

ОБЩИЙ МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ И ОЦЕНКИ  
ТОЧНОСТИ ОРИЕНТИРОВКИ ЧЕРЕЗ ДВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ  
ШАХТНЫХ СТВОЛА

В. И. АКУЛОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Методы вычисления и оценки точности ориентировки через два вертикальных шахтных ствола, рекомендуемые маркшейдерской литературой, применимы для одного частного ее решения, а именно: для случая, когда ориентировка вычисляется без стороны ориентированного полигона между отвесами.

Ориентировка через два вертикальных шахтных ствола может быть вычислена без любой стороны, включая и сторону между отвесами, и без любого угла ориентированного полигона, т. е. из однократно выполненной ориентировки для каждой стороны подземного соединительного полигона, состоящего из „ $n$ “ вершин, не считая отвесы А и В, может быть вычислено в системе координат, принятой на поверхности,  $2(n+1)$  значений дирекционного угла и для каждой его вершины  $2(n+1)$  значений координат.

При вычислении ориентировки по способу, рекомендуемому всей маркшейдерской литературой, для каждой стороны подземного соединительного полигона может быть вычислено только одно значение дирекционного угла из  $2(n+1)$  его значений и для каждой его вершины — также только одно значение координат из  $2(n+1)$  их значений, остальные „ $2n+1$ “ значений дирекционного угла для каждой стороны и „ $2n+1$ “ значений координат для каждой вершины не могут быть определены, исходя из аппарата формул, рекомендуемого маркшейдерской литературой. Поэтому при вычислении ориентировки по способу, рекомендуемому маркшейдерской литературой, невозможно определить для каждой стороны подземного соединительного полигона, в том числе и для первой, то значение дирекционного угла в системе координат, принятой на поверхности, которое имеет при данной точности измерений углов и длин сторон как поверхностных теодолитных ходов к отвесам А и В, так и подземного соединительного полигона и их конкретной форме минимальную ошибку.

Предлагаемый общий метод вычисления ориентировки через два вертикальных ствола дает возможность для каждой стороны подземного соединительного полигона определить то значение дирекционного угла в системе координат, принятой на поверхности, которое имеет минимальную ошибку.

В статье в связи со сложной конструкцией формул для оценки точности ориентировки, вычисленной без угла подземного соединитель-

ного полигона, рассматривается только вычисление ориентировки без стороны ориентирного полигона.

### Общий метод вычисления ориентировки через два вертикальных шахтных ствола без стороны ориентирного полигона

При ориентировании подземных съемок через два сообщающихся вертикальных шахтных ствола, как известно, с поверхности до ориентируемого горизонта по каждому стволу опускается по одному отвесу и между указанными отвесами на ориентируемом горизонте прокладывается по горным выработкам теодолитный ход  $A-1-2\dots-n-B$  (рис. 1), в котором измеряются все углы и стороны.

Координаты отвесов  $A$  и  $B$  в системе, принятой на поверхности, вычисляются соответственно из поверхностных теодолитных ходов  $R-1'-2'-A$  и  $S-1''-2''-B$ .

В дальнейшем теодолитный ход  $A-1-2\dots-n-B$  (рис. 1), пройденный на ориентируемом горизонте между отвесами  $A$  и  $B$ , будем называть подземным соединительным полигоном, а замкнутый полигон  $A-1-2\dots-n-B-A$ , образованный подземным соединительным полигоном и стороной  $AB$ , вычисленной из поверхностной съемки, — ориентирным полигоном.

