ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 124 1964

УСТАНОВЛЕНИЕ ВЕСОВ И ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ, ПРЕДРАСЧЕТА ОШИБКИ ОРИЕНТИРОВКИ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТВОЛА И ОШИБКИ СМЫКАНИЯ ЗАБОЕВ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ (В ПЛАНЕ) ГРАФИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

В. И. АКУЛОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Форма и длина сторон подземных теодолитных ходов при ориентировании через два вертикальных шахтных ствола и проведении горных выработок встречными забоями определяется расположением горных выработок. Поэтому длины сторон подземных теодолитных ходов изменяются в очень широких пределах (от 5 до 100 и выше метров).

Неодинаковая длина сторон обуславливает неравноточное измерение горизонтальных углов в подземных теодолитных ходах. В связи с этим при предрасчете ожидаемых ошибок в капитальных маркшейдерских работах, например, ориентировки через два вертикальных шахтных ствола и сбойки горной выработки, горизонтальные углы необходимо считать неравноточно измеренными.

Ошибка[1]) каждого горизонтального угла подземного теодолитного хода должна определяться по известной формуле

$$m_\beta = \pm \sqrt{m_i^2 + \frac{e_c^2\rho^2}{2a^2b^2}(a^2+b^2) + \frac{e_т^2\rho^2}{2a^2b^2}(a^2+b^2-2ab\cos\beta)}, \qquad (1)$$

где m_i — ошибка собственно измерения угла;
a, b — стороны угла;
β — измеряемый угол;
$e_c, e_т$ — линейные ошибки центрирования сигналов и теодолита;
$\rho = 206265''$.

Ошибка собственно измерения угла (инструментальная ошибка) определяется способом измерения и точностью инструмента и вычисляется по формуле

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_0^2}{2n^2} + \frac{m_v^2}{n}}, \qquad (2)$$

или

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{m_0^2}{n} + \frac{m_v^2}{n}}, \qquad (2а)$$

[1]) Под ошибкой везде понимается средняя квадратическая ошибка.

где m_0 — ошибка отсчитывания;

m_v — ошибка визирования;

n — число повторений, или приемов.

По формуле (2) определяется ошибка угла, измеренного способом повторений, и по формуле (2а) — способом приемов.

Вычисление ошибки измерения угла аналитически по формуле (1) довольно сложно. Поэтому на практике, а также в Технической инструкции по производству маркшейдерских работ, издания 1959 г., при предрасчетах ожидаемых ошибок в капитальных маркшейдерских работах горизонтальные углы принимаются равноточно измеренными. В связи с этим недостаточно точно устанавливаются ожидаемые ошибки.

Аналитический способ предрасчета ожидаемых ошибок в капитальных маркшейдерских работах наряду со сложностью вычислений не гарантирует от возможных грубых просчетов.

В литературе не разработаны контрольные способы предрасчета ожидаемых ошибок в капитальных маркшейдерских работах, которые обеспечили бы надежный контроль аналитического способа.

В работе предлагается графический способ предрасчета ожидаемых ошибок в капитальных маркшейдерских работах, который надежно контролирует аналитический и просто и легко выполняется с помощью линейки и циркуля.

1. Преобразование общей формулы ошибки измерения горизонтального угла

Формулу (1) запишем так:

$$m_\beta = \pm\sqrt{m_i^2 + m_ц^2}; \tag{1а}$$

$$m_ц = \pm\frac{\rho}{\sqrt{2}ab}\sqrt{e_c^2(a^2+b^2) + e_т^2(a^2+b^2-2ab\cos\beta)}, \tag{3}$$

где $m_ц$ — ошибка измерения угла, зависящая от ошибок центрирования теодолита и сигналов.

Полагая

$$p_\beta m_\beta^2 = p_i m_i^2 = p_ц m_ц^2 = m^2,$$

получим

$$m_\beta = \pm m\sqrt{\frac{1}{p_\beta}}; \tag{1б}$$

$$m_i = \pm m\sqrt{\frac{1}{p_i}}; \tag{2б}$$

$$m_ц = \pm m\sqrt{\frac{1}{p_ц}}, \tag{3а}$$

где m — средняя квадратическая ошибка измерения угла, вес которого равен единице;

p_β — вес измеренного угла;

p_i — вес собственно ошибки измерения угла;

$p_ц$ — вес ошибки угла, зависящей от ошибок центрирования теодолита и сигналов.

Из (1а, 1б, 2б и 3а), получим

$$\sqrt{\frac{1}{P_\beta}} = \sqrt{\left(\sqrt{\frac{1}{P_i}}\right)^2 + \left(\sqrt{\frac{1}{P_ц}}\right)^2}. \tag{4}$$

Преобразуем формулу (3) применительно к графическому способу. Так как

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\beta,$$

то

$$m_{\text{ц}} = \pm \frac{\rho}{\sqrt{2}ab}\sqrt{e_c^2(a^2+b^2) + e_{\text{т}}^2 c^2}, \qquad (3б)$$

где c расстояние между крайними вершинами измеряемого угла (рис. 1).

Полагая

$$\lambda = \frac{e_{\text{с}}}{e_{\text{т}}} \text{ (при } e_{\text{с}} \leqslant e_{\text{т}}) \qquad (5)$$

и

$$d = \sqrt{a^2 + b^2}, \qquad (6)$$

получим

$$m_{\text{ц}} = \pm \frac{\rho e_{\text{т}}}{\sqrt{2}ab}\sqrt{\lambda^2 d^2 + c^2}.$$

Обозначим

$$D = \sqrt{\lambda^2 a^2 + c^2}, \qquad (7)$$

тогда

$$m_{\text{ц}} = \pm \frac{\rho e_{\text{т}} D}{\sqrt{2}ab}. \qquad (3г)$$

Введем обозначение

$$x = \frac{ab}{D}. \qquad (8)$$

Формула (3г), учитывая (8), примет вид

$$m_{\text{ц}} = \pm \frac{\rho e_{\text{т}}}{\sqrt{2}x}. \qquad (3д)$$

Из (3а и 3д) получим

$$\sqrt{\frac{1}{P_{\text{ц}}}} = \frac{\rho e_{\text{т}}}{\sqrt{2}mx}. \qquad (9)$$

Обозначим

$$B = \frac{\rho e_{\text{т}}}{\sqrt{2}m}, \qquad (10)$$

тогда

$$\sqrt{\frac{1}{P_{\text{ц}}}} = \frac{B}{x}. \qquad (3е)$$

2. Определение $\sqrt{\frac{1}{P_\beta}}$ графическим способом

При графическом способе определения $\sqrt{\frac{1}{P_\beta}}$ составляется схема теодолитного хода в масштабе, например, 1 : 500, 1 : 1000 или 1 : 2000 (рис. 1).

