

**МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ ОРИЕНТИРОВКИ ЧЕРЕЗ ДВА
ВЕРТИКАЛЬНЫХ ШАХТНЫХ СТОЛА С УСЛОВИЕМ
МИНИМАЛЬНОЙ ОШИБКИ ОРИЕНТИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
СЪЕМОК**

В. И. АКУЛОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Для каждой стороны подземного соединительного полигона, состоящего из N сторон, из однократной ориентировки через два вертикальных шахтных ствола, как установлено автором [1], определяется с различной точностью „ $N + 1$ “ значений дирекционного угла в системе координат, принятой на поверхности.

За вероятное значение дирекционного угла стороны из „ $N + 1$ “ его значений, естественно, должно быть принято то его значение, которое имеет минимальную ошибку.

Съемка горных выработок ориентируемого горизонта обычно начинается с какой-то одной стороны подземного соединительного полигона, поэтому нет необходимости устанавливать для всех его сторон вероятные дирекционные углы, достаточно установить только для исходной, т. е. для стороны, с которой начинается подземная съемка.

Определение вероятного значения дирекционного угла исходной стороны из „ $N + 1$ “ его значений практически сводится к установлению стороны ориентирного полигона, без которой дирекционный угол исходной стороны подземного соединительного полигона определяется с минимальной ошибкой.

Сторона ориентирного полигона, без которой дирекционный угол исходной стороны подземного соединительного полигона определяется с минимальной ошибкой, может быть установлена аналитическим и графоаналитическим способами.

В дальнейшем рассмотрим только графоаналитический способ, который по сравнению с аналитическим не требует больших вычислений и наряду с этим дает возможность:

- 1) построить кривую средних ошибок ориентировки;
- 2) определить для всех „ $N + 1$ “ значений дирекционного угла исходной стороны средние квадратические ошибки.

Примем сторону с номером „ q “ подземного соединительного полигона (рис. 1) за исходную сторону подземных съемок ориентируемого горизонта.

Дирекционный угол исходной стороны и его средняя квадратическая ошибка, зависящая от ошибок измерений углов и длин сторон подземного соединительного полигона, для случая, когда ориен-

тировка вычисляется без стороны „К“ ориентирного полигона, определяются по формулам [1]:

$$\alpha_{qk} = \alpha_{1k} + \alpha'_{q}, \quad (1)$$

$$\alpha_{1k} = \alpha_{1AB} + \frac{\rho \Delta C \operatorname{tg} \varphi_k}{c}, \quad (2)$$

$$\alpha_{1AB} = (AB) - (AB)', \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} (AB)' = \frac{y'_B}{x'_B}, \quad (4)$$

$$\varphi_k = \alpha'_k - (AB)', \quad (5)$$

$$M_{\alpha_{qk}} = \pm \frac{\rho}{c \cos \varphi_k} \sqrt{m'^2_{Ak} + m'^2_{Bk}}, \quad (6)$$

где α_{1k} , α_{1AB} — дирекционный угол первой стороны подземного соединительного полигона, вычисленный без стороны „К“ и без стороны ориентирного полигона между отвесами;

(AB) — дирекционный угол створа отвесов;

α'_k , α'_q , $(AB)'$ — условные дирекционные углы стороны, без которой вычислена ориентировка, исходной стороны и линии створа отвесов относительно условной оси абсцисс, совпадающей с направлением первой стороны подземного соединительного полигона;

x'_B , y'_B — условные координаты отвеса B относительно условного начала координат, совпадающего с отвесом A ;

ΔC — разность расстояний между отвесами из подземной и поверхностной съемок;

c — расстояние между отвесами;

m'_{Ak} — погрешность отвеса A в направлении, перпендикулярном стороне „К“, из висячего полигона от вершины „ $q-1$ “ до отвеса A , считая дирекционный угол стороны „ q “ твердым;

m'_{Bk} — погрешность отвеса B в направлении, перпендикулярном стороне „К“, из висячего полигона от вершины „ $q-1$ “ до отвеса B , считая дирекционный угол стороны „ q “ твердым;

$\rho = 206265''$.

Формулу (6) запишем в следующем виде:

$$M_{\alpha_{qk}} = \pm \frac{\rho P_k}{c \cos \varphi_k}, \quad (6a)$$

где P_k — радиус-вектор результирующей кривой средних ошибок, проведенный перпендикулярно стороне „К“.