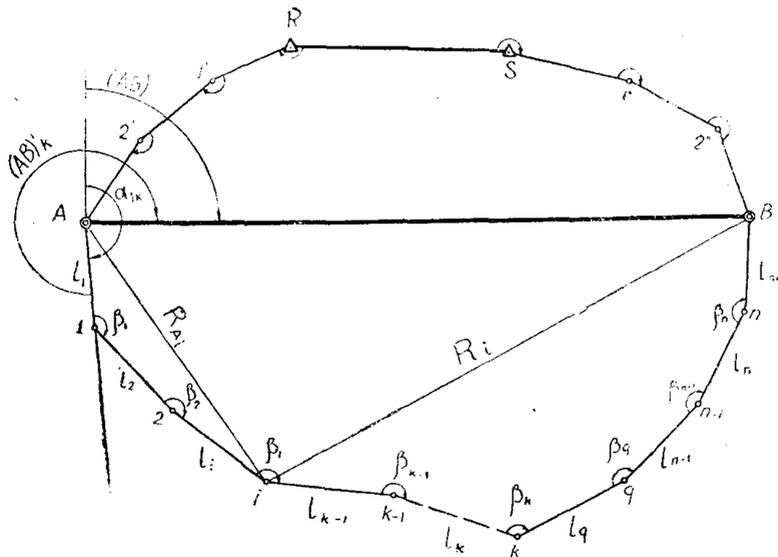


Рис. 1

Введем обозначения:

- $\beta$  — измеренный угол подземного соединительного полигона;
- $l$  — измеренная длина стороны, редуцированная на среднюю уровенную поверхность и плоскость в проекции Гаусса;
- $l_k$  — сторона ориентирного полигона, без которой вычислена ориентировка;
- $\alpha_{ik}$  — дирекционный угол в системе координат, принятой на поверхности,  $i$ -ой стороны подземного соединительного полигона, вычисленный без стороны с номером „ $k$ “;
- $\alpha_k$  — дирекционный угол стороны с номером „ $k$ “;

$\alpha'_i$  — условный дирекционный угол  $i$ -ой стороны подземного соединительного полигона относительно условной оси абсцисс, совпадающей с направлением его первой стороны;

$(AB)'_k$  — условный дирекционный угол линии створа отвесов АВ, вычисленный без стороны с номером „К“

$X'_{k-1}, Y'_{k-1}$  — условные координаты вершины с номером „К—1“ относительно условного начала координат, совпадающего с отвесом А;

$X''_B, Y''_B$  — условные координаты отвеса В относительно второго условного начала координат, совпадающего с вершиной „К“;

$(AB)$  — дирекционный угол линии створа отвесов из поверхностной съемки;

$X_A, Y_A; X_B, Y_B$  — координаты отвесов А и В из поверхностной съемки;

$X_{k-1}, Y_{k-1}; X_k, Y_k$  — координаты вершин, ограничивающих сторону, без которой вычислена ориентировка;

$n$  — количество вершин в подземном соединительном полигоне, не считая отвесы А и В;

$N = n + 1$  — количество сторон в подземном соединительном полигоне;

$C_n$  — расстояние между отвесами из поверхностной съемки;

$C_{ш}$  — расстояние между отвесами из подземного соединительного полигона;

$$\rho = 206265''.$$

Для вычисления подземного соединительного полигона в системе координат, принятой на поверхности, независимо, измерены ли в этом полигоне все стороны или на одну меньше, необходимо предварительно, в указанной системе координат, определить дирекционный угол его первой стороны.

При вычислении ориентировки без стороны „К“ дирекционный угол в системе координат, принятой на поверхности, первой стороны подземного соединительного полигона определяется из уравнения:

$$\operatorname{tg}(\alpha_{1k} + \alpha'_{1k}) = \frac{Y_k - Y_{k-1}}{X_k - X_{k-1}}. \quad (1)$$

После преобразования уравнение (1) примет вид:

$$\operatorname{tg}(\alpha_{1k} + \alpha'_{1k}) = \frac{(Y_B - Y_A) - (X''_B + X'_{k-1}) \sin \alpha_{1k} - (Y''_B + Y'_{k-1}) \cos \alpha_{1k}}{(X_B - X_A) - (X''_B + X'_{k-1}) \cos \alpha_{1k} + (Y''_B + Y'_{k-1}) \sin \alpha_{1k}}. \quad (2)$$