Устанавливаются, исходя из принятой методики измерения горизонтальных углов хода, ошибка собственно измерения угла (m_i) и линейные ошибки центрирования теодолита ($e_{\text{т}}$) и сигналов ($e_{\text{с}}$).

При точке O (рис. 2) строим прямоугольную систему координат (XOY). Из начала координат проводим прямую OU под углом φ к оси x, определяемым из уравнения

$$\cos\varphi = \lambda \quad (\lambda \leqslant 1).$$

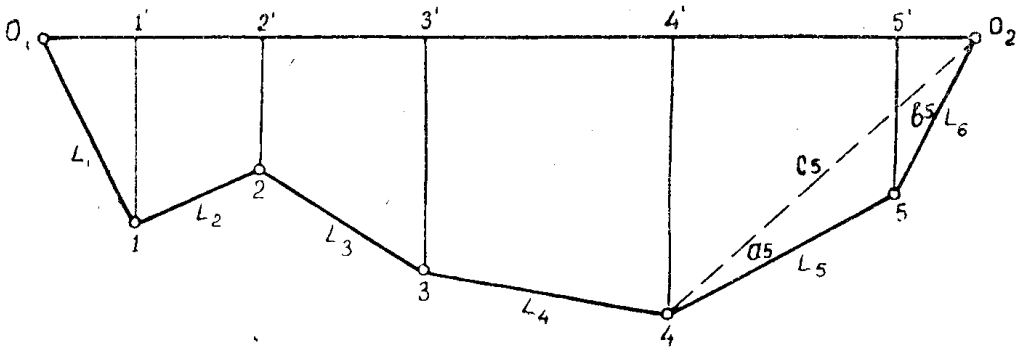


Рис. 1. Схема теодолитного хода при ориентировке через два вертикальных ствола.

Например, при $e_т = \sqrt{2}\, e_с$, имеем

$$\lambda = \frac{e_с}{e_т} = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$\cos\varphi = \frac{1}{\sqrt{2}};$$

$$\varphi = 45°.$$

Определение $\sqrt{\frac{1}{P_\beta}}$, например для угла β_5 теодолитного хода (рис. 1), графически производится в следующей последовательности.

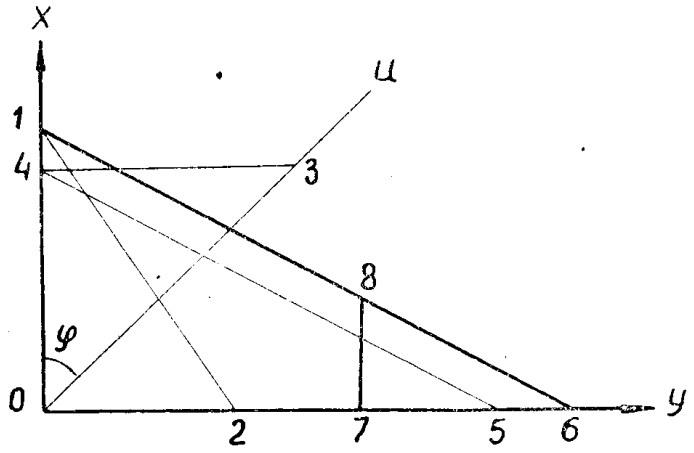


Рис. 2. Определение для угла значения X графическим путем.

Откладываем по координатным осям (рис. 2) стороны угла β_5, снятые измерителем со схемы хода (рис. 1), а именно: сторону a_5 (отрезок 4—5, рис. 1) откладываем от начала координат по оси x, сторону b_5 (отрезок 5 —O_2, рис. 1)—по оси Y, получим точки 1 и 2 (рис. 2). Отрезок 1—2 измерителем откладываем от начала координат по линии OU,

получим точку 3. Точку 3 проектируем на ось абсцисс, получим точку 4. Сторону c_5 (отрезок $4 - O_2$, рис. 1), снятую измерителем со схемы хода, откладываем от начала координат по оси ординат, получим точку 5. Отрезок $4 - 5$ откладываем по оси ординат от точки O, получим точку 6. Соединяем прямой точки 1 и 6. От точки 6 откладываем по оси ординат сторону b_5 (отрезок $5 - O_2$, рис. 1 или отрезок 0—2, рис. 2), получим точку 7. Из точки 7 проводим прямую 7—8 параллельно оси абсцисс до пересечения с линией $1 - 6$, получим точку 8.

Из построений следует, что отрезок 7—8 равен x_5, вычисляемому по формуле (8).

Для определения $\sqrt{\frac{1}{P_ц}}$ проводим через точку O (рис. 3) две взаимно перпендикулярные прямые OO_2 и OA. На линии OA откладываем отрезок OA, равный дециметру, получим точку A. Через точку A проводим прямую AC, перпендикулярную OA.

По формуле (10) определяем величину B и откладываем ее от точки O по линии OO_2 (рис. 3) в масштабе, в каком составлена схема теодолитного хода, получим точку O_1. Например, при $m = \pm 20''$ и $e_т = 0{,}001$ *м* величина B, исходя из формулы (10), будет

$$B = \frac{206265 \cdot 0{,}001}{\sqrt{2 \cdot 20}} = 7{,}3 \text{ м}.$$

Если схема теодолитного хода составлена в масштабе 1 : 500, то отрезок OO_1 (рис. 3) равен 14,6 *мм*, а если в масштабе 1 : 1000, то отрезок OO_1 равен 7,3 *мм*.

