

1. Понятие о точностных характеристиках результатов полевых измерений в нивелировании.

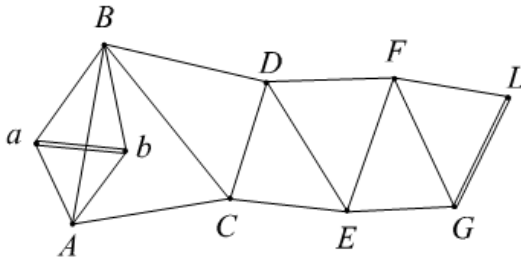
Под точностью понимается степень близости результатов измерений к истинному значению измеряемой величины. Погрешность измерений обуславливается многими факторами, из которых наиболее существенными являются: а) погрешность метода измерений; б) несовершенство средств измерений; в) влияние условий проведения измерений. Есть два вида точностных характеристик: Абсолютные – ср. кв. погрешность превышения на 1 км ($m_{км}$); ср. кв. погрешность превышения на станции ($m_{ст}$). Относительные – вес.

СКП: $m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$ (Гаусса); $m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$ (Бесселя) $v = x - \hat{x}$, v – отклонение от среднего значения; Δ – погрешность результатов измерений.

По характеру и причинам появления погрешности разделяются на: а) систематические. (инструментальные: наклон рейки; личные: оценка доли деления на глаз, установка визирной оси, нанесение децилитровых делений рейки; внешних условий); б) случайные (нанесение делений рейки, конвенция воздушных масс); Систематические погрешности – это погрешности, которые при неоднократном использовании средства измерений остаются постоянными или изменяются по известному закону.

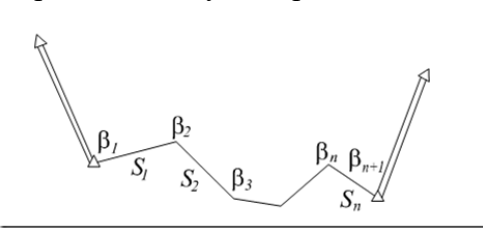
2. Общие сведения о плановых геодезических сетях. Виды и назначение плановых геодезических сетей.

Геодез. сети – совокупность пунктов на земной поверхности с известным плановым положением в избранной системе координат и высотой в принятой системе высот. ГС делятся на плановые и высотные сети. ПГС строятся с целью обеспечения земной поверхности пунктами с известными прямоугольными координатами x и y . Построение плановых ГС выполняют методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации. При развитии ГС любыми методами руководствуются следующими положениями: 1) ГС осуществляется, от сетей высокой точности к сети более низких классов точности. В соответствии с этим ГС подразделяются на государственные ГС, сети сгущения, съемочные сети. 2) Координаты всех пунктов государственной геодезической сети вычисляются в единой системе координат.



1. Триангуляция — система примыкающих друг к другу треугольников с закрепленными на местности вершинами, координаты которых определяются. В треугольнике измеряются все углы и некоторые стороны (базисы). Непосредственно измеренная сторона называется базисной (GL). Длины, азимуты (дирекционные углы) всех остальных сторон и координаты вершин треугольников на поверхности эллипсоида или на плоскости в проекции Гаусса

получают из вычислений. Углы измеряются круговыми приёмами. Сети триангуляции сейчас уже не строятся, смену им пришла система спутникового позиционирования.



2. Полигонометрия — система закрепленных на местности отрезков линий с измеренными их длинами S_i и углами β_i между отрезками. (Есть замкнутый и разомкнутый ходы). На рисунке: ломанная линия — ход полигонометрии; отрезок S_i — сторона полигонометрии; горизонтальный угол β_i между отрезками — угол поворота; закрепленные на местности точки (вершины углов) — пункты полигонометрии. Возникает задача

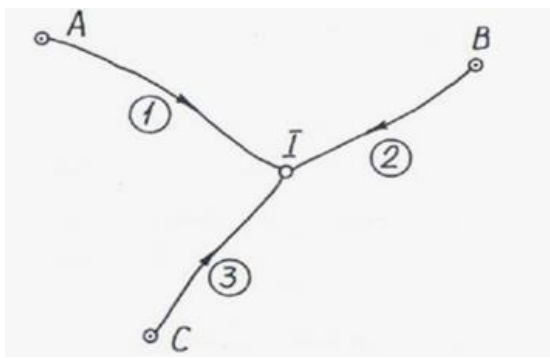
уравнивания, всегда в отдельном ходе 3 избыточных измерения. Точность измерения намного выше, чем у теодолитных ходов.

3. Трилатерация — метод определения положения геодезических пунктов путем построения на местности систем смежных треугольников, в которых измеряются длины их сторон. Исходные данные – координаты исходного пункта и исходный дирекционный угол стороны сети.

Планово-высотные построения. Тахеометрия. Дано: X, Y, H . Измерено S, β, h . Известны: a . Вычисляют: X, Y, H .

Планово-высотные построения. Спутниковое позиционирование. Назначение: координатное обеспечение территории России.

3. Вычисление отметки узлового репера в нивелирной сети с одной узловой точкой.



Дано: H_A, H_B, H_C ; $M_{HA}=M_{HB}=M_{HC}=0$ (СКП, принд. Более высокому классу, поэтому = 0). Измерено: h_1, h_2, h_3 . Известно: L_1, L_2, L_3 . Вычислить: \hat{H}_I, μ (СКП единицы веса), $m_{км}$ (СКП превышения на км хода), $M_{\hat{H}_I}$ (СКП наиболее надежного значения). Решение: выполняем контроль качества измеренных превышений. 1. Вычисляем количество избыточных измерений $r=n-k$. а. Объединяем ходы в полигоны по схеме сети: число полигонов равно количеству избыточных измерений; полигоны должны быть не зависимы друг от друга. б. Вычисляем невязки в превышениях по каждому

полигону $f_h = \sum h_{изм} - (H_{кон} - H_{нач})$. в. Вычисляем допустимые невязки: для нивелирования III кл. $доп f_h = 10 \text{ мм} \sqrt{L_{км}}$ (км в полигоне). г. Проверяем неравенства $f_h \leq доп f_h$. 2. Вычисляем приближенные отметки узлового пункта (приближения) по каждому ходу $H_1^i = H_A + h_1, H_2^i = H_B + h_2, H_3^i = H_C + h_3$. 3. Выбираем произвольно единицу веса. Пусть превышение по ходу $C_{км}$ единица веса $C = \frac{L_{max} + L_{min}}{2}$. 4. Вычисляем веса приближенных отметок $p_1 = C/L_1; p_2 = C/L_2; p_3 = C/L_3$. 5. Вычисляем наиболее надёжное значение отметки узлового пункта по формуле весового среднего $\hat{H}_I = \frac{H_1^i * p_1 + H_2^i * p_2 + H_3^i * p_3}{p_1 + p_2 + p_3}$. 6. Вычисляем поправки в измеренные превышения с контролем $v_i = \hat{H}_I - H_1^i, \sum v = -f_h; \sum p v = 0$. 7. Вычисляем исправленные превышения с контролем $\hat{h}_i = h_i + v_i, H_{исх} + \hat{h}_i = \hat{H}_I$. 8. Вычисляем СКП единицы веса $\mu = \sqrt{[pv^2]/(n-k)}$. 9. Вычисляем СКП на 1 км хода $m_{км} = \mu / \sqrt{C}$. 10. Вычисляем вес наиболее надёжного значения отметки узлового пункта $p_{\hat{H}_I} = p_1 + p_2 + p_3$. 11. Вычисляем СКП наиболее надёжного значения отметки узлового пункта $M_{\hat{H}_I} = \mu / \sqrt{p_{\hat{H}_I}}$. (p-вес; v-поправка);

4. Влияние ошибок угловых и линейных измерений на положение конечного пункта полигонометрического хода.

Угловые: $\beta_i = \beta_{ист} + \Delta_i$ (измеренный угол = истинное знач. + ошибка); $\Delta = \delta\beta + d\beta$ (ошибка = случайные + системат.); $f_\beta = \sum_{i=1}^{n+1} \beta_i - \sum \beta_{теор}$ (невязка); $\sum \beta_{теор} = \alpha_{кон} - \alpha_{нач} + 180^\circ(n+1)$; $\sum_{i=1}^{n+1} d\beta_i = d\beta_1 + d\beta_2 + \dots + d\beta_{n+1}$ (сумма случайных ошибок); $m^2_{\sum\beta} = m^2_{\beta_1} + m^2_{\beta_2} + \dots + m^2_{\beta_{n+1}}$; $m^2_{\sum\beta} = m^2_{\beta} * (n+1)$ (число углов); $доп f_\beta \leq 2 * m_{\sum\beta}$; $доп f_\beta \leq 2 m_\beta \sqrt{n+1}$ (влияние ошибок угловых измерений на положение конечного пункта выражается именно этой формулой)

Линейные: $S_i = S_{ист} + \Delta_i$; $\Delta = \delta s + d_s$; $\sum d_s = d_{s1} + d_{s2} + \dots + d_{sn}$; $m^2_{\sum S} = m^2_{s1} + m^2_{s2} + \dots + m^2_{sn}$; $m^2_{\sum S} = n * m^2_s = [m^2_s]$; $пред f_s / [S] \leq 1/T$. (1/T – предельная значение относительной линейной невязки в периметре хода).

Вывод. влияние ошибок угловых и линейных измерений на положение конечного пункта хода выражается невязками.

5. Оценка точности результатов вычислений в нивелирных сетях.

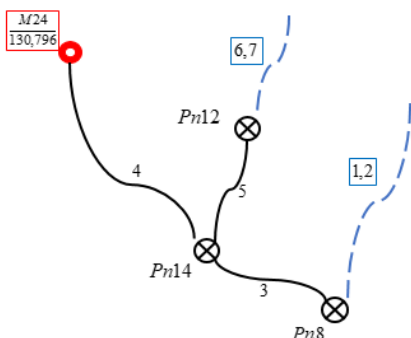
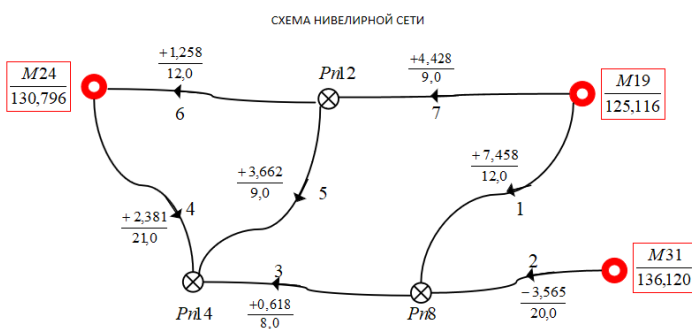
Вычисление относительной характеристики точности - веса наиболее надёжного значения отметки.

Приближённый способ: по формуле В.П. Козлова относительной

$$P_{\hat{H}_{Pn8}} = p_1 + p_2 + p_3 - \frac{p_3^2}{p_3 + p_4 + p_5};$$

$$P_{\hat{H}_{Pn12}} = p_5 + p_6 + p_7 - \frac{p_5^2}{p_3 + p_4 + p_5};$$

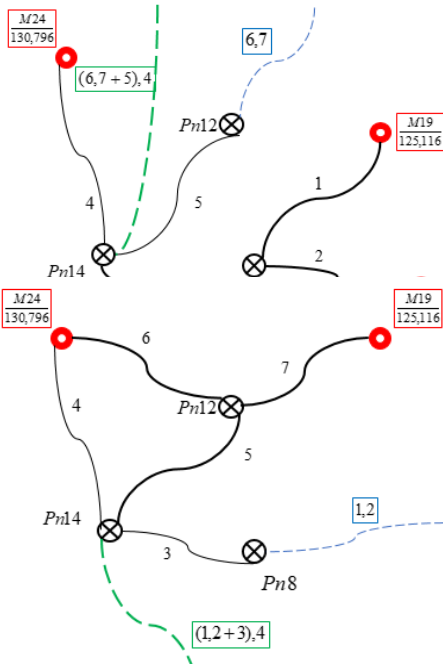
$$P_{\hat{H}_{Pn14}} = p_3 + p_4 + p_5 - \frac{p_3^2}{p_1 + p_2 + p_3} - \frac{p_5^2}{p_5 + p_6 + p_7}.$$



Способ эквивалентной замены: $p_{6,7} = p_6 + p_7; L_{6,7} = \frac{C}{p_{6,7}}$;

$$L_{6,7+5} = L_{6,7} + L_5; p_{6,7+5} = \frac{C}{L_{6,7+5}}; p_{1,2} = p_1 + p_2; L_{1,2} = \frac{C}{p_{1,2}};$$

$$L_{1,2+3} = L_{1,2} + L_3; p_{1,2+3} = \frac{C}{L_{1,2+3}}; P_{\hat{H}_{Pn14}} = p_4 + p_{6,7+5} + p_{1,2+3};$$



$$P_{(6,7+5),4} = P_{(6,7+5)} + p_4; L_{(6,7+5),4} = \frac{C}{P_{(6,7+5),4}};$$

$$P_{(6,7+5)} = \frac{C}{(L_{6,7} + L_5)}; P_{6,7} = p_6 + p_7; L_{6,7} = \frac{C}{P_{6,7}};$$

$$L_{(6,7+5),4} + L_3 = L_{(6,7+5),4+3}; P_{(6,7+5),4+3} = \frac{C}{L_{(6,7+5),4+3}};$$

$$P_{\hat{H}_{Pn8}} = P_{(6,7+5),4+3} + p_1 + p_2$$

$$P_{(1,2+3),4} = P_{(1,2+3)} + p_4; L_{(1,2+3),4} = \frac{C}{P_{(1,2+3),4}};$$

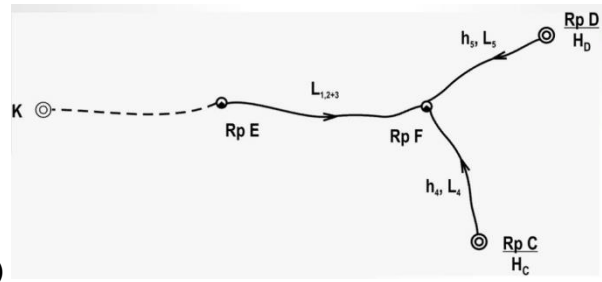
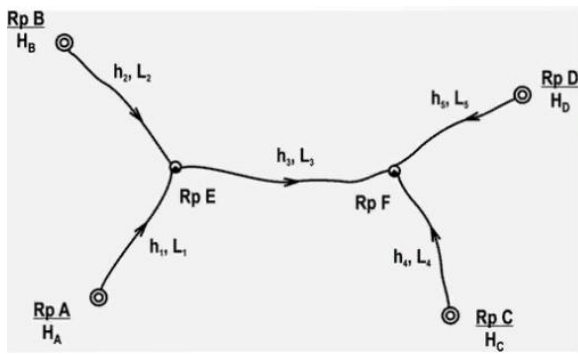
$$P_{(1,2+3)} = \frac{C}{(L_{1,2} + L_3)}; P_{1,2} = p_1 + p_2; L_{1,2} = \frac{C}{P_{1,2}};$$

$$L_{(1,2+3),4} + L_5 = L_{(1,2+3),4+5}; P_{(1,2+3),4+5} = \frac{C}{L_{(1,2+3),4+5}};$$

$$P_{\hat{H}_{Pn12}} = P_{(1,2+3),4+5} + p_6 + p_7$$

Вычисление абсолютных характеристик точности - СКП наиболее

надёжных значений отметок узловых пунктов $M_{\hat{H}_{Pn}} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{\hat{H}_{Pn}}}}$



а) б) Суть способа – исходную сеть (а) преобразовать к простейшей (к сети с одной узловой точкой (б)). Преобразование состоит в том, чтобы на камеральном этапе строить построение мнимого хода. Суть этого мнимого хода – мы ставим его вес по двум действующим ходам (1,2). Так же он называется эквивалентный ход. $p_{1,2} = p_2 + p_1; L_{1,2} = \frac{C}{p_{1,2}}; L_{1,2+3} = L_{1,2} + L_3; p_{1,2+3} = \frac{C}{L_{1,2+3}}; P_{\hat{H}_{RpF}} = p_4 + p_5 + p_{1,2+3}$. Таким образом мы сможем вычислить вес Rp F по всем ходам сети. То есть в формуле задействованы все ходы.