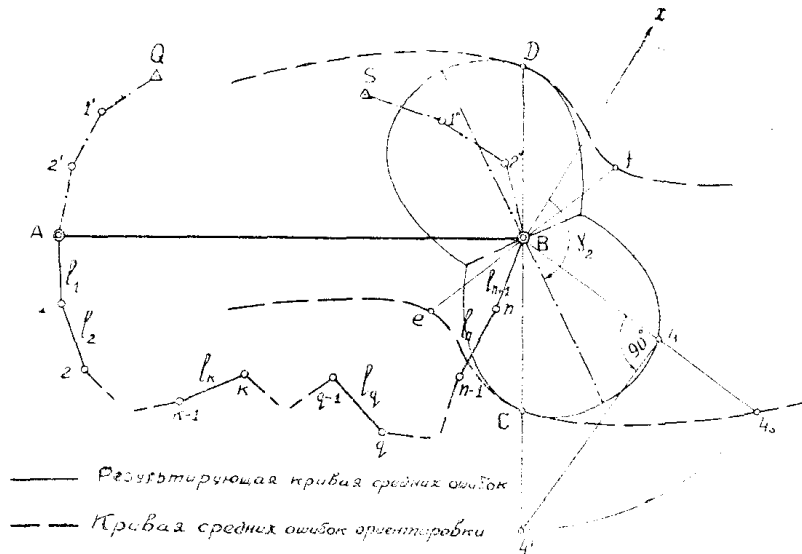
Результирующая кривая средних ошибок в полярной системе координат имеет уравнение:

$$P^2 = A^2 \cos^2 \theta + B^2 \sin^2 \theta, \quad (7)$$

где P — радиус-вектор результирующей кривой средних ошибок;

A, B — соответственно большая и малая полуоси результирующего эллипса погрешностей;

Θ — угол, составленный радиусом-вектором с большой осью результирующего эллипса погрешностей.



Элементы результирующего эллипса погрешностей определяются по формулам:

$$\operatorname{tg} 2 \gamma_1 = \frac{\omega_y}{\omega_x}; \quad (8)$$

$$\omega_x = (A_1^2 - B_1^2) \cos 2\alpha_1 + (A_2^2 - B_2^2) \cos 2\alpha_2; \quad (9)$$

$$\omega_y = (A_1^2 - B_1^2) \sin 2\alpha_1 + (A_2^2 - B_2^2) \sin 2\alpha_2; \quad (10)$$

$$A^2 = \frac{1}{2} [(A_1^2 + B_1^2) + (A_2^2 + B_2^2)] + \frac{1}{2} \omega; \quad (11)$$

$$B^2 = \frac{1}{2} [(A_1^2 + B_1^2) + (A_2^2 + B_2^2)] - \frac{1}{2} \omega; \quad (12)$$

$$\omega = \sqrt{\omega_x^2 + \omega_y^2}, \quad (13)$$

где γ_1 — дирекционный угол малой оси результирующего эллипса погрешностей;

A_1, B_1, α_1 — большая и малая полуоси и дирекционный угол малой оси среднего квадратического эллипса погрешностей для отвеса A из всякого полигона от вершины „ $q-1$ “ до отвеса A , считая дирекционный угол стороны „ q “ твердым;

A_2, B_2, α_2 — большая и малая полуоси и дирекционный угол малой оси среднего квадратического эллипса погрешностей для отвеса B из всякого полигона от вершины „ $q-1$ “ до отвеса B , считая дирекционный угол стороны „ q “ твердым.

Элементы средних квадратических эллипсов погрешностей для отвесов A и B определяются по формулам проф. Ф. Ф. Павлова [2].

На схеме ориентировки (рис. 1), принимая отвес B за центр результирующего эллипса погрешностей, исходя из уравнения (7), строится результирующая кривая средних ошибок.

Для каждой стороны ориентирного полигона, включая и сторону между отвесами, определяется графическим путем значение перпендикулярного радиуса-вектора результирующей кривой средних ошибок.