Через точку O_1 проводим прямую O_1B параллельно OA.

Отрезок 7 — 8 (рис. 2), т. е. x_5, откладываем измерителем от точки A на прямой AC, получим точку a_5 (рис. 3). Соединяем прямой точки O и a_5. Устанавливаем точку b_5 — точку пересечения прямых Oa_5 и O_1B.

Отрезок O_1b_5, выраженный в дециметрах, как это следует из построений и формулы (3е), есть величина $\sqrt{\frac{1}{P_ц}}$ для данного угла.

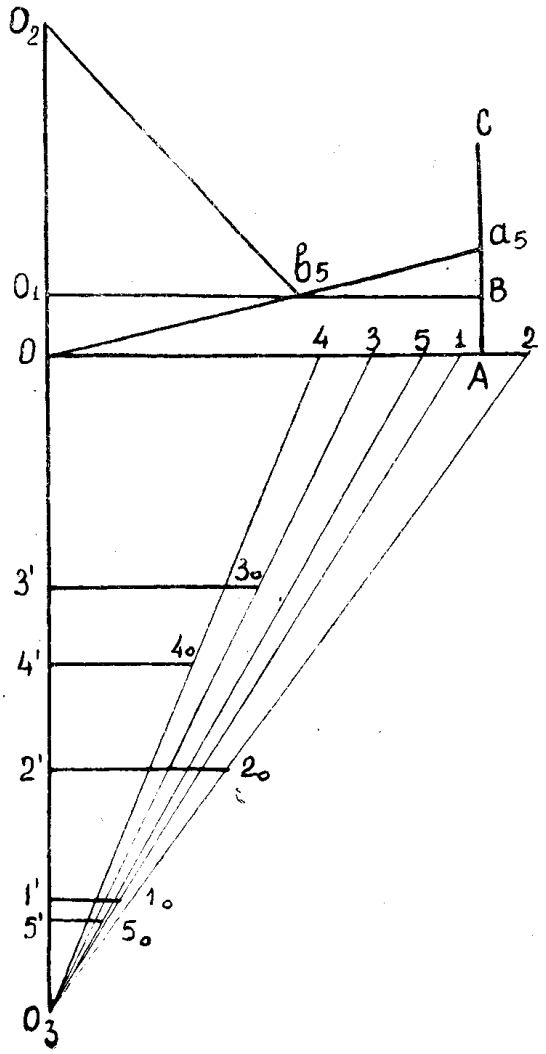


Рис. 3. Определение $\sqrt{\frac{1}{P_ц}}$ графическим путем.

Ошибка угла, зависящая от ошибки центрирования теодолита и сигналов, опеделяется по формуле (3а).

Для определения $\sqrt{\frac{1}{P_\beta}}$ откладываем от точки O_1 (рис. 3) по прямой O_1O_2 $\sqrt{\frac{1}{P_i}}$ в долях дециметра, получим точку O_2.

Значение $\sqrt{\frac{1}{P_i}}$, исходя из (2б), определяется по формуле

$$\sqrt{\frac{1}{P_i}} = \frac{m_i}{m}. \tag{11}$$

Так например, при $m_i = \pm 13''$ и $m = \pm 20''$,

$$\sqrt{\frac{1}{P_i}} = \frac{13}{20} = 0{,}65.$$

Поэтому отрезок O_1O_2 (рис. 3) будет равен 0,65 *дм* или 65 *мм*.

Отрезок O_2b_5 (рис. 3) откладываем от точки O на линии OA, получим точку 5. Из построений и формулы (4) следует, что отрезок 0—5 (рис. 3), выраженный в дециметрах, и есть $\sqrt{\frac{1}{P_\beta}}$ для данного угла.

Общая ошибка измерения угла вычисляется по формуле (1б).

3. Предрасчет ошибки ориентировки через два вертикальных шахтных ствола графическим способом

Под ошибкой ориентировки через два вертикальных шахтных ствола, как известно, понимается ошибка дирекционного угла исходной стороны подземной съемки.

За исходную сторону подземной съемки принимается сторона подземного соединительного полигона, от которой развивается теодолитная съемка горизонта.

Ошибка дирекционного угла исходной стороны подземного соединительного полигона (без учета ошибок примыкания на поверхности и проектирования) определяется по формулам:

$$M_q = \pm \sqrt{M_{q_\beta}^2 + M_{q_l}^2}; \tag{12}$$

$$M_{q_\beta} = \frac{1}{C}\sqrt{\sum_1^{q-1} S_y^2 m_\beta^2 + \sum_q^{n-1} R_y^2 m_\beta^2}; \tag{13}$$

$$M_{q_l} = \pm \frac{\rho}{C}\sqrt{\sum_1^n m_l^2 \sin^2 \varphi}, \tag{14}$$

где M_{q_β} и M_{q_l} — ошибки дирекционного угла исходной стороны в зависимости от ошибок измерения углов и длин сторон соответственно;

m_β — ошибка измерения горизонтального угла;

m_l — ошибка измерения длины стороны в зависимости от случайных ошибок;

R_y — проекция расстояния от вершины подземного соединительного полигона до отвеса O_2 на направление линии створа отвесов O_1O_2;

S_y — проекция расстояния от вершины подземного соединительного полигона до отвеса O_1 на направление линии створа отвесов O_1O_2;

C — расстояние между отвесами;

q — порядковый номер исходной стороны;

n — количество сторон в подземном соединительном полигоне;

$\rho = 206265''$.

Для предрасчета ошибки дирекционного угла исходной стороны подземной съемки составляем схему ориентировки через два вертикальных шахтных ствола в масштабе, например, 1 : 500, 1 : 1000 или 1 : 2000 и устанавливаем, исходя из расположения вскрывающих горных выработок, исходную сторону подземной съемки. Например, для схемы (рис. 1) за исходную сторону принята сторона 3—4 ($q=4$).

