

ЛАБОРАТОРНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПРИМЫКАНИЯ К СТВОРУ ОТВЕСОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ДИАМЕТРА ПРОВОЛОКИ

Г. Ф. ЛЫСОВ

(Представлено научным семинаром кафедр маркшейдерского дела и геодезии)

Известно, что с целью уменьшения ошибки проектирования, вызываемой действием потока воздуха, движущегося в стволе шахты, выгодно при ориентировке шахты увеличивать величину груза. Однако, применяя более тяжелый груз, мы должны использовать более толстую проволоку. При примыкании к отвесам из более толстой проволоки точность наведения визирной оси инструмента на середину проволоки отвеса снижается и, следовательно, в какой-то степени возрастает ошибка примыкания.

В настоящей статье рассматривается вопрос о дополнительной ошибке примыкания к створу отвесов в зависимости от величины диаметра проволоки и приводятся данные экспериментальных исследований, поставленных для решения этого вопроса.

Наведение вертикальной нити или биссектора инструмента на середину неподвижной или колеблющейся нити отвеса A диаметра d осуществляется с некоторой ошибкой m_d (рис. 1). Это объясняется тем, что человеческий глаз замечает несимметричность положения одной линии (вертикальной нити или биссектора теодолита) между двумя другими параллельными линиями (краями проволоки отвеса) только до некоторого предела. Из рис. 1 следует, что ошибка одного направления CO в угловой мере Δ , обусловленная неточным наведением визирной оси теодолита на середину отвеса A , может быть определена по формуле:

$$\Delta = \frac{m_d \rho''}{l}, \quad (1)$$

где l — расстояние от инструмента до отвеса.

С целью определения величины средней ошибки деления „на глаз“ расстояния между двумя линиями нами было произведено мно-

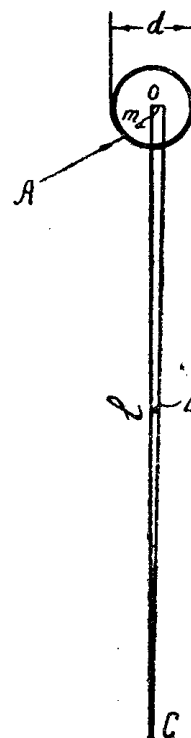


Рис. 1.

гократное деление расстояний невооруженным глазом и с помощью теодолита МГТ-30 между двумя параллельными линиями, проведенными на различных расстояниях друг от друга. Результаты этой работы представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Результаты деления расстояния между двумя параллельными линиями „на глаз“ невооруженным глазом

№ п/п	Расстояние между двумя параллельными линиями d в мм	Количество наблюдений n	$m_d = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}$ мм	$\frac{m_d}{d}$
1	10	35	$\pm 0,25$	0,025
2	20	30	$\pm 0,48$	0,024
3	30	32	$\pm 0,69$	0,023
4	40	30	$\pm 0,98$	0,024
5	50	35	$\pm 1,30$	0,026
6	100	30	$\pm 2,30$	0,023

Таблица 2

Результаты деления расстояния между двумя параллельными линиями «на глаз» с помощью теодолита МГТ-30

№ п/п	Расстояние между двумя параллельными линиями d в мм	Количество наблюдений n	Расстояние в м от теодолита до рассматриваемой линии	$m_d = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon\varepsilon]}{n}}$ мм	$\frac{m_d}{d}$
1	2	17	2	$\pm 0,084$	0,028
2	5	16	2	$\pm 0,12$	0,024
3	5	17	3	$\pm 0,12$	0,024
4	10	16	2	$\pm 0,23$	0,023
5	10	15	3	$\pm 0,23$	0,023
6	20	15	3	$\pm 0,44$	0,022

Из табл. 1 и 2 следует, что значение m_d пропорционально расстоянию между параллельными линиями d , а отношение $\frac{m_d}{d}$ является величиной постоянной, равной в среднем 0,024. Сопоставляя данные табл. 1 и 2, можно также утверждать, что увеличение трубы в данном случае не оказывает влияния на точность визирования вертикальной нитью (биссектором) „на глаз“ посередине между двумя заданными параллельными линиями.

