центрирования и фиксации можно не учитывать, так как они малы по сравнению с величинами других погрешностей.

6.1.3. Способ прямой и обратной угловых засечек²

² Геодезическая засечка – определение координат точки по элементам, измеренным или построенным на ней, или на исходных пунктах (ГОСТ 22268-76).

6.1.3.1. Способ прямой угловой засечки

В том случае, когда на местности имеется густая сеть исходных пунктов или невозможно провести соответствующие линейные измерения, применяют способ *прямой угловой засечки*³. Способ прямой (обратной⁴) угловой засечки применяют также для выноса недоступных точек, находящихся на значительном расстоянии от геодезической основы [10].

Камеральные работы по подготовке исходных данных для перенесения проекта заключаются в вычислении проектных горизонтальных углов β_1 , β_2 и β_3 по дирекционным углам соответствующих направлений. При этом проектный угол β_3 необходим для контроля полевых построений. [10]

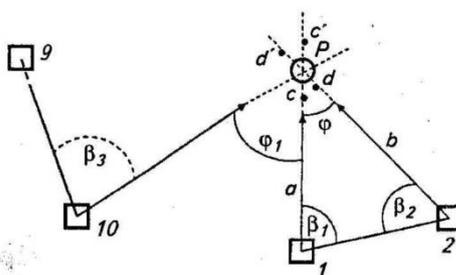


Рис. 6.7. Разбивка способом прямой угловой засечки [10]

Построения проектных углов на местности выполняют одним или двумя теодолитами. Для этого в каждом из пунктов 1 и 2 (рис. 6.7) строят при двух положениях вертикального круга соответственно проектные горизонтальные углы β_1 и β_2 . Положение проектной точки P получают на пересечении направлений $1P$ и $2P$, его достигают следующим образом.

В месте примерного пересечения лучей на каждом из направлений $1P$ и $2P$ намечают по две точки c и c' , d и d' . Затем натягивают тонкий шпагат соответственно между точками c и c' , d и d' и в пересечении отмечают на местности положение точки P [10].

На точность разбивки способом прямой угловой засечки оказывают влияние погрешности [7]: собственно прямой засечки $m_{с.з.}$, исходных данных $m_{исх.}$, центрирования теодолита и визирных целей $m_{ц.}$, фиксации разбивочной точки. Однако основными погрешностями, определяющими точность способа прямой угловой засечки, являются погрешности собственно засечки и исходных данных.

При выборе исходных пунктов для перенесения на местность точки P нужно стремиться к тому, чтобы угол φ был не менее 40° и не более 140° . Наилучшим вариантом в отношении точности определения положения проектной точки будет тот, при котором стороны a и b будут примерно равны между собой, а угол $\varphi \approx 109^\circ \div 110^\circ$ (рис. 6.8, а).

При $a = b$, $\varphi = 90^\circ$ погрешность в положении выносимой в натуру точки

³ Прямая засечка – засечка, выполняемая с исходных пунктов (ГОСТ 22268-76).

⁴ Обратная засечка – засечка, выполняемая на определяемой точке (ГОСТ 22268-76).

выразится приближённой формулой [7]

$$m_c = \sqrt{\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 b^2 + m_{AB}^2}. \quad (6.5)$$

Часто при проектировании разбивочных работ решают вопрос о необходимой точности отложения разбивочных элементов, если задана точность определения проектного положения выносимой в натуру точки. Для прямой угловой засечки определяют ошибку отложения проектных углов.

Так, например, для $b = 500$ м, $m_c = 20$ мм, $m_{AB} = 8$ мм, используя формулу (6.5) будем иметь [7]

$$m_\beta = \sqrt{\frac{(m_c^2 - m_{AB}^2) \cdot \rho^2}{b^2}} = \sqrt{\frac{(20^2 - 8^2) \cdot (2 \cdot 10^5)^2}{(5 \cdot 10^5)^2}} \approx 2,3''.$$

Построить угол с такой точностью довольно сложно. Требуемая точность разбивки в этом случае может быть достигнута разбивкой замкнутым треугольником (см п. 6.1.3.2).

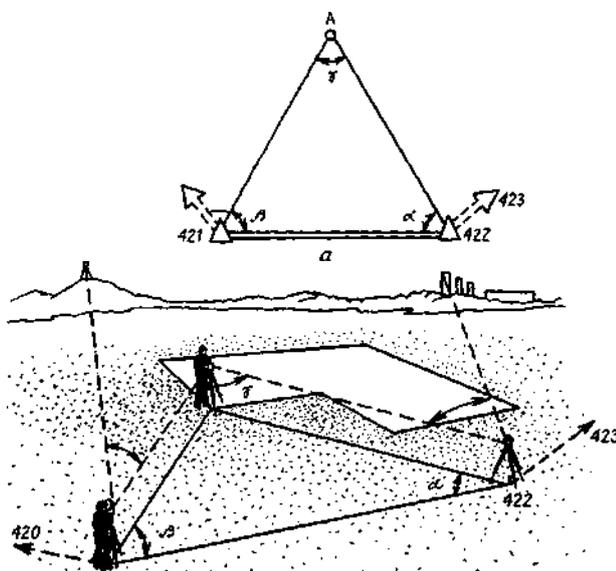


Рис. 6.8. Разбивка способом угловой засечки: а – схема, б – процесс разбивки [35]

6.1.3.2. Способ замкнутого треугольника

Во многих случаях бывает сложно из одного приема вынести точку М с заданной точностью в ее проектное положение. В таких случаях используют способ замкнутого треугольника. Вынос точки осуществляют последовательными приближениями. Для этого с максимально возможной точностью выполняют построение точки М, затем несколькими приемами измеряют все углы треугольника, уравнивают углы и вычисляют координаты точки М из решения по формулам прямой угловой засечки. Полученные координаты сравнивают с проектными и при недопустимых отклонениях в их значениях определяют поправки (редукции) в положении точки М и смещают последнюю в проектное положение. Для контроля снова измеряют углы и выполняют аналогичные вычисления [17].