Условные координаты  $X'_{k-1}, Y'_{k-1}$  и  $X''_B, Y''_B$  вычисляются по формулам:

$$X'_{k-1} = \sum_1^{k-1} l_i \cos \alpha'_i, \quad (3)$$

$$Y'_{k-1} = \sum_1^{k-1} l_i \sin \alpha'_i, \quad (4)$$

$$X''_B = \sum_{k+1}^{n+1} l_i \cos \alpha'_i, \quad (5)$$

$$Y''_B = \sum_{k+1}^{n+1} l_i \sin \alpha'_i, \quad (6)$$

$$\alpha'_i = \sum_1^{i-1} \beta_i \pm (i-1) 180^\circ. \quad (7)$$

Решив уравнение (2), получим:

$$\sin \varphi_k = \frac{(X''_B + X'_{k-1}) \sin \alpha'_k - (Y''_B + Y'_{k-1}) \cos \alpha'_k}{C_n}, \quad (8)$$

$$\varphi_k = \alpha_{1k} + \alpha'_k - (AB). \quad (9)$$

Из (9) имеем

$$\alpha_{1k} = (AB) - (\alpha'_k - \varphi_k). \quad (10)$$

Так как

$$\alpha_k = \alpha_{1k} + \alpha'_k,$$

то выражение (9) примет вид:

$$\varphi_k = \alpha_k - (AB). \quad (11)$$

Из формулы (11) следует, что угол  $\varphi_k$  есть угол между линией створа отвесов и стороной, без которой вычислена ориентировка.

Разность  $\alpha'_k - \varphi_k$  соответствует условному дирекционному углу линии створа отвесов, вычисленному без стороны „К“, т. е.

$$(AB)_{k'} = \alpha'_k - \varphi_k. \quad (12)$$

Поэтому формула (10) примет вид:

$$\alpha_{1k} = (AB) - (AB)_{k'}. \quad (13)$$

Дирекционные углы сторон подземного соединительного полигона в системе координат, принятой на поверхности, вычисляются по формуле:

$$\alpha_{ik} = \alpha_{1k} + \alpha'_i. \quad (14)$$

Координаты вершин подземного соединительного полигона в системе, принятой на поверхности, от первой до „К—1“ включительно вычисляются исходя из координат отвеса А и остальных вершин — исходя из координат отвеса В.

Таким образом, исходя из формул (8), (12) и (13), можно вычислить ориентировку через два вертикальных ствола без любой стороны подземного соединительного полигона.

Если в подземном соединительном полигоне измерены все углы и стороны, то формула (8) примет вид:

$$\sin \varphi_K = \frac{X'_B \sin \alpha_K' - Y'_B \cos \alpha_K'}{C_n}; \quad (8a)$$

$$X'_B = \sum_1^{n+1} l_i \cos \alpha_i'; \quad (15)$$

$$Y'_B = \sum_1^{n+1} l_i \sin \alpha_i', \quad (16)$$

где  $X'_B, Y'_B$  — условные координаты отвеса В относительно условного начала координат, совпадающего с отвесом А.

Угол  $\varphi_K$ , вычисленный по формуле (8a), не зависит от стороны, без которой вычислена ориентировка, т. е. от стороны „К“.

Рассмотрим, исходя из формул (8a), (12) и (13), вычисление ориентировки без стороны ориентирного полигона между отвесами, т. е. без стороны АВ (рис. 1), вычисленной из поверхностной съемки.

Для случая, когда ориентировка вычисляется без стороны ориентирного полигона между отвесами, формула (8a) примет вид:

$$X'_B \sin (AB)_{AB} - Y'_B \cos (AB)'_{AB} = 0.$$

Отсюда

$$\operatorname{tg} (AB)'_{AB} = \frac{Y'_B}{X'_B}. \quad (17)$$

Из формул (12) и (13) получим:

$$\alpha_{1AB} = (AB) - (AB)'_{AB}. \quad (18)$$

Рассмотренный нами способ вычисления ориентировки без стороны ориентирного полигона между отвесами рекомендуется всей маркшейдерской литературой как единственный способ ее вычисления.

