ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

Геодезические и картографические
инструкции, нормы и правила

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В ПРОМЫШЛЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

(ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ, РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ)

Согласовано с Госстроем СССР и утверждено начальником Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР

Обязательно для всех предприятий, организаций и учреждений министерств и ведомств СССР

МОСКВА НЕДРА 1979

gost.e-ecolog.ru

УДК 528.088.3 528.48(022)

Руководство по расчету точности геодезических работ в промышленном строительстве. (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Геодезические и картографические инструкции, нормы и правила). М., «Недра», 1979, 55 с

Руководство освещает способы расчета точности комплекса работ, выполняемых при создании геодезической основы промышленных площадок и при детальных разбивках инженерных сооружений. Оно предназначено для инженерно-технических работников производственных и проектных организаций.

Табл. 11, ил. 28, список лит. — 38 назв.

Руководство составлено в Научно-исследовательской прикладной геодезии инженерами А. С. Лукиным (гл. 1, 2, 3, 4 и общая редакция), М. А. Боковым, В. Д. Рощупкиным, Э. А. Соловьевым (гл. 5).

Р $\frac{20701-512}{043(01)-79}$ БЗ—10—1—79. 1902020000 © Издательство «Недра», 1979

1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

1.1. Геодезические работы при строительстве промышленных предприятий выполняются в соответствии с проектами производства геодезических работ (ППГР), содержащими:

— схемы плановых и высотных геодезических сетей;

— схемы закрепления главных, основных и монтажных осей сооружений;

— краткое описание технологии выполнения геодезических работ с расчетами необходимой точности измерений при создании геодезических сетей и при детальных разбивочных работах, а также с обоснованием требуемого количества производственного персонала и приборов.

1.2. Точность геодезических работ в промышленном строительстве регламентируется межосевыми и строительными допусками, а также требованиями, предъявляемыми к съемочным геодезическим сетям при крупномасштабных топографических съемках.

1.3. Расчет точности геодезических измерений следует производить в соответствии с методом наименьших квадратов по ожидаемым средним квадратическим погрешностям уравненных элементов плановых и высотных геодезических построений.

2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

2.1. Целевым назначением геодезических сетей на застраиваемых промышленных площадках является: а) создание основы для построения разбивочных сетей, используемых при выносе в натуру элементов инженерных сооружений или коммуникаций, а также при монтаже технологического оборудования; б) создание основы для выполнения исполнительных съемок заканчиваемых строительством объектов; в) обеспечение наблюдений за деформациями сооружений и земной поверхности в процессе строительства и после его окончания.

2.2. При развитии геодезических сетей для исключения влияния погрешностей существующей государственной или местной геодезической сети следует использовать свободные построения, сохраняя при этом имеющуюся в данном районе систему координат и высот.

2.3. Плановые геодезические сети на площадках промышленного строительства создают методами триангуляции, полигонометрии, геодезических засечек или четырехугольников без диагоналей; высотные — геометрическим нивелированием. При этом

необходимо стремиться к сокращению многоступенчатости геодезических построений на основе применения современной геодезической и вычислительной техники.

2.4. Точность взаимного положения пунктов плановых геодезических сетей на строительных площадках определяется с учетом допусков на разбивочные и строительно-монтажные работы. Для расчета точности геодезических сетей рекомендуется формула

$$\left(\frac{m_r}{L_r}\right)^2 = \frac{1}{8l^2}\left[\delta^2 - 4\left(1 - \frac{1}{n}\right)m_l^2\right], \qquad (2.1)$$

где m_r/L_r — относительная погрешность стороны геодезической сети; l — расстояние между смежными монтажными осями; δ — допуск на межосевой размер; m_l — средняя квадратическая погрешность измерения (отложения) межосевого размера; n — количество пролетов между основными осями здания или вспомогательными пунктами.

Формула (2.1) предусматривает двухэтапный переход от геодезической сети к детальным разбивкам. В качестве промежуточного этапа предполагается вынос основных осей сооружения или строительного базиса.

2.5. Если геодезическую сеть при детальных разбивках образуют основные оси или строительный базис, то

$$\left(\frac{m_0}{L_0}\right)^2 = \frac{1}{4l^2}\left[\delta^2 - 4\left(1 - \frac{1}{n}\right)m_l^2\right], \qquad (2.2)$$

где m_0/L_0 — относительная погрешность длины стороны между закрепленными пунктами основных осей или строительного базиса.

Допуски на межосевые размеры в формулах (2.1) и (2.2) следует брать из соответствующих нормативных документов или определять специальными расчетами.

2.6. Для расчета необходимой точности измерений в геодезических сетях используется формула

$$m_F = \mu\sqrt{\frac{1}{P_F}}, \qquad (2.3)$$

где m_F — средняя квадратическая погрешность оцениваемого элемента сети; μ — среднее квадратическое отклонение единицы веса (средняя квадратическая погрешность измерений); $1/P_F$ — обратный вес оцениваемого элемента сети, откуда

$$\mu = \frac{m_F}{\sqrt{\frac{1}{P_F}}}. \qquad (2.4)$$

В формуле (2.4) погрешности m_F для сторон геодезической сети вычисляют по уравнениям (2.1) или (2.2).

Обратные веса оцениваемых элементов определяют по формуле

$$\left.\begin{aligned}\frac{1}{P_F} = f_1 f_1 Q_{1.1} + 2f_1 f_2 Q_{1.2} + \ldots + 2f_1 f_k Q_{1k} \\ + f_2 f_2 Q_{2.2} + \ldots + 2f_2 f_k Q_{2k} + \\ + \ldots\ldots\ldots + \\ + f_k f_k Q_{k.k}\end{aligned}\right\} \qquad (2.5)$$

или

$$\frac{1}{P_F} = [ffr] = [ff] - \frac{[af]^2}{[aa]} - \frac{[bf1]^2}{[bb1]} - \ldots - \frac{[qf\,(r-1)]^2}{[qq\,(r-1)]}, \qquad (2.6)$$

где f — частные производные оцениваемых функций по уравниваемым величинам; Q — весовые коэффициенты; a, b, ..., q — коэффициенты условных уравнений.

Для вычисления весов пунктов нивелирных сетей допускается использование приближенной формулы

$$P = [P_0] + \frac{[P]_1}{1 + \dfrac{[P]_1}{[P_0 + P]_2}}, \qquad (2.7)$$

где $[P_0]$ — сумма весов звеньев первого порядка, примыкающих к исходным пунктам; $[P]_1$ и $[P]_2$ — сумма весов звеньев первого и второго порядков по отношению к определяемой точке.

Веса звеньев, в свою очередь, определяют по формуле

$$P_i = \frac{c}{S_i}, \qquad (2.8)$$

где c — произвольно выбранное постоянное число, величина которого принимается с таким расчетом, чтобы все веса были близки к 1; S_i — длина звена, км.

2.7. Обратные веса (средние квадратические погрешности) зависят от размеров и конструкции сети, а также от расположения в ней оцениваемого элемента. В результате изучения закономерностей изменения обратных весов в типовых геодезических построениях вместо формул (2.5) и (2.6) могут быть использованы более простые формулы вида

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}} = f(m_\beta, m_S, i, n, k), \qquad (2.9)$$

где m_β и m_S — средние квадратические погрешности угловых и линейных измерений; i — номер оцениваемого элемента сети относительно исходных данных; n — количество всех определяемых пунктов или сторон в сети; k — показатель конструкции сети.

Эмпирические формулы вида (2.9) получаются аппроксимацией средних квадратических погрешностей по параметрам i, n и k. Коэффициенты аппроксимирующих функций при этом определяют по методу наименьших квадратов.

3. ПЛАНОВЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ЧЕТЫРЕХУГОЛЬНИК

3.1. Наиболее простой и часто применяемой фигурой при создании обоснования на строительных площадках является геодезический четырехугольник прямоугольной формы рис. 1), в котором известны длина и дирекционный угол одной из сторон. Координаты одного из пунктов этой стороны принимают за исходные, а координаты остальных пунктов четырехугольника вычисляют в общей или частной системе координат. В последнем случае, как правило, координатные оси ориентируют по сторонам четырехугольника.

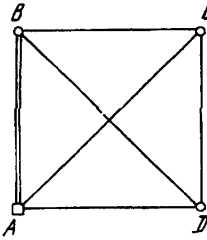


Рис. 1. Геодезический четырехугольник

3.2. В геодезическом четырехугольнике длины сторон, перпендикулярных к исходному базису, определяют с погрешностями

$$m_{BC}^2 = m_{AD}^2 = m_S^2 K^2 + \frac{1}{2} m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}(1 + K^4), \qquad (3.1)$$

где m_S — средняя квадратическая погрешность исходной стороны; K — коэффициент, равный отношению определяемых сторон к исходной, т. е. $K = BC/AB$; m_β — средняя квадратическая погрешность измерения углов в сети; S — длина исходной стороны.

Средняя квадратическая погрешность стороны, противолежащей к исходному базису, рассчитывается по формуле

$$m_{CD}^2 = m_S^2 + 0{,}93 m_\beta^2 \frac{K^2 S^2}{\rho^2}, \qquad (3.2)$$

а выражение для вычисления средних квадратических погрешностей диагоналей четырехугольника имеет вид

$$m_{AC}^2 = m_{BD}^2 = m_S^2 (1 + K^2) + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2} K^2 (1 + K^2) \times$$

$$\times (0{,}826 - 0{,}11K). \qquad (3.3)$$

3.3. Для расчета точности дирекционных углов сторон, перпендикулярных к исходному базису, используется выражение

$$m_\alpha = 0{,}964 m_\beta; \qquad (3.4)$$

для сторон, параллельных базису,

$$m_\alpha = m_\beta, \qquad (3.5)$$

а для диагоналей четырехугольника

$$m_\alpha = m_\beta\left(0{,}84 - \frac{0{,}11}{K}\right). \tag{3.6}$$

3.4. Средние квадратические погрешности координат пунктов геодезического четырехугольника, в общем случае, будут:

$$m_{x_i}^2 = m_{S_{Ai}}^2 \cos^2\alpha_{Ai} + m_{\alpha_{Ai}}^2 \frac{S^2}{\rho^2}\sin^2\alpha_{Ai}; \tag{3.7}$$

$$m_{y_i}^2 = m_{S_{Ai}}^2 \sin^2\alpha_{Ai} + m_{\alpha_{Ai}}^2 \frac{S^2}{\rho^2}\cos^2\alpha_{Ai}, \tag{3.8}$$

где i — названия определяемых пунктов; $m_{S_{Ai}}$ — средние квадратические погрешности сторон, по которым передают координаты от исходного пункта; $m_{\alpha_{Ai}}$ — средние квадратические погрешности дирекционных углов этих сторон, вычисляемые по формулам (3.4)—(3.8).

Если стороны геодезического четырехугольника параллельны координатным осям, то формулы (3.7) и (3.8) упрощаются и с учетом выражений (3.1)—(3.3) принимают вид:

$$m_{x_C}^2 = m_S^2 + 0{,}93m_\beta^2\frac{K^2S^2}{\rho^2}; \tag{3.9}$$

$$m_{x_D}^2 = 0{,}93m_\beta^2\frac{K^2S^2}{\rho^2}; \tag{3.10}$$

$$m_{y_C}^2 = m_{y_D}^2 = m_S^2K^2 + \frac{1}{2}m_\beta^2\frac{S^2}{\rho^2}(1+K^4). \tag{3.11}$$

3.5. Для геодезического четырехугольника, опирающегося на два исходных пункта, получим

$$m_{BC} = m_{AD} = m_\beta\frac{S}{\rho}\sqrt{\frac{1+K^4}{2}}; \tag{3.12}$$

$$m_{CD} = 0{,}96m_\beta\frac{KS}{\rho}; \tag{3.13}$$

$$m_{AC} = m_{BD} = m_\beta\frac{KS}{\rho}\sqrt{(1+K^2)(0{,}826-0{,}11K)}; \tag{3.14}$$

$$m_{x_C} = m_{x_D} = 0{,}96m_\beta\frac{KS}{\rho}; \tag{3.15}$$

$$m_{y_C} = m_{y_D} = m_\beta\frac{S}{\rho}\sqrt{\frac{1+K^4}{2}}. \tag{3.16}$$

Центральные системы

3.6. Центральные системы широко распространены при создании геодезических сетей небольших городов, а также промыш-

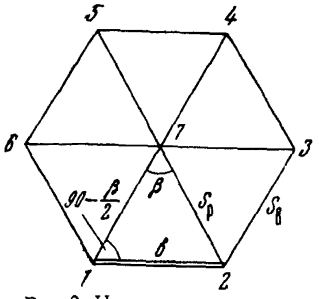


Рис 2 Центральная система

ленных и строительных площадок. Они могут быть представлены сетями трилатерации, либо линейно-угловыми. В последнем случае в сети измеряют все углы и один-два базиса, которые совмещают с внешними ($S_в$) или радиальными ($S_р$) сторонами (рис. 2).

3.7. При выборе местоположения базиса следует иметь в виду, что при внешнем его расположении погрешности радиальных сторон, вызванные погрешностью базиса,

$$m_{S_р} = \frac{1}{2} m_b \operatorname{cosec} \frac{\beta}{2}, \tag{3.17}$$

а при радиальном базисе погрешности внешних сторон

$$m_{S_в} = 2m_b \sin \frac{\beta}{2}, \tag{3.18}$$

где $m_{S_р}$ и $m_{S_в}$ — средние квадратические погрешности соответственно радиальных и внешних сторон; m_b — средняя квадратическая погрешность базиса; β — центральный угол.

На основании формул (3.17) и (3.18) внешний базис обеспечивает лучшую точность радиальных сторон при центральных углах больше 60°, а радиальный базис — при центральных углах меньше 60°. Таким образом, масштабирование сети в обоих случаях целесообразнее осуществлять по наиболее длинным сторонам.

3.8. Совместное влияние погрешностей базиса и угловых измерений на наиболее слабые стороны (наиболее удаленные от базиса) центральных систем при внешнем базисе учитывается формулами

$$m^2_{S_в} = m^2_b + m^2_{S_\beta}; \quad m^2_{S_р} = \frac{1}{4} m^2_b \operatorname{cosec}^2 \frac{\beta}{2} + m^2_{S_\beta}, \tag{3.19}$$

где m_{S_β} — средние квадратические погрешности сторон, обусловленные погрешностями угловых измерений.