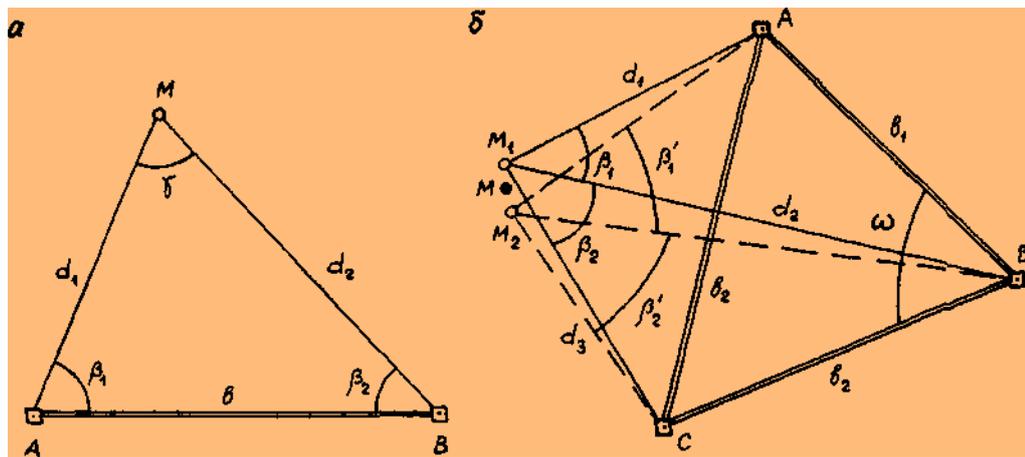


Рис. 6.9. Вынос проектной точки способами прямой (а) и обратной (б) угловых засечек [17]

6.1.3.3. Способ обратной угловой засечки

Метод последовательных приближений может быть использован и в способе *обратной угловой засечки* (рис. 6.9, б). Предварительно точку М выносят на местность и измеряют при ней углы β_1 и β_2 . По формулам обратной угловой засечки определяют координаты точки М и сравнивают их с проектными. При необходимости положение точки М редуцируют на величины отклонений по координатам X и Y, точку М фиксируют в положении M_i и снова, уже в новой точке, измеряют горизонтальные углы β , а затем вычисляют координаты новой точки М. Все указанные действия выполняют до тех пор, пока задача качественного построения проектной точки не будет решена [17].

На точность разбивки способом обратной угловой засечки оказывают влияние следующие погрешности: собственно засечки, исходных данных, центрирования теодолита и визирных целей, фиксации разбивочной точки и редуцирования. Предположим, что при сравнительно больших расстояниях между определяемым и опорным пунктами наиболее значительными будут первые две погрешности; остальными погрешностями можно пренебречь [6].

Погрешность собственно обратной засечки может быть подсчитана по приближённой формуле

$$m_{с.з} = \frac{\sqrt{2}m_{\beta}S_{ср}}{\rho \sin(\beta_1 + \beta_2 + \omega_{ВАС})} \frac{S_{ср}}{b_{ср}}, \quad 6.6$$

где $\omega_{ВАС}$ – угол между исходными сторонами; $S_{ср}$ – среднее расстояние от исходных до определяемого пункта; $b_{ср}$ – среднее расстояние между исходными пунктами [6].

Погрешности исходных данных учитывают по формуле

$$m_{исх} = \frac{m_{ABC}}{\sin \tau} \sqrt{\frac{S_A^2 + S_B^2}{b_{AB}^2} + \frac{S_A^2 + S_C^2}{b_{AC}^2} + \frac{S_B^2 S_C^2}{b_{AB} b_{AC}}} \cos \tau,$$

где $m_A = m_B = m_C = m_{ABC}$ – погрешность в положении исходного пункта; $\tau = \beta_1 + \beta_2 + \omega_{ВАС} - 180^\circ$.

Для приближенных расчётов [6]

$$m_{исх} = \frac{m_{ABC} S_{cp}}{\sin \tau b_{cp}} \sqrt{4 + \cos \tau}. \quad 6.7$$

6.1.4. Способ линейной засечки

Способ *линейной засечки* применяют для разбивки осей строительных конструкций в случае, когда проектные расстояния не превышают длины мерного прибора [6].

Исходными точками могут быть не только пункты геодезической основы, как А и В, но и створные точки, расположенные на исходных сторонах, или точки существующих на местности зданий и сооружений.

Камеральные работы заключаются в вычислении путем решения обратной геодезической задачи расстояний a и b (рис. 6.10), которые являются разбивочными элементами.

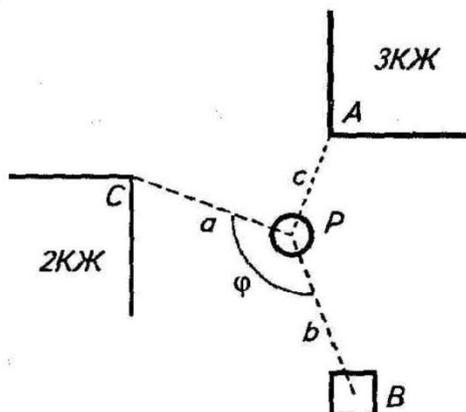


Рис. 6.10. Вынос проектной точки способом линейной засечки [10]

Вычислив по координатам расстояния С–Р и В–Р, берут две рулетки, концы которых удерживают в точках С и В, Натягивая рулетку, образуют треугольник СРВ (рис. 6.10), причем так, чтобы они пересекались в точке, где на рулетке отмечены расстояния СР и ВР. Точка Р фиксируется в указанном пересечении колышком.

Для контроля выноса в натуру проектной точки необходимо иметь еще одну дополнительную исходную точку А и от нее измерить расстояние с до проектной точки Р (см. рис. 6.10) [10].