6. Связь СКП продольного сдвига конечного пункта хода с СКП линейных измерений. Лекция 38

Если допустить, что в длинах линий есть ошибки, а в углах нет, то присутствует продольный сдвиг конечной точки хода.

$$t = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n; m_t^2 = m_{\Delta S_1}^2 + m_{\Delta S_2}^2 + \dots + m_{\Delta S_n}^2; \Delta S = S - S_{ucm} \text{ (резул. измерений - ист. знач)};$$

$$m_{S_{ucm}} = 0; m_{\Delta S}^2 = m_S^2; m_t^2 = m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2 + \dots + m_{S_n}^2; m_t^2 = n \times m_S^2 = [m_S^2] \text{ (} m_S^2 \text{ зависит от прибора, прописана в тех. харк. в виде уравнения регрессии).}$$

7. Оценка точности результатов измерений в нивелирных сетях. Лекция 36

1. Выбираем произвольно единицу веса. $C = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2}$ 2. $\mu = \sqrt{([pv^2]) / (n - k)}$ – вычисление СКП единицы веса, где n – число всех измеренных величин, k – число определяемых величин, v – поправки в нивелирных ходах или отклонения от наиболее надежного значения высоты узлового репера, p – вес, μ – СКП единицы веса. Эта величина характеризует точность измерения лишь одного превышения принятого за единицу веса. p – вес измеренного превышения ($p = c/L$). 3. $m_{км} = \mu / \sqrt{C}$ – вычисление СКП на км хода, где c – длина хода в км. СКО на км хода определяет класс нивелирования.

8. Требования Инструкции к полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. Лекция 38

Полигонометрические сети 4 класса, 1 и 2 разрядов создаются в виде отдельных ходов или различных систем ходов. При построении полигонометрических сетей 4 класса, 1 и 2 разрядов должны соблюдаться требования, приведенные в табл. 4. Полигонометрия 4 класса для крупномасштабных

Показатели	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода (км)	15	5	3
Длина хода (км)			
- между исходной и узловых точкой	10	3	2
- между узловыми точками	7	2	1.5
Предельный периметр полигона	30	15	9
Длины линий в ходе (км)			
- наибольшая	2,0	0,8	0,35
- наименьшая	0,25	0,12	0,08
- оптимальная	0,5	0,3	0,2
Число сторон в ходе (не более)	15	15	15
Относительная ошибка хода (не более)	1:25000	1:10000	1:5000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах) не более	3"	5"	10"
Допустимая угловая невязка	$5''\sqrt{n}$	$10''\sqrt{n}$	$20''\sqrt{n}$

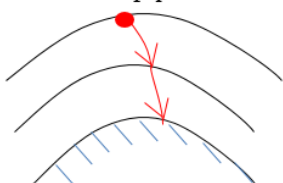
съежек выполняется с пониженной точностью.

При проложении полигонометрических ходов 1 и 2 разрядов больше указанной в табл. 4 протяженности необходимо определять дирекционные углы сторон хода с точностью 5—7" не реже чем через 15 сторон и не реже чем через 3 км. С целью обеспечения большей жесткости сети следует стремиться к сокращению многоступенчатости сети, ограничиваясь развитием полигонометрии 4 класса и 1 разряда. Измерение углов на пунктах полигонометрии производится способом измерения отдельного угла или способом круговых приемов, как правило, по трехштативной системе оптическими теодолитами Т1, Т2, Т5 и другими, им равноточными, с точностью центрирования 1 мм.

9. Влияние кривизны Земли и рефракции на результаты нивелирования. Лекция 32

Рефракция - явление преломления визирного луча, проходящего через слой воздуха различной плотности. Нижние слои воздуха, т.е. в приземном слое, имеют большую плотность, чем верхние слои. Если слой воздуха разделить на бесконечно тонкие слои одинаковой плоскости, то визирный луч, проходя через границы этих слоев, преломляется, т.е. идет по кривой, выпуклостью вверх (вогнутостью к Земле). Эта кривая называется рефракционной кривой. Следовательно, вследствие рефракции, визирный луч пройдет не прямолинейно, а по рефракционной кривой радиуса R1.

Слой атмосферы



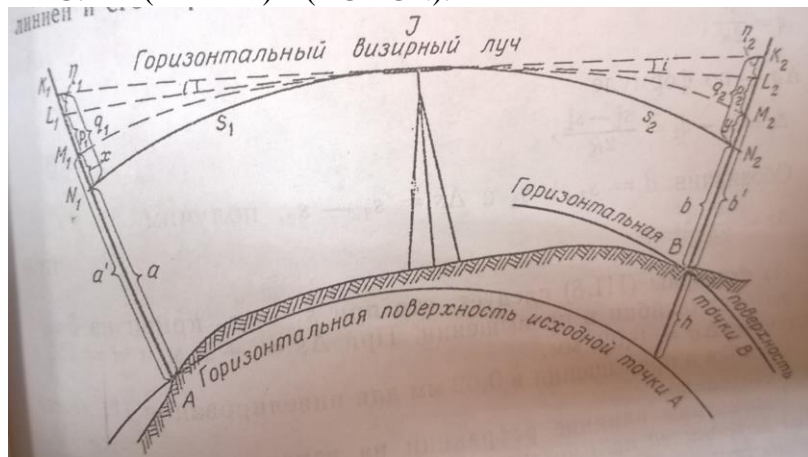
Земная поверхность

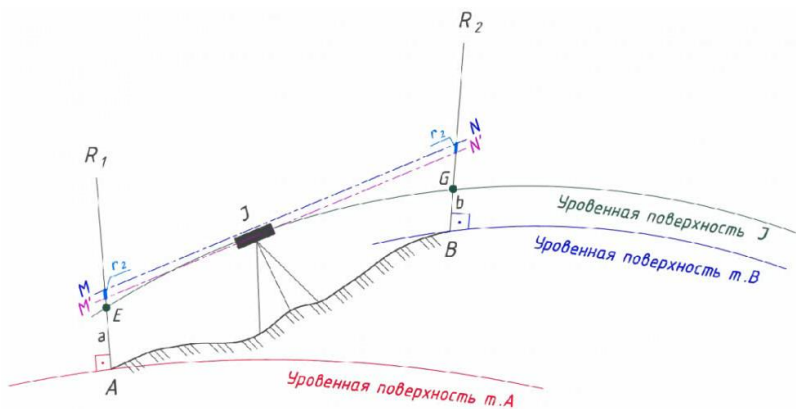
Превышение h между точками равно разности уровней поверхностей нивелира и точки В: $h = i - b'$.

Вследствие кривизны Земли отсчет b' завышен на величину k и занижен на величину r - влияние рефракции. Поэтому фактический отсчет по рейке: $b = b' + r - r$. Обозначим $f = r - r$ - совместное влияние кривизны Земли и рефракции на результат нивелирования. Рассчитывая для различных расстояний на земной поверхности, составим: $f = 0,66 \cdot S^2$; Полагая, что S - длина визирного луча. $r = 1/3 \cdot S^2/R$; $r = 1/3r$. В нивелировании 3 класса превышения определяются до

0,5м.

Влияние кривизны Земли: Пренебрегая Эллипсоидностью Земли из-за малости расстояния между рейками сечения уровенной поверхности можно считать дугами окружностей радиуса $R=6400$ км. концентрированных между собой. Т.к. превышение - это расстояние между уровенной поверхностью точек. А они имеют сферическую форму, выходит, что рейки не параллельны между собой. Это вызывает в подсчетах величину, отражающую влияние кривизны Земли на результаты нивелирования. Если бы уровенные поверхности были горизонтальными плоскостями, то отсчеты по рейкам горизонтальным визирным лучам в точках М и N дали бы возможность получения превышения. $h = AE - BG$. $h = (AE + EM) - (BG + GN)$.





10. Связь СКП поперечного сдвига конечного пункта хода с СКП угловых измерений.

Рассмотрим влияние только ошибок угловых измерений, полагая что стороны измерены без ошибок. Тогда ошибки в измерениях гориз. Углов приведут к смещению конечной точки хода.

$$\Delta u_1 = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) \times \frac{\Delta \beta_1}{\rho}; \Delta u_2 = (S_2 + \dots + S_n) \times \frac{\Delta \beta_2}{\rho}; \Delta u_n = (S_n) \times \frac{\Delta \beta_n}{\rho}; u = \Delta u_1 + \Delta u_2 + \dots + \Delta u_n;$$

$$u = (S_1 + S_2 + \dots + S_n) \times \frac{\Delta \beta_1}{\rho} + (S_2 + \dots + S_n) \times \frac{\Delta \beta_2}{\rho} + \dots + (S_n) \times \frac{\Delta \beta_n}{\rho}; \text{предположим, что } S_1 = S_2 = \dots = S_n = S;$$

$$u = S \times n \times \frac{\Delta \beta_1}{\rho} + S \times (n-1) \times \frac{\Delta \beta_2}{\rho} + \dots + S \times 1 \times \frac{\Delta \beta_n}{\rho}; m_u^2 = S^2 (n^2 + (n-1)^2 + \dots + 1^2) \times \frac{m_\beta^2}{\rho^2}.$$

В предыдущей формуле выражение в скобках представляет собой один из конечных рядов геометрической прогрессии. $n^2 + (n-1)^2 + \dots + 1^2 = \frac{n \times (n+1) \times (2n+1)}{6}$;

$$m_u^2 = S^2 \times n \times \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \times \frac{(n+1) \times (2n+1)}{6} \times \frac{n}{n} \text{ (искусственный прием, на } n \text{ и } : n \text{); обозначим } S^2 \times n^2 = L^2,$$

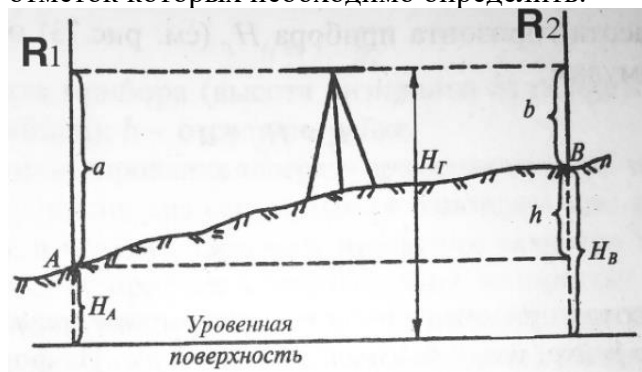
$$\text{тогда } m_u^2 = L^2 \times \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \times \frac{n+1,5+0,5n}{3} \text{ (L – замыкающая хода); } m_u^2 = L^2 \times \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \times \frac{n+1,5}{3}.$$

m-СКП; S-длина; n-кол-во приемов.

Это полученное выражение устанавливает связь между СКП поперечного сдвига с СКП угловых измерений. Эту связь можно использовать для предрасчета точности для вычисления длины и кол-ва сторон хода.

11. Сущность геометрического нивелирования.

Геометрическое нивелирование выполняется с целью определения превышения между точками посредством горизонтального визирного луча, получаемого при помощи нивелира. С помощью этого луча берут отсчеты по нивелирным рейкам, поставленным отвесно в тех точках местности, разность отметок которых необходимо определить.



Превышение между точками, удаленными друг от друга, определяют из нивелирных ходов, при проложении которых последовательно переставляют нивелир и в определенном порядке рейки. $H_B - H_A = a - b$; a – отсчет по задней рейке; b – отсчет по передней рейки, $h = a - b$ – превышение – основная формула геометрического нивелирования.

При геом. нив. расстояние от нив. до реек допускается по правилам инструкции.

12. СКП планового положения конечного пункта вытянутого полигонометрического хода, угловая невязка не распределена.

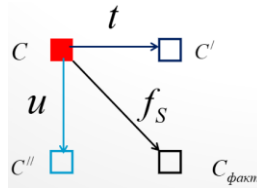
Ход вытянутый (углы не исправлены за невязку). Формулы для вычисления компонентов: $m_t^2 = [m_s^2]$;

$$m_u^2 = L^2 \frac{m^2 \beta n + 1,5}{\rho^2 \frac{3}{3}}, L^2 - \text{замыкающая хода.}$$

Обозначим: $CC_{\text{факт}} = f_s \rightarrow f_s^2 = t^2 + u^2$

$$M_c^2 = m_t^2 + m_u^2$$

$$M_c^2 = [m_s^2] + L^2 \frac{m^2 \beta n + 1,5}{\rho^2 \frac{3}{3}}$$



Эта величина называется средней квадратической ошибкой планового положения конечной точки хода полигонометрии (слабое место).