Для внешних сторон

$$m_{S_{\beta(внеш)}} = m_\beta \frac{S}{\rho} (0{,}0924\beta^2 + 0{,}215\beta + 1{,}00), \tag{3.20}$$

а для радиальных сторон

$$m_{S_{\beta(рад)}} = m_\beta \frac{S}{\rho} (0{,}8805\beta^2 - 2{,}163\beta + 2.43), \tag{3.21}$$

где β — центральные углы в радианах; S — длина радиальной стороны.

3.9. Формулы для вычисления средних квадратических погрешностей сторон при радиальном базисе следующие:

$$m_{S_в}^2 = 4m_b^2 \sin^2 \frac{\beta}{2} + m_{S_\beta}^2; \quad m_{S_р}^2 = m_b^2 + m_{S_\beta}^2, \tag{3.22}$$

в которых для наиболее слабых внешних сторон

$$m_{S_{\beta(внеш)}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(0{,}8864\beta^2 - 0{,}943\beta + 1{,}10), \tag{3.23}$$

а для радиальных сторон

$$m_{S_{\beta(рад)}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(0{,}2400\beta^2 + 0{,}218\beta + 0{,}49). \tag{3.24}$$

Формулы (3.20), (3.21), (3.23), (3.24) получены для центральных систем, образованных равнобедренными треугольниками с углами от 30 до 120°.

3.10. Дирекционные углы наиболее слабых сторон (аналогично формуле (3.8)) определяются с погрешностями:

$$\left.\begin{aligned} m_{\alpha_в} &= m_\beta (0{,}2386\beta^2 - 0{,}971\beta + 2{,}06), \\ m_{\alpha_р} &= m_\beta (0{,}1456\beta^2 - 0{,}887\beta + 1{,}90), \end{aligned}\right\} \tag{3.25}$$

где $m_{\alpha_в}$ и $m_{\alpha_р}$ — средние квадратические погрешности дирекционных углов внешних и радиальных сторон.

3.11. При двух внешних базисах, расположенных симметрично относительно друг другу, расчет точности сторон производят по формуле

$$m_S^2 = m_{S_{исх}}^2 + m_{S_\beta}^2, \tag{3.26}$$

где $m_{S_{исх}}$ — составляющая средней квадратической погрешности наиболее слабой стороны, обусловленная влиянием погрешностей исходных базисов.

Величина $m_{S_{исх}}$ в формуле (3.26) для внешних сторон равна

$$m_{S_{исх}} = \frac{2m_b}{n+2} \sqrt{(i+1)^2 + \left(\frac{1}{2}n + 1 - i\right)^2}, \tag{3.27}$$

а для радиальных

$$m_{S_{исх}} = m_\beta \operatorname{cosec} \frac{\beta}{2} \cdot \frac{2i}{n+2} \sqrt{1 + \left(\frac{n+2}{2i} - 1\right)^2}. \tag{3.28}$$

Влияние погрешностей угловых измерений на точность наиболее слабых сторон учитывается формулами

$$m_{S_{\beta(внеш)}} = m_\beta \frac{S}{\rho}; \quad m_{S_{\beta(рад)}} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left(0{,}513 + \frac{0{,}267}{\beta}\right), \tag{3.29}$$

где β — центральный угол в радианах.

3.12. Если начало координат совместить с центральным пунктом системы, средние квадратические погрешности координат

внешних пунктов определяют по формулам (3.7) и (3.8), в которых погрешности радиальных сторон вычислены на основании формул (3.21) или (3.24), а погрешности дирекционных углов — по формуле (3.25).

Свободные сети бездиагональных четырехугольников

3.13. Применение прямоугольной системы кварталов в промышленном и гражданском строительстве способствует созданию геодезических сетей в виде систем бездиагональных прямоугольников, в которых линейные измерения выполняют по внешнему периметру сети или отдельных ее блоков, а угловые — на всех пунктах.

3.14. В свободной сети бездиагональных четырехугольников средние квадратические погрешности сторон, образующих внешний контур, равны

$$m_{S_{\text{ур}}} = m_{S_{\text{изм}}}[0{,}643 + 0{,}012(n-2)], \tag{3.30}$$

где $m_{S_{\text{ур}}}$ — средняя квадратическая погрешность стороны после уравнивания сети; $m_{S_{\text{изм}}}$ — средняя квадратическая погрешность измерения линий; n — число сторон по основанию сети.

Для сторон, примыкающих к внешнему контуру,

$$m_{S_{\text{см}}} = m_{S_{\text{ур}}}\left[\frac{3n-1}{2n} + \frac{3i_s\,(n-i_s)}{5\,(n-1)} - \frac{3}{5}\right], \tag{3.31}$$

а для внутренних сторон сети

$$m_{S_{\text{вн}}} = 0{,}92 m_{S_{\text{см}}}, \tag{3.32}$$

где $m_{S_{\text{см}}}$ — средние квадратические погрешности сторон, примыкающих к внешнему контуру; $m_{S_{\text{вн}}}$ — средние квадратические погрешности внутренних сторон; i — номер определяемой стороны в горизонтальном или вертикальном ряду четырехугольников.

3.15. Средние квадратические погрешности дирекционных углов распределяются симметрично относительно диагонали соединяющей исходный пункт сети с противоположной вершиной квадрата. Вблизи диагонали погрешности минимальны, а по мере удаления от нее они возрастают, достигая максимальных значений в районе смежных вершин сети. Однако дифференциация погрешностей в пределах сети незначительная, поэтому для внешних сторон с точностью до 10% справедливо

$$m_\alpha = 1{,}6 m_\beta, \tag{3.33}$$

а для внутренних сторон

$$m_\alpha = 1{,}4 m_\beta, \tag{3.34}$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения угла.

3.16. Формулы для вычисления средних квадратических погрешностей координат пунктов свободной сети бездиагональных четырехугольников имеют вид:

$$m_{x_i}^2 = m_S^2 [0{,}643 + 0{,}012\,(n-2)]^2\, i_x + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}\,(0{,}056 i_y^2 + \\ + 1{,}059 i_y - 0{,}04)^2, \qquad (3.35)$$

$$m_{y_i}^2 = m_S^2 [0{,}643 + 0{,}012\,(n-2)]^2\, i_y + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}\,(0{,}056 i_x^2 + \\ + 1{,}059 i_x - 0{,}04)^2, \qquad (3.36)$$

где i_x и i_y — номер пункта по осям X и Y соответственно.

Формулы (3.17)—(3.23) справедливы при условии

$m_S : S \simeq m_\beta : \rho$.

Применение формул (3.30)—(3.36) пояснено на рис. 3.

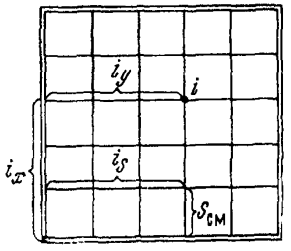


Рис. 3 Свободная сеть бездиагональных четырехугольников

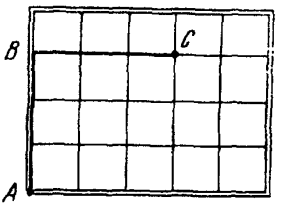


Рис 4. Геодезическая строительная сетка

Точность измерения элементов свободных сетей бездиагональных четырехугольников приведена в прил. 1. При ее определении в качестве основы принят допуск положения пунктов съемочного обоснования относительно исходного пункта.

4. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТКИ

4.1. Основным видом геодезического обоснования при строительстве промышленных комплексов являются строительные геодезические сетки. Они проектируются на генеральном плане сооружения с учетом обеспечения максимальной сохранности пунктов в процессе строительства.

4.2. Строительные геодезические сетки создаются, как правило, поэтапно. Сначала развивается локальная сеть триангуляции. Типовой фигурой при этом является геодезический четырехугольник или центральная система, рассмотренные в разделе 3. Затем между пунктами триангуляции прокладываются полиго-

нометрические ходы, образующие каркас сетки в виде замкнутых полигонов (секций) прямоугольной формы.

Положение пунктов внутри секций определяется методами ходовых и геодезических засечек, микротриангуляции, четырехугольников без диагоналей, комбинированным способом и трилатерации.

Возможно построение сетки в два этапа, при котором геодезическая основа строительной площадки в виде каркаса строительной сетки создается методом полигонометрии, а детализация ее достигается перечисленными выше способами.

4.3. Строительные геодезические сетки используются для построения детальных разбивочных сетей (строительно-монтажных сеток) и в качестве обоснования при крупномасштабных топографических съемках. В связи с многоцелевым использованием сеток при их проектировании следует исходить из условия обеспечения необходимой точности взаимного положения пунктов и обеспечения заданной точности пунктов сетки относительно предшествующей основы или начального пункта.

4.4. При расчетах точности поэтапно создаваемых и уравниваемых строительных геодезических сеток необходимо учитывать влияние погрешностей предшествующих ступеней. Закономерность этого влияния заключается в распространении законов накопления погрешностей координат исходных сетей на последующие ступени, независимо от их вида и жесткости, а также в искажении углов и линий сетей второго порядка.

При расчетах точности координат

$$m^2 = m_{\text{исх}}^2 + m_{\text{изм}}^2, \qquad (4.1)$$

где m — средняя квадратическая погрешность координат пункта, учитывающая влияние погрешностей исходных данных и погрешностей собственных измерений; $m_{\text{исх}}$ — средняя квадратическая погрешность координат пункта, обусловленная влиянием исходных данных; $m_{\text{изм}}$ — средняя квадратическая погрешность координат пункта, обусловленная погрешностями собственных измерений.

При вычислении средней квадратической погрешности, обусловленной влиянием исходных данных ($m_{\text{исх}}$), расчетный участок (по наикратчайшему пути передачи координат) следует каждый раз замыкать на определенном пункте с включением фиктивных измерений на участке сети младшего разряда, выполняемых с точностью исходной сети. Например, сеть, представленная на рис. 4, построена в два этапа: полигонометрический ход по внешнему контуру — первый этап и заполняющая сеть бездиагональных четырехугольников — второй. Погрешность положения пункта C на основании формулы (4.1) будет складываться из погрешности на участке A—B—C, вычисляемой по формуле для полигонометрического хода (4.10—4.11), и погрешности на участке B—C, вычисляемой по формуле для сети

бездиагональных четырехугольников (4.61—4.62). Исходные данные в обоих случаях считаются безошибочными.

4.5. Влияние погрешностей исходных базисов и дирекционных углов зависит от вида и жесткости заполняющих сетей, поэтому для вычисления $m_{\text{исх}}$ в формуле (4.1) используются выражения (4.42), (4.45), (4.48), (4.57)—(4.59), (4.64)—(4.68).

4.6. При двухэтапном уравнивании геодезических сетей

$$\mu^2 = \mu'^2 + \mu''^2, \tag{4.2}$$

где μ — среднее квадратическое отклонение единицы веса при совместном действии погрешностей измерений в сети 2-го порядка и погрешностей исходных данных; μ' — среднее квадратическое отклонение единицы веса, обусловленное только погрешностями измерений; μ'' — среднее квадратическое отклонение, обусловленное влиянием погрешностей исходных данных.

Степень искажения средних квадратических отклонений единицы веса определяется размером, видом и жесткостью заполняющих сетей. Так, в сетях бездиагональных четырехугольников искажения средних квадратических отклонений единицы веса максимальны, а между размером сети и точностью измерения углов на пунктах каркасной полигонометрии существует зависимость

$$\mu'' = m_\beta (0{,}58 + 0{,}07n), \tag{4.3}$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения углов в полигонометрических ходах; n — число сторон по основанию секций.

Для цепочек микротриангуляции и геодезических засечек

$$\mu'' = m_\beta (0{,}75 - 0{,}04n). \tag{4.4}$$

Распределение величины μ'' близко к нормальному, поэтому для вероятности 0,95 доверительный интервал математического ожидания среднего квадратического отклонения единицы веса определяется выражением

$$\mu'' - 1{,}96m_{\mu''} < \mu'' < \mu'' + 1{,}96m_{\mu''}. \tag{4.5}$$

Погрешности исходных данных вызывают искажения горизонтальных углов на пунктах заполняющих сетей, величины которых определяются по формуле

$$\delta_\beta = \mu'' \sqrt{\frac{r}{N}}, \tag{4.6}$$

где δ_β — средняя квадратическая величина искажения углов; r — число избыточных измерений; N — общее число измеренных в сети элементов.

Подрадикальное выражение в формуле (4.6) для сети бездиагональных четырехугольников можно представить в виде

$$\frac{r}{N} = \frac{1}{2} + \frac{1}{n} - \frac{1}{2n^2}; \qquad (4.7)$$

для цепочек микротриангуляции

$$\frac{r}{N} = \frac{1}{3} + \frac{2}{3n}, \qquad (4.8)$$

а для геодезических засечек

$$\frac{r}{N} = \frac{1}{4} + \frac{3}{4n}, \qquad (4.9)$$

где n — число сторон между исходными пунктами (в продольном направлении).

На основании формул (4.3)—(4.9) следует, что в сетях бездиагональных четырехугольников с увеличением размеров сети возрастают и искажения внутренних углов, а в цепочках микротриангуляции и геодезических засечек наблюдается обратное явление — с увеличением протяженности цепочек между исходными пунктами искажения внутренних углов уменьшаются.

Уравнения связи (4.2)—(4.4) позволяют осуществлять контроль качества исходных данных по результатам уравнивания сетей сгущения. Если среднее квадратическое отклонение единицы веса, полученное при уравнивании сети, значительно отличается от ожидаемого, вычисленного по формуле (4.2), то необходимо пересмотреть качество исходных сетей и проверить в них прежде всего наличие скомпенсированных погрешностей.

Формулы (4.3)—(4.9) получены для секций квадратной формы и справедливы при условии $m_\beta : \rho \simeq m_S : S$.

Каркасные полигонометрические сети

4.6. Полигонометрические сети, развиваемые на площадках промышленных сооружений в качестве каркасов строительных

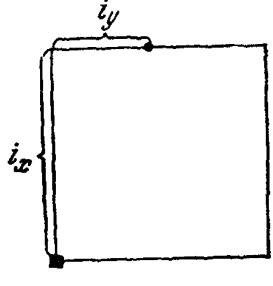


Рис. 5. Одиночный замкнутый равносторонний полигонометрический ход

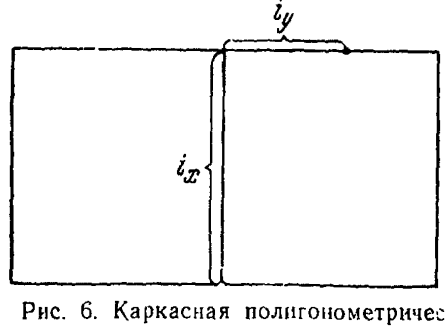


Рис. 6. Каркасная полигонометрическая сеть, состоящая из двух смежных полигонов

сеток или в качестве самостоятельной основы, представлены, как правило, полигонами прямоугольной формы.