В случае применения мерных приборов ошибки центрирования отсутствуют. Тогда общая ошибка в определении положения разбиваемой точки (рис. 6.11) будет в основном зависеть от суммарной ошибки собственно засечки и исходных данных и выражаться формулой [6]

$$m_C^2 = \frac{1}{\sin \gamma} (2m_S^2 + m_{AB}^2). \quad (6.8)$$

Для приближённых расчётов, приняв $\gamma = 90^\circ$, будем иметь [6]

$$m_C = \sqrt{2m_S^2 + m_{AB}^2}. \quad (6.9)$$

Ошибка собственно линейной засечки при одинаковой точности отложения расстояний S_1 и S_2 может быть подсчитана по формуле [6]

$$m_{c.3} = \frac{m_S \sqrt{2}}{\sin \gamma}. \quad (6.10)$$

Минимальной ошибкой собственно линейной засечки будет при угле $\gamma = 90^\circ$. В этом случае [6]

$$m_{c.3} = m_S \sqrt{2}.$$

Таким образом для повышения точности определения месторасположения точки C необходимо, чтобы угол γ был не менее 40° и не более 140° . Наилучшим вариантом в этом случае будет тот, при котором угол $\gamma = 90^\circ$.

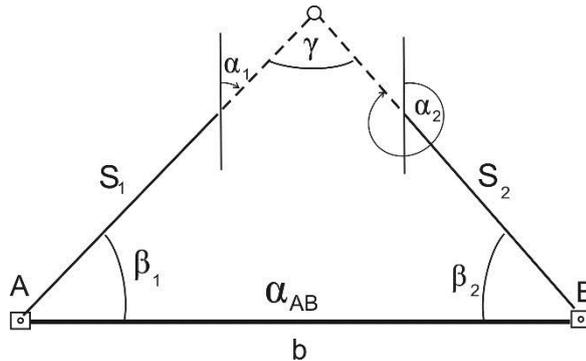


Рис. 6.11. Схема выноса проектной точки способом линейной засечки

Пример 6.3 [6].

Определите необходимую точность отложения разбивочного расстояния S . Точность определения проектного положения выносимой точки C – $m_c = 10$ мм; ошибка в положении исходных пунктов $m_{AB} = 5$ мм.

Решение. Из формулы (6.8) получаем

$$m_S = \sqrt{\frac{m_c^2 - m_{AB}^2}{2}} = \sqrt{\frac{100 - 25}{2}} \approx 6 \text{ мм.}$$

6.1.5. Способ проектного теодолитного (полигонометрического) хода

Проектная точка может находиться далеко от точек геодезической основы или не может быть вынесена по техническим условиям способами угловой засечки. В таких случаях к точке прокладывают полигонометрический ход (рис. 6.11), используя для этого последовательно расчетные проектные углы и проектные расстояния. Данный способ называют *способом проектного полигона*. Этот способ удобно применять на открытой местности при выносе в натуру проектов границ земельных участков [10].

Проектный теодолитный ход, опирающийся на исходные линии 1,2 и 3,4 геодезической сети показан на рис. 6.12. Точки P_1, P_2, P_3 и P_4 – проектные, их нужно перенести на местность.

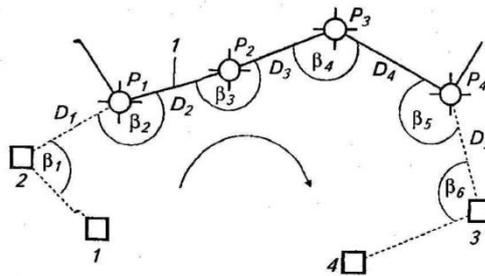


Рис. 6.12. Разбивка способом проектного теодолитного хода [10]

Исходными данными при выносе в натуру проектных точек служат их проектные координаты. Камеральные работы по подготовке исходных данных для перенесения на местность этих точек способом проектного теодолитного хода заключаются в следующем [10].

- Решают обратные геодезические задачи по направлениям $2P_1, P_1P_2, \dots, P_4P_3$, в результате чего получают дирекционные углы этих линий и горизонтальные проложения между проектными точками.

- Вычисляют правые (левые) по ходу лежащие горизонтальные проектные углы (условное направление проектного хода на рисунке показано стрелкой). Например, проектный правый горизонтальный угол $\beta_i (i=1, 2, \dots, n)$ равен дирекционному углу предыдущей линии минус дирекционный угол последующей линии плюс 180° (направление линий совпадает с направлением хода), т. е. для случая, изображенного на рисунке, получим:

$$\beta_1 = \alpha_{12} - \alpha_{2-P_2} + 180^\circ,$$

$$\beta_2 = \alpha_{2P_1} - \alpha_{P_1-P_2} + 180^\circ,$$

...

$$\beta_6 = \alpha_{P_43} - \alpha_{34} + 180^\circ.$$

Вычисления проектных горизонтальных углов контролируют по равенству

$$\sum_{i=1}^{i=n} \beta_i = \alpha_{\text{нач}} + 180^\circ n - \alpha_{\text{кон}}, \quad (6.11)$$

где $\alpha_{\text{нач}}$ – дирекционный угол начальной линии $\alpha_{\text{нач}} = \alpha_{12}$; $\alpha_{\text{кон}}$ – дирекционный угол конечной линии $\alpha_{\text{кон}} = \alpha_{34}$.

- Переходят по формуле 5.5 от горизонтальных проложений линий к их длинам на местности, если это необходимо.

Перенесение проектного теодолитного хода на местность начинают с исходного пункта, положение которого на местности известно [10]. Пусть для случая, изображенного на рис. 6.11, таким пунктом будет исходный пункт 2. Установив теодолит над этим пунктом, строят при двух положениях круга горизонтальный угол β_1 , а затем по полученному направлению откладывают длину проектной линии D_1 , в результате чего получают предварительное положение точки P_1 на местности. Затем в этой точке устанавливают теодолит и работу продолжают в прежнем порядке.

Получив на местности положение последней точки P_4 , строят угол β_3 и

откладывают проектное расстояние D_5 до исходного пункта 3.

В результате ошибок построения проектных углов и отложения проектных расстояний линий точка 3, полученная путем построения проектного теодолитного хода, может не совпасть с пунктом на местности, в результате чего образуется невязка f_s , которая не должна превышать ее допустимого значения $f_{сдоп}$.