На практике углы, как правило, исправляются за угловую невязку путем ее распределения поровну на все углы. В этом случае поперечная невязка будет другая, поэтому будет другая формула для вычисления средней квадратической ошибки положения конечной точки хода полигонометрии.

13. Классификация нивелиров и реек.

Классификация Нивелиров: Все нивелиры по точности разделяются на 3 группы:

Высокоточные – для определения превышений со ср.кв. ошибкой не более 0,5 мм на 1 км. двойного хода.

H-05($m=0.5\text{мм}$) (для I II классов)

Точные- для определения превышений со ср.кв.ош. не более 3мм на 1 км двойного хода.

H-3 (для III и IV)

Технические- для определения превышений со ср.кв.ош. не более 10мм на 1 км двойного хода. H-10

В зависимости от устройства, применяемого для приведения визирной оси в гориз. полож. Нивелиры всех типов выпускаются в 2х вариантах: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона.

Классификация реек: РН05 РН3 РН10 р-рейка Н-нивелирная

0,5, 3 и 10 ср.кв.ош. на 1км двойного хода.

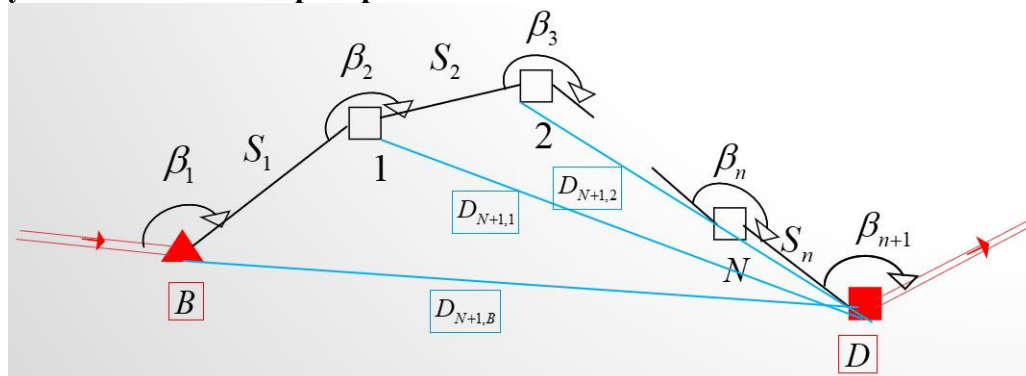
РН3 и РН10 –деревянные бруски из досок хвойных пород высшего сорта

РН05 – штриховая инварная рейка с ценой деления 5мм. Штрихи нанесены на металлической ленте, выполненной из инвара.

Классификация Нивелиров: Все нивелиры по точности разделяются на 3 группы: Высокоточные – для определения превышений со ср.кв. ошибкой не более 0,5 мм на 1 км. двойного хода. H-0.5($m=0.5\text{мм}$) (для I II классов). Точные- для определения превышений со ср.кв.ош. не более 3мм на 1 км двойного хода. H-3 (для III и IV). Технические- для определения превышений со ср.кв.ош. не более 10мм на 1 км двойного хода. H-10. В зависимости от устройства, применяемого для приведения визирной оси в гориз. полож. Нивелиры всех типов выпускаются в 2х вариантах: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона.

Классификация реек: РН05 РН3 РН10 р-рейка Н-нивелирная 0,5, 3 и 10 ср.кв.ош. на 1км двойного хода. РН3 и РН10 –деревянные бруски из досок хвойных пород высшего сорта, РН05 – штриховая инварная рейка с ценой деления 5мм. Штрихи нанесены на металлической ленте, выполненной из инвара.

14. СКП планового положения конечного пункта изогнутого полигонометрического хода, угловая невязка не распределена.



В полигон. ходе, изогнутом влияние ошибок угловых и линейных измерений, рассматривается совместно. $f_s^2 = f_{\Delta x}^2 + f_{\Delta y}^2$. Присутствие линейной невязки говорит о том, что конечная точка хода

смещена относительно истинного положения. Пусть ход проложен многократно - k раз. Тогда k раз

будет получено значение невязки $f_S \frac{[f_S^2]^k}{k} = \frac{[f_{\Delta x}^2]^k}{k} + \frac{[f_{\Delta y}^2]^k}{k}$; $M^2 = m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2$. Установим связь между

СКП приращений координат и результатами измерений (координатные условия)

$$\begin{cases} [S \cos \alpha] - (X_D - X_B) = 0 \\ [S \sin \alpha] - (Y_D - Y_B) = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} [S \cos \alpha] - (X_D - X_B) = 0 \\ [S \sin \alpha] - (Y_D - Y_B) = 0 \end{cases}$$

$$\Delta x = S \cos \alpha;$$

$$\Delta y = S \sin \alpha;$$

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_i \pm 180^\circ \text{ (для левых гориз. углов);}$$

$$S' = S + \Delta S; S = S' - \Delta S;$$

$$\beta' = \beta + \Delta \beta; \beta = \beta' - \Delta \beta;$$

$$-\Delta S = v_S \text{ (поправки);}$$

$$-\Delta \beta = v_\beta \text{ (поправки).}$$

Запишем следующие координатные условные уравнения согласно ТМОГИ:

$$[v_S \cos \alpha] - \frac{1}{\rho} [(Y_D - Y_B) \times v_\beta] = -f_{\Delta x};$$

$$[v_S \sin \alpha] + \frac{1}{\rho} [(X_D - X_B) \times v_\beta] = -f_{\Delta y};$$

$$v_S = -\Delta S = -dS; v_\beta = -\Delta \beta = -d\beta . ;$$

$$m_{\Delta y}^2 = [m_S^2 \sin^2 \alpha] + \frac{1}{\rho^2} [(X_D - X_B)^2 \times m_\beta^2];$$

$$m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 = [m_S^2 \cos^2 \alpha] + [m_S^2 \sin^2 \alpha] + \frac{1}{\rho^2} \times m_\beta^2 [(Y_D - Y_B)^2 + (X_D - X_B)^2];$$

$$M^2 = [m_S^2] + \frac{1}{\rho^2} \times m_\beta^2 [D_{N+1,i}^2].$$

Сущность невязки есть ошибка. Вывод: 1) слабым местом хода является конечная точка хода; 2) когда связь между характ. точности резул. измерений и харак. точности резул. вычислений осуществляется по формуле.

15. Основные положения построения Государственной нивелирной сети.

Государственная нивелирная сеть является основой, и на геодезические построения четырех классов. На территории России имеется единая система высот (Балтийская).

ГНС в России разделяется на нив. сети I II III IV классов. Точность полевых измерений в ГНС I класса самая высокая и характеризуется случайной СКО 0.8 мм на один километр хода. Нивелирная сеть I, II классов является главной высотной основой. Государственные сети III, IV классов служат для высотного обоснования топографических съемок и решения различных инженерных задач.

Нив. сети I класса: Выполняются с максимальной точностью и прокладываются как правило по железным, шоссейным и грунтовым дорогам с небольшим уклоном. пред.fh=3мм√L; Нив. сети II класса: пред.fh=5мм√L. Нив. сети III класса: Строится внутри полигонов нивелирных сетей I и II классов как в форме отдельных ходов, так и в виде системы ходов, образующих 6- 9 полиг. С периметром 150-200км. пред.fh=10мм√L. Нив. сети IV класса: опираются на пункты нивелирования высших ходов пред.fh=20мм√L

Различают следующие виды реперов: рядовые, фундаментальные, вековые.

Класс нивелирования	Средняя квадратическая ошибка		Допустимые невязки в полигонах и по линиям f, мм
	Случайная η, мм/км	Систематическая σ, мм/км	
I	0.8	0.08	3мм√L
II	2.0	0.20	5мм√L

III	5.0	–	10мм√L
IV	10.0**	–	20мм√L

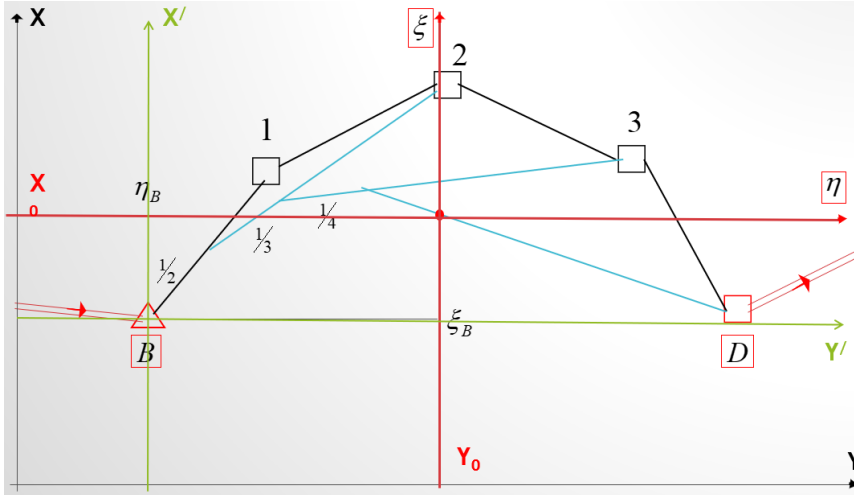
16. СКП планового положения конечного пункта изогнутого полигонометрического хода, угловая невязка распределена.

(координатные условия) $\begin{cases} [S \cos \alpha] - (X_D - X_B) = 0 \\ [S \sin \alpha] - (Y_D - Y_B) = 0 \end{cases}$

$$[v_s \cos \alpha] - \frac{1}{\rho} [(Y_D - Y_B) \times v_\beta] + f_{\Delta x} = 0; [v_s \sin \alpha] + \frac{1}{\rho} [(X_D - X_B) \times v_\beta] + f_{\Delta y} = 0.$$

Когда угловая невязка распределена слабое место изменится – перейдет на пункт, который будет ближе к центру тяжести. Пусть распределена угловая невязка поровну во все углы. $v'_\beta = \frac{-f_\beta}{n+1} \rightarrow$

$$[v_s \cos \alpha] + \frac{1}{\rho} [\eta \times v''_\beta] + f_{\Delta x} = 0; [v_s \sin \alpha] - \frac{1}{\rho} [\xi \times v''_\beta] + f_{\Delta y} = 0; v_\beta = v'_\beta + v''_\beta.$$



Центр тяжести позволяет нам перейти от исходной СК к центральной СК. Вычисление координат центра тяжести в исходной СК:

$$X_0 = \frac{\sum X'_i}{n+1}; \xi_i = X'_i - X_0; [\xi] = 0;$$

$$Y_0 = \frac{\sum Y'_i}{n+1}; \eta_i = Y'_i - Y_0; [\eta] = 0.$$

$$v''_\beta = v_\beta - v'_\beta$$

$$[v_s \cos \alpha] + \frac{1}{\rho} [\eta \times v_\beta] - \frac{1}{\rho} [\eta \times v'_\beta] + f_{\Delta x} = 0; [v_s \sin \alpha] - \frac{1}{\rho} [\xi \times v_\beta] + \frac{1}{\rho} [\xi \times v'_\beta] + f_{\Delta y} = 0;$$

$$\frac{1}{\rho} v'_\beta [\eta] = 0; \frac{1}{\rho} v'_\beta [\xi] = 0.$$

$$v_s = -\Delta S = -dS; v_\beta = -\Delta \beta = -d\beta;$$

$$f_{\Delta x} = [dS \times \cos \alpha] + \frac{1}{\rho} [d\beta \times \eta]; f_{\Delta y} = [dS \times \sin \alpha] - \frac{1}{\rho} [d\beta \times \xi];$$

$$m_{\Delta x}^2 = [m_s^2 \times \cos^2 \alpha] + \frac{1}{\rho^2} [m_\beta^2 \times \eta^2]; m_{\Delta y}^2 = [m_s^2 \times \sin^2 \alpha] + \frac{1}{\rho^2} [m_\beta^2 \times \xi^2];$$

$$m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 = [m_s^2] \times (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} ([\eta^2] + [\xi^2]).$$

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

17. Проверки нивелира НЗ.

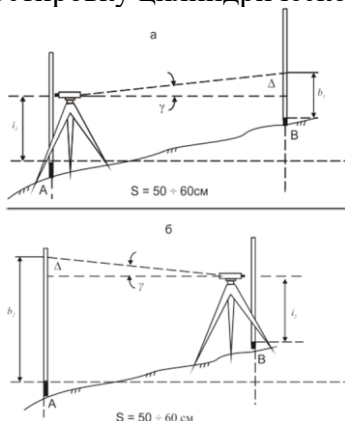
1. Проверка круглого уровня. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения прибора. Последовательность выполнения: 1) Подъемными винтами подставки выводят в центр окружности пузырек установочного круглого уровня. 2) Поворачивают зрительную трубу вокруг оси вращения

инструмента на 180°. 3) Если пузырек круглого уровня после поворота трубы остался в центре, то условие поверки выполнено, в противном случае необходимо произвести юстировку круглого уровня.