4.7. Для определения средних квадратических погрешностей координат пунктов одиночного замкнутого равностороннего полигонометрического хода прямоугольной формы (рис. 5), стороны которого параллельны координатным осям, рекомендуются формулы:

$$m_{x_i}^2 = m_S^2 i_x + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}\left(1{,}318 i_y - 0{,}66 + 0{,}33\frac{1}{i_y^3}\right)^2; \qquad (4.10)$$

$$m_{y_i}^2 = m_S^2 i_y + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}\left(1{,}318 i_\lambda - 0{,}66 + 0{,}33\frac{1}{i_\lambda^3}\right)^2, \qquad (4.11)$$

где m_{x_i} и m_{y_i} — средние квадратические погрешности положения i-го пункта полигонометрического хода по оси X и Y относительно исходного; i_λ и i_y — номер определяемого пункта по оси X и Y; S — длина стороны.

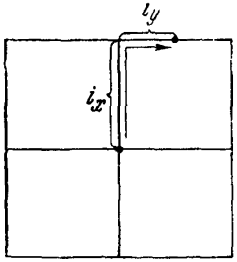


Рис. 7. Каркасная полигонометрическая сеть, состоящая из четырех смежных полигонов

4.8. Для двух смежных полигонов (рис. 6), вытянутых по оси Y, формулы для вычисления средних квадратических погрешностей координат пунктов относительно одной из узловых точек имеют вид:

$$m_{x_i}^2 = 0{,}84 m_S^2 i_x + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2} i_y^2; \qquad (4.12)$$

$$m_{y_i}^2 = 0{,}84 m_S^2 i_y + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2} i_x^2. \qquad (4.13)$$

4.9. Для четырех смежных полигонов со сторонами, параллельными кординатным осям (рис. 7), средние квадратические погрешности координат пунктов относительно центральной узловой точки следует вычислять по формулам:

$$m_{x_i}^2 = 0{,}65 m_S^2 i_x + 0{,}566 m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2} i_y^2; \qquad (4.14)$$

$$m_{y_i}^2 = 0{,}65 m_S^2 i_y + 0{,}566 m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2} i_x^2. \qquad (4.15)$$

Формулы (4.10)—(4.15) можно использовать для расчета точности уравненных элементов хода (полигона) по одной из его симметричных частей ($i_x + i_y \leqslant 0{,}5n$).

Точность формул 5—10%.

4.10. В отдельном вытянутом равностороннем полигонометрическом ходе при ориентировании его по оси ординат средние квадратические погрешности по оси абсцисс вычисляют по формуле

$$m_{x_i} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[(0{,}770 + 0{,}018n)\, i - 0{,}82\frac{i^2}{n}\right], \qquad (4.16)$$

а средние квадратические погрешности по оси ординат

$$m_{y_i} = m_S \sqrt{\frac{i\,(n-i)}{n}}, \tag{4.17}$$

где i — номер пункта в ходе относительно исходного; n — число сторон в ходе.

В формуле (4.16) максимальное значение i не должно превышать половины n.

4.11. Средние квадратические погрешности дирекционных углов в полигонометрических ходах

$$m_\alpha = m_\beta \sqrt{\frac{1}{P_\alpha}}, \tag{4.18}$$

где

$$P_{\alpha_i} = P\,\frac{n+1}{i\,(n+1-i)} \cdot \frac{1}{1-\dfrac{3i\,(n+1-i)}{n\,(n+2)}}, \tag{4.19}$$

где P — вес измеренного угла, при равноточных измерениях принимаемый за единицу; n — число сторон в ходе; i — номер оцениваемого дирекционного угла.

Двухфигурные геодезические засечки

4.12. При создании заполняющих сетей двухфигурные геодезические засечки применяются на открытых строительных площадках.

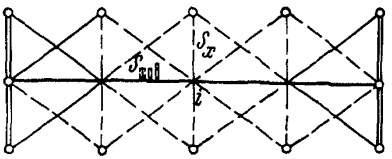


Рис. 8. Двухфигурные геодезические засечки

Цепочка двухфигурных засечек (рис. 8) вставляется между пунктами каркасной сети. На пунктах ходовой линии (на рисунке она утолщена) измеряются все углы. Боковые пункты засекаются с пунктов ходовой линии.

4.13. В цепочке двухфигурных засечек, вытянутой по оси Y, положение пунктов ходовой линии определяется со средними квадратическими погрешностями:

$$m_{x_{ход}} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}0426 - \frac{0{,}9198}{n}\right)i^2 + (0{,}669 + 0{,}0117n)\,i + \right.$$

$$\left. + (0{,}11 - 0{,}015n)\right]; \tag{4.20}$$

$$m_{y_{\text{ход}}} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}0064 - \frac{1{,}0457}{n}\right) i^2 + (0{,}00394n^2 - \right.$$

$$\left. - 0{,}0519n + 1{,}263)\, i - (0{,}00207n^2 - 0{,}019n)\right], \qquad (4.21)$$

где n — число сторон ходовой линии между исходными пунктами; i — номер оцениваемого пункта ходовой линии.

Средние квадратические погрешности координат боковых пунктов могут быть вычислены по формулам:

$$m_{x_{\text{бок}}} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}1411 - \frac{2{,}8410}{n}\right) i^2 + \left(0{,}900 + \frac{3{,}883}{n}\right) i + \right.$$

$$\left. + \left(0{,}17 - \frac{0{,}74}{n}\right)\right]; \qquad (4.22)$$

$$m_{y_{\text{бок}}} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}0080 - \frac{1{,}0240}{n}\right) i^2 + (0{,}00236n^2 - \right.$$

$$\left. - 0{,}015n + 1{,}056)\, i - (0{,}0018n^2 - 0{,}018n)\right]. \qquad (4.23)$$

4.14. Стороны ходовой линии определяются с погрешностями

$$m_{S_{\text{ход}}} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}0242 - \frac{1{,}4774}{n}\right) i^2 + \right.$$

$$\left. + \left(0{,}484 + \frac{3{,}959}{n}\right) i - (0{,}14 - 0{,}022n)\right], \qquad (4.24)$$

где i — номер оцениваемой стороны.

Формула для определения средних квадратических погрешностей сторон между вспомогательными боковыми пунктами и для сторон, перпендикулярных к ходовой линии, имеет вид:

$$m_{S_x} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}1350 - \frac{2{,}9806}{n}\right) i^2 + \left(0{,}196 + \right.\right.$$

$$\left.\left. + \frac{7{,}534}{n}\right) i - (0{,}20 - 0{,}041n)\right]. \qquad (4.25)$$

Максимальные погрешности принадлежат сторонам, удаленным от исходных пунктов на одну четверть протяженности цепочки.

4.15 Средние квадратические погрешности дирекционных углов сторон ходовой линии и сторон, перпендикулярных к ней, определяются по формуле

$$m_{\alpha_{\text{ход}}} = m_\beta \left[\left(0{,}0189 - \frac{1{,}0084}{n}\right) i^2 + \left(0{,}368 + \frac{1{,}974}{n}\right) i - \right.$$

$$\left. - (0{,}04 - 0{,}012n)\right], \qquad (4.26)$$

а между вспомогательными боковыми пунктами стороны имеют следующие погрешности дирекционных углов

$$m_{\alpha_{\text{бэк}}} = m_\beta \left[\left(0{,}0615 - \frac{1{,}7770}{n}\right) i^2 + \left(0{,}259 + \frac{4{,}546}{n}\right) i - \right.$$

$$\left. - (0{,}11 - 0{,}022n) \right]. \qquad (4.27)$$

Максимальные погрешности дирекционных углов по аналогии с погрешностями сторон сдвинуты относительно исходных на четверть протяженности цепочки.

Формулы (4.20)—(4.27) справедливы при условии, если i не превышает половины n, причем n может изменяться от 5 до 15. В случае ориентирования цепочек по оси X в формулах достаточно поменять символы «Y» на «X».

4.16. В заполняющей сети, созданной способом двухфигурных геодезических засечек, наиболее слабо определяются стороны между вспомогательными пунктами смежных цепочек. Средние квадратические погрешности этих сторон

$$m_{S_{\text{см}}} = m_{x_{\text{бок}}} \sqrt{2}, \qquad (4.28)$$

где величина $m_{x_{\text{бэк}}}$ вычисляется по формуле (4.22).

Точность дирекционных углов этих сторон характеризуется погрешностями

$$m_{\alpha_{\text{см}}} = m_{y_{\text{бок}}} \frac{\rho}{S} \sqrt{2}, \qquad (4.29)$$

где величина $m_{y_{\text{бок}}}$ вычисляется по формуле (4.23).

4.17. При количестве сторон по ходовой линии меньше 5 для вычисления средних квадратических погрешностей элементов, расположенных в середине цепочки, следует использовать формулы:

$$m_{S_{y_{(\text{ход})}}} = m_\beta \frac{S}{\rho} (1 + 0{,}055r); \qquad (4.30)$$

$$m_{S_{y_{(\text{бок})}}} = m_\beta \frac{S}{\rho} (0{,}66 + 0{,}08r); \qquad (4.31)$$

$$m_{S_x} = m_\beta \frac{S}{\rho} (0{,}97 + 0{,}055r); \qquad (4.32)$$

$$m_{\alpha_{y_{(\text{ход})}}} = m_\beta (0{,}49 + 0{,}047r); \qquad (4.33)$$

$$m_{\alpha_{y_{(\text{бок})}}} = m_\beta (1{,}64 + 0{,}06r); \qquad (4.34)$$

$$m_{\alpha_x} = m_\beta (0{,}77 + 0{,}033r); \qquad (4.35)$$

$$m_{y_{(\text{ход})}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(0{,}42 + 0{,}17r + 0{,}016r^2); \tag{4.36}$$

$$m_{x_{(\text{ход})}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(0{,}37 + 0{,}053r + 0{,}020r^2); \tag{4.37}$$

$$m_{y_{(\text{бок})}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(0{,}38 + 0{,}18r + 0{,}016r^2); \tag{4.38}$$

$$m_{\lambda_{(\text{бок})}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(0{,}96 + 0{,}10r + 0{,}017r^2). \tag{4.39}$$

Для вычисления средних квадратических погрешностей сторон, расположенных между смежными цепочками, можно использовать выражения:

$$m_{S_{\text{см}}} = m_\beta \frac{S}{\rho}(1{,}36 + 0{,}14r + 0{,}024r^2); \tag{4.40}$$

$$m_{\alpha_{\text{см}}} = m_\beta (0{,}40 + 0{,}25r + 0{,}023r^2). \tag{4.41}$$

В формулах (4.30) —(4.41) r — число пучков засечек, а остальные буквенные обозначения аналогичны приведенным ранее.

4.18. Расчет точности координат пунктов заполняющих сетей с учетом влияния погрешностей исходных данных необходимо выполнять согласно п. 4.4.

4.19. Влияние погрешностей каркасной полигонометрии на стороны, перпендикулярные к ходовой линии, учитывается по формуле

$$m_{S_i} = m_{S_0} \sqrt{\left(1 - \frac{i}{n}\right)^2 + \left(\frac{i}{n}\right)^2}, \tag{4.42}$$

где m_{S_0} — средняя квадратическая погрешность каркасных сторон; m_{S_i} — средняя квадратическая погрешность сторон, перпендикулярных ходовой линии; n — число сторон в цепочке по ходовой линии, i — номер оцениваемой стороны.

Для сторон, расположенных в центре цепочек, на основании формулы (4.42) получим

$$m_{S_{\frac{n-1}{2}}} = \frac{m_{S_0}}{\sqrt{2}}. \tag{4.43}$$

Этой же величине равны и погрешности первых сторон ходовой линии независимо от числа пучков засечек в цепочке.

Выражение для вычисления средних квадратических погрешностей средних сторон ходовой линии имеет вид:

$$m_{S_{\frac{n}{2}}} = m_{S_0}(1{,}26 - 0{,}08n), \tag{4.44}$$

где n — число сторон по ходовой линии.

Изменение погрешностей между первой и средней сторона-

ми ходовой линии происходит линейно, поэтому для произвольной стороны получим

$$m_{S_i} = m_{S_0}\left[0{,}70 + \frac{(0{,}56 - 0{,}08n)\,(i-1)}{0{,}5n - 1}\right]. \qquad (4.45)$$

4.20. Характер искажений дирекционных углов в цепочках двухфигурных засечек определяется действием погрешностей исходных дирекционных углов и наличием продольных погрешностей в координатах исходных пунктов. Если влияние погрешностей дирекционных углов уменьшается по мере приближения к центру цепочек, то продольные погрешности в координатах пунктов вызывают деформации цепочек в центральной части, поэтому минимальные искажения (при условии совместного действия погрешностей) будут наблюдаться вблизи исходных пунктов, а максимальные — в средней части.

При увеличении пучков засечек искажения дирекционных углов в цепочках двухфигурных геодезических засечек возрастают.

Совместное влияние погрешностей измерений и погрешностей исходных сторон выражается формулой (4.1), в которой $m_{\text{иск}}$ вычисляется по формулам (4.42) — (4.45), а величина $m_{\text{изм}}$ — по формулам (4.24), (4.25) и (4.30) — (4.32).

Ходовые засечки

4.21. Способ ходовых засечек является одним из наиболее простых при определении координат пунктов сетей сгущения. При его использовании координаты пунктов находятся из двух взаимно перпендикулярных угловых ходов, один из которых параллелен оси абсцисс, другой — оси ординат (рис. 9). На каждом внутреннем пункте измеряют не связанные между собой углы, близкие по величине к 180°.

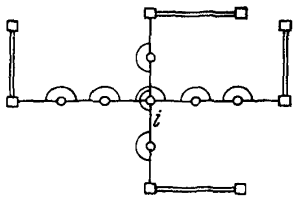


Рис. 9. Ходовые засечки

4.22. Величины поперечных смещений точек угловых ходов, равные погрешностям положения их по осям координат, вычисляют по формуле (4.16).