Таким образом, рекомендуемый всей маркшейдерской литературой способ вычисления ориентировки через два вертикальных шахтных ствола есть частный случай общего способа вычисления ориентировки без любой стороны ориентирного полигона.

Для случая, когда в подземном соединительном полигоне измерены все углы и стороны, формула (13) может быть записана в следующем виде:

$$\alpha_{1K} = \alpha_{1AB} + \frac{\rho \Delta C \operatorname{tg} \varphi_K}{C_n}; \quad (13a)$$

$$\Delta C = C_{ш} - C_n; \quad (19)$$

$$C_{ш} = \frac{Y'_B}{\sin (AB)'_{AB}} = \frac{X'_B}{\cos (AB)'_{AB}}; \quad (20)$$

$$C_n = \frac{Y_B - Y_A}{\sin(AB)} = \frac{X_B - X_A}{\cos(AB)}. \quad (21)$$

Правильность вычисления ориентировки контролируется равенством дирекционных углов стороны, без которой вычислена ориентировка, найденных по формулам:

$$\alpha_K = \alpha_{1K} + \alpha_K'; \quad (22)$$

$$\operatorname{tg} \alpha_K = \frac{Y_K - Y_{K-1}}{X_K - X_{K-1}}. \quad (23)$$

Если координаты всех вершин подземного соединительного полигона, в том числе и отвеса В, вычисляются, исходя из координат отвеса А и всех измеренных его углов и длин сторон, включая и сторону, без которой вычислена ориентировка, то правильность вычисления ориентировки контролируется равенствами:

$$f_{x_K} = \frac{\Delta C \cos \alpha_K}{\cos \varphi_K}, \quad (24)$$

$$f_{y_K} = \frac{\Delta C \sin \alpha_K}{\cos \varphi_K}.$$

Левые части равенств (24), т. е. невязки координат отвеса В из подземного соединительного полигона и поверхностной съемки, равны

$$f_{x_K} = \sum_1^{n+1} l_i \cos \alpha_{i_K} - (X_B - X_A), \quad (25)$$

$$f_{y_K} = \sum_1^{n+1} l_i \sin \alpha_{i_K} - (Y_B - Y_A). \quad (26)$$

Линейная невязка подземного соединительного полигона, исходя из формул (24), равна:

$$f_{s_K} = \frac{\Delta C}{\cos \varphi_K}. \quad (27)$$

Относительная линейная невязка подземного соединительного полигона для случая, когда ориентировка вычисляется без стороны „К“ ориентирного полигона, равна:

$$\frac{f_{s_K}}{P} = \frac{\Delta C}{P \cos \varphi_K}, \quad (28)$$

где  $P$  — периметр подземного соединительного полигона.

Угол  $\varphi_k$ , в формулах (13а), (24), (27) и (28), вычисляется по приближенной формуле

$$\varphi_k = \alpha_k' - (AB)'_{AB}. \quad (29)$$

Контроль (24) контролирует правильность вычисления подземного соединительного полигона с учетом избыточно измеренной его стороны как в условной, так и в системе координат, принятой на поверхности.

Контроль (24) производится перед вычислением координат вершин подземного соединительного полигона.

При вычислении ориентировки без стороны ориентирного полигона между отвесами, т. е. по способу, рекомендуемому маркшейдерской литературой, контроль (24) и формулы (27) и (28) примут вид:

$$f_{x_{AB}} = \Delta C \cos (AB); \quad (30)$$

$$f_{y_{AB}} = \Delta C \sin (AB);$$

$$f_{s_{AB}} = \Delta C; \quad (31)$$

$$\frac{f_{s_{AB}}}{P} = \frac{\Delta C}{P}. \quad (32)$$

Правильность измерений элементов (углов и длин сторон) подземного соединительного полигона контролируется неравенством:

$$\Delta l_k < \Delta l_{k_{\text{доп}}}, \quad (33)$$

где  $\Delta l_k$  — фактическая разность между вычисленной и измеренной длиной стороны, без которой вычислена ориентировка;

$\Delta l_{k_{\text{доп}}}$  — допустимая разность.