Подставляя последовательно в формулу (6а) значения перпендикулярных радиусов-векторов кривой средних ошибок, найдем для всех „ $N + 1$ “ значений дирекционного угла исходной стороны средние квадратические ошибки, исходя из которых, определяем сторону ориентирного полигона, без которой дирекционный угол исходной стороны определяется с минимальной ошибкой, т. е. определяем сторону, без которой должна вычисляться ориентировка с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок.

Угол φ_k , входящий в формулу (6а), определяется графически со схемы ориентировки.

Сторону ориентирного полигона, без которой должна вычисляться ориентировка с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок, можно также установить по кривой средних ошибок дирекционного угла исходной стороны, которую будем называть кривой средних ошибок ориентировки.

Кривая средних ошибок ориентировки в полярной системе координат имеет уравнение

$$R_k = \pm \frac{P_k}{\cos \varphi_k} \quad (14)$$

или

$$R_k = \pm \frac{\sqrt{A^2 \sin^2 (\alpha_k - \gamma_2) + B^2 \cos^2 (\alpha_k - \gamma_2)}}{\cos [\alpha_k - (AB)]}, \quad (14a)$$

где R_k — радиус-вектор кривой средних ошибок ориентировки, перпендикулярный стороне „ K “;

P_k — радиус-вектор результирующей кривой средних ошибок (7), перпендикулярный стороне „ K “;

α_k — дирекционный угол стороны „ K “,

γ_2 — дирекционный угол большой оси результирующего эллипса погрешностей.

Из выражений (6а) и (14), получим:

$$M_{\alpha_k} = \pm KR_k; \quad (15)$$

$$K = \frac{p}{c}. \quad (16)$$

Из формулы (15) следует, что дирекционный угол исходной стороны определяется с минимальной ошибкой без стороны ориентирного полигона, имеющей наименьший перпендикулярный радиус-вектор кривой средних ошибок ориентировки. Поэтому для решения вопроса, без какой стороны ориентирного полигона должна вычисляться ориентировка с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок, необходимо на схеме ориентировки, принимая отвес B за центр результирующего эллипса погрешностей, построить кривую средних ошибок ориентировки.

Из исследования кривой средних ошибок ориентировки (14а) следует:

1) Кривая касается результирующей кривой средних ошибок (7) в точках ее пересечения с линией, проведенной через центр результирующего эллипса погрешностей, перпендикулярно створу отвесов, т. е. в точках C и D (рис. 1).

2) Кривая имеет две вершины минимума с полярными координатами $e(\alpha_e, R_e)$ и $f(\alpha_f, R_f)$.

3) Центр кривой совпадает с центром результирующего эллипса погрешностей.

4) Асимптотой кривой является линия створа отвесов AB .

Полярные координаты вершин минимума определяются по формулам:

$$\alpha_e = \gamma_2 + \Theta_0 + 90^\circ; \quad (17)$$

$$\alpha_f = \alpha_e + 180^\circ; \quad (18)$$

$$\operatorname{tg} \Theta_0 = \frac{B^2}{A^2} \operatorname{tg} [(AB) - \gamma_2]; \quad (19)$$

$$R_e = R_f = \frac{A \cdot B}{P_{AB}}, \quad (20)$$

где P_{AB} — радиус-вектор результирующей кривой средних ошибок по линии створа отвесов.

Для построения кривой средних ошибок ориентировки необходимо по полярным координатам нанести вершины минимума „ e “ и „ f “ (рис. 1), после чего, исходя из результирующей кривой средних ошибок, определить графическим путем (так, как это показано на рис. 1 для точки 4_0) ряд точек, принадлежащих одной ветви кривой средних ошибок ориентировки. Соединив плавной кривой указанные точки, получим одну из ветвей кривой средних ошибок ориентировки, исходя из которой симметрично центру результирующего эллипса погрешностей строится ее вторая ветвь.

К каждой стороне ориентирного полигона, включая и сторону между отвесами, проводятся перпендикулярные радиусы-векторы кривой средних ошибок ориентировки.

Из всех перпендикулярных радиусов-векторов определяется минимальный, по которому и устанавливается сторона ориентирного полигона, без которой должна вычисляться ориентировка с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок.

По формуле (2) определяется величина дирекционного угла первой стороны, вычисленного с условием минимальной ошибки дирекционного угла исходной стороны, исходя из которого определяются дирекционные углы всех сторон подземного соединительного полигона, в том числе и исходной стороны.