4.23. Для вычисления средних квадратических погрешностей сторон, длины которых при этом способе определяются косвенно, можно использовать формулу

$$m_S^2 = (m_{y_i}^2 + m_{y_j}^2)\sin^2\alpha + (m_{x_i}^2 + m_{x_j}^2)\cos^2\alpha, \qquad (4.46)$$

где средние квадратические погрешности положения пунктов по осям координат вычисляют по формуле (4.16).

Формула (4.46) при дирекционных углах, равных 0, 90, 180 или 270°, принимает вид:

$$m^2_{S_x} = m^2_{x_i} + m^2_{x_j}; \quad m^2_{S_y} = m^2_{y_i} + m^2_{y_j}, \tag{4.47}$$

а с учетом погрешностей каркасных сторон

$$m^2_{S_{x(y)}} = m^2_S\left[\left(\frac{i}{n}\right)^2 + \left(1 - \frac{i}{n}\right)^2\right] + 2m^2_{x(y)_i}. \tag{4.48}$$

4.24. Расчет точности координат пунктов сетей сгущения с учетом влияния исходных данных необходимо выполнять согласно п. 4.4.

Цепочки микротриангуляции

4.25. При создании заполняющих сетей способом микротриангуляции между пунктами каркасных ходов прокладываются изолированные или связанные друг с другом цепочки прямоугольных треугольников, в которых измеряют все углы (рис. 10).

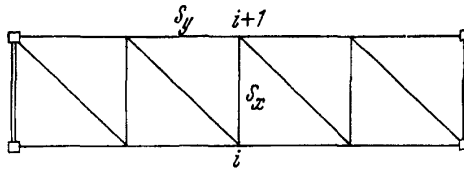


Рис. 10. Цепочки микротриангуляции

4.26. Средние квадратические погрешности положения пунктов в цепочке прямоугольных треугольников, вытянутой вдоль оси ординат, равны

$$m_{x_i} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}0161 - \frac{0{,}789}{n}\right)i^2 + (0{,}00154n^2 - \right.$$

$$\left. - 0{,}0562n + 1{,}00)\,i - (0{,}0006n^2 - 0{,}018n + 0{,}05)\right]; \tag{4.49}$$

$$m_{y_i} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}0355 - \frac{1{,}3149}{n}\right)i^2 + (0{,}00223n^2 - 0{,}0918n + \right.$$

$$\left. + 1{,}478)\,i - (0{,}0007n^2 - 0{,}034n + 0{,}09)\right], \tag{4.50}$$

где n — число определяемых пунктов в цепочке; i — номер определяемого пункта по ходовой линии.

4.27. Для определения средних квадратических погрешностей сторон в цепочке прямоугольных треугольников можно использовать формулы:

$$m_{S_y} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left[\left(0{,}1009 - \frac{2{,}3297}{n}\right)i^2 + \left(0{,}283 + \frac{5{,}330}{n}\right)i + \right.$$

$$\left. + (0{,}029n - 0{,}13)\right]; \tag{4.51}$$

$$m_{s_x} = 0{,}77 m_{s_y}, \tag{4.52}$$

где m_{s_y} и m_{s_x} — средние квадратические погрешности сторон, параллельных оси ординат (промежуточных) и оси абсцисс (связующих); n — число промежуточных сторон в цепочке; i — номер оцениваемой стороны.

4.28. Дирекционные углы сторон в цепочках прямоугольных треугольников определяют с погрешностями

$$m_{\alpha_y} = m_\beta \left[\left(0{,}0697 - \frac{1{,}7635}{n}\right) i^2 + \left(0{,}274 + \frac{3{,}726}{n}\right) i - \right.$$

$$\left. - (0{,}12 - 0{,}027n) \right]; \tag{4.53}$$

$$m_{\alpha_x} = 0{,}95 m_{\alpha_y}, \tag{4.54}$$

где m_{α_y} и m_{α_x} — средние квадратические погрешности дирекционных углов сторон, параллельных оси ординат и абсцисс.

4.29. Средние квадратические погрешности сторон, расположенных между двумя смежными цепочками,

$$m_{s_{см}} = m_x \sqrt{2}, \tag{4.55}$$

где величину m_x вычисляют по формуле (4.49).

Средние квадратические погрешности дирекционных углов этих сторон

$$m_{\alpha_{см}} = m_y \frac{\rho}{S} \sqrt{2}, \tag{4.56}$$

где величину m_y вычисляют по формуле (4.50).

Формулы (4.49)—(4.56) можно применять при числе промежуточных сторон в цепочке от 3 до 15.

4.30. В цепочках микротриангуляции погрешности внутренних сторон, вызываемые погрешностями исходных базисов, уменьшаются по мере приближения к центру цепочек. Так, средние квадратические погрешности промежуточных сторон в ряде прямоугольных равнобедренных треугольников можно вычислить по формуле

$$m_{s_y} = m_{s_0} \sqrt{1 - \frac{2i-1}{n} + \frac{(2i-1)^2}{2n^2}}, \tag{4.57}$$

а погрешности связующих сторон

$$m_{s_x} = 0{,}60 m_{s_y}, \tag{4.58}$$

где i — номер оцениваемой стороны; n — число промежуточных сторон в цепочке.

Если в формуле (4.57) принять $i = 0{,}5\ n$, то

$$m_{s_y} = \frac{m_{s_0}}{\sqrt{2}}. \tag{4.59}$$

Совместное действие погрешностей измерений и погрешностей исходных сторон выражается формулой (4.1), в которой $m_{исх}$ вычисляется по формулам (4.57)—(4.59), а величина $m_{изм}$ по формулам (4.51)—(4.52).

4.31. Закономерности искажений дирекционных углов в цепочках микротриангуляции аналогичны искажениям дирекционных углов в цепочках геодезических засечек (п. 4.20).

4.32. Расчет точности координат определяемых пунктов с учетом влияния погрешностей исходных данных следует выполнять согласно п. 4.4.

Четырехугольники без диагоналей

4.33. При создании геодезических строительных сеток способом четырехугольников без диагоналей в каркас, образуемый полигонометрическими ходами либо заменяющими их геодезическими построениями, вставляется заполняющая сеть бездиагональных четырехугольников (рис. 11). Способ обеспечивает высокую точность и может применяться в различных физико-географических условиях при минимальных затратах средств и времени.

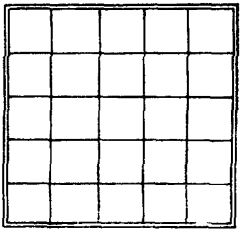


Рис. 11. Способ четырехугольников без диагоналей

4.34. В сплошных сетях бездиагональных четырехугольников дирекционные углы определяются равноточно, если число четырехугольников в сети не превышает 25. При больших размерах наблюдается незначительная (в пределах 5%) дифференциация погрешностей, при которой максимальные погрешности перемещаются на стороны, удаленные от исходных на одну четверть размера сети.

Для вычисления средних квадратических погрешностей дирекционных углов рекомендуются формулы

$$m_\alpha = 0{,}83\mu\sqrt{\frac{t}{N}} = 0{,}59\mu\sqrt{\frac{1}{1+\frac{k}{2m}-\frac{1}{m}}} =$$

$$= 0{,}59\mu\sqrt{1-\frac{1}{n_x}-\frac{1}{n_y}+\frac{1}{n_x n_y}}, \qquad (4.30)$$

где t — число необходимых угловых измерений в сети сгущения, равное удвоенному количеству определяемых пунктов; N— число угловых измерений в сети, равное учетверенному числу четырехугольников; μ — среднее квадратическое отклонение единицы веса (средняя квадратическая погрешность измерения углов); k — число исходных пунктов; m — число определяемых

пунктов; n_x — число сторон сетки по оси абсцисс; n_y — число сторон сетки по оси ординат.

4.35. Средние квадратические погрешности координат пунктов в сплошной сети бездиагональных четырехугольников

$$m_{x_i} = 1,1 m_\alpha \frac{S}{\rho} \sqrt{\frac{i_y (n_y - i_y)}{n_y - 1}}; \tag{4.61}$$

$$m_{y_i} = 1,1 m_\alpha \frac{S}{\rho} \sqrt{\frac{i_x (n_x - i_x)}{n_x - 1}}, \tag{4.62}$$

где i_x и i_y — номер определяемого пункта по оси абсцисс и ординат; S — длина стороны строительной сетки.

4.36. Точность сторон между смежными пунктами строительной сетки характеризуется погрешностями

$$m^2_{S_x} = m^2_{x_i} + m^2_{x_j} \text{ и } m^2_{S_y} = m^2_{y_i} + m^2_{y_j}, \tag{4.63}$$

где m_{S_x} и m_{S_y} — средние квадратические погрешности сторон, параллельных оси абсцисс и ординат; m_{x_i}; m_{y_i} и m_{x_j}, m_{y_j} — средние квадратические погрешности координат i-го и j-го пунктов.

Погрешность стороны между любыми пунктами строительной сетки определяется по формуле (4.46).

Формулы (4.60)—(4.63) обеспечивают точность 5—10% и применимы для сетей с числом фигур от 4 до 100. Сети могут иметь квадратную и прямоугольную форму, как и образующие их элементарные фигуры. Для прямоугольных сетей соотношение сторон по координатным осям должно быть не менее 1 : 2 или не более 2 : 1.

4.37. Расчеты по формулам (4.60)—(4.63) предполагают безошибочность исходных данных, которые не являются таковыми. Влияние погрешностей исходных сторон и дирекционных углов можно представить в виде:

$$m^2_S = m^2_{S_{(S)}} + m^2_{S_{(\alpha)}}, \tag{4.64}$$

где

$$m^2_{S_{(S)}} = \frac{m^2_{S_\alpha}}{n^2} [i^2 + (n - i)^2], \tag{4.65}$$

а

$$m^2_{S_{(\alpha)}} = m^2_{x(y)_i} + m^2_{x(y)_j} - 2km_{x(y)_i} m_{x(y)_j}. \tag{4.66}$$

Для внутренних сторон

$$m_{S_{(\alpha)}} = 0,44 m_\alpha \frac{S}{\rho} \sqrt{\frac{i (n - i)}{n - 1}}, \tag{4.67}$$

а для сторон, опирающихся одним концом на исходные пункты,

$$m_{S_{(\alpha)}} = \left[1{,}1 m_\alpha \frac{S}{\rho}\sqrt{\frac{i(n-i)}{n-1}}\right]^2 + \left\{m_\beta \frac{S}{\rho}\left[(0{,}770 + 0{,}018n)\,i - 0{,}82\,\frac{i^2}{n}\right]\right\}^2 - 0{,}95 m_\alpha \frac{S}{\rho}\sqrt{\frac{i(n-i)}{n-1}} \times$$

$$\times\, m_\beta \frac{S}{\rho}\left[(0{,}770 + 0{,}018n)\,i - 0{,}82\,\frac{i^2}{n}\right]. \qquad (4.68)$$

В формулах (4.64)—(4.68): m_S — средняя квадратическая погрешность определяемой стороны, обусловленная погрешностями исходных сторон и дирекционных углов; $m_{S_{(S)}}$ — средняя квадратическая погрешность определяемой стороны, обусловленная только погрешностями исходных сторон; $m_{S_{(\alpha)}}$ — средняя квадратическая погрешность определяемой стороны, обусловленная только погрешностями исходных дирекционных углов; n — количество определяемых сторон между исходными пунктами (формула (4.65)) и количество пунктов (формулы (4.67)—(4.68)); i — номер определяемого элемента (считая от исходного); m_α — средняя квадратическая погрешность дирекционных углов внутренних сторон, вычисляемая по формуле (4.3) ($m_\alpha \simeq \mu''$); m_β — средняя квадратическая погрешность измерения углов в каркасной полигонометрии.

4.38. Совместное влияние погрешностей измерений и погрешностей исходных данных на стороны в сетях бездиагональных четырехугольников выражается формулой (4.1), в которой величина $m_{\text{исх}}$ вычисляется по формулам (4.64)—(4.68), а величина $m_{\text{изм}}$ — по формулам (4.63). При расчетах средних квадратических погрешностей координат следует использовать прием, изложенный в п. 4.4.

Комбинированный способ

4.39 Комбинированный способ создания строительных сеток представляет собой сочетание способа четырехугольников без диагоналей со способом триангуляции (рис. 12). При этом способе жесткость сети бездиагональных четырехугольников увеличивается благодаря избыточным измерениям диагональных направлений, совпадающих для квадратных сетей с главными диагоналями. Это обеспечивает взаимосвязь сети в продольном и поперечном направлениях. Внутренние стороны в этом случае получают связь с восемью каркасными сторонами.

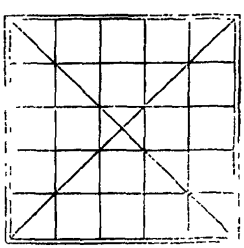


Рис 12 Комбинированный способ

На основании формулы (2.6) избыточные измерения уменьшают обратный вес оцениваемых функций, следовательно, они повышают точность сети.

4.40. Избыточные измерения при комбинированном способе, как следует из уравнения (4.60), оказывают незначительное влияние на точность дирекционных углов, однако на точность координат и сторон их влияние существенно. В сети бездиагональных четырехугольников, в которой дополнительно проведены наблюдения диагональных направлений, совпадающих с главными диагоналями (форма сети типа почтового конверта), средние квадратические погрешности наиболее слабых сторон

$$m_S = m_\beta \frac{S}{\rho}\left(0{,}90 - \frac{1{,}08}{n}\right), \tag{4.69}$$

а координат

$$m_{x(y)} = m_\beta \frac{S}{\rho}\left(0{,}63 - \frac{0{,}59}{n}\right), \tag{4.70}$$

где n — число сторон по основанию сетки.

Формулы (4.69)—(4.70) можно применять для сеток квадратной формы при числе сторон по основанию сетки от 2 до 7.

4.41. Расчет точности координат пунктов заполняющих сетей с учетом влияния погрешностей исходных данных проводится согласно п. 4.4, а для расчета точности сторон можно использовать приближенную формулу

$$m_S^2 = \frac{1}{2} m_{S_0}^2 + m_\beta^2 \frac{S^2}{\rho^2}\left(0{,}90 - \frac{1{,}08}{n}\right), \tag{4.71}$$

где m_{S_0} — средняя квадратическая погрешность каркасной стороны.