Фактическая разность „ $\Delta l_k$ “ определяется по формуле:

$$\Delta l_k = \sqrt{(X_k - X_{k-1})^2 + (Y_k - Y_{k-1})^2} - l_k. \quad (34)$$

Примем за  $\Delta l_{k_{\text{доп}}}$  двойную среднеквадратическую ошибку разности  $\Delta l_k$ , определяемую по формуле (34), тогда

$$\Delta l_k < \pm 2M_{\Delta l_k}, \quad (35)$$

где  $M_{\Delta l_k}$  — средняя квадратическая ошибка разности  $\Delta l_k$ , зависящая от ошибок измерений углов и длин сторон подземного соединительного полигона.

Исходя из (34), получим:

$$M_{\Delta l_k} = \pm \frac{1}{\cos \varphi_k} \sqrt{\sum_1^n R_i''^2 \frac{m_{\delta_i}^2}{\rho^2} + \sum_1^{n+1} \cos^2 \delta_i m_{l_i}^2}; \quad (36)$$

$$R_i'' = R_i \sin [(AB)' - \gamma_i']; \quad (37)$$

$$\delta_i = (AB)' - \alpha_i', \quad (38)$$

где  $R_i$  — кратчайшее расстояние от „ $i$ -ой“ вершины подземного соединительного полигона до отвеса В;

$R_i''$  — проекция луча  $R_i$  на направление, перпендикулярное линии створа отвесов;

$\beta_i'$  — условный дирекционный угол луча  $R_i$ ;

$\delta_i$  — угол между „ $i$ -ой“ стороной полигона и линией створа отвесов;

$m_\beta$  — средняя квадратическая ошибка измерения угла;

$m_l$  — средняя квадратическая ошибка измерения длины стороны.

Подставляя  $M_{\Delta l_k}$  из (36) в неравенство (35), получим:

$$\Delta l_k < \pm \frac{2}{\cos \varphi_k} \sqrt{\sum_1^n R_i''^2 \frac{m_{\beta_i}^2}{\rho^2} + \sum_1^{n+1} \cos^2 \delta_i m^2 l_i}. \quad (39)$$

Связь между  $\Delta l_k$  и  $\Delta C$  выражается формулой:

$$\Delta C = - \Delta l_k \cos \varphi_k. \quad (40)^1$$

Поэтому неравенство (39) примет вид:

$$\Delta C < \Delta C_{\text{доп.}}; \quad (41)$$

$$\Delta C_{\text{доп.}} = \pm 2 \sqrt{\sum_1^n R_i''^2 \frac{m_{\beta_i}^2}{\rho^2} + \sum_1^{n+1} \cos^2 \delta_i m^2 l_i}. \quad (42)$$

Таким образом, независимо от стороны ориентирного полигона, без которой вычислена ориентировка, правильность измерений элементов подземного соединительного полигона контролируется неравенством (41).

Необходимо отметить, что выполнение неравенства (41) может иметь место и при грубой ошибке в измерении стороны подземного соединительного полигона, перпендикулярной к линии створа отвесов, или угла — при вытянутой форме полигона, поэтому необходимо выбирать такую методику полевых измерений, которая полностью исключала бы грубые ошибки.

Контроль правильности измерений при ориентировке через два вертикальных створа, выраженной неравенством (41), рекомендуется всей маркшейдерской литературой.

Во всех случаях, когда неравенство (41) удовлетворяется, фактические невязки координат отвеса В из подземного соединительного полигона, как это следует из контроля (24), должны быть меньше допустимых, вычисленных, исходя из  $\Delta C_{\text{доп.}}$ . Поэтому, если исходить только из точности ориентирования подземных съемок, то нет необходимости дополнительно к контролю правильности измерений (41) устанавливать нормы для относительной линейной невязки подземного соединительного полигона, как это и рекомендуется во всей маркшейдерской литературе. С другой стороны, если не ограничить относительную линейную невязку подземного соединительного полигона, то при допустимой точности ориентирования подземных съемок может иметь место недостаточная точность их центрирования. Поэтому, исходя из точности центрирования подземных съемок, мы считаем,

<sup>1)</sup> Равенство (40) справедливо для сторон неперпендикулярных линий створа отвесов.