Таким образом, представляется возможным определять величину ошибки одного направления, обусловленной неточным наведением визирной оси теодолита на середину проволоки отвеса, по формуле:

$$\Delta = \pm \frac{k d \rho''}{l}, \quad (2)$$

где $k = \frac{m_d}{d}$.

Значение Δ возможно определить и другим путем. Средняя ошибка одного направления Δ может быть подсчитана по формуле:

$$\Delta = \pm \sqrt{\mu_d^2 - \mu_0^2}, \quad (3)$$

где μ_d — средняя ошибка одного направления при наблюдении на проволоку диаметра d ,

μ_0 — средняя ошибка одного направления на очень тонкий штрих (d равно 0).

Ошибка одного направления μ_d при наведении на проволоку диаметра d может быть определена путем многократного визирования вертикальной нитью (биссектором) теодолита на середину проволоки отвеса с последующим подсчетом значения μ_d по формуле:

$$\mu_d = \pm \sqrt{\frac{[E_d E_d]}{n-1}}, \quad (4)$$

где E_d — отклонения отдельных отсчетов по лимбу от среднего отсчета,

n — число всех взятых отсчетов (количество визирований).

Ошибка одного направления μ_0 может быть определена также неоднократным визированием вертикальной нитью инструмента на неподвижный, четкий и удаленный сигнал с одновременным взятием отсчетов по лимбу. В этом случае μ_0 может быть найдена по формуле:

$$\mu_0 = \pm \sqrt{\frac{[E_0 E_0]}{n-1}}, \quad (5)$$

где E_0 — отклонения отдельных отсчетов по лимбу от среднего отсчета.

Описанным способом нами в лаборатории было определено несколько значений Δ для неподвижных и колеблющихся отвесов различных диаметров при амплитуде колебаний не более 2—3 мм и разных условиях наблюдений. Наблюдения производились теодолитом ОТ-10.

Используя найденные значения Δ , мы подсчитали далее по формуле (2) ряд значений k для неподвижных и колеблющихся отвесов различных диаметров. Результаты этой работы представлены таблицами 3, 4, 5.

Сравнивая данные табл. 1, 2 и 3, можно констатировать хорошую сходимость найденных разными способами значений k для неподвижных отвесов в условиях дневной поверхности и отметить четко выраженную закономерность связи между значением Δ и величиной диаметра проволоки d как для неподвижного, так и для колеблющегося отвеса при различных условиях наблюдений. За окончательное значение коэффициентов k для различных условий наблюдений прием среднее арифметическое из значений k , полученных более точным вторым способом.

Далее с целью установления связи между погрешностью шкального отсчета и величиной диаметра проволоки отвеса при примыкании шкальными способами нами в лаборатории были произведены наблюдения качаний отвесов разных диаметров при помощи миллиметровых шкал. В результате этой работы было установлено, что при примыкании к отвесам шкальными способами дополнительная погрешность, обусловленная неточным наведением на середину проволоки отвеса, не имеет места.

Перейдем теперь к рассмотрению вопроса о точности примыкания к створу отвесов в зависимости от величины диаметра проволоки.

В том случае, когда примыкание осуществляется способом соединительного треугольника (рис. 2), угол γ (из-за неточного визирования

Таблица 3

Результаты наблюдений на неподвижные отвесы в условиях, соответствующих наблюдениям на дневной поверхности шахты

Показатели	Диаметры наблюдаемых отвесов в мм				β_0
	1,8	2,8	3,2	4,5	
1) Количество наблюдений	10	10	10	10	
2) μ''_d	$\pm 4,45$	$\pm 6,6$	$\pm 6,9$	$\pm 9,1$	$\pm 3'',0$