Проектный теодолитный ход увязывают по способу параллельных линий непосредственно на местности. Для этого измеряют магнитный азимут (с помощью компаса или буссоли) невязки f_s в направлении к точке 3. Затем каждую из предварительно вынесенных на местность проектных точек P_1, P_2, P_3 и P_4 перемещают по полученному направлению, зафиксированному измеренным значением магнитного азимута, на значение поправки δ пропорционально расстоянию от начального исходного пункта, т. е. в данном случае (рис. 6.12):

$$\delta_1 = \frac{f_s D_1}{\sum D}, \quad \delta_2 = \frac{f_s (D_1 + D_2)}{\sum D} \text{ и т. д.,} \quad (6.12)$$

где $\sum D$ – длина проектного теодолитного хода.

Окончательное положение проектных точек закрепляют знаками (кольями и т. п.).

Точность положения проектных отметок на местности зависит от точности построения проектных углов, отложения длины проектных линий. Наибольшую ошибку следует ожидать в середине теодолитного хода. Среднюю квадратическую погрешность в положении точки, находящейся в середине вытянутого проектного теодолитного хода с равными сторонами и увязанного на местности по способу параллельных линий, можно вычислить по формуле

$$m^2_P = \frac{N}{4} m^2_D + \frac{(N^2 + 2)}{48N} \frac{m^2_{\beta}}{\rho^2} (\sum D)^2 + m_{\phi}^2 \quad (6.13)$$

где N – число сторон проектного теодолитного хода; m_D – средняя квадратическая погрешность отклонения сторон проектного теодолитного хода; m_{β} – средняя квадратическая ошибка построения проектного горизонтального угла; $\sum D$ – длина проектного теодолитного хода [10].

Пример 6.4 [10]. Рассчитаем точность положения средней точки проектного теодолитного хода. Для этого примем: длину хода $\sum D = 1$ км, число сторон $N = 4$, среднюю квадратическую погрешность построения угла $m_{\beta} = 30''$, линии $m_D = 0,08$ м, $m_{\phi} = 0$ и по формуле (6.13) найдем среднюю квадратическую ошибку положения проектной точки в середине хода, которая составит $m_P = 0,09$ м.

6.1.6. Створно-линейная засечка

Способы створной и *створно-линейной* засечек широко применяют для выноса в натуру разбивочных осей зданий и сооружений, а также монтажных конструкций и технологического оборудования.

Этот способ довольно прост, для его выполнения на местности необходимо иметь только стальную компарированную рулетку [10].

Сущность работы заключается в определении на местности положения проектных точек P_1, P_2, \dots, P_4 на линии створа, образованного пунктами 1 и 2 геодезической основы (рис. 6.13).

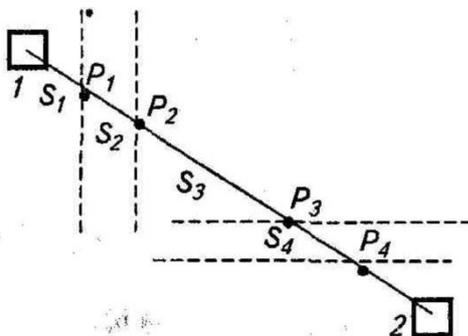


Рис. 6.13. Способ створно-линейной засечки [10]

В камеральных условиях аналитически из решения соответствующих обратных геодезических задач или по данным проекта определяют отрезки S_1, S_2, \dots, S_n . Для контроля необходимо иметь исходную длину всего отрезка 1-2. В горизонтальные проложения S_j ($j = 1, 2, \dots, n$) для перехода к длине D_j линии на местности при необходимости вводят соответствующие поправки.

В полевых условиях инструментально провешивают исходную линию и откладывают в ее створе отрезки D_j . В соответствующих местах забивают колья. Относительное расхождение отложенной длины всей линии и той, которая получена в камеральных условиях, не должно превышать своего допустимого значения. Если расхождение допустимо, то каждую из первоначально намеченных точек P_1, P_2, \dots, P_4 , передвигают вдоль опорной линии в соответствующем направлении на значение поправки, прямо пропорциональной расстоянию от точки P_j' до исходного пункта. В результате этой работы получают окончательное положение проектных точек, которые закрепляют на местности соответствующими знаками [10].

Средняя квадратическая ошибка положения точки C в этом способе может быть подсчитана по формулам створной засечки (см. п. 6.1.7) [6].

6.1.7. Способ створной засечки

В способе *створной засечки* (рис. 6.14) точку M задают на линии пересечения створов AB и CD . Створ задают обычно теодолитом, который центрируют над исходным пунктом (например A), а зрительную трубу ориентируют по визирной цели, отцентрированной на другом исходном пункте (B).

Для повышения точности работу целесообразно выполнять одновременно двумя теодолитами и двумя визирными целями несколькими приемами с перестановкой теодолитов и визирных целей.

Для контроля измеряют расстояния от построенной точки до исходных пунктов геодезической основы.

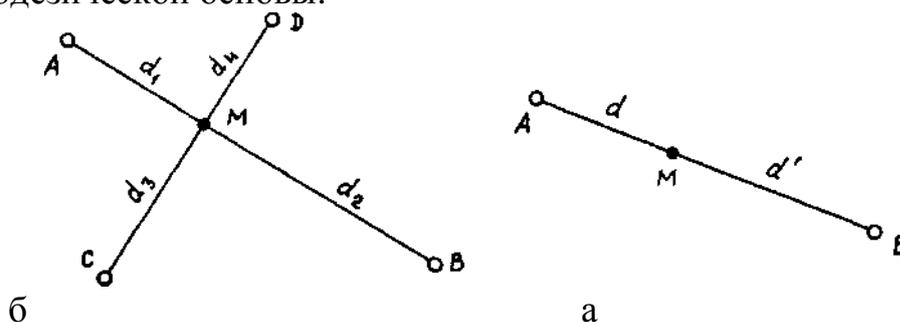


Рис. 6.14. Способы створных засечек: а – способ створно-линейной засечки; б – способ створной засечки [33]

Способ применим при разбивке крупных зданий или сооружений в тех случаях, когда непосредственными измерениями наметить необходимые точки трудно или невозможно.