что относительная линейная невязка подземного соединительного полигона не должна превышать  $1/5000$ , т. е.

$$\frac{\sqrt{j_{x_k}^2 + j_{y_k}^2}}{P} < \frac{1}{5000}. \quad (43)$$

Учитывая контроль (24), неравенство (43) примет вид:

$$\frac{\Delta C}{P \cos \varphi_k} < \frac{1}{5000}.$$

Отсюда

$$\Delta C < \frac{P}{5000 \sec \varphi_k}. \quad (44)$$

Из неравенств (41) и (44) следует, что  $\Delta C_{\text{доп.}}$ , вычисленная по формуле (42), должна удовлетворять неравенству:

$$\Delta C_{\text{доп.}} < \frac{P}{5000 \sec \varphi_k}. \quad (45)$$

Во всех случаях, когда одновременно удовлетворяются неравенства (41) и (45), фактическая относительная линейная невязка подземного соединительного полигона будет меньше  $\frac{1}{5000}$  периметра полигона, т. е. будет иметь место выполнение неравенства (43).

При вычислении ориентировки без стороны ориентирного полигона между отвесами, т. е. по способу, рекомендуемому маркшейдерской литературой, неравенство (45) примет вид:

$$\Delta C_{\text{доп.}} < \frac{P}{5000}. \quad (46)$$

#### Общий метод оценки точности ориентировки через два вертикальных шахтных ствола

Ориентировка через два вертикальных шахтных ствола, как нами установлено, может быть вычислена без любой стороны ориентирного полигона, аппарат же формул, рекомендуемый всей маркшейдерской литературой, для оценки точности ориентировки применим для одного частного ее решения, а именно: для случая, когда ориентировка вычисляется без стороны ориентирного полигона между отвесами.

Установим, исходя из общего способа вычисления ориентировки, общий метод оценки точности ориентирования подземных съемок через два вертикальных шахтных ствола.

Дирекционный угол стороны подземного соединительного полигона с номером „q“ (рис.1) в системе координат, принятой на поверхности, для случая, когда ориентировка вычисляется без стороны „К“ ориентирного полигона, исходя из формул (12), (13) и (14), равен

$$\alpha_{qk} = (AB) + \varphi_k + \alpha_{q'} - \alpha'_{k}. \quad (47)$$

Из формулы (47) следует, что  $\alpha_{qk}$  есть функция исходных данных и всех измеренных углов и длин сторон как поверхностных теодолитных ходов к отвесам А и В, так и подземного соединительного полигона за исключением только стороны, без которой он вычисляется.

В дальнейшем исследуем влияние ошибок измерений углов и длин сторон подземного соединительного полигона на точность опре-

деления дирекционных углов его сторон в системе координат, принятой на поверхности.

Средняя квадратическая ошибка дирекционного угла стороны „q“, зависящая от ошибок измерений углов и длин сторон подземного соединительного полигона, исходя из формулы (47), равна:

$$M_{\alpha_{qk}} = \pm \rho \sqrt{\sum_1^n \left\{ \frac{\partial \alpha_{q'}}{\partial \beta_i} - \frac{R'_{i_k}}{C \cos \varphi_k} \right\}^2 m_{\beta_i}^2 + \frac{1}{C^2 \cos^2 \varphi_k} \sum_1^{n+1} \sin^2 \delta_{i_k} m_{i_i}^2}; \quad (48)$$

$$R'_{i_k} = R_i \cos(\alpha'_{i_k} - \gamma'_{i_i}), \quad (49)$$

$$\delta_{i_k} = \alpha'_{i_k} - \alpha'_{i_i}, \quad (50)$$

где  $C$  — расстояние между отвесами;

$R'_{i_k}$  — проекция луча  $R_i$  на направление, параллельное стороне, без которой вычислена ориентировка;

$\delta_{i_k}$  — угол между „ $i$ -ой“ стороной подземного соединительного полигона и стороной ориентирного полигона, без которой вычислена ориентировка.