А. Определение графическим способом ошибки дирекционного угла исходной стороны в зависимости от ошибки измерения углов

Формулу (13), учитывая (1б), запишем так:

$$M_{q_3} = \pm \frac{m}{C}\sqrt{\sum_{1}^{q-1}\left(S_y\sqrt{\frac{1}{P_3}}\right)^2 + \sum_{q}^{n-1}\left(R_y\sqrt{\frac{1}{P_3}}\right)^2}. \qquad (13а)$$

Так как

$$\begin{aligned} S_y &= s_y \cdot N; \\ R_y &= r_y \cdot N; \\ C &= c \cdot N, \end{aligned} \qquad (15)$$

то

$$M_{q_3} = \frac{m}{c}\sqrt{\sum_{1}^{q-1}\left(s_y\sqrt{\frac{1}{P_3}}\right)^2 + \sum_{q}^{n-1}\left(r_y\sqrt{\frac{1}{P_3}}\right)^2}, \qquad (13б)$$

где r — величина проекции R на схеме;

s — величина проекции S на схеме;

C — расстояние между отвесами на схеме;

N — знаменатель масштаба схемы ориентировки.

Обозначим

$$\begin{aligned} s' &= s_y\sqrt{\frac{1}{P_3}}; \\ r' &= r_y\sqrt{\frac{1}{P_3}}. \end{aligned} \qquad (16)$$

В принятых обозначениях формула (13б) будет иметь вид

$$M_{g_3} = \pm \frac{m}{c}\sqrt{\sum_{1}^{q-1}(s')^2 + \sum_{q}^{n-1}(r')^2}. \qquad (13в)$$

Для удобства определения ошибки M_{g_3} графическим путем положим

$$s' = \kappa s'';$$
$$r' = \kappa r'', \tag{17}$$

где κ – постоянный коэффициент.

Из (13в и 17) будем иметь

$$M_{q_3} = \pm \frac{m \cdot \kappa}{c} R_3, \tag{13г}$$

$$R_3 = \pm \sqrt{\sum_{1}^{q-1} (s'')^2 + \sum_{q}^{n-1} (r'')^2}. \tag{18}$$

Ошибка дирекционного угла исходной стороны, например 3 — 4 (рис. 1), в зависимости от ошибки измерения углов графически определяется следующим образом.

Для каждого угла подземного соединительного полигона графическим способом, рассмотренным в § 2, определяем $\sqrt{\frac{1}{P_3}}$ и откладываем их в долях дециметра на линии OA (рис. 3), получим точки 1, 2, 3, 4 и 5.

По линии O_2O (рис. 3) откладываем отрезок OO_3, равный κ дециметрам, например, 1, 2, 3. Проектируем вершины подземного соединительного полигона на линию створа отвесов O_1O_2 (рис. 1), получим точки 1′, 2′, 3′, 4′ и 5′.

За исходную сторону подземной съемки нами принята сторона 3—4, поэтому проекции на линию створа отвесов необходимо брать к отвесу O_1 для вершин 1, 2 и 3 и к отвесу O_2 —для вершин 4 и 5, а именно: $s_1 = O\,1'$, $s_2 = O_1\,2'$, $s_3 = O_1\,3'$, $r_4 = O_2\,4'$ и $r_5 = O_2\,5'$.

Проекции s_1, s_2, s_3, r_4 и r_5, снятые измерителем со схемы ориентировки (рис. 1), откладываем от точки O_3 на линии O_3O (рис. 3), получим точки 1′, 2′, 3′, 4′ и 5′. Соединяем прямыми точку O_3 с точками 1, 2, 3, 4 и 5. Из точек 1′, 2′, 3′, 4′ и 5′ проводим перпендикулярно линии O_3O прямые $1'1_0$, $2'2_0$, $3'3_0$, $4'4_0$ и $5'5_0$ до пересечения соответственно с линиями O_31, O_32, O_33, O_34 и O_35, получим точки 1_0, 2_0, 3_0, 4_0 и 5_0.

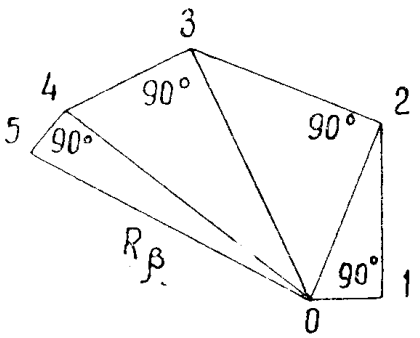


Рис. 4. Прямоугольный полигон для определения R_3

Из отрезков $1'1_0$, $2'2_0$, $3'3_0$, $4'4_0$ и $5'5_0$ строим прямоугольный полигон (рис. 4) Прямоугольный полигон строим следующим образом.

Через точку O (рис. 4) проводим прямую $O1$, на которой откладываем измерителем отрезок $1'1_0$ (рис. 3), получим точку 1. Проводим перпендикулярно линии $O1$ прямую 1 — 2 и откладываем на ней отрезок $2'2_0$ (рис. 3), получим точку 2, которую соединяем с точкой O. Проводим перпендикулярно линии $O2$ прямую 2 — 3, на которой откладываем отрезок $3'3_0$ (рис. 3), получим точку 3. Точку 3 соединяем прямой с точкой O. Дальнейшее построение прямоугольного полигона выполняется аналогично, как для точки 3.

В прямоугольном полигоне (рис. 4) стороны $O-1$, $1-2$, $2-3$, $3-4$ и $4-5$ соответственно равны отрезкам $1'1_0$, $2'2_0$, $3'3_0$, $4'4_0$, $5'5_0$ (рис. 3), а углы $O-1-2$, $O-2-3$, $O-3-4$ и $O-4-5$ — прямые. Из построений и формулы (18) следует, что замыкающая прямоугольного полигона $O-5$ (рис. 4) равна R_β (формула 18).