Средняя квадратическая ошибка створной засечки зависит от ошибок построения первого $m_{ст1}$ и второго $m_{ст2}$ створов, а также ошибки фиксации точки М [7, 6]:

$$m_M^2 = m_{ст1}^2 + m_{ст2}^2 + m_{\phi}^2. \quad (6.14)$$

Основными погрешностями при построении каждого из створов являются погрешности положения исходных точек, погрешности центрирования теодолита и визирных целей, погрешность визирования и перемены фокусировки зрительной трубы при наведении на визирную цель и на определяемую точку, т.е. [6]

$$m_{ст}^2 = m_{исх}^2 + m_{ц}^2 + m_{виз}^2 + m_{\phiок}^2. \quad (6.15)$$

Погрешности положения исходных точек для задания створа имеют значение только в направлении, перпендикулярном створу, т.е. для каждого створа по одной из координат x или y . Их влияние определяется формулой [6]

$$m_{исх}^2 = m_{x,y}^2 \left[\left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right], \quad (6.16)$$

где d – расстояние от точки установки теодолита до определяемой точки; S – расстояние между исходными точками (длина створа).

Совместное влияние погрешностей центрирования теодолита и визирной цели определится формулой

$$m_{ц}^2 = \frac{e^2}{2} \left[\left(1 - \frac{d}{S}\right)^2 + \left(\frac{d}{S}\right)^2 \right]. \quad (6.17)$$

Совместное влияние погрешностей визирования и фокусирования при створных построениях может быть выражено формулой [6]

$$m_{виз, \phiок} = \frac{20'' \sqrt{3} \cdot d}{\Gamma^x \rho''}. \quad (6.18)$$

Пример 6.5 [7]. Оцените точность разбивки проектного положения точки способом створной засечки, если точка находится посередине обоих створов. Известно: $d = 100$ м, $\Gamma^x = 25$, $m_{x,y} = 5$ мм, $e = 1$ мм, $m_{\phi} = 1$ мм.

Так как в каждом створе определяемая точка находится в одинаковых условиях, то достаточно сделать расчёт для одного створа. Используя

формулу (6.16) для погрешностей исходных данных будем иметь

$$m_{\text{исх}} = \sqrt{5^2 \left[\left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]} = 3,5 \text{ мм.}$$

По формуле (6.17) для погрешности центрирования получим

$$m_{\text{ц}} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^2 \left[\left(1 - \frac{1}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \right]} = 0,5 \text{ мм.}$$

На основании формулы (6.18) для погрешностей визирования и фокусирования запишем

$$m_{\text{виз,фок}} = \frac{20'' \sqrt{3 \cdot 10000}}{25 \cdot 206000} = 0,7 \text{ мм.}$$

Общая ошибка разбивки с учётом ошибок двух створов будет равна

$$m_M = \sqrt{2[(3,5)^2 + (0,5)^2 + (0,7)^2 + (1,0)^2]} = 5,3 \text{ мм.}$$

6.2. Способ бокового нивелирования для разметки конструкций

Вынос осей конструкций при детальной разбивке выполняют *способом бокового нивелирования* (рис. 6.15).

Порядок работ [6,17]. От оси АВ, на которой находится строительная конструкция, например, колонна, на небольшом расстоянии (1–2 м) задается створ А'В', параллельный основной оси АВ. В точке А' устанавливают теодолит, который визируют на марку, находящуюся в точке В'. Перпендикулярно к оси колоны на ее основание устанавливают рейку Р (с уровнем, ориентированным осью по продольной оси рейки) и берут отсчет a_1 по вертикальной нити сетки зрительной трубы. При отсчёте по рейке a_1 , равном расстоянию параллельного створа А'В' от оси АВ, пятка рейки определяет положение оси АВ на данном месте.

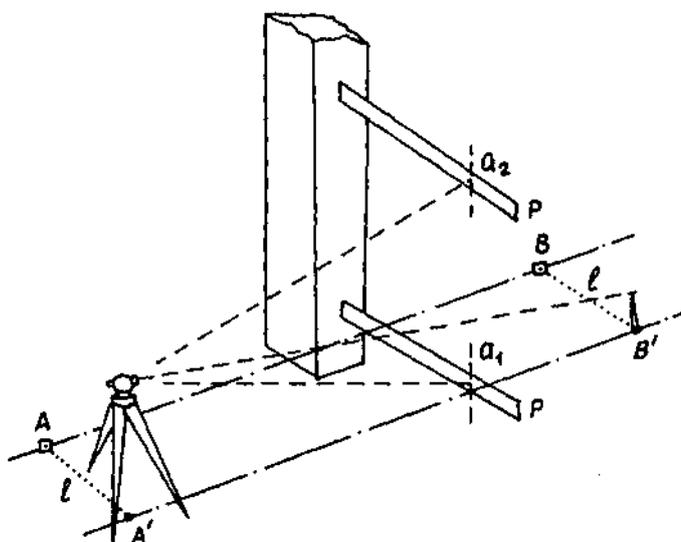


Рис. 6.15. Способ бокового нивелирования [17]

Основными ошибками бокового нивелирования являются [6,7]:

- ошибка разбивки параллельного створа $m_{\text{ств}}$;
- ошибка центрирования оптического прибора и визирной цели при задании параллельного створа $m_{\text{ц}}$;
- ошибка установки рейки m_y ;
- ошибка отсчёта по рейке m_0 .

Общая ошибка способа может быть подсчитана по формуле

$$m^2 = m_{\text{ств}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_y^2 + m_0^2. \quad (6.19).$$

Ошибка разбивки параллельного створа складывается из ошибок построения прямого угла и отложения расстояния l . Расчёт их аналогичен полярному способу, используется формула

$$m_{\text{ств}}^2 = m_S^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right) S^2, \quad (6.20)$$

где S – расстояние между точками А и В (рис. 6.15), $\rho = 206000$, m_S – средняя квадратическая ошибка отложения расстояния, m_β – средняя квадратическая ошибка построения угла.