Формула (48) выражает для случая, когда ориентировка вычисляется без стороны ориентирного полигона, общий закон влияния ошибок измерений углов и длин сторон подземного соединительного полигона на точность ориентирования подземных съемок через два вертикальных шахтных ствола.

Формула (48) может быть представлена в виде:

$$M_{\alpha_{qk}} = \pm \frac{\rho}{C \cos \varphi_k} \sqrt{m'_{A_k}{}^2 + m'_{B_k}{}^2}; \quad (48a)$$

$$m'_{A_k} = \pm \sqrt{\sum_1^{q-1} R'_{A_{i_k}}{}^2 \frac{m_{\beta_i}^2}{\rho^2} + \sum_1^{q-1} \sin^2 \delta_{i_k} m_{i_i}^2}; \quad (51)$$

$$m'_{B_k} = \pm \sqrt{\sum_q^n R_{i_k}{}^2 \frac{m_{\beta_i}^2}{\rho^2} + \sum_q^{n+1} \sin^2 \delta_{i_k} m_{i_i}^2}; \quad (52)$$

$$R'_{A_{i_k}} = R_{A_i} \cos(\alpha'_{i_k} - \gamma'_{A_i}), \quad (53)$$

где  $m'_{A_k}$  — погрешность положения отвеса  $A$  в направлении, перпендикулярном стороне, без которой вычислена ориентировка, из всякого полигона от вершины „ $q-1$ “ до отвеса  $A$ , считая в этом полигоне дирекционный угол стороны с номером „ $q$ “ твердым;

$m'_{B_k}$  — погрешность положения отвеса В в направлении, перпендикулярном стороне, без которой вычислена ориентировка, из висячего полигона от вершины „q—1“ до отвеса В, считая в этом полигоне дирекционный угол стороны с номером „q“ твердым;

$R_{A_i}$  — кратчайшее расстояние от „i-ой“ вершины до отвеса А;

$\gamma'_{A_i}$  — условный дирекционный угол луча  $R_{A_i}$ ;

$R'_{A_i k}$  — проекция луча  $R_{A_i}$  на направление, параллельное стороне, без которой вычислена ориентировка.

Ошибка дирекционного угла первой стороны подземного соединительного полигона, исходя из формул (48) и (48а), равна:

$$M_{\alpha_{1k}} = \pm \frac{\rho}{C \cos \varphi_k} \sqrt{\sum_1^n R'^2_{i_k} \frac{m^2_{\beta_i}}{\rho^2} + \sum_1^{n+1} \sin^2 \delta_{i_k} m^2_{l_i}} \quad (54)$$

$$M_{\alpha_{1k}} = \pm \frac{\rho m_{B_k}}{C \cos \varphi_k}; \quad (54a)$$

$$m_{B_k} = \pm \sqrt{\sum_1^n R'^2_{i_k} \frac{m^2_{\beta_i}}{\rho^2} + \sum_1^{n+1} \sin^2 \delta_{i_k} m^2_{l_i}}, \quad (55)$$

где  $m_{B_k}$  — погрешность положения отвеса В в направлении, перпендикулярном стороне, без которой вычислена ориентировка из подземного соединительного полигона, рассматривая его как висячий полигон с твердой точкой (отвесом) А и твердым дирекционным углом первой стороны.