Для определения ошибки $M_{q\beta}$ через точку O (рис. 5) проводим прямую OB. На OB откладываем расстояние между отвесами, снятое измерителем со схемы ориентировки (рис. 1), получим точку A (отрезок OA равен отрезку O_1O_2, рис. 1) и замыкающую прямоугольного полигона R_β (R_β равна отрезку $O-5$, рис. 4), получим точку B. Через точку A проводим линию AD перпендикулярно OB. На линии AD откладываем в масштабе, например, 1 *сек* — 1 *мм* величину kt, где k — длина отрезка OO_3 (рис. 3) в дециметрах, m — ошибка измерения угла, вес которого равен единице, получим точку D. Для удобства графических построений ошибку m, учитывая, что она входит в формулу (10), необходимо принимать равной 20″.

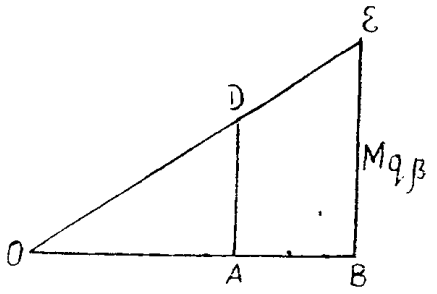


Рис. 5. Определение ошибки $Mq\beta$ графическим способом.

Через точку B (рис. 5) проводим параллельно AD прямую BE до пересечения с прямой OD, получим точку E. Из построений и формулы (13г) следует, что отрезок BE соответствует ошибке $M_{q\beta}$ в масштабе, в котором построен отрезок AD, т. е величина kt.

При предрасчете ошибки дирекционного угла первой стороны подземного соединительного полигона графические построения выполняются аналогично, как и при определении ошибки дирекционного угла исходной стороны с номером q, только для всех вершин полигона проекции R_y принимаются до отвеса O_2.

В. Определение графическим способом ошибки дирекционного угла исходной стороны в зависимости от ошибки измерения длин сторон

Ошибка дирекционного угла сторон подземного соединительного полигона в зависимости от ошибок измерения длин его сторон одинакова для всех сторон полигона и вычисляется по формуле (14).

Ошибка измерения длин сторон определяется по формуле

$$m_l = \pm a\sqrt{L}, \tag{19}$$

где L — длина стороны в метрах,

a — коэффициент случайного влияния $\left(\frac{1}{м^2}\right)$.

Для графического определения ошибки m_l формулу (19) запишем так:

$$m_l = \pm a\sqrt{10^3 Nl}\ (мм), \tag{19а}$$

где l — длина стороны, снятая со схемы ориентировки в *мм*;

N — знаменатель масштаба схемы ориентировки.

Ошибка m_l (формула 19а) определяется графически следующим образом. Из точки O (рис. 6) проводим две взаимно перпендикулярные прямые OA и OE. На прямой OE откладываем от точки O 10, 20, 30, 40, 50 и т. д. миллиметров, получим точки a, b, c, d, e и т. д.

Через указанные точки проводим прямые aa_1, bb_1, cc_1, dd_1, ee_1 и т. д. перпендикулярно линии OE. На прямых откладываем отрезки aa_1, bb_1, cc_1, dd_1, ee_1 и т. д., соответственно равные $\sqrt{10}$, $\sqrt{20}$, $\sqrt{30}$, $\sqrt{40}$, $\sqrt{50}$ и т. д. миллиметров, получим точки a_1, b_1, c_1, d_1, e_1 и т. д. Соединяя плавной кривой указанные точки и точку O, получим кривую OF.

На прямой OA откладываем отрезок OA, равный $a\sqrt{10^3 N}$ дециметров. Например, при $a = 0{,}0005$ и $N = 2000$ отрезок OA будет

$$OA = 0{,}0005\sqrt{10^3 2000} = 0{,}70 \text{ } дц.$$

В связи с малой величиной ошибки m_l в дальнейшем для удобства графических построений будем определять ошибку длины стороны, увеличенную в Q раз ($Q = 1, 2, 3, 4, 5$).

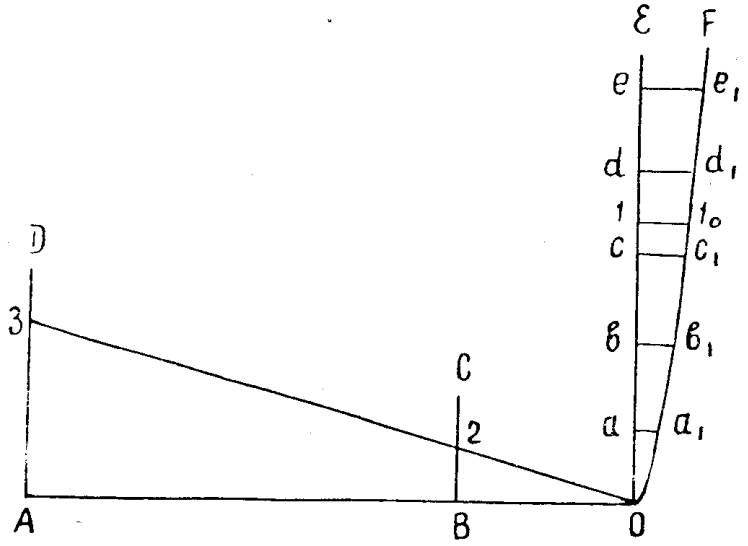


Рис. 6. Определение ошибки m_l графическим способом.

На линии OA (рис. 6) откладываем отрезок OB, равный $\frac{1}{Q}$ дециметров. Например, при $Q = 5$, $OB = \frac{1}{5} = 0{,}2$ *дм*. Через точки A и B проводим прямые AD и BC параллельно OE.