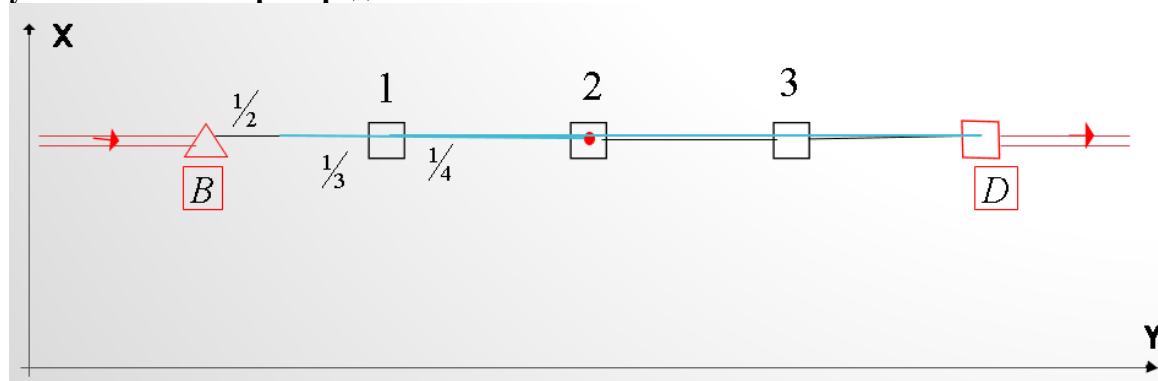
2. Поверка сетки нитей. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора. Последовательность выполнения: 1) Устанавливают и приводят в рабочее положение нивелир, и устанавливают рейку отвесно. 2) Наводят зрительную трубу нивелира на рейку так, чтобы ее изображение оказалось на краю поля зрения, закрепляют трубу и берут отсчет a_1 по рейке. 3) Наводящим винтом перемещают трубу в горизонтальной плоскости до тех пор, пока изображение рейки окажется на другом краю поля зрения, и берут по рейке еще один отсчет a_2 . 4) Если отсчеты a_1 и a_2 равны, то условие поверки выполнено, в противном случае необходимо произвести юстировку сетки нитей.

3. Поверка параллельности оси цилиндрического уровня и визирной оси. (главное условие) Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического контактного уровня.

Последовательность выполнения: 1) Закрепляют на местности кольшками две точки на расстоянии 50-75 м друг от друга (точки А и В). 2) Устанавливают над точкой А нивелир, а в точке В — нивелирную рейку (рис. 14, а) и с точностью до 1 мм измеряют высоту инструмента i_1 . 3) Элевационным винтом выводят на середину пузырек цилиндрического контактного уровня (совмещают концы долек пузырька в поле зрения трубы, и после этого берут отсчет по рейке — b_1 . 4) Меняют местами рейку и нивелир (рис. 14, б) и с точностью 1 мм измеряют высоту i_2 инструмента в точке В. 5) Вновь элевационным винтом выводят на середину пузырек цилиндрического контактного уровня и берут по рейке отсчет b_2 . 6) Вычисляют величину Δ и значение угла γ непараллельности оси цилиндрического уровня визирной оси трубы по следующим формулам: $\Delta = b_1 + b_2/2 - i_1 + i_2/2$, $\gamma = \Delta \rho''/s$, где S — расстояние между точками А и В, мм; ρ'' — переводный коэффициент, $\rho'' = 206265$. 7) Если величина угла γ не превышает $8''$, то условие поверки выполнено, в противном случае необходимо произвести юстировку цилиндрического уровня.



18. СКП планового положения конечного пункта вытянутого полигонометрического хода, угловая невязка распределена.



$$[D_{0,i}^2] = 2 \times \left\langle S^2 \left(\frac{n}{2}\right)^2 + S^2 \left(\frac{n}{2} - 1\right)^2 + S^2 \right\rangle = 2 \times S^2 \times \left\langle \left(\frac{n}{2}\right)^2 + \left(\frac{n}{2} - 1\right)^2 + 1^2 \right\rangle \left\langle \left(\frac{n}{2}\right)^2 + \left(\frac{n}{2} - 1\right)^2 + 1 \right\rangle = \frac{n(n+1)(2n+1)}{6} \cdot \frac{n}{2} - \text{т.к. центр тяжести посередине.}$$

$$[D_{0,i}^2] = S^2 \times n \times \frac{(n+2)(n+1)}{12} \leftarrow \times \frac{n}{n}$$

$$[D_{0,i}^2] = S^2 \times n^2 \times \frac{n^2 + 3n + 2}{12n} \leftarrow \div n$$

$$[D_{0,i}^2] = L^2 \times \frac{n+3}{12}$$

$$M^2 = [m_s^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}$$

19. Исследования нивелиров НЗ.

Полные исследования выполняют в условиях специальных лабораторий перед выпуском нивелира с завода или после капитального ремонта. Эти исследования выполняют по программе, предусмотренной ГОСТом.

Неполные исследования выполняются перед полевыми работами непосредственно исполнителями согласно инструкции. Эти исследования производятся с целью установления изменений в приборе в результате его эксплуатации. В этом случае выполняют:

- 1) исследование зрительной трубы, в процессе которого определяют увеличение и угол поля зрения (если отсутствует заводской паспорт прибора, в котором эти величины указываются) и качество изображения, даваемое зрительной трубой;
- 2) определение цены деления уровней;
- 3) исследование правильности хода фокусирующей линзы зрительной трубы;
- 4) определение коэффициента нитяного дальномера;
- 5) определение цены деления уровня на экзаменаторе
- 6) исследование правильности хода фокусирующей линзы зрительной трубы

20. Рекогносцировка и закрепление пунктов полигонометрии.

Для проверки на местности, уточнения, дополнения и исправления составленного по топографической карте проекта полигонометрической сети производится рекогносцировка.

Полевые рекогносцировочные работы проводятся в два этапа.

На первом этапе устанавливают, произошли ли изменения на участке с момента издания топографических карт; можно ли прокладывать полигонометрические ходы.

На втором этапе проект полигонометрии переносят в натуру, выбирая места для постановки пунктов.

Пункты полигонометрических ходов и сетей на местности закрепляются центрами и знаками.

Центры геодезических пунктов служат для точного обозначения места пункта и долговечной его сохранности. Центры изготовляют либо из бетона, либо из металлических труб, заполненных бетонным раствором и надежно защищенных от действия коррозии.

При наблюдениях горизонтальных направлений и вертикальных углов должна быть прямая видимость. Приборы и визирные цели поднимать на соответствующую высоту над поверхностью земли.

Знаки полигонометрии должны располагаться на возвышенности; должны быть устойчивыми, прочным и симметричными относительно вертикальной оси.

21. Полевые работы при производстве нивелирования III класса.

Длина визирного луча ≤ 75 м используется способ средней нити или совмещения. Неравенство плеч на станциях должно быть не более 2 м, а накопление их по секции не более 5 м. Высота визирного луча над подстилающей поверхностью не менее 0,3 м. При перерывах нивелирование следует заканчивать на постоянном знаке или на последних двух станциях – на трех, копьях зарытых в дно ям глубиной 0,3 м. После перерыва вновь измеряют превышение на последней станции (допуск на изменения 3 мм, если в допуске берут среднее значение и продолжают, иначе измеряют превышение на предпоследней станции, если и в предпоследней $\Delta h > 3$ мм, то нивелируют секцию заново от постоянного знака) Нивелировать в ясные солнечные летние дни из-за сильного влияния рефракции не следует в течение 1-1,5 ч после восхода и перед заходом солнца.

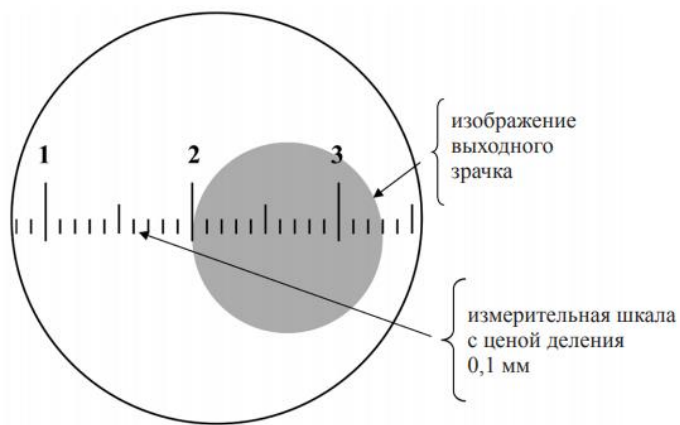
Порядок работы на станции: 1) нивелир привести в рабочее положение. 2) отсчет по средним и дальномерным нитям по черной стороне задней рейки. 3) отсчёт по черной стороне передней рейки 4) отсчет по красной стороне передней рейки 5) отсчет по красной стороне по задней рейке. Для III Кл 1) $hч - (hк + \text{пятка рейки } dn) \leq 3$ мм 2) среднее из отсчетов по дальномерным нитям не должно отличаться от отсчетов по ср. нити той же рейки более чем на 3 мм.

22. Исследования теодолита 3Т2КП.

1. Определение увеличения зрительной трубы с помощью динаметра и линейки с миллиметровыми делениями.

Измеряем внутренний диаметр оправы объектива при помощи линейки с миллиметровыми делениями. Диаметр выходного зрачка измеряем при помощи динаметра.

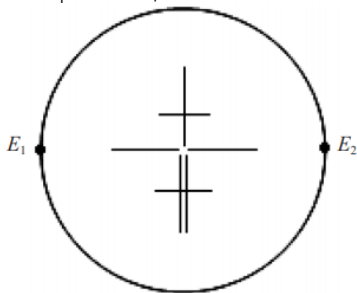
Динаметром измеряем диаметр окуляра и линейкой объектива. По формуле Увеличение $G_x = D/d$



2. Определение угла поля зрения трубы по

горизонтальному кругу.

Наводим левый край поля зрения трубы на выбранную точку, производим первый отсчёт по горизонтальному кругу E1; затем наводим правый край поля зрения трубы на ту же точку и производим второй отсчёт по горизонтальному кругу E2. Угол поля зрения 2ω вычисляем по формуле: $2\omega = |E1 - E2|$.



3. Определение рена оптического микрометра горизонтального круга.

Рен оптического микрометра — это разность между номинальной ценой полуделения круга и величиной этого полуделения, измеренной оптическим микрометром.

$r = (\lambda/2) - (n\mu)$, где λ — цена деления круга; n — число делений шкалы оптического микрометра (при измерении полуделения верхнего или нижнего изображений); μ — цена деления шкалы оптического микрометра.

При исследованиях теодолита ЗТ2КП определяем: 1. рен верхнего изображения горизонтального круга r_v (в поле зрения отсчетного микроскопа); 2. рен нижнего изображения горизонтального круга r_n (в поле зрения отсчетного микроскопа); 3. средний рен $r = (r_v + r_n)/2$; 4. разность ренов $\Delta r = r_v - r_n$.

Методика определения рена оптического микрометра включает прямой и обратный ходы, в которых выполняем измерения полуделений круга верхнего и нижнего изображений на различных частях круга, переставляя его через $45^\circ 20'$.

Значения $|r|$ и $|\Delta r|$ не должны превышать $1,5''$. Если $|r|$ и $|\Delta r|$ превышают указанный допуск, то в отсчеты по шкале оптического микрометра вводим поправку за средний рен.

23. Нивелирные рейки. Исследования и поверки.

Для нивелирования III и VI классов применяются рейки РНЗ двухсторонние — на одной стороне чередуются черные и белые сантиметровые деления, а на другой красные и белые. Поверка: Ось круглого уровня должна быть параллельна оси рейки.

Исследования: **1.** Определение случайной оси дециметровых делений. На горизонтально положенную рейку укладывают контрольную линейку, так что бы нуль линейки совмещался с первым штрихом рейки, и производят отсчеты по линейке, соответствующих положению дециметровых штрихов в пределах первого метра рейки. Затем контрольную линейку немного сдвигают и повторяют отсчеты.

Такие определ. Производятся на каждом метре рейке. Колебания значений разностей отсчетов в пределах каждого метра не должны допускаться более чем на $0,10$ мм. **2.** Определение средней длины 1 м На рейку укладывают контрольную линейку и определяют длины интервалов между делениями 1-10, 10-20 и 20-29 дм каждый интервал измеряют дважды, сдвигая немного контрольную линейку между первой и второй парой отсчетов. Это же продельвается и в обратном направлении.

Расхождения между разностями отсчетов по левому и правому концам линейки не должны превышать $0,10$ мм. На расстоянии около 20 м от нивелира прочно забивают в землю 4 кола различной длины и в торцы их вбивают гвозди с полусферической шляпкой. **3.** Определение разности высот нулей рейки. Последовательно на каждый кол ставят первую рейку и делают отсчеты по красной и чёрной сторонам. Затем такие же отсчеты делают по второй рейке. После изменения высоты нивелира на 5 - 7 см выполняют второй такой же приём.

24. Вывод формулы средней квадратической ошибки взгляда по рейке для нивелирования III класса

$m_{дел} = 0,25 \text{ мм}$; $m_{учт} = 0,22 \text{ мм}$; $m_{разр.сн.} = 0,73 \text{ мм}$ (разрешающая способность); $m_{отс} = 0,79 \text{ мм}$.

$m_{взгл}^2 = m_{дел}^2 + m_{учт}^2 + m_{разр.сн.}^2 + m_{отс}^2 = 0,25^2 + 0,22^2 + 0,73^2 + 0,79^2 = 1,27 \text{ мм}^2$. $m_{взгл} = 1,1 \text{ мм}$ (верно, для нивелирования 3 класса, для 4 – 1,9 мм).

25. Понятие о точностных характеристиках результатов вычислений в нивелировании.

Оценка точности рез вычисления заключается в отыскании относительных и абсолютных характеристик точности вычисления наиболее надежных значений отметок узловых реперов.

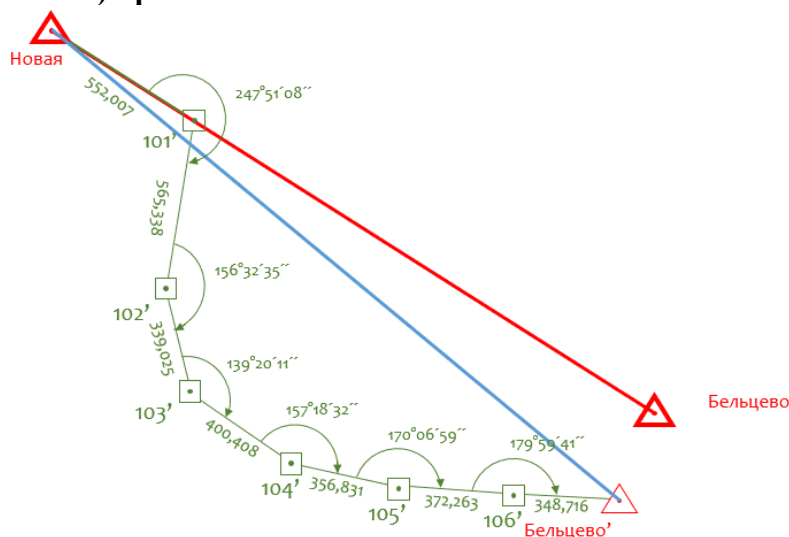
$P_H = \sum P_{H_i}$ P_H – веса приближенных значений отметок.