Таблица 4

Результаты наблюдений на неподвижные и колеблющиеся отвесы в условиях, соответствующих подземным

Показатели	Диаметры наблюдаемых отвесов в мм				β_0
	1,8	2,8	3,2	4,5	
1) Количество наблюдений	10	10	10	10	
2) μ''_d	$\pm 12,5$	$\pm 18,5$	$\pm 21,4$	$\pm 29,5$	$\pm 3'',1$

Таблица 5

Значения коэффициента k при различных условиях наблюдений

№ п.п.	Для неподвижных отвесов в условиях дневной поверхности			Для неподвижных и колеблющихся отвесов в условиях, соответствующих подземным		
	d в мм	Δ''	k	d в мм	Δ''	k
1	1,8	$\pm 3,32$	0,0221	1,8	$\pm 12,10$	0,0805
2	2,8	$\pm 5,88$	0,0251	2,8	$\pm 18,35$	0,0802
3	3,2	$\pm 6,17$	0,0231	3,2	$\pm 21,20$	0,0794
4	4,5	$\pm 8,60$	0,0229	4,5	$\pm 26,40$	0,0782
$k_{cp} = 0,0233 \pm 0,00064 (\pm 2,7\%)$			$k_{cp} = 0,0796 \pm 0,00051 (\pm 0,7\%)$			

ния на середину проволоки неподвижных или колеблющихся отвесов) измеряется с дополнительной погрешностью m_γ , которую можно подсчитать по формуле:

$$m_\gamma = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}{6}}, \quad (6)$$

где Δ_1, Δ_2 — средние ошибки одного направления на отвесы O_1 и O_2 , обусловленные неточным наведением визирной оси инструмента на середину проволоки отвесов.

Углы β_1 и β_2 по этой же причине измеряются с дополнительными средними ошибками:

$$m_{\beta_1} = \pm \frac{\Delta_1}{\sqrt{6}}, \quad m_{\beta_2} = \pm \frac{\Delta_2}{\sqrt{6}}. \quad (7)$$

Так как затем угол γ_0 рекомендуется подсчитывать [1] по формуле:

$$\gamma_0 = \frac{2\gamma + (\beta_2 - \beta_1)}{3}, \quad (8)$$

то дополнительная ошибка угла γ_0 определится из выражения:

$$m_{\gamma_0} = \pm \frac{1}{3} \sqrt{\frac{5\Delta_1^2 + 5\Delta_2^2}{6}}. \quad (9)$$

Добавочная погрешность вычисленного по формуле синусов угла B соединительного треугольника может быть найдена по формуле:

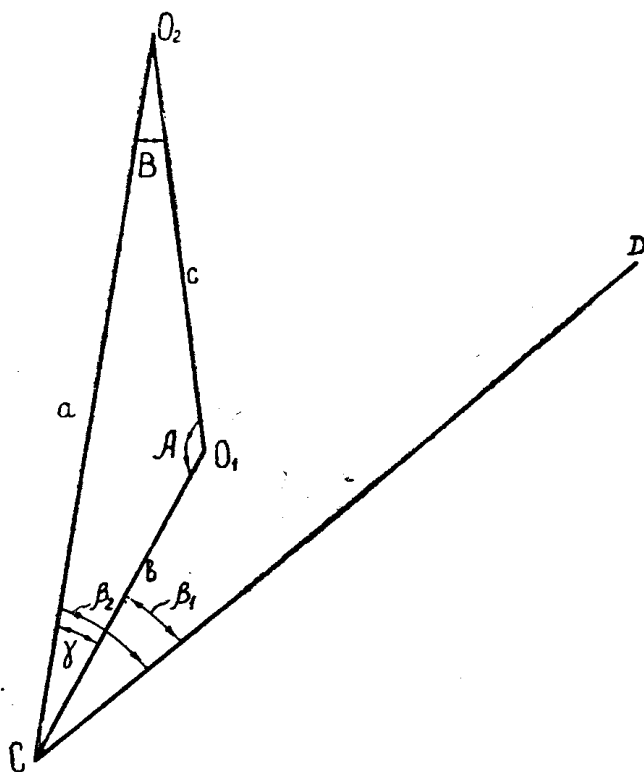


Рис. 2.