Влияние ошибки центрирования можно подсчитать, как и в способе створной засечки, по формуле (6.17).

Ошибка установки рейки будет в основном зависеть от неперпендикулярности рейки к створу визирования. Эту ошибку можно вычислить так:

$$m_y = \frac{l \cdot \gamma^2}{2\rho^2}, \quad (6.21)$$

где γ – угол отклонения рейки от её перпендикулярного положения, l – отсчёт по рейке.

Ошибку отсчёта по рейке подсчитывают по формуле

$$m_0 = 0,03t + 0,2 \frac{d}{\Gamma^x}, \quad (6.22)$$

где t – цена деления рейки; d – расстояние от прибора до рейки, м; Γ^x – увеличение зрительной трубы прибора.

Пример 6.6 [6]. Определите ошибку способа бокового нивелирования при следующих данных: $S = 100$ м; $d = 50$ м; $l = 2$ м; $m_l = 1$ мм; $v = 2^\circ$; $e = 1$ мм; $t = 10$ мм; $m_\beta = 30''$; $\Gamma^x = 25$.

Решение. В данном случае полярный способ применяется для двух точек. Тогда, используя формулу (6.20), будем иметь

$$m_{\text{ств}} = \sqrt{2 \left[1^2 + \left(\frac{30 \cdot 2000}{206000} \right)^2 \right]} = 1,5 \text{ мм.}$$

При $d = \frac{S}{2}$ из формулы (6.17) получим

$$m_{\text{ц}} = e = 1 \text{ мм.}$$

По формуле (6.21) найдём

$$m_y = \frac{2000 \cdot 2^2}{2 \cdot (57 \cdot 3)^2} = 1,2 \text{ мм.}$$

По формуле (6.22) вычислим

$$m_0 = 0,03 \cdot 10 + 0,2 \frac{100}{25} = 1,1 \text{ мм.}$$

Общую ошибку выразим так:

$$m = \sqrt{(1,5)^2 + (1,0)^2 + (1,2)^2 + (1,1)^2} = 2,4 \text{ мм.}$$

Приемку геодезической разбивочной основы для строительства оформляют актом (согласно обязательному приложению 12 СНиП 3.01.03-84).

6.3. Расчёт разбивочных элементов

Рассмотрим пример расчёта разбивочных элементов для инженерного сооружения [33]. Разбивочными элементами являются углы, расстояния, превышения, которые непосредственно строят на местности для получения проектного положения точек или линий сооружаемого объекта.

На местности имеется геодезическая основа А–В–С–D–E–F (рис. 6.16) с известными координатами X, Y, H, заданными в местной системе координат (табл. 6.1). Необходимо вынести на местность углы 1, 2, 3 и 4 прямоугольного контура с размерами сторон $d_{12} = d_{34} = 30,000$ м и $d_{23} = d_{41} = 75,000$ м, а также выполнить разбивку главных осей I–I' и II–II' сооружения и передать проектную высоту на точку М.

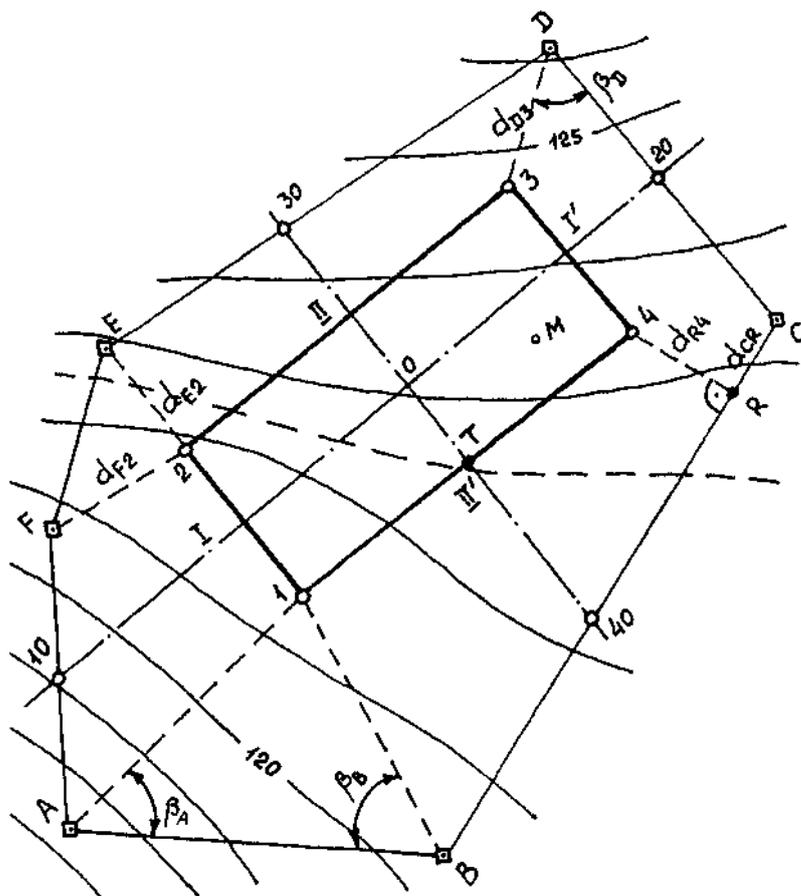


Рис. 6.16. Расчет разбивочных элементов [33]

С топографического плана (проекта сооружения) получены следующие проектные величины:

- координаты центра сооружения: $X_o = 3730,000$ м; $Y_o = 7180,000$ м;
- дирекционный угол направления главной оси I–I' $\alpha_1 = 67^\circ 30'$.