Для определения ошибки длины стороны, например 4—5, снимаем измерителем со схемы ориентировки (рис. 1) длину стороны 4—5 и откладываем ее на линии OE от точки O (рис. 6), получим точку 1. Через точку 1 проводим параллельно OA прямую $1—1_0$ до пересечения с кривой OF, получим точку 1_0. Отрезок $1—1_0$ измерителем откладываем на линии BC от точки B, получим точку 2. Проводим прямую $O—2$ до пересечения с линией AD, получим точку 3.

Отрезок $A3$, как это следует из построений и формулы (19а), равен Qm_l, который обозначим через M_l, т. е.

$$M_l = Qm_e. \tag{20}$$

Отсюда

$$m_l = \frac{M_l}{Q}. \tag{21}$$

Из (14 и 21) получим

$$M_{q_l} = \pm \frac{\rho}{CQ} \sqrt{\Sigma M_l^2 \sin^2 \varphi}, \tag{14а}$$

или

$$M_{q_l} = \pm \frac{\rho}{cNQ} R_l; \tag{14б}$$

$$R_l = \sqrt{\Sigma M_l \sin^2 \varphi}, \tag{22}$$

где c — расстояние между отвесами со схемы ориентировки в *мм*;

N — знаменатель масштаба схемы ориентировки.

Ошибка M_{q_l} графическим способом определяется следующим образом. Через точку O (рис. 7) проводим прямые $O1$, $O2$, $O3$, $O4$, $O5$ и $O6$ соответственно параллельно сторонам O_1—1, 1—2, 2—3, 3—4, 4—5 и 5—O_2 подземного соединительного полигона (рис. 1). На указанных прямых откладываем ошибки измерения длин сторон,

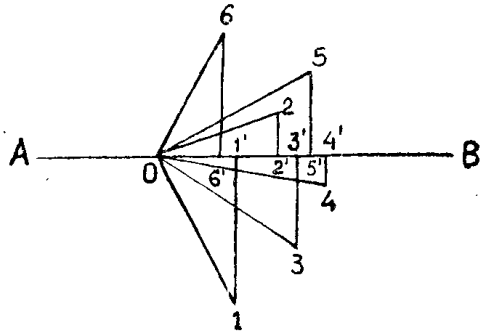


Рис. 7. Определение проекции ошибок измерения длин сторон на направление, перпендикулярное линии створа отвесов.

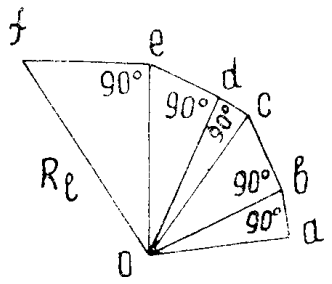


Рис. 8. Прямоугольный полигон для определения R_l.

снятые измерителем с рис. 6, например, отрезок $O5$ (рис. 7) равен отрезку $A3$ (рис. 6), получим отрезки $O1$, $O2$, $O3$, $O4$, $O5$ и $O6$. Через точку O проводим прямую AB параллельно линии створа отвесов O_1O_2. Проектируем точки 1, 2, 3, 4, 5 и 6 (рис. 7) на линию AB, получим точки 1′, 2′, 3′, 4′, 5′ и 6′.

Из отрезков 11′, 22′, 33′, 44′, 55′ и 66′ (рис. 7), т. е. проекции ошибок измерения длин сторон на направление, перпендикулярное линии створа отвесов, строим прямоугольный полигон (рис. 8), в котором $Oa = 11'$, $ab = 22'$, $bc = 33'$, $cd = 44'$, $de = 55'$ и $ef = 66'$.

Замыкающая прямоугольного полигона Of (рис. 8), как это следует из построений и формулы (22), есть R_l (формула 22).

На прямой OB от точки O (рис. 9) откладываем расстояние между отвесами, снятые измерителем со схемы ориентировки (рис. 1), получим точку A и замыкающую ($R_l = Of$) прямоугольного полигона (рис. 8), получим точку B. Через точки A и B проводим прямые AC и BD перпендикулярно OB. На прямой AC откладываем в масштабе, например, 1 *сек*—1 *мм*, величину $\frac{\rho}{NQ}$, получим точку C. Например, при $N = 2000$ и $Q = 5$, имеем

$$\frac{\rho}{NQ} = \frac{206265}{2000 \cdot 5} = 20{,}6 \text{ сек.}$$

В масштабе 1 *сек*—1 *мм* отрезок *AC* (рис. 9) равен 20,6 мм. Определяем точку *D* (рис. 9)—точку пересечения прямых *OC* и *BD*.

Отрезок *BD*, как это следует из построений и формулы (14б), соответствует ошибке M_{q_l} в масштабе, в котором построен отрезок *AC*.

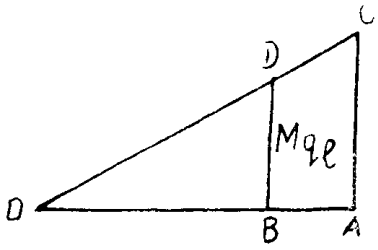


Рис. 9. Определение ошибки M_{ql} графическим способом.

Строим прямоугольный треугольник с катетами M_{q_β} и M_{q_l}. Гипотенуза треугольника соответствует ошибке M_q, вычисляемой по формуле (12).

В соответствии с § 269 Технической инструкции по производству маркшейдерских работ, изд. 1959 г., ошибка дирекционного угла исходной стороны (без учета ошибок проектирования и примыкания на поверхности) не должна превышать $\pm 60''$.

4. Предрасчет ошибки смыкания забоев горной выработки в плане графическим способом

Ошибка смыкания забоев горной выработки по ответственному направлению в плане вычисляется по формуле:

$$M_x = \pm \sqrt{M_{x_\beta}^2 + M_{x_l}^2}, \tag{23}$$

где M_{x_β}, M_{y_l} — ошибки смыкания забоев по ответственному направлению в плане от ошибок измерения углов и длин сторон соответственно.