$$m_B = \pm \frac{b}{3c} \sqrt{\frac{5\Delta_1^2 + 5\Delta_2^2}{6}}, \quad (10)$$

где b, c — длины сторон соединительного треугольника. Следовательно, погрешность одного примыкания к створу отвесов в этом случае возрастет на величину:

$$m_g = \pm \sqrt{\frac{5b^2}{9c^2} \left(\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2}{6} \right) + \frac{\Delta_2^2}{6}}. \quad (11)$$

Подставив в формулу (11) значения Δ_1 и Δ_2 , найденные по формуле (2), получим:

$$m_g = \pm \frac{k d \rho''}{\sqrt{6}} \sqrt{\frac{5b^2}{9c^2 a^2} + \frac{5}{9c^2} + \frac{1}{a^2}}. \quad (12)$$

Обозначим отношение $\frac{b}{c}$ через λ , и учтя, что $a \approx b + c = (1 + \lambda)c$, перепишем формулу (12) в таком виде:

$$m_g = \pm Ad, \quad (13)$$

где d — диаметр проволоки отвеса в мм, и A определится так:

$$A = \frac{k\varphi''}{c\sqrt{6}} \sqrt{\frac{10\lambda^2 + 10\lambda + 14}{9(1 + \lambda)^2}} \text{ сек/мм}. \quad (14)$$

Ожидаемая дополнительная погрешность M_g примыкания на поверхности и на ориентируемом горизонте может быть найдена из выражения:

$$M_g = \pm 3d \sqrt{A_{\text{н}}^2 + A_{\text{п}}^2}, \quad (15)$$

где $A_{\text{н}}$ — коэффициент, который можно найти по формуле (14) в зависимости от условий примыкания на поверхности, как функцию от конкретных значений $\lambda_{\text{н}}$, c и $k_{\text{н}}$,

$A_{\text{п}}$ — коэффициент, подсчитанный как функция от заданных условий примыкания на подземном горизонте, т. е. в зависимости от $\lambda_{\text{п}}$, c и $k_{\text{п}}$.

Формула (14) для непосредственного подсчета величин $A_{\text{н}}^2$ и $A_{\text{п}}^2$ неудобна, но может быть использована для построения номограммы, с помощью которой возможно весьма просто и достаточно точно находить значения $A_{\text{н}}^2$ и $A_{\text{п}}^2$ по заданным величинам λ и c .

Такая номограмма и схема ее использования представлены на рис. 3. У данной номограммы две шкалы „ A^2 “. Одна шкала служит для определения значений $A_{\text{н}}^2$ при примыкании к неподвижным отвесам в условиях дневной поверхности ($k_{\text{н}} = 0,0233$), другая — для определения значений $A_{\text{п}}^2$ при примыкании к неподвижным или колеблющимся отвесам в подземных условиях ($k_{\text{п}} = 0,0796$).

Используя приведенную номограмму, определим дополнительную ошибку одного примыкания при следующих условиях: $c = 3,5$ м, $\lambda = 0,8$, $d = 4,5$ мм; наблюдения будут проводиться в подземных условиях.

Находим по номограмме $A_{\text{п}}^2 = 3,5 \text{ сек}^2/\text{мм}^2$. Следовательно, для средней дополнительной ошибки одного примыкания m_g получим:

$$m_g = \pm A_{\text{п}}d = \pm 8''.4$$

С целью установления факта возрастания погрешности примыкания в связи с увеличением диаметра проволоки отвесов нами было произведено в лабораторных условиях примыкание способом соединительного треугольника без изменения центрировки инструмента и сигнала в точке D (рис. 2). Наблюдаемые отвесы имели следующую конструкцию. На основную проволоку отвесов диаметром 0,6 мм туго надевались пластмассовые трубки длиной 10 см и с наружным диаметром 2,8 мм, на которые предварительно были натянуты другие трубки с наружным диаметром 4,5 мм и длиной 5 см (рис. 4).