Таблица 6.1

Координаты точек геодезической основы

Пункты основы	X, м	Y, м	H, м
A	3673,681	7112,241	117,403
B	3662,429	7166,522	120,352
C	3734,968	7237,400	123,357
D	3774,576	7217,639	126,050
E	3750,263	7132,405	122,901
F	3722,592	7121,946	120,600

При составлении геодезического проекта разбивочных работ с учетом взаимного расположения контура сооружения и геодезической основы принято следующее решение:

- точку 1 вынести способом прямой угловой засечки с точек A и B основы;
- точку 2 вынести способом линейной засечки с точек E и F основы;
- точку 3 вынести способом полярных координат с точки D основы от исходного направления DC;
- главную ось симметрии I–I' зафиксировать в створе линий AF и DC в точках 10 и 20;
- главную ось симметрии II–II' зафиксировать в створе линий DE и BC в точках 30 и 40;
- проектную высоту на точку M передать с точки C основы с контрольным определением построения проектной отметки через точку D.

Обращаем Ваше внимание на то, что техническое задание на производство разбивочных работ здесь составлено исключительно в учебных целях, с учетом рассмотрения возможно большего числа способов разбивки. Таким образом, представленный в примере проект разбивки для данного сооружения и данных условий может оказаться не оптимальным с точки зрения практического его воплощения.

Решение задачи в части определения разбивочных элементов.

Из решения обратных геодезических задач находим дирекционные углы и горизонтальные проложения исходных направлений геодезической основы (табл. 6.2).

Найдем плановые координаты и высоты (на местности) проектных точек сооружения.

Таблица 6.2

Характеристика направлений геодезической основы

Направление	Дирекционный угол	Горизонтальное проложение, м	Направление	Дирекционный угол	Горизонтальное проложение, м
<i>AB</i>	101°42'40"	55,435	<i>DE</i>	254°04'45"	88,634
<i>BC</i>	44°20'П"	101,418	<i>EF</i>	200°42'20"	29,582
<i>CD</i>	333°29'05"	44,264	<i>FA</i>	191°13'23"	49,864

Часто координаты проектных точек получают непосредственно с плана графическим методом. Здесь мы рассмотрим аналитический, наиболее точный метод определения координат проектных точек.

В соответствии с геометрией сооружения и проектными исходными данными вычислим проектные значения координат углов сооружения (точек 1, 2, 3 и 4). Для этого воспользуемся вспомогательной точкой Т.

Дирекционный угол $\alpha_{OT} = \alpha_{30-40} = \alpha_1 + 90^\circ = 67^\circ 30' + 90^\circ = 157^\circ 30'$.

Горизонтальное проложение $d_{OT} = 0,5 d_{12} = 15,000$ м.

Дирекционный угол $\alpha_{T1} = \alpha_1 + 180^\circ = 67^\circ 30' + 180^\circ = 247^\circ 30'$.

Горизонтальное проложение $d_{T1} = 0,5 d_{23} = 37,500$ м.

Найдем координаты точки 1 из последовательного решения прямых геодезических задач по ходу О-Т-1.

$$X_1 = X_O + d_{OT} \cos \alpha_{OT} + d_{T1} \cos \alpha_{T1} = 3701,791 \text{ м}$$

$$Y_1 = Y_O + d_{OT} \sin \alpha_{OT} + d_{T1} \sin \alpha_{T1} = 7151,095 \text{ м.}$$

Координаты остальных точек также определяем из решения прямых геодезических задач по ходу 1–2–3–4 с контрольным вычислением координат точки 1:

$$X_2 = X_1 + d_{12} \cos \alpha_{12} = 3729,507 \text{ м; } Y_2 = Y_1 + d_{12} \sin \alpha_{12} = 7139,614 \text{ м}$$

$$X_3 = X_2 + d_{23} \cos \alpha_{23} = 3758,208 \text{ м; } Y_3 = Y_2 + d_{23} \sin \alpha_{23} = 7208,905 \text{ м}$$

$$X_4 = X_3 + d_{34} \cos \alpha_{34} = 3730,492 \text{ м; } Y_4 = Y_3 + d_{34} \sin \alpha_{34} = 7220,386 \text{ м}$$

$$X_1 = X_4 + d_{41} \cos \alpha_{41} = 3701,791 \text{ м; } Y_1 = Y_4 + d_{41} \sin \alpha_{41} = 7151,095 \text{ м}$$

Для определения координат створных точек необходимо решить систему уравнений для двух пересекающихся линий. Например, для точки 10 пересекающиеся линии АF и О-10 имеют соответственно дирекционные углы $\alpha_{O-10} = \alpha_1 + 180^\circ = 67^\circ 30' + 180^\circ = 247^\circ 30'$; $\alpha_{AF} = \alpha_{FA} + 180^\circ = 11^\circ 13' 23''$.

Можно записать следующие системы уравнений для координат X и Y точки 10:

$$X_{10} = X_O + d_{O-10} \cos \alpha_{O-10} = X_A + d_{A-10} \cos \alpha_{AF};$$

$$Y_{10} = Y_O + d_{O-10} \sin \alpha_{O-10} = Y_A + d_{A-10} \sin \alpha_{AF}. \quad (6.23)$$

Из уравнений (6.23) выразим и вычислим значения неизвестных горизонтальных проложений:

$$d_{A-10} = \frac{(X_O - X_A) \operatorname{tg} \alpha_{O-10} - (Y_O - Y_A)}{\cos \alpha_{AF} \operatorname{tg} \alpha_{O-10} - \sin \alpha_{O-10}} = 31,382 \text{ м};$$

$$d_{O-10} = \frac{X_A - X_O + d_{A-10} \cos \alpha_{AF}}{\cos \alpha_{O-10}} = 66,732 \text{ м}. \quad (6.24)$$

По формулам (6.24) находим значения координат точки 10: $X_{10} = 3704,463$ м; $Y_{10} = 7118,348$ м.

Аналогичные уравнения составляют и для определения координат точек 20, 30 и 40.

В табл. 6.3 приведены проектные значения координат искомых точек, а также высоты этих точек, полученные с топографического плана.