$M_H = \frac{M}{\sqrt{P_H}}$ – скп наиболее надежного значения отметки узловой точки.

$$P_{H_E} = P_{H_E'} + P_{H_E''}; P_{H_E} = \frac{1}{L_{AE}} + \frac{1}{L_{EC}} = \frac{L_{EC} + L_{AE}}{L_{AE} \times L_{EC}} = \frac{L}{L_{AE} \times L_{EC}}; P_{H_E} = \frac{[L]_i^n}{[L]_i^k + [L]_{k+1}^n};$$

$$M_H^2 = \frac{\mu^2}{P_H}; M_H = \frac{m_{км}}{\sqrt{P_H}}.$$

26. Вычисление рабочих координат пунктов полигонометрического хода, безугловая (координатная) привязка.



Алгоритм решения

1. Задать произвольно значение дирекционного угла первой стороны хода – условный дирекционный угол.

2. Вычислить значение дирекционных углов условных для всех сторон хода.

3. Решить ПГЗ в отношении всех определяемых пунктов хода и исходного конечного. ($\Delta x = S \cdot \cos \alpha$; $\Delta y = S \cdot \sin \alpha$)

4. Решить ОГЗ в отношении:

-исходных пунктов

-исходного начального пункта и условного положения конечного пункта хода.

Итог: значения дирекционных углов для двух замыкающих хода.

5. Вычислить разность дирекционных углов – поправку в значения дирекционных углов сторон хода.

6. Вычислить действительные значения дирекционных углов сторон хода путем введения поправки.

7. Решить ПГЗ, включая вычисление относительной линейной невязки в периметре хода. (пред. $f_s / [S] = 1/T$)

27. Вывод формулы средней квадратической ошибки в измерении превышения на 1 км нивелирного хода III класса

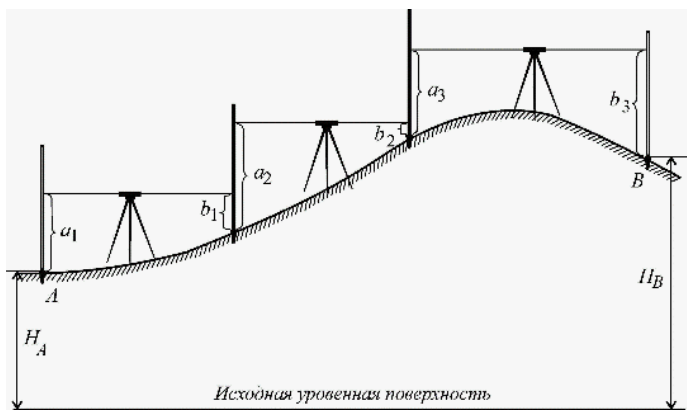
$m_{км}$ – это основная точностная характеристика, она всегда указывает на класс нивелирования.

в 1 км хода будет 6-7 станций III кл.

$$m_{h_{1км}}^2 = m_{h_1}^2 + m_{h_2}^2 + \dots + m_{h_n}^2; m_{h_1} = m_{h_2} = \dots = m_{h_n};$$

$$m_{h_{1км}}^2 = n \times m_{ст}^2; m_{h_{1км}} = m_{ст} \times \sqrt{n}; m_{ст} = m_{взгл};$$

$$m_{h_{1км}} = m_{взгл} \times \sqrt{n}; m_{h_{1км}} = 1,1 \text{ мм} \times \sqrt{7} = 2,9 \text{ мм}; m_{h_{1км}} = m_{км} \cdot m_{км} = 5 \text{ мм}$$

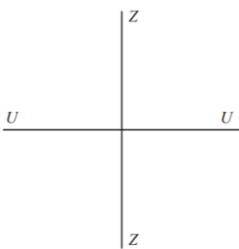


28. Поверки теодолита 3Т2КП

1) Поверка оси цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга

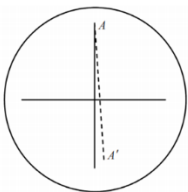
Условие: ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита

$UU \perp ZZ$. Выполнение: поворотом алидады горизонтального круга устанавливаем цилиндрический уровень по направлению двух подъёмных винтов и с помощью этих винтов приводим пузырёк в нуль-пункт (прибор должен быть отгоризонтирован). Поворачиваем алидаду на 180° . Если пузырёк остался в нуль-пункте (или сместился не более чем на одно деление), то условие выполнено.



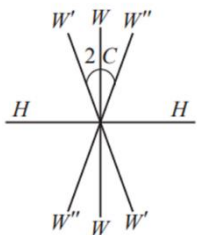
2) Поверка положения нитей сетки

Условие: вертикальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы, а горизонтальная нить сетки — ей параллельна. Выполнение: наводим вертикальную нить на точку и медленно поднимаем или опускаем трубу (прибор должен быть отгоризонтирован). Если изображение точки не сходит с вертикальной нити (или сходит не более чем на две толщины нити), то условие выполнено.



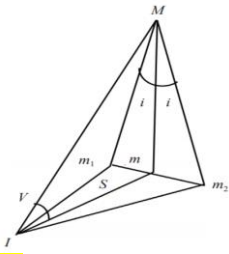
3) Поверка положения визирной оси (определение $2C$)

Условие: визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы $WW \perp HH$. Выполнение: приводим теодолит в рабочее положение. Выбираем удалённую точку, близкую к горизонту. Визируем на цель при I и II, производим отсчёты по горизонтальному кругу. Вычисляем двойную коллимационную погрешность. $2C = II - I \pm 180^\circ$. Коллимационная ошибка - это угол, на который визирная ось зрительной трубы отклонится от перпендикуляра к оси вращения зрительной трубы. Должны выполняться условия: 1) $|\Delta 2C| \leq 8''$ (условие постоянства.) 2) $|2C_{\text{ср}}| \leq 20''$ (условие перпендикулярности визирной оси трубы и оси вращения трубы)



4) Поверка положения оси вращения зрительной трубы

Условие: ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения теодолита ($HH \perp ZZ$). Выполнение: горизонтируем теодолит. Выбираем высокорасположенную точку (например, на стене здания) и проецируем её на горизонт инструмента при двух положениях. Далее вычисляем угол наклона оси вращения зрительной трубы по формуле: $i = \frac{m_1 m_2}{2S} \rho'' \text{ctg} v$ (Допуск $\leq 10''$)



5) Проверка вертикального круга (определение места зенита)

Условие: место зенита вертикального круга должно быть постоянным и равным нулю.

Выполнение: горизонтируем теодолит. При Л визируем на цель. Производим отсчет по вертикальному кругу. Переводим трубу через зенит, вращаем алидаду на 180°. Визируем на ту же цель, производим отсчет при П (вышеописанные действия представляют собой полный прием, необходимо выполнить два приема).

Допуски: 1) $\Delta Mz \leq 8''$ - условие постоянства Mz . 2) $360^\circ - Mz_{cp} \leq 10'' - Mz$ близко к нулю.

6) Проверка оптического центра теодолита

Условие: визирная ось оптического центра $W1W1$ должна совпадать с осью вращения теодолита ZZ .

Выполнение: горизонтируем теодолит. Под теодолитом располагаем лист бумаги. Устанавливаем центрир по глазу и по предмету. Отмечаем проекцию центра окружностей на бумаге под теодолитом. Далее поворачиваем алидаду горизонтального круга на 180°. При этом изображение точки не должно уходить из центра окружностей (допуск — 1 мм).



29. Вывод формулы средней квадратической ошибки превышения на станции нивелирования III класса

Рассматривается способ нивелирования из середины

$h_{ст} = \frac{h_ч + h_{кр}}{2}$. Рассмотрим эту формулу как функцию общего вида.

$$m_{h_{ст}}^2 = (1/2)^2 * m_{h_ч}^2 + (1/2)^2 * m_{h_{кр}}^2 = \frac{1}{2} m_{h_i}^2$$

$h_i = a - b$ (взгляд назад без взгляда вперед)

$$m_{h_i}^2 = m_a^2 + m_b^2$$

$$m_a = m_b = m_{взгл}$$

$$m_{h_i}^2 = 2m_{взгл}^2$$

$$h_{ст} = m_{ст} = m_{взгл} = 1,1 \text{ мм (верно, для нивелирования 3 класса)}$$

30. Способ круговых приёмов в измерении горизонтальных углов

Способ круговых приёмов применяется в том случае, когда число наблюдаемых направлений на пункте три и более.

Методика измерений: горизонтируем и центрируем теодолит и визирные марки (точность центрирования — 1 мм). В полигонометрии 4 класса измерения углов выполняются шестью приемами с перестановкой лимба между приемами на угол $\delta = \frac{180^\circ}{n} + 10'$, где n — число приемов. Перестановка лимба выполняется для уменьшения влияния систематических погрешностей делений лимба.

Первый прием. Первый полуприем (Л) 1. а) при круге лева визируем на первое (начальное) направление (в качестве исходного направления выбираем наиболее надежное направление с хорошими условиями наблюдения). Устанавливаем отсчет по горизонтальному кругу б) Проверяем наведение зрительной трубы на цель, если нужно уточняем наведение и далее производим отсчет по горизонтальному кругу при двух совмещениях. Расхождения отсчетов при двух совмещениях не должны превышать 2".

Вычисляем средний отсчет. **2** Визируем на вторую цель (по часовой стрелке), производим отсчет по горизонтальному кругу при двух совмещениях. **3.** Визируем на третью цель (по часовой стрелке), производим отсчет по горизонтальному кругу при двух совмещениях. **4.** повторно визируем на начальное направление и производим отсчеты по горизонтальному кругу при двух совмещениях. Вычисляем незамыкание горизонта (лимба) при круге лева $|\Delta| \leq 8''$.

Второй полуприем (П) 5. Переводим зрительную трубу через зенит, и, вращая алидаду горизонтального круга против хода часовой стрелки, визируем при круге права на первую цель,

производим отсчет при двух совмещениях. **6.** Вращаем алидаду против хода часовой стрелки. Выполняем наблюдения на третью цель, на вторую цель и повторно визируем на начальное направление. Вычисляем незамыкание горизонта при круге права. В процессе наблюдений вычисляем значения двойной коллимационной погрешности (допуск 8"). Далее вычисляются средние направления по формуле $\frac{(I+II)}{2}$. Вычисляем незамыкание горизонта с использованием средних направлений $\Delta_{\text{ср}}$. Контроль: $\Delta_{\text{ксп}} = \frac{\Delta_{\text{л}} + \Delta_{\text{п}}}{2}$. Расхождение между $\Delta_{\text{ср}}$ и $\Delta_{\text{ксп}}$ не должно превышать 0,1"–0,2". Среднее незамыкание распределяется с обратным знаком на все направления пропорционально их номерам. Далее выполняем остальные приемы на соответствующих установках горизонтального круга. После необходимо сравнить соответствующие приведенные направления всех шести приемов. Расхождения соответствующих приведенных направлений не должны превышать 8".

31. Одиночный нивелирный ход III класса. Полевые работы и оценка их качества

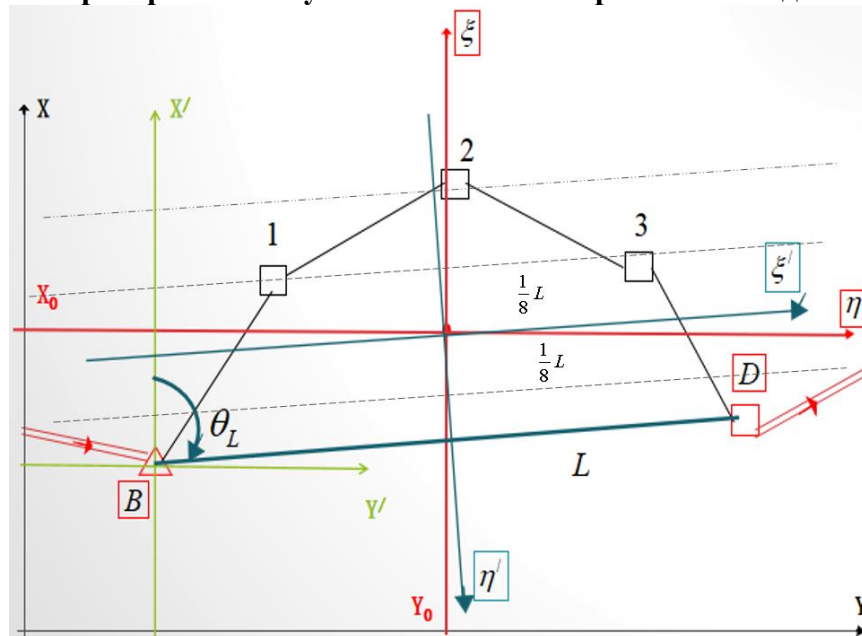
Нивелирование III класса производят в прямом и обратном направлениях «способом средней нити» или «способом совмещения». Нормальная длина луча визирования - 75 м. неравенство расстояний на станции допускают не более 2 м, а их накопление по секции - не более 5 м. Высота луча визирования над подстилающей поверхностью должна быть не менее 0,3 м. В журнале нивелирования зарисовывают постановку рейки на каждом репере, записывают тип, номер репера и высоту места постановки относительно поверхности земли. Порядок наблюдений на станции, следующий: - отсчет по черной стороне задней рейки; - отсчет по черной стороне передней рейки; - отсчет по красной стороне передней рейки; - отсчет по красной стороне задней рейки. Выявление грубых ошибок выполняется в итоге оценки качества выполняемых работ.

Решаем исходя из величины d (контроль измерений превышений по секции, так называется разность двойных измерений): $\text{пред. } d = 10 \text{ мм} \cdot \sqrt{L_{\text{км}}}$; $d_i = h_{\text{нр}} + h_{\text{обр}}$; $h_{\text{нр}} = h_{\text{исп}} + \Delta_{\text{нр}}$; $h_{\text{обр}} = h_{\text{исп}} + \Delta_{\text{обр}}$;

$d_i = h_{\text{исп}} + \Delta_{\text{нр}} - h_{\text{исп}} - \Delta_{\text{обр}} = \Delta_{\text{нр}} - \Delta_{\text{обр}}$. Теперь сделаем вывод: разность превышений d по ходу прямо и обратно. То есть функция от истинных ошибок, то, следовательно, СКП этой разности может быть

найдено по формуле Гаусса. $m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2/L]}{n}}$.