Примыкание осуществлялось в следующем порядке:

- а) при визировании на середину неподвижного отвеса диаметром 0,6 мм — три раза;
- б) при визировании на середину неподвижной части отвеса диаметром 2,8 мм — три раза;
- в) при визировании на середину неподвижной части отвеса диаметром 4,5 мм — три раза.

Все углы измерялись тремя повторениями теодолитом МГТ-30, место наблюдения—подвальное помещение маркшейдерской лаборатории, освещение—электрическое.

Результаты эксперимента представлены в табл. 6.

Данные табл. 6 определенно указывают на факт возрастания ошибки примыкания в зависимости от величины диаметра проволоки отвесов. Используем эти данные для подсчета величины дополнительной

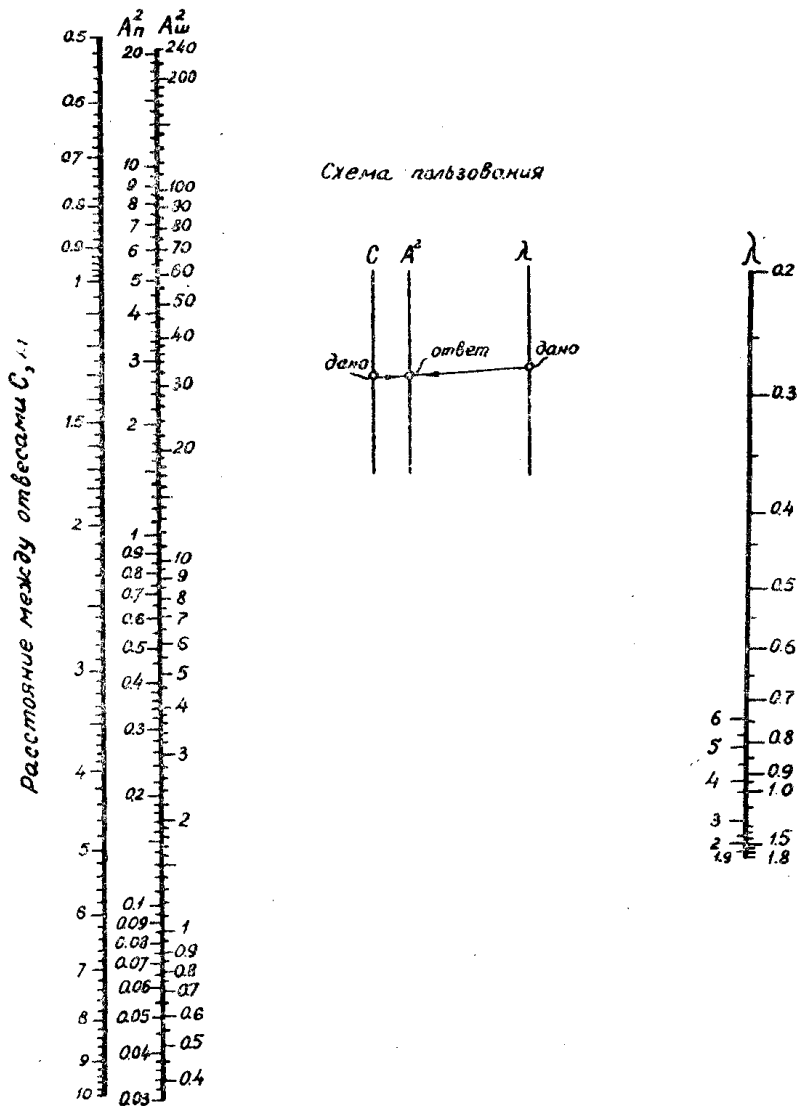


Рис. 3.