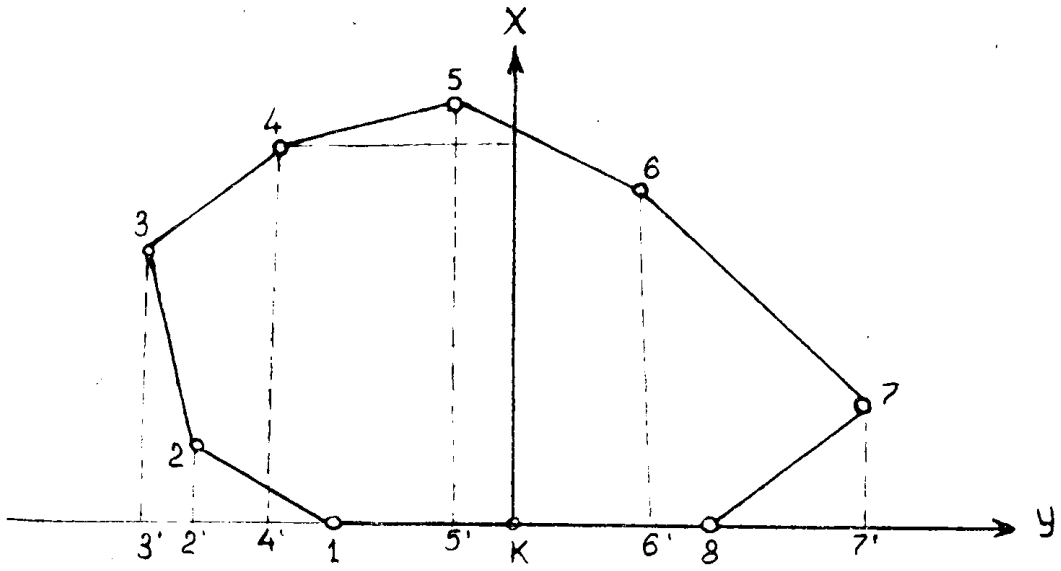


Рис. 10. Схема теодолитного хода при сбойке горной выработки.

В случае сомкнутого теодолитного хода (рис. 10) ошибки M_{x_β} и M_{x_l} вычисляются по формулам:

$$M_{x_\beta} = \pm \sqrt{\sum \frac{m_\beta^2}{\rho^2} R_y^2}; \tag{24}$$

$$M_{x_\beta} = \pm \sqrt{\Sigma m_l^2 \cos^2 \alpha}, \tag{25}$$

где R_y — проекция расстояния от вершины теодолитного хода до предполагаемой точки встречи забоев на направление, перпендикулярное ответственному;

α — дирекционный угол стороны относительно оси абсцисс, совпадающей с ответственным направлением.

Для графического определения ошибки $M_{x_з}$ преобразуем формулу (24).

Формулу (24), учитывая (1 б), запишем так:

$$M_{x_з} = \pm \frac{m}{\rho} \sqrt{\sum \left(R_y \cdot \sqrt{\frac{1}{P_з}} \right)^2}. \qquad (24а)$$

Но

$$R_y = r_y \cdot N,$$

поэтому

$$M_{x_з} = \pm \frac{mN}{\rho} \sqrt{\sum \left(r_y \cdot \sqrt{\frac{1}{P_з}} \right)^2}, \qquad (24б)$$

где r_y — величина проекции R_y на схеме сбойки горной выработки;

N — знаменатель масштаба схемы сбойки.

Обозначим

$$r'_y = r_y \sqrt{\frac{1}{P_з}}. \qquad (26)$$

Тогда

$$M_{x_з} = \pm \frac{mN}{\rho} \sqrt{\Sigma (r'_y)^2}. \qquad (24в)$$

Для удобства графических построений положим

$$r'_x = \kappa r''_y, \qquad (27)$$

где κ — постоянный коэффициент, разный длине отрезка $OO_з$ (рис. 3) в дециметрах.

Из (24б и 27) получим

$$M_{x_з} = \pm \frac{\kappa m N}{\rho} R_β; \qquad (24г)$$

$$R_β = \sqrt{\Sigma (r''_y)^2}. \qquad (28)$$

Величина $R_β$ определяется графическим путем в той же последовательности, что и величина $R_з$, входящая в формулу (13г), а именно: для каждого угла теодолитного хода определяется величина x аналогично, как для угла β_5 (рис. 2), строится график (рис. 3), определяется для каждого угла теодолитного хода, как и для угла β_5 (рис. 3), значение $\sqrt{\frac{1}{P_ц}}$ и $\sqrt{\frac{1}{P_з}}$, величины $\sqrt{\frac{1}{P_з}}$ откладываются для всех углов хода на прямой OA (рис. 3), получим точки 1, 2, 3 и т. д., соответствующие номерам углов теодолитного хода (рис. 10), которые соединяем прямыми с точкой $O_з$ (рис. 3).

Через точку $к$ (рис. 10), точку встречи забоев, проводим условные оси координат X и Y таким образом, чтобы условная ось абсцисс совпала с ответственным направлением в плане, т. е. с направлением, перпендикулярным оси сбиваемой выработки 1—8 (рис. 10).

Все вершины проектного теодолитного хода $к$—1—2—3—4—5—6—7—8 -$к$ (рис. 10) проектируем на условную ось ординат, получим точки $к$, 1, 2′, 3′, 4′, 5′, 6′, 7′ и 8.

Проекции r_y вершин хода (рис. 10) выражаются отрезками $r_{1y}=\kappa-1$, $r_{2y}=\kappa-2'$, $r_{3y}=\kappa-3'$, $r_{4y}=\kappa-4'$, $r_{5y}=\kappa-5'$, $r_{6y}=\kappa-6'$, $r_{7y}=\kappa-7'$ и $r_{8y}=\kappa-8$.

Снимаем измерителем со схемы сбойки проекции r_y для каждой вершины хода и откладываем их от точки O_3 по линии O_3O (рис. 3), получим точки $1'$, $2'$, $3'$, и т. д., из которых проводим прямые $1'-1_0$, $2'-2_0$, $3'-3_0$ и т. д. до пересечения соответственно с линиями O_31, O_32, O_33 и т. д., получим точки 1_0, 2_0, 3_0, и т. д. (рис. 3).