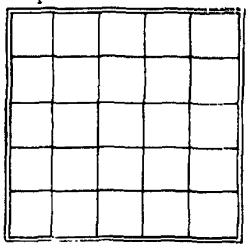


Рис. 13. Способ линейных четырехугольников без диагоналей

4.42. На основании приведенных в данном разделе формул определена необходимая точность измерений элементов строительных геодезических сеток в зависимости от их размеров (прил. 2). При расчетах каркасных полигонометрических ходов за основу принят допуск положения пункта съемочного обоснования относительно пунктов сети старшего разряда, а для свободных сетей — относительно начального пункта. За основу расчетов заполняющих сетей приняты указанные в таблице (см. прил. 2) средние квадратические погрешности внутренних сторон.

Линейные четырехугольники без диагоналей

4.43. Современный уровень светодальномерной техники позволяет успешно решать проблему линейных измерений в гео-

дезических сетях, поэтому возможна замена угловых и линейно-угловых сетей линейными построениями.

4.44. По точности определения координат сеть линейных четырехугольников прямоугольной формы (рис. 13), опирающаяся на жесткий каркас, эквивалентна системе вытянутых независимых взаимно ортогональных полигонометрических ходов, в которых

$$m_{x(y)_i} = m_S \sqrt{\frac{i_{x(y)}\,[n_{x(y)} - i_{x(y)}]}{n_{x(y)}}}, \qquad (4.72)$$

где i — номер оцениваемого пункта; n — число сторон между исходными пунктами.

4.45. Точность определения дирекционных углов в сети характеризуется формулой

$$m_{\alpha_{x(y)_i}} = m_S \frac{\rho}{S} \sqrt{\frac{2i_{y(x)}\,[n_{y(x)} - i_{y(x)}]}{n_{y(x)}}}, \qquad (4.73)$$

где $m_{\alpha_{x(y)}}$ — средняя квадратическая погрешность дирекционного угла стороны, параллельной оси X или Y.

Для определения искажений горизонтальных углов можно использовать формулу

$$m_\beta = m_S \frac{\rho}{S} \sqrt{2\left\{\frac{i_{y(x)}\,[n_{y(x)} - i_{y(x)}]}{n_{y(x} + \frac{i_{x(y)}\,[n_{x(y)} - i_{x(y)}]}{n_{x(y)}}\right\}}, \qquad (4.74)$$

которая при

$$i_x = i_y = \frac{1}{2} n_x = \frac{1}{2} n_y = \frac{1}{2} n$$

упрощается и принимает вид

$$m_\beta = m_S \frac{\rho}{S} \sqrt{2n}. \qquad (4.75)$$

5. ДЕТАЛЬНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

5.1. Качество монтажа сборных промышленных сооружений определяется точностью геодезических измерений, а также точностью изготовления и монтажа строительных конструкций.

5.2. Детальные геодезические разбивочные работы, заключающиеся в построении на местности проектных углов, линий и высот, выполняются на основании: а) утвержденного генерального плана строящегося предприятия; б) разбивочных чертежей с указанием привязок к пунктам геодезической основы или существующим контурам (к действующим корпусам промышленных предприятий, инженерным сооружениям и коммуникациям и т. д.); в) проекта производства геодезических работ, в кото-

ром раскрывается технология выполнения детальных разбивок с указанием необходимой точности измерений по отдельным видам работ; г) схемы основных и вспомогательных разбивочных осей.

5.3. *Расчет точности детальных геодезических разбивочных* работ производится на основе уравнений погрешностей размерных цепей каркаса промышленного здания, составленных в соответствии с последовательностью взаимно сопрягаемых элементов — колонн, ригелей, подкрановых балок, ферм и т. д.

Необходимая точность детальных разбивочных геодезических работ определяется также на основании расчета устойчивости элементов сооружения.

Точность построения межосевых размеров

5.4 Построение осей инженерного сооружения на местности проводится с точностью, обеспечивающей собираемость строительных конструкций. При определении точности геодезических разбивочных работ исходными данными служат допуски на изготовление и монтаж строительных конструкций, регламентируемые соответствующими нормативными документами.

5.5. При жестком соединении ферм с колоннами в качестве замыкающих звеньев размерных цепей принимаются: а) размер зазора между геометрической осью верха колонны и торцом фермы; б) размер площадки опирания фермы; в) проектное расстояние между осями рельсов. При шарнирном типе соединения фермы с колоннами: а) размер зазора между закладными деталями в ферме и колонне; б) размер площадки опирания фермы; в) проектное расстояние между осями рельсов.

5.6. В случае, когда известны не все допуски на производство строительно-монтажных работ, следует использовать принцип ничтожного влияния погрешностей геодезических построений на точность возведения строительных конструкций, который выражается формулой

$$m_{геод} = 0{,}40 m_{стр}, \qquad (5.1)$$

где $m_{геод}$ — средняя квадратическая погрешность разбивки межосевого размера; $m_{стр}$ — суммарная средняя квадратическая погрешность положения строительных конструкций.

5.7. В качестве типовой схемы каркаса одноэтажного промышленного здания при расчетах точности разбивки межосевых размеров рекомендуется плоская размерная цепь, состоящая из трех элементов — двух вертикальных колонн и перекрытия (балки, фермы) между ними. За замыкающее звено принимается зазор между геометрической осью колонны на ее оголовке и торцом перекрытия.

Уравнение погрешностей размерной цепи в этом случае имеет вид:

$$2m_4^2 = m_1^2 + 2m_2^2 + 2m_3^2 + m_5^2 + m_6^2, \qquad (5.2)$$

где m_1 — средняя квадратическая погрешность геодезического построения межосевого размера; m_2 — средняя квадратическая погрешность совмещения оси колонны в нижнем сечении с разбивочной осью; m_3 — средняя квадратическая погрешность положения колонны в вертикальной плоскости; m_4 — средняя квадратическая погрешность положения торца перекрытия относительно оси колонны на ее оголовке; m_5 — средняя квадратическая погрешность длины перекрытия; m_6 — средняя квадратическая погрешность вследствие деформационных воздействий.

Точность построения межосевых размеров одноэтажного большепролетного промышленного здания, рассчитанная по формуле (5.2), приведена в прил. 3.

Угловые измерения

5.8. При детальных геодезических разбивочных работах широкое применение получили способы полярных и прямоугольных координат, угловых и линейных засечек, а также створный способ.

5.9 Расчет точности выноса в натуру точек сооружений перечисленными в п. 5.8 способами производится по формулам, приведенным в прил. 4.

5.10. На точность вынесения в натуру и измерения горизонтальных углов влияют погрешности прибора, собственно отложения угла, центрирования прибора и визирных целей. Формула для вычисления средней квадратической погрешности горизонтального угла имеет вид

$$m_\beta = \sqrt{m_{\text{инст}}^2 + m_{\text{в.у}}^2 + m_{\text{н}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{р}}^2}, \qquad (5.3)$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность построения на местности или измерения горизонтального угла; $m_{\text{инст}}$ — средняя квадратическая погрешность горизонтального угла, обусловленная несовершенством прибора; $m_{\text{в.у}}$ — средняя квадратическая погрешность горизонтального угла, обусловленная влиянием внешних условий; $m_{\text{н}}$ — средняя квадратическая погрешность собственно отложения или измерения угла; $m_{\text{ц}}$ — средняя квадратическая погрешность горизонтального угла, обусловленная погрешностями центрирования прибора; $m_{\text{р}}$ — средняя квадратическая погрешность горизонтального угла, обусловленная погрешностями центрирования визирных целей.

Вынесение в натуру и измерение горизонтального угла при двух положениях вертикального круга сопровождается средней квадратической погрешностью

$$m_{\text{инст}} = \sqrt{K^2 + X^2}, \qquad (5.4)$$

где K — систематическая погрешность делений лимба горизонтального круга; X — погрешность горизонтального угла, обусловленная наклоном вертикальной оси вращения прибора.

Погрешность X определяется из выражения

$$X = \delta(\sin\varphi_C \operatorname{tg}\nu_C - \sin\varphi_A \operatorname{tg}\nu_A), \tag{5.5}$$

где φ_A, φ_C — азимуты направлений, отсчитываемые от вертикальной плоскости, в которой лежит наклоненная на угол δ вертикальная ось вращения прибора; ν_A, ν_C — углы наклона трубы при наведении на точки A и C.

Величину систематических погрешностей делений лимба горизонтального круга K определяют по результатам исследований.

Влияние внешних условий (боковой рефракции, неравномерного нагревания прибора, ветровой нагрузки и т. д.) ослабляется правильной организацией работ.

Величина средней квадратической погрешности $m_н$ для способа круговых приемов вычисляется по формуле

$$m_ц = \sqrt{\frac{1}{n}(m_в^2 + m_{ок}^2)}, \tag{5.6}$$

а для способа повторений

$$m_н = \sqrt{\frac{1}{np}\left(m_в^2 + \frac{1}{p} m_{ок}^2\right)}, \tag{5.7}$$

где n — число приемов; p — число повторений; $m_в$ — средняя квадратическая погрешность визирования; $m_{ок}$ — средняя квадратическая погрешность округления отсчета.

Величина средней квадратической погрешности $m_в$ вычисляется по формуле

$$m_в = \frac{30''}{v^x}, \tag{5.8}$$

где $v^\times$ — увеличение зрительной трубы прибора.

Для теодолитов с двумя верньерами

$$m_{ок} = \frac{t}{2\sqrt{2}}, \tag{5.9}$$

где t — точность верньера.

Для оптических теодолитов

$$m_{ок} = \frac{t_1}{\sqrt{2}}, \tag{5.10}$$

где t_1 — точность отсчитывания по лимбу горизонтального круга.

Средняя квадратическая погрешность $m_ц$ при выносе горизонтального угла в натуру и при его измерении (рис. 14)

$$m_ц = \frac{\rho_e}{\sqrt{2}\,S_0 S}\sqrt{S_0^2 + S^2 - 2S_0 S\cos\beta}, \tag{5.11}$$

где e — погрешность центрирования теодолита; S_0 — длина стороны AB; S — длина стороны AC; β — измеренное или отложенное значение горизонтального угла.

Средняя квадратическая погрешность $m_р$ при вынесении горизонтального угла в натуру (см. рис. 14)

(5.12)

$$m_р = \frac{\rho}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{e_1^2}{S_0^2} + \frac{m_\Phi^2}{S^2}},$$

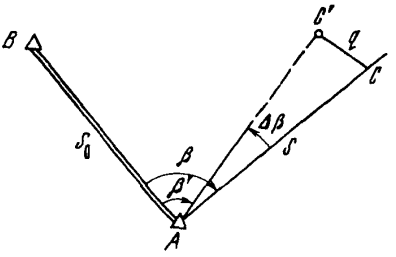


Рис. 14. Вынос горизонтального угла в натуру способом редуцирования

при измерении горизонтального угла

$$m_р = \frac{\rho e_1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{S_0^2} + \frac{1}{S^2}}, \qquad (5.13)$$

где e_1 — погрешность редукции визирных целей; m_Φ — средняя квадратическая погрешность фиксации точки (прил. 4, табл. 7).

5.11. При вынесении горизонтального угла способом редуцирования (см. рис. 14) его средняя квадратическая погрешность вычисляется по формуле

$$m_В = \sqrt{m_{\beta'}^2 + m_{\Delta\beta}^2}, \qquad (5.14)$$

где $m_{\beta'}$ — средняя квадратическая погрешность измерения угла β', определяемая по формуле (5.3); $m_{\Delta\beta}$ — средняя квадратическая погрешность построения угла $\Delta\beta$.

Для вычисления величины $m_{\Delta\beta}$ в формуле (5.14) используется

$$m_{\Delta\beta} = \frac{\rho}{S} \sqrt{m_q^2 + \frac{q^2}{\rho^4} m_п^4}, \qquad (5.15)$$

где m_q — средняя квадратическая погрешность отложения длины перпендикуляра q; $m_п$ — средняя квадратическая погрешность построения угла $AC'C$ (см. рис. 14).

Линейные измерения

5.12. Вынос линии в натуру заключается в отложении на местности проектного расстояния, исправленного поправками за

компарирование мерного прибора, его температуру и наклон местности. Перечисленные поправки вводятся в проектную длину с обратным знаком по сравнению с поправками, вносимыми с переходом от наклонного расстояния к горизонтальному проложению.

5.13. Отложение линии лентой или рулеткой сопровождается средней квадратической погрешностью, вычисляемой по формуле

$$m_S = \sqrt{(m_{\Delta к}^2 + m_{ств}^2 + m_f^2)\frac{S^2}{l^2} + (m_{нат}^2 + m_{\Delta h}^2 + m_{\Delta t}^2 + m_б^2)\frac{S}{l}}, \quad (5.16)$$

а для подвесных мерных приборов

$$m_S = \sqrt{(m_{\Delta к}^2 + m_{ств}^2 + m_{нат}^2 + m_{ветр}^2)\frac{S^2}{l^2} + (m_{\Delta h}^2 + m_{\Delta t}^2 + m_{от}^2)\frac{S}{l}}, \quad (5.17)$$

где l — длина мерного прибора; S — длина линии; $m_{\Delta к}$ — средняя квадратическая погрешность определения поправки за компарирование мерного прибора; $m_{ств}$ — средняя квадратическая погрешность, вызываемая уклонением мерного прибора от створа линии; $m_{нат}$ — средняя квадратическая погрешность, вызываемая непостоянством натяжения мерного прибора; $m_{ветр}$ — средняя квадратическая погрешность, обусловленная влиянием ветровой нагрузки; m_f — средняя квадратическая погрешность, вызванная неровностями местности; $m_{\Delta h}$ — средняя квадратическая погрешность определения поправки за наклон местности; $m_{\Delta t}$ — средняя квадратическая погрешность определения поправки за температуру; $m_{от}$ — средняя квадратическая погрешность снятия отсчетов (для подвесных мерных приборов).

Погрешность за нестворность $m_{ств}$ вычисляют по формуле

$$m_{ств} = \frac{\varepsilon^2}{2l}, \quad (5.18)$$

где ε — отклонение концов ленты от створа линии.

Для определения средней квадратической погрешности $m_{нат}$ линейных измерений, выполненных лентой и рулеткой, используется выражение

$$m_{нат} = \Delta p l \frac{1}{\omega E}, \quad (5\ 19)$$

где Δp — разность значений силы натяжения ленты при компарировании и измерении линии; ω — площадь поперечного сечения ленты; E — модуль упругости металла ленты.