погрешности примыкания m_g к отвесам диаметром 4,5 мм, применив формулу:

$$m_g = \pm \sqrt{m^2 - m_0^2}, \quad (16)$$

где m — полная ошибка примыкания, зависящая от точности наведения визирной оси теодолита на середину проволоки отвесов, точности инструмента и от способа измерения углов;

m_0 — часть ошибки примыкания, зависящая только от точности инструмента и от способа измерения углов.

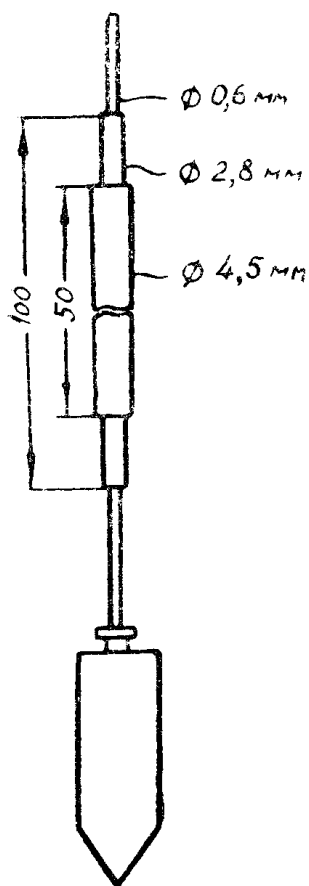


Рис. 4.

Значение полной средней ошибки примыкания m возьмем из табл. 6, т. е. $m = \pm 10'',0$.

Величина m_0 , как известно, может быть подсчитана в нашем случае по формуле:

$$m_0 = \pm m_i \sqrt{1 + \left(\frac{b}{c}\right)^2}, \quad (17)$$

где m_i — ошибка измеренного угла при трех повторениях, равная $\pm 3'',5$. Учтя, что b равно 2,467 м, а $c = 3,512$ м, получим для m_g согласно (17) и (16):

$$m_g = \pm \sqrt{100 - 20} = \pm 9'',0.$$

Ранее для таких же условий нами теоретически была найдена дополнительная ошибка примыкания m_g , равная $\pm 8'',4$. Хорошая сходимость в значениях m_g , найденных различными путями, указывает на достоверность установленной связи между дополнительной погрешностью примыкания и величиной диаметра проволоки отвесов.

Таблица 6

d отве- са мм	№ набл.	Вычисленное зна- чение дирекцион- ных углов α_{AB} створа отвесов			Среднее значение дирекционного угла α_{AB}			ε''	$\varepsilon\varepsilon$	Погреш- ность примы- кания m''
		°	'	''	°	'	''			
0,6	1	170	06	30,2	170	06	31,8	-1,6	2,6	$\pm 2,3$
	2	170	06	34,4				+2,6	6,75	
	3	170	06	30,7				-1,1	1,2	
2,8	1	170	06	21,5	170	06	19,5	+2,0	4,0	$\pm 4,0$
	2	170	06	22,1				+2,6	6,75	
	3	170	06	14,3				-4,7	22,0	
4,5	1	170	06	35,7	170	06	31,7	+ 4,0	16,0	$\pm 10,0$
	2	170	06	39,2				+ 7,5	56,0	
	3	170	06	20,3				-11,4	130,0	

Выводы

1. Следует считать установленным факт возрастания ошибки примыкания соединительным треугольником при увеличении диаметра проволоки отвесов.

2. Установлены формулы связи дополнительной ошибки примыкания на дневной поверхности и подземном горизонте с величиной диаметра проволоки отвесов.

3. Разработана методика определения дополнительной ошибки, возникающей при примыкании к отвесам из проволоки различных диаметров, и предложена номограмма, упрощающая процесс определения этой ошибки.

ЛИТЕРАТУРА

Техническая инструкция по производству маркшейдерских работ, Углетехиздат, 1959.