Таблица 6.3

Проектные координаты точек

Номер точки	X, м	Y, м	H, м
10	3704,463	7118,348	119,05
20	3750,555	7229,624	124,55
30	3760,264	7167,465	124,40
40	3692,233	7195,644	122,10
1	3701,791	7151,095	121,30
2	3729,507	7139,614	121,90
3	3758,208	7208,905	124,65
4	3730,492	7220,386	123,35

На этом заканчиваются подготовительные расчетные работы, после чего можно вычислить значения разбивочных элементов.

Вычисление разбивочных элементов для створных точек 10, 20, 30 и 40.

Каждую из указанных точек выносим на створ соответствующей линии с двух концов этой линии. Разбивочными элементами для выноса створных точек являются горизонтальные проложения d от исходных точек, а при практическом исполнении – наклонные расстояния s . Горизонтальные проложения находят из решения обратной геодезической задачи по координатам соответствующих точек. Например, для точки 10

$$d_{A-10} = \sqrt{(X_A - X_{10})^2 + (Y_A - Y_{10})^2} = 31,382 \text{ м};$$

$$d_{F-10} = \sqrt{(X_F - X_{10})^2 + (Y_F - Y_{10})^2} = 18,483 \text{ м}.$$

Контроль: $d_{A-10} + d_{F-10} = 49,865 \text{ м} = d_{F-A}$ (49,864 м; табл. 6.2), что допустимо.

Наклонные расстояния определяем по формулам

$$s_{A-10} = \sqrt{d_{A-10}^2 + h_{10-A}^2} = 31,485 \text{ м}; \quad s_{F-10} = \sqrt{d_{F-10}^2 + h_{10-F}^2} = 18,548 \text{ м},$$

в которых

$$h_{10-A} = H_{10} - H_A = 119,05 - 117,40 = +1,65 \text{ м};$$

$$h_{10-F} = H_{10} - H_F = -1,55 \text{ м}.$$

Аналогичные вычисления выполняют и для остальных створных точек (табл. 6.4).

Разбивочные элементы

Проектные точки	Исходные точки	Горизонтальные проложения, м	Превышения, м	Наклонные расстояния, м
10	A	31,382	+ 1,65	31,425
	F	18,483	-1,55	18,548
20	D	26,845	-1,50	26,887
	C	17,419	+ 1,20	17,460
30	E	36,459	+ 1,50	36,490
	D	52,175	-1,65	52,201
40	C	59,748	-1,25	59,761
	B	41,670	+1,75	41,707

Вычисление разбивочных элементов для точек 1, 2, 3 и 4.

Точка 1. Выносится на местность способом прямой угловой засечки построением горизонтальных углов β_A и β_B в точках А и В. Горизонтальные углы (разбивочные элементы) определяются как разность дирекционных углов соответствующих направлений:

$$\beta_A = \alpha_{AB} - \alpha_{A1}; \beta_B = \alpha_{B1} - \alpha_{BA}. \quad (6.25)$$

Из решения обратной геодезической задачи

$$\alpha_{A1} = 54^\circ 06' 54''; \alpha_{B1} = 338^\circ 35' 55''.$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \beta_A &= 101^\circ 42' 40'' - 54^\circ 06' 54'' = 47^\circ 35' 46''; \\ \beta_B &= 338^\circ 35' 55'' - 291^\circ 42' 40'' = 46^\circ 53' 15''. \end{aligned}$$

Точка 2. Выносится на местность способом линейной засечки с точек Е и F расстояниями s_{E2} и s_{F2} .

Из решения обратной геодезической задачи горизонтальные проложения $d_{E2} = 21,972$ м; $d_{F2} = 18,973$ м. Превышения $h_{2-E} = -1,00$ м; $h_{2-F} = +1,30$ м. Следовательно, $s_{E2} = 21,995$ м и $s_{F2} = 19,017$ м.

Точка 3. Выносится на местность способом полярных координат с точки D от исходного направления DC ($\alpha_{DC} = 153^\circ 29' 05''$). Разбивочными элементами являются горизонтальное проложение d_{D3} (наклонное расстояние s_{D3}) линии D3 и горизонтальный угол в точке D (β_D).

Из решения обратной геодезической задачи дирекционный угол $\alpha_{D3} = 208^\circ 05' 04''$; горизонтальное проложение $d_{D3} = 18,552$ м. Превышение $h_{3-D} = 124,65 - 126,05 = -1,40$ м.

$$\begin{aligned} \text{Горизонтальный угол } \beta_D &= \alpha_{D3} - \alpha_{DC} = 208^\circ 05' 04'' - 153^\circ 29' 05'' = \\ &= 54^\circ 35' 59''. \text{ Наклонное расстояние } s_{D3} = 18,605 \text{ м.} \end{aligned}$$

Точка 4. Выносится на местность способом прямоугольных координат наклонными отрезками s_{CR} (по линии CB) и s_{R4} , (по перпендикуляру к линии

CB).

Горизонтальные приложения d_{CR} и d_{R4} указанных отрезков найдем из решения системы уравнений

$$\begin{aligned} X_4 &= X_C + d_{CR} \cos \alpha_{CB} + d_{R4} \cos \alpha_{R4}; \\ Y_4 &= Y_C + d_{CR} \sin \alpha_{CB} + d_{R4} \sin \alpha_{R4}, \end{aligned} \quad (6.26)$$

где $\alpha_{CB} = 224^\circ 20' 11''$; $\alpha_{R4} = \alpha_{CB} + 90^\circ = 314^\circ 20' 11''$.

После подстановки в уравнения (6.26) всех известных величин получим $d_{CR} = 15,092$ м, $d_{R4} = 9,041$ м.

С топографического плана получим высоту точки R: $H_R = 122,90$ м. Следовательно, $h_{R-C} = -0,45$ м, $h_{4-R} = +0,45$ м.

Наклонные расстояния $s_{CR} = 15,099$ м, $s_{R4} = 9,052$ м.

После выноса на местность точек 1, 2, 3 и 4 выполняют контрольные промеры расстояний 1–2, 2–3, 3–4 и 4–1 с определением соответствующих горизонтальных проложений и сравнивают полученные значения с проектными. Кроме того, в точках 1, 2, 3 и 4 измеряют теодолитом проектные горизонтальные углы (90°).