При вычислении ориентировки без стороны ориентирного полигона между отвесами, т. е. по способу, рекомендуемому маркшейдерской литературой, формулы (48) и (54) примут вид:

$$M_{\alpha_{qAB}} = \pm \rho \sqrt{\sum_1^n \left\{ \frac{\partial \alpha'_i}{\partial \beta_i} - \frac{R'_{iAB}}{C} \right\}^2 \frac{m^2_{\beta_i}}{\rho^2} + \frac{1}{C^2} \sum_1^{n+1} \sin^2 \delta_{iAB} m^2_{l_i}} \quad (56)$$

$$M_{\alpha_{1AB}} = \pm \frac{\rho''}{C} \sqrt{\sum_1^n R'^2_{iAB} \frac{m^2_{\beta_i}}{\rho^2} + \sum_1^{n+1} \sin^2 \delta_{iAB} m^2_{l_i}}; \quad (57)$$

$$R'_{iAB} = R_i \cos [(AB)' - \gamma'_i]; \quad (58)$$

$$\delta_{iAB} = (AB)' - \alpha'_i. \quad (59)$$

Формулы (56) и (57), полученные, исходя из общих формул (48) и (54), для частного решения задачи ориентирования подземных съемок через два вертикальных шахтных ствола без стороны ориентир-

ного полигона между отвесами, впервые были установлены профессором И. М. Бахуриным<sup>1)</sup> и в настоящее время рекомендуются во всей маркшейдерской литературе как единственные формулы для оценки точности ориентировки через два вертикальных шахтных ствола.

Формулы (48) и (48а) для подземных соединительных полигонов произвольного вида не могут быть упрощены, для вытянутых же полигонов с примерно равными сторонами указанные формулы могут быть преобразованы.

Формула (48) для вытянутого равностороннего подземного соединительного полигона (рис. 2) независимо от стороны ориентирного полигона, без которой вычисляется ориентировка, примет вид:

$$M_{\alpha_q} = \pm m_{\beta} \sqrt{\frac{(N-1)(2N-1)}{6N} \frac{(N-q)(q-1)}{N}}, \quad (60)$$

где  $N$  — количество сторон в подземном соединительном полигоне.

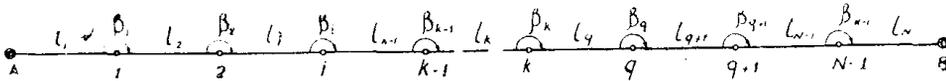


Рис. 2.

Из формулы (60) следует, что при вытянутой форме подземного соединительного полигона ошибки измерений длин его сторон не оказывают влияния на точность ориентирования подземных съемок.

Преобразуем формулу (48а) для вытянутого равностороннего подземного соединительного полигона.

Формула (48а) для вытянутого подземного соединительного полигона независимо от его стороны, без которой вычисляется ориентировка, примет вид:

$$M_{\alpha_q} = \pm \frac{\rho}{C} \sqrt{m_{AAB}^{\prime 2} + m_{BAB}^{\prime 2}}. \quad (61)$$

Погрешность отвеса А в направлении, перпендикулярном линии створа отвесов, из висячего полигона от вершины „q—1“ до отвеса А (рис. 2) равна:

$$m_{AAB}^{\prime 2} = \frac{q(q-1)(2q-1)l^2 m_{\beta}^2}{6\rho^2}. \quad (62)$$

Погрешность отвеса В в направлении, перпендикулярном линии створа отвесов, из висячего теодолитного хода от вершины „q—1“ до отвеса В (рис. 2), равна:

$$m_{BAB}^{\prime 2} = \frac{(N-q)(N-q+1)(2N-2q+1)l^2 m_{\beta}^2}{6\rho^2}. \quad (63)$$

1) Бахурин И. М. Курс маркшейдерского искусства. Специальная часть, ОНТИ, 1932.

Подставляя  $m_{\text{АВ}}$  и  $m_{\text{ВВ}}$  из (62) и (63) в формулу (61), получим:

$$M_z = \pm \frac{m_3}{N} \sqrt{\frac{q(q-1)(2q-1)}{6} + \frac{(N-q)(N-q+1)(2N-2q+1)}{6}}. \quad (64)$$

Формула (64) известна в маркшейдерской литературе как формула инж. М. С. Черемисина.

Формула (64) по своей конструкции является довольно сложной. Если к подкоренному выражению прибавить и вычесть выражение  $3N^2m_3^2$ , то формула (64) примет вид формулы (60).