Средняя квадратическая ошибка дирекционного угла исходной стороны, вычисленного с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок, определяется по формуле (15), исходя из минимального перпендикулярного радиуса-вектора кривой средних ошибок ориентировки.

Графоаналитическим способом можно также установить сторону ориентирного полигона, без которой дирекционный угол исходной стороны подземного соединительного полигона определяется с минимальной ошибкой, зависящей от ошибок исходных пунктов по-

лигонометрии или триангуляции, ошибок измерений углов и длин сторон как поверхностных теодолитных ходов к отвесам А и В, так и подземного соединительного полигона. Результирующая кривая средних ошибок в этом случае строится исходя из элементов результирующего эллипса погрешностей, полученного путем квадратического сложения средних квадратических эллипсов погрешностей для исходных пунктов полигонометрии или триангуляции Q и S (рис. 1), для отвесов А и В из подходных поверхностных теодолитных ходов Q—1'—2'—А и S—1''—2''—В и подземных ходов соответственно от вершины „q—1“ до отвеса А и от вершины „q—1“ до отвеса В, считая в этих полигонах дирекционный угол стороны „q“ твердым.

Вычисление ориентировки через два вертикальных шахтных ствола с условием минимальной ошибки дирекционного угла исходной стороны повышает точность ориентирования подземных съемок на $t(\%)$, определяемых по формуле

$$t = 100(1 - K_q); \quad (21)$$

$$K_q = \frac{M_{\alpha_q}}{M_{\alpha_{qAB}}}, \quad (22)$$

где M_{α_q} — ошибка дирекционного угла исходной стороны, вычисленного с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок;

$M_{\alpha_{qAB}}$ — ошибка дирекционного угла исходной стороны, вычисленного без стороны ориентирного полигона между отвесами, т. е. по способу, рекомендуемому маркшейдерской литературой.

Для случая, когда большая ось результирующего эллипса погрешностей составляет с линией створа отвесов угол 45° и в ориентирном полигоне имеется сторона, перпендикулярная минимальному радиусу-вектору Be или Bf кривой средних ошибок ориентировки, будет иметь место максимально возможное повышение точности ориентирования подземных съемок за счет способа вычисления ориентировки, равное

$$t_{\max} = 100 \frac{(\lambda - 1)^2}{1 + \lambda^2}; \quad (23)$$

$$\lambda = \frac{A}{B}. \quad (24)$$

В таблице 1, исходя из формулы (23), вычислено для различного соотношения полуосей результирующего эллипса погрешностей максимально возможное увеличение точности ориентировки за счет способа вычисления.

Таблица 1

t	Величина λ								
	1	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
$t_{\max} \%$	0,0	1,6	7,7	15	20	31	40	47	53

В заключение рассмотрим повышение точности ориентирования подземных съемок за счет повторных независимых ориентировок. Если одна и та же ориентировка производилась независимо „ n “ раз, то точность ориентирования подземных съемок за счет повторных независимых ориентировок увеличится на t' (‰), определяемых по формуле:

$$t' = 100 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{n}} \right). \quad (25)$$

Увеличение точности ориентировки за счет повторных независимых ориентировок, вычисленное по формуле (25) для различных целых значений „ n “, указано в таблице 2.

Таблица 2

t'	n	Количество независимых ориентировок n					
		1	2	3	4	5	6
t' ‰		0	29	42	50	55	59

Для каждой ориентировки, исходя из таблицы 2, можно установить экономическую целесообразность вычисления ориентировки с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок.

Так, например, увеличение точности ориентировки на 29‰ за счет способа вычисления равносильно повторной ориентировки.

Ориентировка для контроля всегда производится дважды, поэтому для тех же условий ($t = 29‰$), чтобы получить дирекционный угол исходной стороны при вычислении ориентировки по способу, рекомендуемому маркшейдерской литературой, с той же точностью, с какой он определяется из двух независимых ориентировок, вычисленных с условием минимальной ошибки ориентирования подземных съемок, необходимо произвести четыре независимых ориентировки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов В. И. Общий метод вычисления и оценки точности ориентировки через два вертикальных шахтных ствола (настоящий сборник).
2. Павлов Ф. Ф. Предвычисление погрешностей в основных маркшейдерских работах. Углетехиздат, 1950.