32. Критерии вытянутости полигонометрического хода.



$\alpha'_i = \alpha_i - \theta_L$ (α'_i - дирекционный угол сторон хода, в развернутой СК)

$$m_t^2 = [\cos^2 \alpha' \times m_s^2] + [\eta'^2]$$

$$m_u^2 = [\sin^2 \alpha' \times m_s^2] + [\xi'^2]$$

Эти равенства являются исходными для вывода 3 критериев вытянутости хода:

- 1) $\text{пред. } \eta'_0 \leq \frac{1}{8} L$, где $\eta'_0 = \frac{[\eta']}{n+1}$. На практике, на расстояние $1/8$ от длины замыкающей строим линию, параллельную ей. Если хоть один пункт выходит за обе эти две, то условие не выполняется.
- 2) $\text{пред. } \alpha'_0 \leq 24^\circ$ Проверяется измерением углов между стороной хода и замыкающей.
- 3) $\frac{[S]}{L} \leq 1,3$ Выполняется чисто арифметически.

Ход вытянутый если все три критерия выполняются.

33. Вывод формулы предельной невязки в нивелирном ходе 3 класса.

1 вариант вывод через $m_{км}$ – основанная точнастая характеристика.

Если рассматривать нивелирный ход произвольной длины (то есть складывается из нескольких км.):

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{h \text{ км}}^2 + m_{h \text{ км}}^2 \dots m_{h \text{ км}}^2$$

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{h \text{ км}}^2 \cdot L_{км} \text{ (количество км в ходе)}$$

$$m_{h \text{ ход}} = m_{h \text{ км}} \cdot \sqrt{L_{км}}$$

$$\text{доп. } f_h \leq 2 : 3 m_{h \text{ ход}}$$

То есть доп. f_h не должна превышать удвоенного или утроенного значения $m_{h \text{ ход}}$. Как понять 2 или 3? Максимально возможное это 3. Если хотим интервал сделать жестче, меньше берем 2.

$$\text{Следовательно: доп. } f_h = 3 \cdot m_{h \text{ км}} \cdot \sqrt{L_{км}}$$

$$\text{По инструкции: доп. } f_h = 10\text{мм} \cdot \sqrt{L_{км}}$$

2 вариант через ошибку превышения на станции.

$$m_{ст} = m_{взгл}$$

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{взгл}^2 + m_{взгл}^2 \dots m_{взгл}^2$$

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{взгл}^2 \cdot n \text{ (количество станций)}$$

$$m_{h \text{ ход}} = m_{взгл} \cdot \sqrt{n}$$

$$\text{доп. } f_h \leq 2 : 3 m_{h \text{ ход}}$$

$$\text{доп. } f_h = 3 \cdot m_{взгл} \cdot \sqrt{n}$$

Почему иногда требуется другой вывод этой формулы? Когда нивелируются крутые склоны (длина нивелирной линии будет очень маленькой (км), но количество станций сделаем больше. Происходит это из-за того, что визирный луч может быть только горизонтально.)

34. Источники ошибок угловых измерений в полигонометрическом ходе.

Ошибка редукции ($m_{ред}$) Установка визирной цели

Ошибка центрирования ($m_{ц}$) Установка прибора

Ошибка инструментальная ($m_{инстр}$) Несовершенство прибора

Ошибка собственно измерений ($m_{с.и}$) Квалификация исполнителя

Ошибка внешних условий ($m_{в.у.}$) Рефракция и конвекция воздушных масс*

Ошибка исходных данных ($m_{исх.д}$) Координаты исходных пунктов

*Рефракция - изгибание траектории световых лучей при прохождении ими слоев атмосферы различной плотности.

1. Ошибка редукции ($m_{ред}$). Характеризуется линейным элементом редукции ($e_1 - \text{const}$) и угловым

элементом редукции ($\theta - \text{var}$). $m_{ред}^2 = \frac{e_1^2}{S^2} \rho^2$. Не зависит от величины измеряемого угла.

2. Ошибка центрирования ($m_{ц}$). Одна из операций приведения прибора в рабочее положение.

Визирная ось центра должна совпадать с осью вращения прибора. $m_{ц}^2 = \frac{e^2 \rho^2}{S^2} (1 - \cos \beta)$. Средства

контроля центрирования: на глаз, нитяной отвес (1см), оптический центрир (1 мм), лазерный центрир (1,5 мм на высоту 1,5 м). Зависти от измеряемого угла.

3. Ошибка инструментальная ($m_{инстр}$). Возникает из-за невыполнения главного условия – визирная ось зрит. трубы должна быть перпендикулярна оси вращения зрит. трубы. Состоят из: коллимационная ошибка, ошибки вызванной наклоном оси вращения зрит. трубы, ошибка, вызванная эксцентриситетом лимба и алидады, ошибка вызванная реном оптического микрометра.

Инструментальные ошибки носят систематический характер.

4. Ошибка собственно измерений ($m_{с.и}$). Состоит из: ошибка визирования, ошибка отсчитывания.

$m_{с.и.}^2 = \frac{1}{n'} \left(m_{виз}^2 + \frac{m_{омсч}^2}{2} \right)$. 5. Ошибка внешних условий ($m_{в.у.}$). Состоит из: влияния рефракции, влияния

конвекции, неравномерного освещенности, влияние температуры.

$$m_{ред}^2 + m_{ц}^2 + m_{инстр}^2 + m_{с.и.}^2 + m_{в.у.}^2 + m_{исх.д.}^2 = m_{\beta}^2; \text{ } 6m_i^2 = m_{\beta}^2; m_i = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{6}}.$$

35. Одиночный нивелирный ход III класса. Оценка точности результатов измерений и вычислений.

Оценить точность значит найти такие величины которые наглядно демонстрировали бы нам степень близости найденного значения к истинному. Такими характеристиками являются (для результатов измерений) средн квадратич ошибки веса.

За ед веса примем $h_{км} \cdot m_{км} = \mu$.

Первым критерием качества является разность d .

$$d = h_{ист} + \Delta_{пр} - h_{ист} - \Delta_{обр}$$

$$d = \Delta_{пр} - \Delta_{обр}$$

d – функция истинной ошибки.

Значит разность d можно рассматривать как ист ошибку и точность оценить по формуле гаусса.

$$m_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}$$
 где n - кол-во секций хода.

ОДИНОЧНЫЙ НИВЕЛИРНЫЙ ХОД III КЛАССА

Дано: H_A, H_B
 h_{AE}, h_{EC}
 L_{AE}, L_{EC}
 Вычислить: H_E



$$\mu$$

$$M_{H_E}$$

уравнивание одиночного нивелирного хода

$$H'_E = H_A + h_{AE}$$

$$P_{H'_E} = \frac{C}{L_{AE}}$$

$$H''_E = H_C - h_{EC}$$

$$P_{H''_E} = \frac{C}{L_{EC}}$$

$$H_E = \frac{H'_E \times P_{H'_E} + H''_E \times P_{H''_E}}{P_{H'_E} + P_{H''_E}}$$

уравнивание одиночного нивелирного хода
 оценка точности измерений

$$\text{пред } d = 10 \text{ мм } \sqrt{L_{\text{км}}}$$

$$d_i = h_{\text{пр}} + h_{\text{обр}}$$

$$h_{\text{пр}} = h_{\text{ист}} + \Delta_{\text{пр}}$$

$$h_{\text{обр}} = h_{\text{ист}} + \Delta_{\text{обр}}$$

$$d_i = h_{\text{ист}} + \Delta_{\text{пр}} - h_{\text{ист}} - \Delta_{\text{обр}} = \Delta_{\text{пр}} - \Delta_{\text{обр}}$$

$$m_d = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$$

$$m_d^2 = m_{h_{\text{пр}}}^2 + m_{h_{\text{обр}}}^2 = 2 m_{h_i}^2; m_{h_i}^2 = \frac{m_d^2}{2}$$

$$h_i = \frac{h_{\text{ч}} + h_{\text{сп}}}{2}; m_{h_i}^2 = \frac{1}{2} m_h^2; m_{h_{\text{сп}}}^2 = \frac{m_d^2}{4}; m_{h_{\text{сп}}} = \frac{m_d}{2}$$

$$m_{h_{\text{сп}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}; m_{h_{\text{сп}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[pd^2]}{n}}$$

$$p = \frac{1}{L}; m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2/L]}{n}}$$

уравнивание одиночного нивелирного хода
 оценка точности вычислений

$$P_{H_E} = P_{H'_E} + P_{H''_E}$$

$$P_{H_E} = \frac{1}{L_{AE}} + \frac{1}{L_{EC}} = \frac{L_{EC} + L_{AE}}{L_{AE} \times L_{EC}} = \frac{L}{L_{AE} \times L_{EC}}$$

$$P_{H_E} = \frac{[L]^n}{[L]_k^n + [L]_{k+1}^n}$$

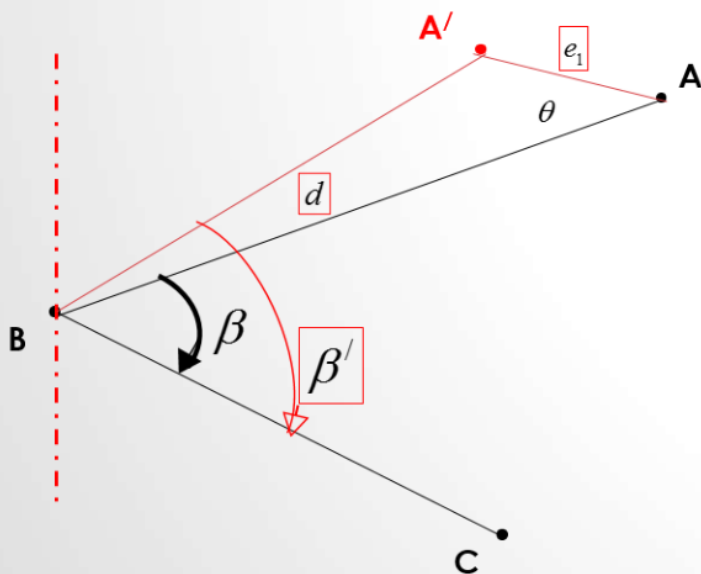
$$M_H^2 = \frac{\mu^2}{P_H}; M_H = \frac{m_{\text{км}}}{\sqrt{P_H}}$$

36. Ошибка редукции при производстве угловых измерений

1. Ошибка редукции не зависит от величины измеряемого угла
2. Ошибка редукции обратно пропорциональна длине визирного луча
3. Чем больше разница длин визирных лучей, тем больше ошибка редукции
4. При практическом равенстве сторон хода ошибка редукции возрастает, когда длины сторон стремятся к критическому минимуму, указанному в Инструкции.
5. По значению СПК редукции можно рассчитать линейный элемент редукции, выбрать средство контроля и метод установки визирной цели.

$m_{ред}$

ОШИБКА РЕДУКЦИИ



Пусть

$$e_1 = const$$

$$\theta = var$$

Тогда

$$n = \frac{2\pi}{d\theta}$$

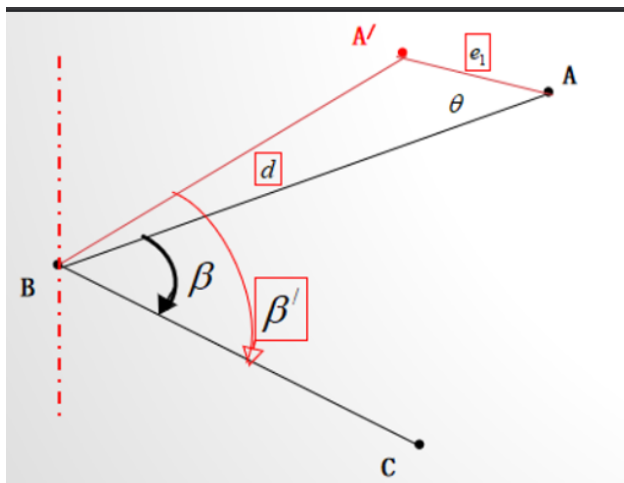
число установок визирной цели

ОШИБКА РЕДУКЦИИ - ВЫВОДЫ

$$m_{ред_A} = \frac{e_1}{S\sqrt{2}} \rho$$

$$m_{ред}^2 = \frac{e_1^2}{2} \rho^2 \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right)$$

$$m_{ред}^2 = \frac{e_1^2}{S^2} \rho^2$$



$\triangle ABA'$

$$d < \beta \Rightarrow BA = BA' = S$$

$$\frac{e_1}{\sin d} = \frac{S}{\sin \theta}$$

$$\sin d = \frac{e_1}{S} \sin \theta$$

$$d = \frac{e_1}{S} \rho \sin \theta$$

$$m_{ред_A}^2 = \frac{[d^2]}{n} = \frac{\left[\left(\frac{e_1}{S} \rho \sin \theta\right)^2\right]}{n}$$

$$m_{ред_A}^2 = \frac{e_1^2}{2\pi \times S^2} \rho^2 \sum_1^n \sin^2 \theta d\theta = \frac{e_1^2}{2\pi \times S^2} \rho^2 \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta$$

$$m_{ред_A}^2 = \frac{e_1^2}{2\pi \times S^2} \rho^2 \times \pi = \frac{e_1^2}{2S^2} \rho^2$$

$$m_{ред_A} = \frac{e_1}{S\sqrt{2}} \rho$$

$$m_{ред}^2 = m_{ред_A}^2 + m_{ред_C}^2$$

$$m_{ред}^2 = \frac{e_1^2}{S_1^2 \times 2} \rho^2 + \frac{e_1^2}{S_2^2 \times 2} \rho^2 = \frac{e_1^2}{2} \rho^2 \left(\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2} \right)$$

$$m_{ред}^2 = \frac{e_1^2}{2} \rho^2 \frac{2}{S^2} = \frac{e_1^2}{S^2} \rho^2$$

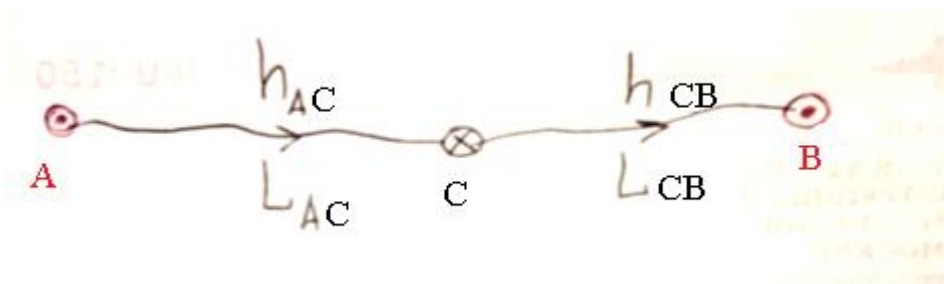
37-41 Алиса

37. Одиночный нивелирный ход III класса. Вычисление отметок реперов.

$$H_c'' = H_B - h_{CB}$$

$$H_c' = H_A + h_{AC}$$

Если бы превышения в равенствах были бы истинными, то $H_c'' = H_c'$ но каждое измерение имеет структуру $h_i = h_{ист} + \Delta$, поэтому H_c'' и H_c' приближенные значения искомой отметки репера С. Степень приближенности может характеризоваться относительной характеристикой точности то есть весом (вес – безразмерная величина, относительная характеристика точности, С - длина хода, по которому превышение принимается за единицу веса).