Для подвесных мерных приборов погрешность $m_{нат}$ определяется по формуле

$$m_{\text{пров}} = \left(\frac{\sigma l}{P} + \frac{P^2 l^3}{12F^3}\right) m_F, \tag{5.20}$$

где σ — растяжение единицы длины мерного прибора под действием собственного веса P; P — вес единицы мерного прибора; F — сила натяжения мерного прибора; m_F — средняя квадратическая погрешность натяжения.

Для вычисления средней квадратической погрешности $m_{\text{ветр}}$ используется формула

$$m_{\text{ветр}} = \frac{Q^2 l}{24F^2}, \tag{5.21}$$

где Q — сила ветра.

Средняя квадратическая погрешность $m_{\Delta h}$ вычисляется по формулам: при измерении превышений h между концами мерного прибора

$$m_{\Delta h} = \left(\frac{h}{l} + \frac{h^3}{2l^3}\right) m_h, \tag{5.22}$$

где m_h — средняя квадратическая погрешность определения превышений.

При измерении углов наклона ν

$$m_{\Delta h} = l \sin \nu m_\nu, \tag{5.23}$$

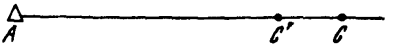
где m_ν — средняя квадратическая погрешность измерения углов наклона.

Средняя квадратическая погрешность поправки за температуру

$$m_{\Delta t} = \alpha l m_t, \tag{5.24}$$

где α — коэффициент линейного расширения ленты; m_t — средняя квадратическая погрешность определения температуры при измерениях.

Рис. 15. Вынос в натуру длины линии способом редуцирования



При вынесении длины линии в натуру способом редуцирования, когда приближенно отложенная на местности длина линии AC' (рис. 15) измеряется с необходимой точностью, а затем дополняется до проектного значения AC малым отрезком $C'C$, ее средняя квадратическая погрешность находится из выражения

$$m_S = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}, \tag{5.25}$$

где m_1 — средняя квадратическая погрешность измерения длины линии AC', вычисляемая по формулам (5.16), (5.17); m_2 — средняя квадратическая погрешность отложения отрезка $C'C$.

Приближенная длина линии AC' откладывается в натуре, как правило, без учета поправок, перечисленных в п. 5.12, поэтому величина домера $C'C$ равна разности между проектным расстоянием и горизонтальным проложением линии AC'.

Вынос проектных отметок

5.15. Расчет точности детальных высотных построений производится на основе уравнений погрешностей размерных цепей каркаса промышленных зданий. В качестве замыкающего звена высотной размерной цепи принимается допуск на отклонение отметки последней замыкающей конструкции от проектной или допустимая разность отметок двух смежных конструкций.

Примеры составления уравнений погрешностей приведены в прил. 5.

5.16. При получении в расчетах точности малых труднодостижимых допусков предусматриваются дополнительные построения локальных сетей на монтажных горизонтах, при создании которых за основу принимается наиболее жесткий допуск на этом горизонте. При этом назначается один исходный репер, отметка которого определяется с двух реперов основного монтажного горизонта.

5.17. Наиболее жестким допуском на основном монтажном горизонте, как правило, является допуск на отклонение опорных поверхностей колонны по высоте. Соблюдение этого допуска относительно ближайшего репера или относительно опорных поверхностей смежных колонн следует считать достаточным.

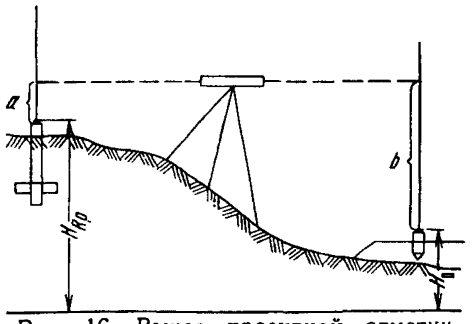


Рис. 16. Вынос проектной отметки в натуру

5.18. Плотность высотного обоснования должна обеспечивать вынос отметки при однократной постановке прибора. Проектная отметка передается на точку способом горизонта инструмента или способом проектного превышения (рис. 16).

5.19. Средняя квадратическая погрешность вынесения проектной отметки в натуру при однократной постановке прибора вычисляется по формуле

$$m_{\text{н}} = \sqrt{m_0^2 + m_a^2 + m_b^2 + m_i^2 + m_{\text{ф}}^2}, \qquad (5.26)$$

где m_0 — средняя квадратическая погрешность отметки исходного пункта высотного обоснования; m_a — средняя квадратическая погрешность отсчета по рейке, установленной на исходном

пункте; m_b — средняя квадратическая погрешность установки рейки на проектный отсчет b; m_i — средняя квадратическая погрешность превышения, обусловленная непараллельностью визирной оси трубы нивелира и оси его цилиндрического уровня; m_Φ — средняя квадратическая погрешность фиксации проектной отметки (табл. 7, прил. 4).

Величины m_a и m_b в формуле (5.26) равны

$$m_a = \sqrt{m_у^2 + m_{отс}^2 + m_ш^2 + m_{в\,у}^2}, \tag{5.27}$$

где $m_у$ — средняя квадратическая погрешность отсчета вследствие неточной установки уровня в нульпункте; $m_{отс}$ — средняя квадратическая погрешность отсчета, обусловленная неточным определением доли деления рейки; $m_ш$ — средняя квадратическая погрешность отсчета, обусловленная погрешностями нанесения делений рейки; $m_{в\,у}$ — средняя квадратическая погрешность отсчета, обусловленная влиянием внешних условий

Для вычисления средней квадратической погрешности $m_у$ следует пользоваться формулами:

для простого уровня

$$m_у = 5\tau'' S \cdot 10^{-4}\ (мм); \tag{5.28}$$

для контактного уровня

$$m_у = 1{,}5\tau'' S \cdot 10^{-4}\ (мм); \tag{5.29}$$

для контактного уровня с лупой

$$m_у = 1{,}5\tau'' \frac{S}{v_л^x} \cdot 10^{-4}\ (мм), \tag{5.30}$$

где τ'' — цена деления уровня на 2 мм; S — расстояние от нивелира до рейки, м; $v_л^x$ — увеличение лупы.

Величина $m_{отс}$ находится из выражения

$$m_{отс} = 0{,}03t + 0{,}2\frac{S}{v^x}\ (мм), \tag{5.31}$$

где t — цена наименьшего деления рейки, мм; v^x — увеличение зрительной трубы нивелира.

Точность нанесения сантиметровых делений на трехметровые шашечные рейки характеризуется средней квадратической погрешностью $m_{см}$, равной

$$m_{см} = \pm 0{,}3 - 0{,}5\ (мм).$$

Влияние внешних условий (теплового воздействия на нивелир, рефракции, вертикальных перемещений штатива и т. д.) может ослабиться правильной организацией работ.

Величина средней квадратической погрешности m_i определяется по формуле

$$m_i = (S_з - S_п)\frac{i}{\rho}\ (мм), \qquad (5.32)$$

где $S_з$ и $S_п$ — расстояния от нивелира до задней и передней реек; i — угол между визирной осью трубы и осью цилиндрического уровня.

При нивелировании из середины $m_i = 0$.

5.20. Отметки на сооружение или на дно котлована передают с помощью подвесных рулеток или проволок (рис. 17).

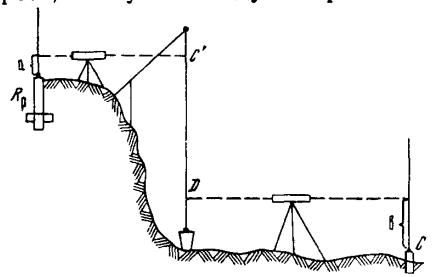


Рис. 17. Передача отметки на дно котлована с помощью проволок или рулеток

Средняя квадратическая погрешность передачи проектной отметки точки C в этом случае равна

$$m_l = \sqrt{m_0^2 + m_1^2 + m_2^2 + m_l^2 + m_ф^2}, \qquad (5.33)$$

где m_1 — средняя квадратическая погрешность передачи отметки от исходного пункта на рулетку (проволоку); m_2 —средняя квадратическая погрешность передачи отметки с рулетки на точку C; m_l — средняя квадратическая погрешность длины рулетки (проволоки) в интервале между точками C' и D.

Величины m_1 и m_2 в формуле (5.33) находят по формуле

$$m_1 = \sqrt{m_a^2 + m_{рул}^2 + m_i^2}, \qquad (5.34)$$

где m_a — средняя квадратическая погрешность отсчета по рейке; $m_{рул}$ — средняя квадратическая погрешность отсчета по рулетке.

Средняя квадратическая погрешность $m_{рул}$ равна

$$m_{рул} = \sqrt{m_y^2 + m_{отс}^2}, \qquad (5.35)$$

где величину m_y находят по формулам (5.28)—(5.30), а $m_{отс}$ по формуле (5.31).

Средняя квадратическая погрешность m_l равна

$$m_l = \sqrt{\frac{(c-d)}{l}(m_к^2 + m_{\Delta t}^2 + m_{\Delta p}^2 + m_{отв}^2)}, \qquad (5.36)$$

где l — длина рулетки (проволоки); $c—d$ — длина участка рулетки (проволоки) между точками C' и D (см. рис. 17); $m_к$ — средняя квадратическая погрешность компарирования рулетки (проволоки); $m_{\Delta t}$ — средняя квадратическая погрешность определения поправки за температуру рулетки (проволоки), вы-

числяемая по формуле (5.24); $m_{\Delta p}$ — средняя квадратическая погрешность натяжения рулетки (проволоки); $m_{отв}$ — средняя квадратическая погрешность, обусловленная несовпадением рулетки (проволоки) с отвесной линией.

Средняя квадратическая погрешность $m_{\Delta p}$ должна вычисляться по формуле

$$m_{\Delta p} = \frac{l}{E\omega} m_p, \tag{5.37}$$

где l — длина рулетки (проволоки); E — модуль упругости (для стали $E=3\times10^6$ кг/см^2); ω — площадь поперечного сечения рулетки (проволоки); m_p — средняя квадратическая погрешность определения силы натяжения проволоки).

Для вычисления средней квадратической погрешности $m_{отв}$ используется выражение

$$m_{отв} = \frac{K^2}{2l}, \tag{5.38}$$

где K — горизонтальное расстояние между нижним концом рулетки и отвесной линией, проходящей через верхний конец рулетки (проволоки).

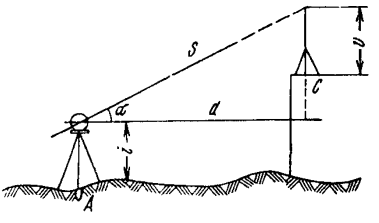


Рис. 18. Передача отметки на сооружение односторонним тригонометрическим нивелированием

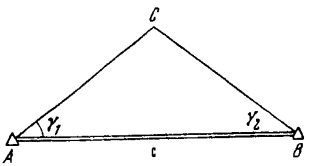


Рис. 19. Передача проектной отметки односторонним нивелированием с двух исходных пунктов

5.22. При передаче отметки односторонним тригонометрическим нивелированием (рис. 18) среднюю квадратическую погрешность передачи определяют по формуле

$$m_h = \sqrt{\operatorname{tg}^2\alpha m_d^2 + \frac{d^2}{\cos^4\alpha}\frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_\phi^2}, \tag{5.39}$$

где α — угол наклона; d — горизонтальное расстояние между исходной точкой A и точкой C; m_d — средняя квадратическая погрешность определения расстояния d; m_α — средняя квадратическая погрешность измерения угла наклона α; m_i — сред-

няя квадратическая погрешность измерения высоты прибора; m_v — средняя квадратическая погрешность определения высоты наведения.

Если измеряется наклонное расстояние S между исходной точкой A и точкой C, то формула (5.39) принимает вид

$$m_h = \sqrt{\sin^2\alpha m_S^2 + S^2\cos^2\alpha\frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_\phi^2}. \qquad (5.40)$$

5.23. При передаче проектной отметки на точку C односторонним нивелированием с двух исходных пунктов (рис. 19) среднюю квадратическую погрешность m_h следует вычислять по формуле

$$m_h = \sqrt{\left(\frac{m_c}{c}\right)^2 + \{[\operatorname{ctg}\gamma_2 - \operatorname{ctg}(\gamma_1+\gamma_2)]^2 + \operatorname{ctg}^2(\gamma_1+\gamma_2)\} + \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} + \frac{4}{\sin^2 2\alpha}\frac{m_\alpha^2}{\rho^2} + m_i^2 + m_v^2 + m_\phi^2}, \qquad (5.41)$$

где c — длина базиса; γ_1 и γ_2 — горизонтальные углы между базисом и направлениями на точку C; $\frac{m_c}{c}$ — относительная погрешность измерения длины базиса, m_γ — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов γ_1 и γ_2.

Приложение 1

Характеристика точности свободных сетей бездиагональных четырехугольников

Таблица 1

$\frac{m_S}{S}$	m_β	$n_x \times n_y$	$\frac{m_{S_{ур}}}{S}$	$\frac{m_{S_{см}}}{S}$
		$S = 100$ м		
1:50000	4	11×11	1:67000	1:25000
1:25000	8	6×6	1:36000	1:19000
1:10000	20	3×3	1:15000	1:11000
1:5000	40	2×2	1:8000	1:6000
		$S = 200$ м		
1:50000	4	6×6	1:72000	1:38000
1:25000	8	3×3	1:38000	1:30000
1:10000	20	2×2	1:15000	1:12000
		$S = 400$ м		
1:50000	4	3×3	1:76000	1:57000
1:25000	8	2×2	1:39000	1:31000

Примечание. Расчеты вытянутых прямоугольных сетей выполняются по формулам 3.17)—(3.23).