Из отрезков $1'1_0$, $2'2_0$, $3'3_0$ и т. д. строим прямоугольный полигон, аналогично, как и при ориентировке через два вертикальных шахтных ствола (рис. 4). Замыкающая прямоугольного полигона и есть величина R_β.

Для определения ошибки M_{x_β} через точку O (рис. 11), проводим прямую OA, на которой откладываем отрезок $OA=1$ *дм* и $OB=\frac{\kappa m N}{\rho}$ *дм*. Например, при $\kappa=2$ (отрезок OO_3, рис. 3, равен 2 *дм*, $m=\pm 20''$ и $N=1000$, отрезок OB будет

$$OB=\frac{2\cdot 20\cdot 1000}{206265}=0{,}2 \text{ дм}.$$

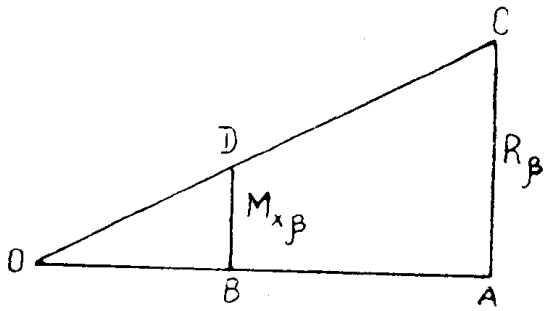


Рис. 11. Определение ошибки смыкания забоев горной выработки в зависимости от ошибки измерения углов графическим путем.

На прямой AC, проведенной перпендикулярно OA, откладываем от точки A измерителем R_β замыкающую прямоугольного полигона (рис. 4), получим точку C. Из точки B проводим прямую BD параллельно AC до пересечения с прямой OC, получим точку D. Отрезок BD, как это следует из построений и формулы (24г), соответствует ошибке M_{x_β}, выраженной в миллиметрах.

Ошибки длин сторон, входящие в формулу (25), вычисляются по формуле (19).

Формулу (25), учитывая (21), запишем так:

$$M_{x_l}=\pm\frac{R_l}{Q}; \tag{25а}$$

$$R_l=\pm\sqrt{\Sigma M_l^2\cos^2\alpha}. \tag{29}$$

Ошибка M_l, т. е. ошибка m_l, увеличенная в Q раз, для каждой стороны хода определяется графически аналогично, как и для сторон подземного соединительного полигона при ориентировке через два вертикальных шахтных ствола, § 2.

Для определения $M_l\cos\alpha$, т. е. проекции ошибки M_l на ответственное направление сбойки, поступаем следующим образом. Из точки O (рис. 12) проводим линию $O1$, $O2$, $O3$ и т. д. параллельно сторонам теодолитного хода (рис. 10). Ошибки M_l, снятые измерителем с рис. 6 для каждой стороны хода, откладываем от точки O (рис. 12) по соответствующим направлениям, получим точки 1, 2, 3 и т. д. Проектируем точки 1, 2, 3 и т. д. на ответственное направление сбойки (x), получим точки 1_0, 2_0, 3_0 и т. д. Из отрезков $O1_0$, $O2_0$, $O3_0$ и т. д., т. е.

...технич...ская
...отека ТПИ

проекции ошибок M_l на ответственное направление сбойки, строим прямоугольный полигон, аналогично прямоугольному полигону (рис. 8). Замыкающая прямоугольного полигона соответствует R_l (формула 25 а). Разделив R_l на Q, получим ошибку M_{x_l} в миллиметрах.

Ошибка смыкания встречных забоев горной выработки (в плане) по ответственному направлению (ошибка M_x) соответствует гипотенузе прямоугольного треугольника с катетами M_{x_3} и M_{x_l}.

Предлагаемый графический способ предрасчета ошибки дирекционного угла стороны соединительного полигона при ориентировке

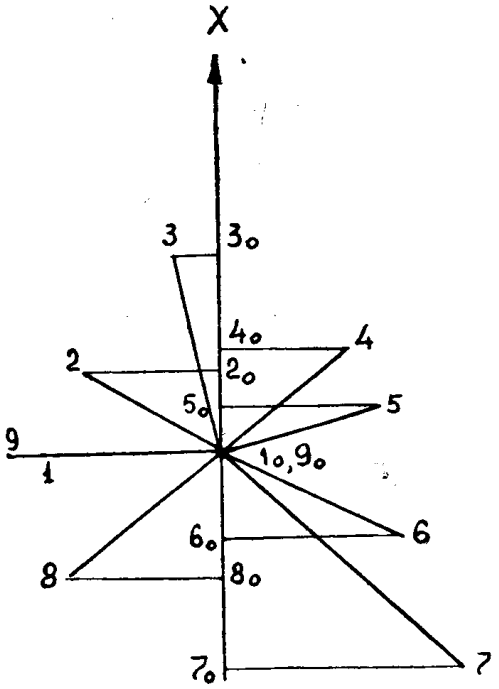


Рис. 12. Определение проекции ошибок измерения длин сторон на ответственное направление сбойки.

через два вертикальных шахтных ствола и ошибки смыкания забоев горной выработки в плане используется студентами маркшейдерской специальности Томского политехнического института с 1955 г. при выполнении лабораторных работ, курсовых и дипломных проектов. Во всех случаях его применения результаты предрасчета соответствовали аналитическому способу.

При графическом способе предрасчета, как правило, грубые ошибки не имели места, при аналитическом же способе указанные ошибки встречались.

Методику графического способа предрасчета студенты легко и быстро усваивали и успешно использовали в своих работах.

Графический способ предрасчета ошибки ориентировки через два вертикальных шахтных ствола и сбойки горной выработки, пройдя семилетнюю проверку в стенах института, заслуживает широкого внедрения в практику маркшейдерских организаций.