За единицу веса примем превышение, измеренное по ходу 1 км, т.к. мы рассматриваем нивелирный ход.

$$P_{h_{AC}} = \frac{1}{L_{AC}} \rightarrow P_{H_c'} = \frac{1}{L_{AC}}$$

$$P_{h_{CB}} = \frac{1}{L-L_{AC}} \rightarrow P_{H_c''} = \frac{1}{L-L_{AC}}$$

По правилу весового среднего

$$\widehat{H}_c = \frac{H'_c P_H + H''_c P_{H''}}{P_H + P_{H''}}$$

Составим разность выражений

$$H'_c - H''_c = H_A + h_{AC} - H_B + h_{CB} \rightarrow$$

$$H_A - H_B = - \sum h_{\text{теор}} \rightarrow$$

$$h_{AC} + h_{CB} = \sum h_{\text{пр}} \rightarrow H'_c - H''_c = f_h$$

$$\sum h_{\text{пр}} - \sum h_{\text{теор}} = f_h \rightarrow$$

$$H''_c = H'_c - f_h$$

$$\widehat{H}_c = \frac{H'_c * \frac{1}{L_{AC}} + (H'_c - f_h) * \frac{1}{L - L_{AC}}}{\frac{1}{L_{AC}} + \frac{1}{L - L_{AC}}}$$

$$\widehat{H}_c = \frac{H'_c * (L - L_{AC}) + (H'_c - f_h) * L_{AC}}{L}$$

$$\widehat{H}_c = \frac{H'_c * L - f_h * L_{AC}}{L} \leftrightarrow \widehat{H}_c = H'_c - f_h * \frac{L_{AC}}{L}$$

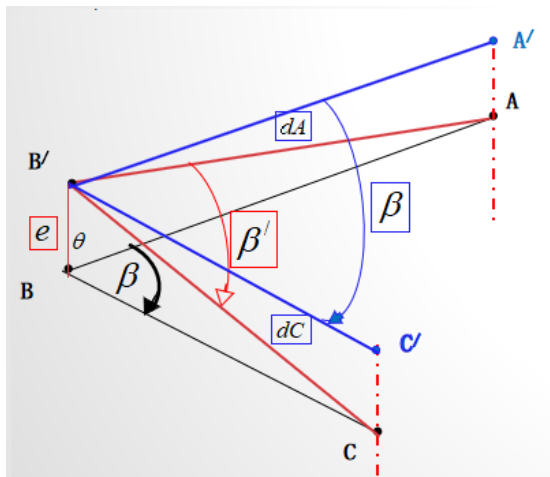
Т.к. $H'_c = H_A + h_{AC}$, то $\widehat{H}_c = H_A + h_{AC} - f_h * \frac{L_{AC}}{L}$

$V_{hAC} = - f_h * \frac{L_{AC}}{L}$ формула поправки

$h_{\text{испр}} = h_{AC} + V_{hAC}$ исправленное превышение

38. Ошибка центрирования при производстве угловых измерений.

Ошибка центрирования будет рассмотрена с помощью следующего рисунка.



Пусть визирные цели установлены в точках А и С безошибочно, ось вращения прибора проходит через точку В'. Тогда будет измеряться угол АВ'С. Его значение будет отличаться от истинного (угла АВС) на величину β' - ошибки измерения угла. Построим из точки В' линии, параллельные истинному положению визирных лучей. Отрезок ВВ' - линейный элемент центрирования - обозначим е, а угол АВ В' - угловой элемент центрирования - обозначим θ . $n = \frac{2\pi}{d\theta}$ - выражение для возможного количества установок прибора относительно верного положения - точки В. Из рисунка и по построению следует, что

$$\beta + dA = \beta' + dC$$

$$\beta' = \beta + dA - dC \rightarrow \Delta = dA - dC$$

Исходя из структуры результата измерения, $\Delta = dA - dC$ - есть ошибка в измерении горизонтального угла, вызванная неточным центрированием теодолита, т.е. ошибкой центрирования. Получим выражение для этой ошибки, рассмотрев два треугольника:

$\Delta A B' A'$ (dA) и $\Delta C B' C'$ (dC).

$$\frac{e}{\sin dA} = \frac{S_A}{\sin \theta} \rightarrow \sin dA = \frac{e}{S_A} \sin \theta \rightarrow dA = \frac{e}{S_A} \rho \sin \theta$$

$$\frac{e}{\sin dC} = \frac{S_C}{\sin(\theta - \beta)} \rightarrow \sin dC = \frac{e}{S_C} \sin(\theta - \beta) \rightarrow dC = \frac{e}{S_C} \rho \sin(\theta - \beta)$$

$$dA - dC = \frac{e}{S_A} \rho \sin \theta - \frac{e}{S_C} \rho \sin(\theta - \beta)$$

При бесконечно большом числе установок теодолита таких разностей будет $n = \frac{2\pi}{d\theta}$.

Тогда средняя квадратическая ошибка центрирования может быть вычислена по формуле Гаусса.

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{[(dA-dC)^2]}{n}$$

С учетом n получим

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{\left[\left(\frac{e}{S_A} \rho \sin \theta - \frac{e}{S_C} \rho \sin(\theta - \beta) \right)^2 \right]}{2\pi} d\theta$$

Вынесем из-под знака суммы общие множители и получим

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{e^2 \rho^2}{2\pi} \left[\frac{1}{S_A^2} \sin^2 \theta + \frac{1}{S_C^2} \sin^2(\theta - \beta) - \frac{2}{S_C^2 S_A^2} \sin^2 \theta \sin^2(\theta - \beta) \right] d\theta$$

Заменим знак суммы интегралом и проинтегрируем полученное выражение. Приняв следующие условия. Пределы интегрирования от 0 до 2π , длины визирных лучей одинаковы и равны S ($S_A = S_C = S$). В итоге получим

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{e^2 \rho^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(\frac{1}{S_A^2} \sin^2 \theta + \frac{1}{S_C^2} \sin^2(\theta - \beta) - \frac{2}{S_C^2 S_A^2} \sin^2 \theta \sin^2(\theta - \beta) \right) d\theta$$

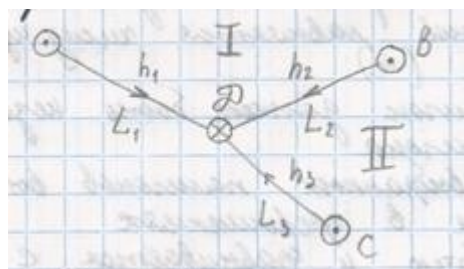
$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{e^2 \rho^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\sin^2 \theta + \sin^2(\theta - \beta) - 2\sin^2 \theta \sin^2(\theta - \beta)) d\theta$$

$$m_{\text{ц}}^2 = \frac{e^2 \rho^2}{S^2} (1 - \cos \beta)$$

Ошибка центрирования будет зависеть от величины измеряемого угла β . Чем ближе будет значение угла к 180° , тем ошибка будет больше. В вытянутых ходах ошибка центрирования возрастает, поэтому следует особо тщательно центрировать теодолит на пунктах хода. Ошибка центрирования обратно пропорциональна длине стороны. На величину этой ошибки оказывают влияние длины визирных лучей. Чем короче сторона хода, тем ошибка центрирования больше. По значению СКП (средняя квадратическая погрешность) центрирования можно выразить линейный элемент центрирования и определиться с методикой установки прибора на пункте. $m_{\text{ц}} = \frac{e\rho}{S} \sqrt{1 - \cos \beta}$

39. Понятие о нивелирных сетях. Оценка качества результатов измерений в нивелирных сетях

Нивелирная сеть – геодезическое построение, объединяющее в себе более двух нивелирных ходов. Простейшая состоит из 3х ходов, сходящихся в одной точке и опирающихся на исходные реперы высших классов.



D- определяемый репер для данной сети (в каждом ходе могут быть определяемые репера, но сначала нужно найти отметку узлового репера (наиболее надежное значение)).

Кол-во определяемых величин в нивелирном ходе равно кол-ву узлов. Задача уравнивания возникает при наличии избыточных измерений.

$$n=3(\text{общее число измерений})$$

$$k=1(\text{число необходимых измерений})$$

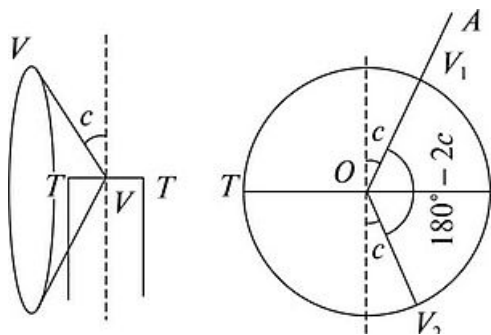
$$r = n-k=2(\text{число избыточных измерений})$$

Искомая отметка может быть вычислена если в измерениях отсутствуют грубые ошибки. Для их выявления делают оценку качества полевых работ. Для этого делим мысленно на полигоны. Полигон - объединение последовательных ходов, бывают замкнутыми или разомкнутыми. Выбираются произвольно с соблюдением 2х условий: 1) число полигонов равно числу избыточных измерений; 2) полигон не зависит от другого полигона. В каждом полигоне вычисляется невязка в превышениях. $((h_{\text{изм}} - h_{\text{теор}})$ сумма измеренных - сумма теоретических) и сравнивается с допустимой (f_h). При вычислении суммы измерений, нужно выбрать порядок обхода полигона для решения вопроса о знаках превышений. Если невязка не превышает предельную, то грубых ошибок нет.

40. Ошибки инструментальные при производстве угловых измерений.

Коллимационная ошибка

Условие: визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы.



$$C = \frac{(КЛ - КП \pm 180^\circ)}{2}$$

$$C = \text{const}$$

$$2C_1 = N_1^I - N_1^{II} \pm 180^\circ$$

$$2C_3 = N_3^I - N_3^{II} \pm 180^\circ$$

$$2C \leq 20''$$

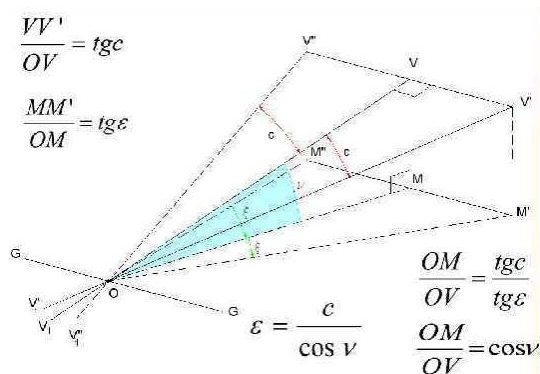
Коллимационную ошибку устраняют:

Перемещением линз объектива

Перемещением сетки нитей вертикальными юстированными винтами

Перемещение сетки нитей горизонтальными юстированными винтами

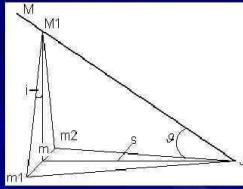
Юстировкой коллиматорного визира



Ошибка, вызванная наклоном оси вращения зрительной трубы

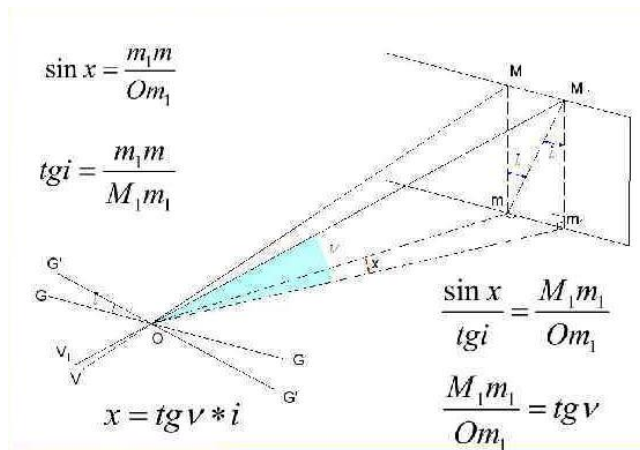
Ось вращения трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита $GG \perp OO$.

$$i = \frac{m_1 m_2}{2Stg\theta} \rho$$



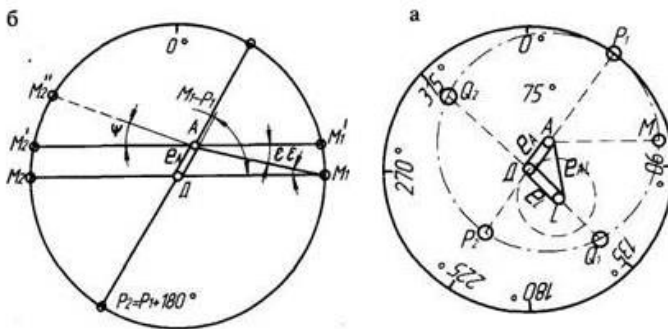
$$i = \frac{1\text{мм}}{2 * 20000\text{мм} * tg18^\circ} 206265'' = 15''$$

3Т2КП $i \leq 20''$



Ошибка, вызванная эксцентриситетом лимба и алидады

Эксцентриситет алидады горизонтального круга - несовпадение центра делений лимба и вертикальной оси вращения теодолита, эксцентриситет лимба несовпадение оси вращения лимба с центром делений лимба.