Приложение 2

Необходимая точность измерений при построении строительных геодезических сеток

Таблица 2

Каркасная полигонометрия			Средняя квадратическая погрешность измерения углов заполняющих сетей			
m_β''	$\frac{m_S}{S}$	Размер секции $n_x \times n_y$	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:5 000
1	2	3	4	5	6	7
		Вид каркаса — одиночный полигонометрический ход				
3	1:75 000	9×9	0,8″ 1,4″ 1,8″ 2,3″ 4,5″	2,1″ 3,5″ 4,5″ 6,0″ 10,1″	5,6″ 9,3″ 11,9″ 15,7″ 26,3″	11,3″ 18,7″ 23,9″ 31,6″ 52,6″
5	1:50 000	5×5	— — — — —	3,1″ 5,5″ 6,8″ 7,8″ 10,7″	9,1″ 13,3″ 18,4″ 22,0″ 29,5″	18,3″ 26,8′ 39,4″ 44,6″ 59,6″

Каркасная полигонометрия			Средняя квадратическая погрешность измерения углов заполняющих сетей			
m_β''	$\frac{m_S}{S}$	Размер секции $n_x \times n_y$	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:5 000
1	2	3	4	5	6	7
10	1:25 000	2×2	—	—	—	—
			—	—	17,6″	1′09,3″
			—	—	—	—
			—	—	41,0″	1′27,6″
			—	—	53,4″	1′52,5″
Вид каркаса — два смежных полигона						
3	1:75 000	11×11	0,6″	1,6″	4,1″	**8,3″**
			0,7″	1,8″	4,6″	**8,6″**
			1,4″	3,6″	9,4″	18,9″
			2,2″	5,3″	14,0″	28,2″
			4,3″	10,0″	25,6′	51,4″
5	1:50 000	7×7	—	2,6″	7,3″	15,0″
			—	4,5″	12,7″	25,8″
			—	5,2″	14,6″	29,7″
			—	6,3″	18,0″	36,3″
			—	9,9″	27,1″	55,0″
10	1:25 000	3×3	—	—	10,0″	22,0″
			—	—	19,0″	41,0″
			—	—	21,8″	45,0″
			—	—	29,0″	1′02,0″
			—	—	35,8″	1′15,9″
20	1:10 000	2×2	—	—	—	—
			—	—	—	1′09,0″
			—	—	—	—
			—	—	—	1′18,0″
			—	—	—	1′46,0″
Вид каркаса — четыре смежных полигона						
5	1:50 000	8×8	—	2,3″	6,4″	13,0″
			—	2,5″	7,1″	14,4″
			—	4,3″	13,0″	26,4″
			—	5,9″	16,5″	33,6″
			—	9,9″	27,3″	55,2″

Продолжение табл. 2

Каркасная полигонометрия			Средняя квадратическая погрешность измерения углов заполняющих сетей			
m_β''	$\frac{m_S}{S}$	Размер секции $n_x \times n_y$	1:50 000	1:25 000	1:10 000	1:5 000
1	2	3	4	5	6	7
10	1:25 000	4×4	—	—	9,0″	19,3″
			—	—	15,5″	33,6″
			—	—	20,2″	43,3″
			—	—	23,7″	50,6″
			—	—	30,4″	1′04,0″
20	1:10 000	2×2	—	—	—	—
			—	—	—	1′09,0″
			—	—	—	—
			—	—	—	1′18,0″
			—	—	—	1′47,0″

Примечания.

1. Последовательность средних квадратических погрешностей измерения углов на пунктах заполняющих сетей соответствует способам их построения. Первая цифра относится к способу двухфигурных геодезических засечек, вторая — ходовых засечек, третья — цепочек микротриангуляции, четвертая — четырехугольников без диагоналей и пятая — к комбинированному способу.
2. Расчеты вытянутых прямоугольных сеток выполняются по формулам, приведенным в разделе 4.

Приложение 3

Точность построения межосевых размеров одноэтажного большепролетного промышленного здания

Таблица 3

Высота колонн, м	Ширина пролетов, м		
	24,0	30,0	36,0
	Металлические конструкции		
9,6	1:5000	1:6000	1:7000
10,8	1:5000	1:6000	1:7000
12,6	1:5000	1:6000	1:7000
14,4	1:5000	1:6000	1:7000
16,2	1:5000	1:7000	1:8000
	Железобетонные конструкции		
9,6	1:4000	1:5000	1:5000
10,8	1:4000	1:5000	1:6000
12,6	1:5000	1:6000	1:7000
14,4	1:6000	1:7000	1:9000
16,2	1:7000	1:12 000	1:15 000

Приложение 4

Исходные данные для расчета точности детальных геодезических разбивочных работ

Расчетные формулы

В нижеследующих формулах приняты обозначения:

S_0 — расстояние между исходными пунктами планового геодезического обоснования,

S_i — расстояние от исходного пункта до определяемой точки,

β_i — горизонтальный угол на исходном пункте,

γ — горизонтальный угол на определяемой точке,

e — погрешность центрирования прибора,

e_i — погрешность редукции визирной цели,

$V\times$ — увеличение зрительной трубы прибора,

m_c — средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки,

$m_и$ — средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки, обусловленная погрешностями исходных данных,

m_A, m_B — средние квадратические погрешности положения пунктов A и B;

m_{S_0} — средняя квадратическая погрешность расстояния между исходными пунктами;

m_α — средняя квадратическая погрешность исходного дирекционного угла,

m_β — средняя квадратическая погрешность отложения горизонтального угла,

m_{β_i} — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла;

m_S — средняя квадратическая погрешность отложения расстояния,

$m_ц$ — средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки из за погрешности центрирования прибора;

$m_р$ — средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки из-за погрешностей редукции визирной цели,

$m_{ств}$ — средняя квадратическая погрешность построения створа между исходными пунктами,

$m_п$ — средняя квадратическая погрешность построения створа из-за погрешностей визирования,

$m_{фок}$ — средняя квадратическая погрешность построения створа из-за перефокусировки зрительной трубы прибора;

$m_ф$ — средняя квадратическая погрешность фиксации определяемой точки

Таблица 4

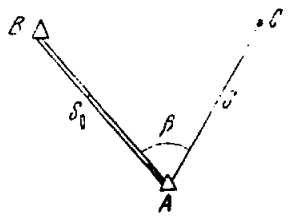
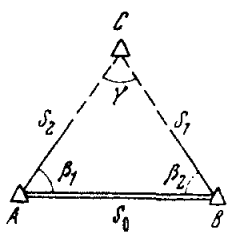
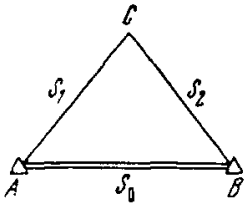
Схема выноса точки в натуру	Элементы разбивки	Расчетные формулы
1	2	3
1. Способ полярных координат		
 (рис. 20)	β и S	$m_C = \sqrt{m_и^2 + \frac{S^2}{\rho^2} m_\beta^2 + m_S^2 + m_ф^2}$, (4.1) где $m_и = \sqrt{(1{,}5 + 0{,}5к^2 - к\cos\beta) m_A^2 + 0{,}5к^2 m_\beta^2}$, (4.2) $к = \frac{S}{S_0}$.
2. Способ прямой угловой засечки (рис. 21)		
 (рис. 21)	β_1 и β_2	$m_C = \sqrt{m_и^2 + m_з^2 + m_{ц.р}^2 + 2m_ф^2}$, (4.3) где $m_и = \frac{S_0 \sin\beta_1}{\sin\gamma} \sqrt{\left(\frac{m_{S_0}}{S_0}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2}$ (4.4) или $m_и = S_1 \sqrt{\left(\frac{m_{S_0}}{S_0}\right)^2 + \left(\frac{m_\alpha}{\rho}\right)^2}$. (4.5) $m_з = \frac{m_\beta S_0}{\rho} \sqrt{\frac{\sin^2\beta_1 + \sin^2\beta^2}{\sin^4\gamma}}$ (4.6) или $m_з = \frac{m_\beta}{\rho \sin\gamma} \sqrt{S_1^2 + S_2^2}$. (4.7)

Схема выноса точки в натуру	Элементы разбивки	Расчетные формулы
1	2	3

3. Способ линейной засечки



(рис. 22)

S_1 и S_2

$$m_C = \sqrt{m_и^2 + m_S^2 \times \frac{S_1 S_2}{\sqrt{2P(P-S_1)(P-S_2)(P-S_0)}} + 2m_ф^2} \quad (4.8)$$

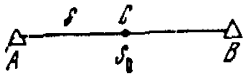
или

$$m_C = \sqrt{m_и^2 + 2m_S^2 \frac{1}{\sin^2\gamma} + 2m_ф^2}, \quad (4.9)$$

$$P = \frac{S_1 + S_2 + S_0'}{2},$$

$m_и$ необходимо вычислять по формулам (4.4) и (4.5).

4. Способ створной линейной засечки



(рис. 23)

S

$$m_C = \sqrt{m_{ств}^2 + m_S^2 + m_ф^2}, \quad (4.10)$$

где

$$m_{ств} = \sqrt{m_и^2 + m_ц^2 + m_р^2 + m_в^2 + m_{фок}^2}, \quad (4.11)$$

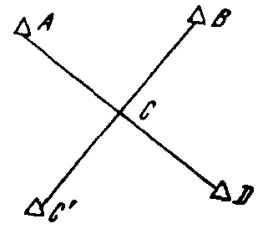
$$m_ц = \frac{e}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{S_0 - S}{S_0}\right)^2}, \quad (4.12)$$

$$m_р = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{S}{S_0}\right)^2}, \quad (4.13)$$

$$m_в = \frac{20''\sqrt{2}}{\rho''} \frac{S}{V^{\times}}. \quad (4.14)$$

Схема выноса точки в натуру	Элементы разбивки	Расчетные формулы
1	2	3

5. Способ створной засечки

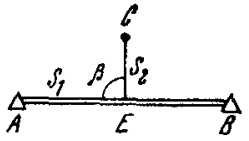


(рис. 24)

$$m_C = \sqrt{m^2_{\text{ств}AD} + m^2_{\text{ств}BC'} + 2m^2_{\text{фок}}} \qquad (4.15)$$

$m_{\text{ств}AD}$ и $m_{\text{ств}BC'}$ должны вычисляться по формуле (4.11).

6. Способ прямоугольных координат



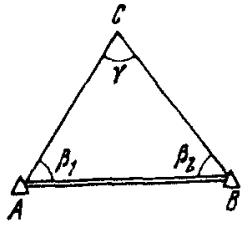
(рис. 25)

S_1 и S_2 и угол β

$$m_C = \sqrt{m^2_{\text{и}} + m^2_{S_1} + m^2_{S_2} + \frac{m^2_\beta}{\rho^2} S_2^2 + m^2_{\text{ц}} + m^2_{\text{р}} + m^2_{\text{в}} + m^2_{\text{фок}} + 2m^2_{\text{ф}}}, \qquad (4.16)$$

$m_{\text{ц}}$, $m_{\text{р}}$, $m_{\text{в}}$ следует вычислять по формулам (4.12), (4.13), (4.14).

7. Способ микротриангуляции



(рис. 26)

β_1 и β_2
γ

$$m_C = \sqrt{m^2_{\text{и}} + m^2_{\text{мт}}}, \qquad (4.17)$$

где

$$m_{\text{мт}} = \frac{S_0 m_\beta}{\rho \sin^2 \gamma} \times \sqrt{\frac{\sin^2_{\beta_1} + \sin^2_{\beta_2} + \sin^2_{\beta_3}}{3}} \qquad (4.18)$$

или

$$m_{\text{мт}} = \frac{m_\beta}{\rho \sin \gamma} \sqrt{\frac{S_0^2 + S_1^2 + S_2^2}{3}}, \qquad (4.19)$$

$m_{\text{и}}$ следует вычислять по формулам (4.4) и (4.5).

Таблица 5

Характеристика точности центрирования

№ п. п.	Тип центрира	Погрешность центрирования, мм
1	Нитяный остроконечный отвес:	
	а) в обычных условиях;	10
	б) при тщательной установке прибора;	3—5
	в) при тщательной выверке станового винта и отвеса, с установкой ветровых защит и в закрытом помещении	2—3
2	Механический (штанговый)	5—10
3	Оптический	В среднем 0,5

Таблица 6

Ширина визирных целей a

$a \leqslant 5{,}6\, e_1$

№ п.п.	Тип визирной цели	a, см
1	Деревянная веха	5
2	Металлический прут	2
3	Визирные марки	Меньше 2

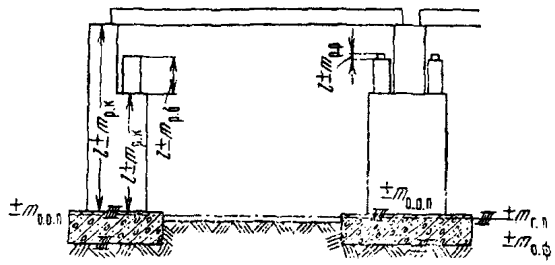
Таблица 7

Точность фиксирования проектной отметки

№ п.п.	Тип знака	$m_ф$, мм
1	Колья и гвозди	2—3
2	Маяк	1

Пример составления уравнений погрешностей по размерным цепям одноэтажного промышленного здания с подкрановыми путями

а



б

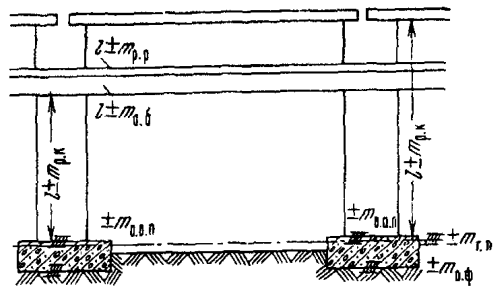


Рис. 27

а — поперечный разрез; *б* — продольный разрез

Для составления уравнений погрешностей приняты следующие обозначения:

$m_{г.п}$ — средняя квадратическая погрешность геодезической отметки относительно исходного репера;

$m_{о.о.п}$ — средняя квадратическая погрешность отклонения опорных поверхностей фундаментов от проектной отметки;

$m_{р.к}$ — средняя квадратическая погрешность размера колонн по длине;

$m_{р.б}$ — средняя квадратическая погрешность размера подкрановой балки по высоте;

$m_{р.р}$ — средняя квадратическая погрешность размера рельса по высоте;

$m_{в.к}$ — средняя квадратическая погрешность разности отметок верха смежных колонн;

$m_{г.р}$ — средняя квадратическая погрешность разности отметок головки рельсов.

Согласно схемам для размерных цепей при замыкании конструкций по верху колонн можно написать

$$m^2_{в.к} = 2m^2_{г.п} + 2m^2_{о.о.п} + 2m^2_{р.к}.$$

При замыкании конструкции на уровне подкрановых путей

$$m^2_{г.р} = 2m^2_{г.п} + 2m^2_{о.о.п} + 2m^2_{р.б} + 2m^2_{р.р}.$$

Из этих уравнений доля допуска, приходящаяся на геодезические построения, равна

$$m_{г.п} = \pm \sqrt{\frac{m^2_{в.к}}{2} - m^2_{о.о.п} - m^2_{р.к}}$$

или

$$m_{г.п} = \pm \sqrt{\frac{m^2_{г.р}}{2} - m^2_{о.о.п} - m^2_{р.к} - m^2_{р.б} - m^2_{р.р}}.$$

Полученная величина $m_{г.п}$ определяет точность исходной плановой основы, методику измерений и класс приборов.

Приложение 6

Пример расчета весов в нивелирной сети IV класса

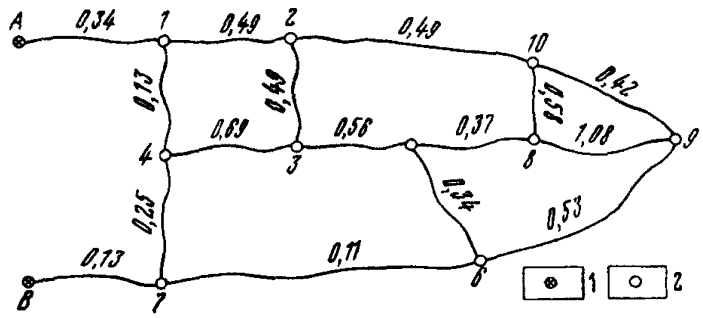


Рис. 28. Схема нивелирной сети IV класса:
1 — исходный пункт; *2* — определяемый пункт

На схеме выписаны веса отдельных ходов P_i, вычисленные по формуле

$$P_i = \frac{c}{l_i},$$

где l_i — длина хода, км; c — постоянное число, равное в данном примере 1 км.

Для расчета весов узловых пунктов используем формулу (2.7)

$$P = [P_0] + \frac{[P]_1}{1 + \dfrac{[P]_1}{[P_0 + P]_2}},$$

тогда для узловой точки *3* получим

$$P_3 = 0 + \frac{0,69 + 0,49 + 0,56}{1 + \dfrac{0,69 + 0,49 + 0,56}{0,49+0,49+0,37+0,34+0,25+0,13}} =$$

$$= \frac{1,74}{1 + \dfrac{1,74}{2,07}} = 1,11,$$

а для узловой точки *16*

$$P_{16} = \frac{1,49}{1 + \dfrac{1,49}{3,96}} = 1,08.$$

Приложение 7

Технические характеристики геодезических приборов

Таблица 8

Теодолиты

Марка	Увеличение зрительной трубы	Средняя квадратическая погрешность угла из 1 приема, с		Цена деления уровня (с на 2 мм дуги)		
		горизонтального	вертикального	на алидаде горизонтального круга	на алидаде вертикального круга	накладного
Т05	62,5; 50,37	±0,5		6—7	10	4
Т1	30; 40	±1	±2	7	12	5
ОТ-02	40; 30; 24	±1	±2	6—7	10—12	
ОТ-02М	40; 30	±1	±2	6—7	10—12	
Т2	25	±2	±3	15	15	10
Т5	27	±5	±10	30		
Т30	20	±30	±40	45		
Theo 010	31	±2	±2—3	20	20	10
Theo 020	25	±4	±5	30		

Таблица 9

Нивелиры

Марка	Увеличение	Наименьшее расстояние визирования, м	Цена деления уровня (с на 2 мм)		Цена деления барабана на плоскопараллельной пластине, мм	Средняя квадратическая погрешность 1 км хода, мм
			при трубе	установочного		
Н-2	40	2,0	10	5	0,05	±1
НС-2	40	2,0		5		±1
Н-3	30	2,0	15	5		±4
НС-3	30	2,0		5		±4
НС-4	30	2,0		10		±8
НТ	20	1,5	45	10		±15
НТС	20	1,5		10		±15
НЛС	20	2,0		10		±30
Koni-007	31,5	2,2		8	0,05	±2
Koni-025	20	1,5		8		±2÷3
Koni-050	16,18	0,8		20		±5÷10
Ni-B3	28,32	5,0		8		±2

Таблица 10

Светодальномеры и светодальномерные насадки

Марка	Дальность действия, км	Погрешность измерения расстояния, см
	Светодальномеры	
Мекометр III	3	$0,1 \div 2$
Теллурометр МА-100	3	Несколько миллиметров
ЕОК-2000	2	$1 + 1,5 \cdot 10^{-6}$ Д
МСД-1	0,3	$0,1 + 1 \cdot 10^{-6}$ Д
	Светодальномерные насадки	
ДН К-02	0,02—0,5	$2 + 2 \cdot 10^{-5}$ Д
Дистомат Д1-10Т	0,002—1,0	$1 \div 2$

Таблица 11

Оптические дальномеры

Марка	Диапазон работы		Погрешность определения расстояния на 100 м длины, см	
	по расстоянию, м	по углу наклона, град.	горизонтальная рейка	вертикальная рейка
ДН-02 (ОТД)	$40 \div 400$	± 30	± 2	± 3
ДН-04 (ДДЗ)	$20 \div 180$	± 30	± 4	± 5
ДН-06 (ДАР-100), ДНР-0,6	$10 \div 200$	± 21		± 4
ДН-10 (ДД5)	$20 \div 160$	± 30		± 10
ДВ-20 (ДВГ)	$2 \div 375$	± 20	$\frac{1}{100} \div \frac{1}{200}$	
Д1М	$2 \div 60$	± 70	$\frac{1}{100} \div \frac{1}{200}$	
Redta 002	$2,5 \div 172$		$\frac{1}{5000}$	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авиром Н. Г.* Допуски в крупнопанельном жилищном строительстве. М., Госстройиздат, 1963.

2. *Агроскин А. И.* Фигура полигона и точность неизмеренных его элементов. — Труды НИИГАиК, 1969 (70), № 23, с. 49—58.

3. *Бажанова Г. Н.* Оптимальные формы и оценка точности некоторых видов специальных геодезических сетей. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., 1975.

4. *Балашов А. И.* Универсальная программа математической обработки геодезических сетей на ЭВМ «Минск-22». — Научные труды Омского с-х. института. № 90, 1972, с. 29—36.

5. *Боков В. А., Лукин А. С., Рощупкин В. Д., Соловьев Э. А.* Обоснование необходимой и достаточной точности геодезических работ при сооружении промышленных объектов. — Научно-техн. отчет. Новосибирск, 1975.

6. *Большаков В. Д., Маркузе Ю. И., Громов Е. В.* К уравниванию, оценке точности и проектированию полигонометрических сетей. — Изв. высш. учеб. завед. Геодезия и аэрофотосъемка, М., 1972, № 14, с. 3—12.

7. *Бронштейн Г. С., Гречишкин В. У.* Разбивка строительной геодезической сетки. М., Геодезиздат, 1960.

8. *Бронштейн Г. С.* Применение способа четырехугольников без диагоналей к разбивке строительных сеток. — Труды МИИГАиК, вып. 51, 1962, с. 29—38.

9. *Бронштейн Г. С.* Применение метода геодезических засечек при построении инженерно-геодезических сетей. М., Недра, 1969.

10. *Бронштейн Г. С., Сафонов А. С.* Аппроксимация формул для оценки точности ряда трилатерации. — Геодезия и картография, 1974, № 1, с. 12—15.

11. *Брайт П. И.* Геодезические методы измерения деформаций оснований и сооружений. М., «Недра», 1965.

12. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. М., Наука, 1969.

13. *Видуев Н. Г., Баран П. И., Войтенко С. П.* и др. Геодезические разбивочные работы. М., Недра, 1973.

14. *Видуев Н. Г.* Расчет точности инженерно-геодезических работ. — Инженерная геодезия. Респ. Межвед. сб., 1970, вып. 7, с. 3—7.

15. *Видуев Н. Г.* Осевая система геодезической основы разбивочных работ. — Инженерная геодезия. Респ. межвед. сб., 1970, вып. 7, с. 7—17.

16. *Видуев Н. Г.* Теория размерных цепей и ее применение для расчета точности разбивочных работ. — Инженерная геодезия. Респ. межвед. сб., 1966, вып. 3, с. 3—7.

17. *Видуев Н. Г.* Применение метода Монте-Карло для проектирования и расчета точности геодезических построений. — Инженерная геодезия. Респ. межвед. сб., 1973, вып. 14, с. 80—86.

18. *Визгин А. А.* Теоретические и практические вопросы оценки точности геодезического обоснования инженерно-геодезических съемок. — Труды НИИЖТ, вып. 149, 1973, с. 5—10.

19. *Визгин А. А.* Расчет точности геодезического обоснования топографических съемок. — Изв. высш. учеб. завед. Геодезия и аэрофотосъемка. М., 1974, № 5, с. 17—19.

20. *Визгин А. А., Лукин А. С.* Влияние ошибок исходных данных при поэтапном построении и уравнивании геодезических сетей. — Труды НИИЖТ, вып. 178, 1976, с. 17—29.

21. *Ганьшин В. Н., Коськов Б. И., Хренов Л. С.* Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. М., Недра, 1969.

22. *Ганьшин В. Н., Ларина Г. А., Кудряков В. М.* Съемка и обследование подземных инженерных сетей на действующих промышленных предприятиях и площадках. М., Недра, 1971.

23. *Гержула В. И.* Геодезия в промышленном и жилищно-гражданском строительстве. М., Госгеолтехиздат, 1963.

24. *Гридчин А. Н.* Создание строительной сетки внутри четырехугольника с измеренными сторонами. — Труды НИИГАиК, 1972, № 26, с. 139—145.

25. *Даниленко Т. С.* Организация и производство геодезических работ при крупном строительстве. М., Недра, 1975.

26. *Зуховицкий С. И., Авдеева Л. И.* Линейное и выпуклое программирование. М., Наука, 1964, 348 с.

27. *Конусов В. Г.* Предвычисление точности полигонометрических ходов. М., Недра, 1966.

28. *Косаченко А. А.* Оценка точности геодезических ходов с учетом ошибок исходных данных. — Научные труды Омского с.-х. института, № 90, 1972, с. 100—104.

29. *Котов В. В.* Упрощенный способ оценки точности геодезических сетей при раздельном их уравновешивании. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, Львов, 1971, вып. 13, с. 41—46.

30. *Котов В. В.* Анализ приближенных способов оценки точности нивелирных сетей. — Изв. высш. учебн. завед. Геодезия и аэрофотосъемка, 1974, вып. 4, с. 43—48.

31. *Лебедев Н. Н.* Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970.

32. *Левчук Г. П., Зайцев А. К.* Итоги науки и техники. — Геодезия и аэрофотосъемка, ВИНИТИ, 1974, № 9.

33. *Линник Ю. В.* Метод наименьших квадратов и основы теории обработки наблюдений. М., Физматгиз, 1958.

34. *Лукин А. С.* О точности геодезических строительных сеток. — Геодезия и картография, 1977, № 5, с. 28—31.

35. *Лукин А. С.* Об исследовании точности геодезических строительных сеток. — Геодезия и картография, 1976, № 6, с. 33—36.

36. *Лютц А. Ф.* Разбивка крупных сооружений. М., Недра, 1969.

37. *Маркузе Ю. И.* Алгоритмы уравнивания комбинированных геодезических сетей. М., Недра, 1972.

38. *Мартин Ф.* Моделирование на вычислительных машинах. М., Советское радио, 1972.

39. *Павелко В. Л.* Приложение метода цифрового моделирования к статистической характеристике полевых контролей в связи с расчетами служебных допусков и оценкой точности результатов измерений. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, М., 1968.

40. *Путянин К. А.* Рациональные способы построения и обработки геодезических сетей четырехугольников. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. Омск, 1970.

41. *Сафонов А. С.* Программа расчета инженерно-геодезических и аналитических сетей на ЭВМ «Минск-22» (РИГАС). М., Гипротис, 1971.

42. *Сафонов А. С.* Проектирование и уравнивание геодезических строительных сеток с применением ЭВМ. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., 1973.

43. *Селиханович В. Г.* Учет ошибок исходных данных в полигонометрии. — Труды МИИГАиК, 1957, вып. 25, с. 23—42.

44. *Снитко Е. А.* О нормах допусков при проектировании элементов конструкций. — Изв. высш. учебн. завед. Геодезия и аэрофотосъемка, 1972, вып. 5, с. 3—5.

45. *СНиП* III—2—75. Геодезические работы в строительстве. М., Стройиздат, 1976.

46. *Столбов Ю. В.* О необходимой точности построения геодезической строительной сетки. — Промышленное строительство, 1974, № 3.

47. *Сундаков Я. А.* Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. М., Недра, 1972.

48. *Сытник В. С.* Основы расчета и анализа точности геодезических измерений в строительстве. М., Стройиздат, 1974.

49. *Сытник В. С.* Строительная геодезия, М., Недра, 1974.

50. *Тамутис З. П.* Проектирование и уравнивание некоторых видов инженерных геодезических построений. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. доктора техн. наук. М., 1975.

51. *Тамутис З. П.* Уравновешивание нивелирования и полигонометрии. М., Госгеолтехиздат, 1963.

52. *Татевян А. М.* Исследование о построении опорной геодезической сети. — Труды ЦНИИГАиК, М., вып. 181, 1967.

53. *Торопин Е. А.* Метод четырехугольников при определении координат точек предварительной разбивки строительной сетки. — Труды МИИГАиК, М., вып. 47, 1961, с. 51—61.

54. *Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н.* Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962.

55. *Черкозьянов А. Т.* Оценка точности ряда треугольников между исходными сторонами триангуляции высшего класса, уравненного по углам за координатные условия. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1963, вып. 6, с. 75—90.

56. *Черкозьянов А. Т.* Влияние ошибок исходных данных в угловой цепи треугольников между двумя жесткими пунктами. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1974, вып. 3, с. 55—64.

57. *Чичкан В. С.* Применение теории устойчивости к расчету точности разбивки и выверки строительных конструкций. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1973, вып. 4, с. 53—57.

58. *Энтин И. И.* Высокоточное нивелирование. Труды ЦНИИГАиК, М., вып. 111, 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общая часть 3
2. Геодезические сети 3
3. Плановые геодезические сети 6
4. Строительные геодезические сетки 11
5. Детальные геодезические разбивочные работы 27
Приложения:
1. Характеристика точности свободных сетей бездиагональных четырехугольников 39
2. Необходимая точность измерений при построении строительных сеток 39
3. Точность построения межосевых размеров одноэтажного большепролетного промышленного здания 41
4. Исходные данные для расчета точности детальных геодезических разбивочных работ 42
5. Пример составления уравнений погрешностей по размерным цепям одноэтажного промышленного здания с подкрановыми путями . . 47
6. Пример расчета весов в нивелирной сети IV класса 48
7. Технические характеристики геодезических приборов 49
Список литературы 51

gost.e-ecolog.ru