Ошибка вызванная реном оптического микрометра

Рен оптического микрометра - погрешность в отсчётах по лимбам, вызываемая разностью между изображением цены полуделения лимба и величиной этого полуделения, измеренной микрометром.

Причины: влияния эксцентриситета и ошибок делений лимба.

Программа определения рена оптического микрометра теодолита Т2 включает прямой и обратный ходы, в которых наблюдение сводится к измерению величины полуделения лимба верхнего и нижнего изображений на различных частях круга, например, градусы - через 45° , а минуты - через $20'$.

Среднее значение рена и изменения рена не должны превышать $1,5$ угл.сек.

Ошибки инструментальные – выводы

Ошибки инструментальные носят систематический характер

Ошибки инструментальные зависят от конструкции прибора в общем и от системы отсчётного устройства в частности

Ошибки инструментальные выявляются ДО начала полевых измерений

Регулярно проводимые поверки прибора и исследования позволяют взять по контроль ошибки инструментальные

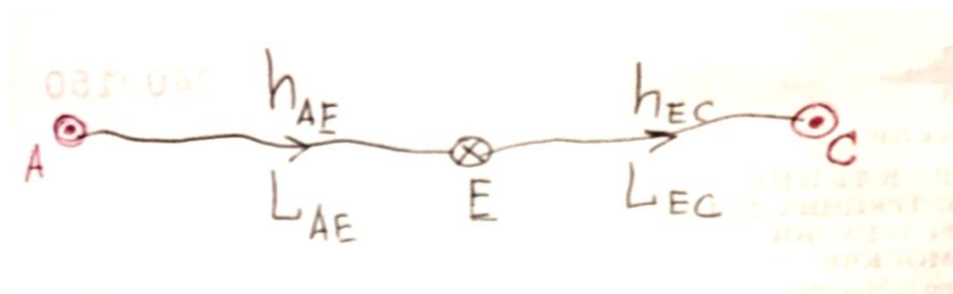
Продуманная методика измерений ослабляет влияние ошибок инструментальных

Возможно, учитывать значения ошибок инструментальных путём введения поправок в отсчёты.

Меры по ослаблению влияния этих ошибок могут быть следующими соответственно:

- введение поправки за рен в приведенные направления при значении рена, превышающим допуск;
- перестановка лимба между приемами, т.е. измерение углов на различных частях лимба;
- измерение направлений при двух положениях вертикального круга;
- введение поправок за эксцентриситет;
- замыкание горизонта при измерении способом круговых приемов.

41. Вывод формулы вычисления средней квадратической ошибки в слабом месте нивелирного хода.



Слабым местом называют определяемый репер, наиболее отдаленный от исходных пунктов. Отметка его определена с наибольшей ошибкой и с наименьшим весом. Рассмотрим знаменатель $p_{H_i} = \frac{L}{L_i \times (L - L_i)}$ на максимум функции.

$$p_{H_i} = \frac{L}{L_i \times (L - L_i)}$$

$$p_{H_i} \rightarrow \min; L_i \times (L - L_i) \rightarrow \max$$

$$y(L_i) = L_i \times (L - L_i)$$

$$y'(L_i) = 0$$

$$y(L_i) = L_i \times L - L_i^2$$

$$y'(L_i) = L - 2L_i$$

$$L - 2L_i = 0$$

$$L_i = \frac{L}{2}$$

Значит минимальное значение веса будет у отметки репера в середине хода. Вес слабого места.

$$p_{H_{сл.м}} = \frac{1}{L/2} + \frac{1}{L/2} = \frac{2}{L/2} = \frac{4}{L}$$

$$M_{H_{сл.м}} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{H_{сл.м}}}} = \frac{\mu}{\sqrt{\frac{4}{L}}} = \frac{\mu \times \sqrt{L}}{2}$$

$$M_{H_{сл.м}} = \frac{m_{км} \times \sqrt{L}}{2}$$

42 –никита

42. Ошибки собственно измерений как один из источников погрешностей угловых измерений.

Источники ошибок угловых измерений

$$m_{\text{ред}}^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{инстр}}^2 + m_{\text{с.и.}}^2 + m_{\text{в.у.}}^2 + m_{\text{исх.д.}}^2 = m_{\beta}^2$$

$$m_{\beta}^2 = 6m_i^2; m_i = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{6}}$$

1. Коллимационная ошибка.

Условие: визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы.

Коллимационную погрешность теодолита устраняют:

Перемещением линз объектива

Перемещением сетки нитей вертикальными юстировочными винтами

Перемещением сетки нитей горизонтальными юстировочными винтами

Юстировкой коллиматорного визира

2. Ошибка вызванная наклоном оси вращения зрительной трубы.

Условие: Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения теодолита.

Устранение несоблюдения поверяемого условия производится только в мастерской.

3. Ошибка вызванная эксцентриситетом лимба и алидады.

Эксцентриситет алидады горизонтального круга – несовпадение центра делений лимба и вертикальной оси вращения теодолита.

Эксцентриситет лимба – несовпадение оси вращения лимба с центром делений лимба.

4. Ошибка вызванная реном оптического микрометра.

Рен оптического микрометра – погрешность в отсчетах по лимбам, вызываемая разностью между изображением цены полуделения лимба и величиной этого полуделения, измеренной микрометром.

Программа определения рена оптического микрометра теодолита Т2 включает прямой и обратный ходы, в которых наблюдение сводится к измерению величины полуделения лимба верхнего и нижнего изображений на различных частях круга, например, градусы через 45°, а минуты через 20'. Среднее значение рена и изменения рена не должны превышать 1.5"

5. Ошибки инструментальные.

Инструментальные ошибки — неточности при наблюдениях и измерениях, обусловленные отличиями реального инструмента от «идеального», представляемого схемой, а также неточностью установки инструмента в рабочем положении. Учет инструментальных ошибок необходим в геодезии, требующей точнейших измерений.

Инструментальные ошибки подразделяют на три категории: ошибки, зависящие от несовершенства изготовления инструмента; ошибки, зависящие от погрешностей сборки и юстировки инструмента; ошибки, связанные с изменением свойств инструмента с течением времени.

6. Ошибки собственно измерений.

Делятся на:

Ошибка визирования

Ошибка отсчитывания

Ошибка визирования зависит от

Разрешающей способности глаза, характеризуется наименьшим углом зрения, под которым изображения двух предметов еще видны раздельно.

Увеличения зрительной трубы

Вида сетки нитей

Формы и размеров объекта визирования

От общих условий видимости

Ошибка отсчитывания зависит от

Горизонтирования прибора

43-46 – Ольгитта**43. Вывод формулы предельной невязки в нивелирном ходе III класса.**

1 вариант вывод через $m_{\text{км}}$ – основанная точнастаная характеристика.

Если рассматривать нивелирный ход произвольной длины (то есть складывается из нескольких км.):

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{h \text{ км}}^2 + m_{h \text{ км}}^2 \dots m_{h \text{ км}}^2$$

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{h \text{ км}}^2 \cdot L_{\text{км}} \text{ (количество км в ходе)}$$

$$m_{h \text{ ход}} = m_{h \text{ км}} \cdot \sqrt{L_{\text{км}}}$$

$$\text{доп. } f_h \leq 2 : 3 m_{h \text{ ход}}$$

То есть доп. f_h не должна превышать удвоенного или утроенного значения $m_{h \text{ ход}}$. Как понять 2 или 3? Максимально возможное это 3. Если хотим интервал сделать жестче, меньше берем 2.

$$\text{Следовательно: доп. } f_h = 3 \cdot m_{h \text{ км}} \cdot \sqrt{L_{\text{км}}}$$

$$\text{По инструкции: доп. } f_h = 10\text{мм} \cdot \sqrt{L_{\text{км}}}$$

2 вариант через ошибку превышения на станции.

$$m_{\text{ст}} = m_{\text{взгл}}$$

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{\text{взгл}}^2 + m_{\text{взгл}}^2 \dots m_{\text{взгл}}^2$$

$$m_{h \text{ ход}}^2 = m_{\text{взгл}}^2 \cdot n \text{ (количество станций)}$$

$$m_{h \text{ ход}} = m_{\text{взгл}} \cdot \sqrt{n}$$

$$\text{доп. } f_h \leq 2 : 3 m_{h \text{ ход}}$$

$$\text{доп. } f_h = 3 \cdot m_{\text{взгл}} \cdot \sqrt{n}$$

Почему иногда требуется другой вывод этой формулы? Когда нивелируются крутые склоны (длина нивелирной линии будет очень маленькой (км), но количество станций сделаем больше. Происходит это из-за того, что визирный луч может быть только горизонтально.)

44. Ошибки внешних условий при производстве угловых измерений.

Ошибки внешних условий

- I. влияние рефракции;
- II. конвекционные потоки воздуха;
- III. освещение визирных целей;
- IV. влияние температуры

I. Рефракция [латин. refractio — преломление]. Явление рефракции - изгибание траектории световых лучей при прохождении ими слоев атмосферы различной плотности.

горизонтальная (боковая):

- непрерывно изменяется
- ошибки
- зависит условий погоды и условий прохождения луча
- максимум в безветренные жаркие дни

вертикальная:

- значительно превышает боковую
- динамический метод определения искажения траектории луча
- быстрое хаотическое изменение угла рефракции

Для уменьшения влияния рефракции необходимо:

- рекогносцировка - поверхности сырых низменностей и озер пересекать симметрично, а реки и долины – под прямым углом
- вблизи пути визирного луча не должно быть никаких предметов. Любой предмет нагревается скорее, чем воздух. Значит, и слои воздуха около предмета нагреваются скорее, и будут иметь меньшую плотность
- на пункте перед наблюдениями необходимо убедиться, что луч визирования проходит не ближе 20 см от препятствий
- наблюдения на пункте необходимо распределять на утреннюю и вечернюю видимости или на период двух суток
- наблюдения при слегка колеблющихся изображениях указывают на перемешивание воздуха, а значит, и на ослабление рефракции.

II. Конвекция (от лат. convectiō — «перенесение») возникает вследствие изменения нагрева Солнцем земной поверхности

- затруднение при визировании на цель из-за её размытости
- колебания по азимуту и высоте изображения визирной цели

Два периода спокойных изображений:

1) утренний – наступает через 0,5-1 час после восхода Солнца и длится 1-2 часа

2) вечерний – длящийся в течение 3-4 часов, наступает в 16-1700 и заканчивается за 0,5 до захода Солнца

III. Неравномерное освещение визирной цели солнечными лучами

ПРИ ЭТОМ глаз наблюдателя неверно оценивает положение геометрической оси визирной марки и смещает визирную ось в сторону лучше видимой части визирной цели

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{S} \rho$$

$$S = 2000 \text{ м}; \Delta = 10 \text{ см}; \rho = 206265'' = 2 \times 10^5''$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{S} \rho = \frac{10 \text{ см}}{2 \times 10^5 \text{ см}} 2 \times 10^5'' = 10''$$

Рекомендации:

- наблюдать в утренний и вечерний периоды видимости
- измерения углов при двух кругах выполнять с разной последовательностью наведения трубы на наблюдаемые предметы

IV. Влияние температуры

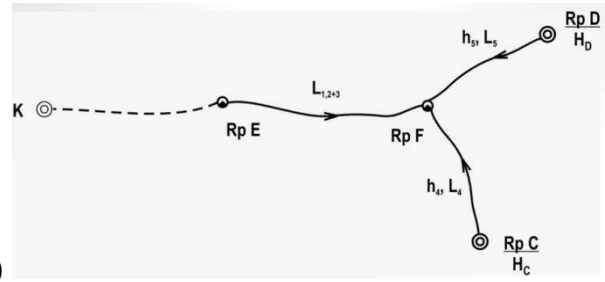
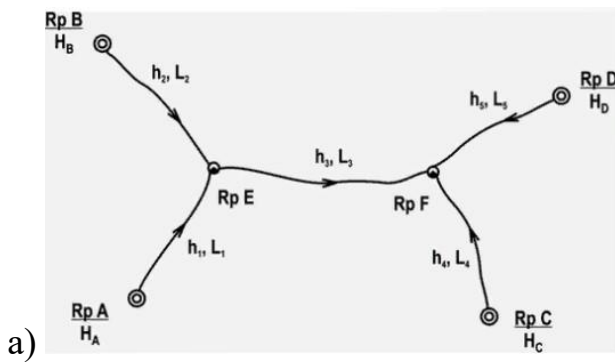
неравномерный нагрев частей прибора => изменение положения отдельных частей => нарушение геометрической схемы прибора

перепады температуры воздуха => неустойчивое состояние атмосферы => нарушение траектории визирования

рекомендации

- защита прибора от солнечных лучей
- выбор оптимального времени для измерения углов

45. Метод эквивалентной замены как способ вычисления относительной характеристики точности высот узловых реперов в нивелирных сетях.



Суть способа – исходную сеть (а) преобразовать к простейшей (к сети с одной узловой точкой (б)). Преобразование состоит в том, чтобы на камеральном этапе строят построение мнимого хода. Суть этого мнимого хода – мы ставим его вес по двум действующим ходам (1,2). Так же он называется эквивалентный ход.

$$p_{1,2} = p_2 + p_1$$

$$L_{1,2} = \frac{C}{p_{1,2}}$$

$$L_{1,2+3} = L_{1,2} + L_3$$

$$p_{1,2+3} = \frac{C}{L_{1,2+3}}$$

$$P_{\bar{H}_{RpF}} = p_4 + p_5 + p_{1,2+3}$$

Таким образом мы сможем вычислить вес Rp F по всем ходам сети. То есть в формуле задействованы все ходы.

46. Ошибки исходных данных при производстве угловых измерений.

- использовать пункты вышестоящих по точности классов построений в качестве исходных
- применять программы совместного уравнивания с учётом ошибок исходных данных при обработке результатов измерений
- при не допустимой угловой невязке в ходе повторные измерения выполняют прежде всего на исходных пунктах
- используют максимальное возможное число исходных направлений на начальном и конечном пункте при измерениях примычных углов