

В. Г. ГРЕБЕНЮК, П. М. ЗАЗУЛЯК,
Н. И. КРАВЦОВ, М. М. ФЫС

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ КАМЕР ПУСТОТ С ОДНОЙ ТОЧКИ УСТАНОВКИ ПРИБОРА

В связи с ростом объемов добычи полезных ископаемых и ускорением проходки выработок требуется повышение производительности работ маркшейдерской службы за счет разработок новых методик съемок и вычислений объемов.

Маркшейдерская съемка очистных камер в основном зависит от системы подходов к ним, т. е. от расположения тех выработок, из которых или через которые возможна маркшейдерская съемка подземных пустот. В доступных камерах наблюдатель может расположиться с прибором непосредственно в очистном пространстве. Съемку недоступных очистных камер можно производить через восстающий в потолочине, из выработок горизонта подсежки и горизонта потолочины или из горизонтальных выработок, расположенных по высоте камеры и имеющих выход в очистное пространство.

Если съемку производить непосредственно из подходной выработки, то прибор и наблюдатель должны находиться в безопасном месте и не ближе одного метра от края камеры.

В [1] предложена методика определения объемов камер пустот с одной точки установки прибора. В соответствии с этой методикой, если применить для вычисления интеграла формулу прямоугольников, объем камеры определяем выражением

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} V_i, \quad (1)$$

где

$$V_i = \frac{1}{2} S_i r_i \frac{\Delta\varphi}{\rho}. \quad (2)$$

Здесь S_i — площадь i -го сечения; r_i — измеренное расстояние; $\Delta\varphi$ — угол сечения; n — количество сечений.

Чтобы оценить точность вычисления объема камеры, про дифференцируем формулу (2) и, перейдя к среднеквадратическим ошибкам, получаем

$$m_{v_i}^2 = \left(\frac{1}{2} r_i \frac{\Delta\varphi_i}{\rho} \right)^2 m_{s_i}^2 + \left(\frac{1}{2} S_i \frac{\Delta\varphi_i}{\rho} \right)^2 m_{r_i}^2 + \left(\frac{1}{2} S_i r_i \right)^2 \frac{m^2 \Delta\varphi_i}{\rho^2}. \quad (3)$$

Тогда на основании (1) можно допустить

$$m_v = m_{v_i}^{\max} \sqrt{n}. \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) неудобны для анализа точности определения объема: во-первых, m_{V_i} зависит от S_i и r_i , которые являются функциями угла сечения и, во-вторых, учитывая, что производственный допуск на определение объема горных выработок $m_V/V \leq 5\%$ от объема камеры, m_V , рассчитанное по формуле (4), не дает возможности судить о том, достигнуто ли это требование. Кроме того, при сложной конфигурации сечения S_i довольно трудно определить, что взять за r_i (рис. 1).

Если аппроксимировать сечение окружностью площадью, равной S_i , то отпадает необходимость измерять r_i ; его можно определить из выражения

$$r_i = 2 \sqrt{\frac{S_i}{\pi}}. \quad (5)$$

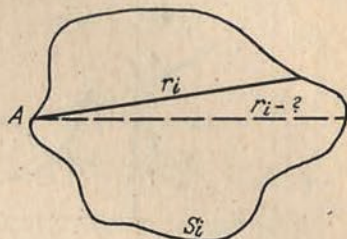


Рис. 1. Зависимость S_i от r_i .

Тогда

$$m_{r_i}^2 = \frac{1}{\pi S_i} m_{S_i}^2. \quad (6)$$

Подставляя значения r_i и m_{r_i} из (5) и (6) в (3), получаем

$$m_{\sigma_i}^2 = \frac{5 S_i \Delta \varphi^2}{4 \pi \rho^2} m_{S_i}^2 = \frac{S_i^3 m_{S_i}^2}{\pi \rho^2}. \quad (7)$$

Разделив на элементарный объем V_r , имеем

$$\sigma_{V_i} = \frac{m_{V_i}}{V_i} = \sqrt{\frac{5}{16} \sigma_{S_i}^2 + \frac{1}{4} \sigma_{\Delta \varphi}^2}, \quad (8)$$

где σ_{S_i} и $\sigma_{\Delta \varphi}$ — соответственно относительные ошибки определения площади и угла сечения.

Площадь сечения S_i , рисуемая прибором, измеряется планиметром с относительной ошибкой $\sigma_S \approx \frac{1}{300}$, а угол $\Delta \varphi$ фиксируется с точностью $m_{\Delta \varphi} = 4'$; их можно считать постоянными величинами в (8) (приборные погрешности в данном случае во внимание не принимаем). Тогда, очевидно, σ_{V_i} будет зависеть в основном от выбранного сечения $\Delta \varphi$ (рис. 2).

Согласно теории ошибок [2] для функции вида (1) относительная погрешность определения объема камеры не будет превосходить максимальной относительной ошибки σ_{V_i} , т. е.

$$\frac{m_V}{V} \leq \max \left(\frac{m_{V_i}}{V_i} \right), \quad i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (9)$$

Поэтому, как видно из рис. 2, относительная ошибка определения объема камеры будет повышаться с увеличением $\Delta \varphi$.

Однако известно, что точность вычислений по формулам прямоугольников тем выше, чем больше число разбиений интервала интегрирования, т. е. с уменьшением $\Delta\varphi$ должна возрасти точность вычисления объема. Следовательно, необходимо выбирать такие значения $\Delta\varphi$, при которых ошибки вычисления за счет использования той или иной формулы (прямоугольников, трапеций и п. д.) и ошибки результатов измерений будут наименьшими.

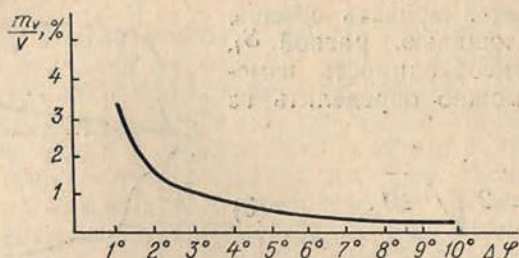


Рис. 2. Зависимость относительной ошибки вычисления объема по формуле (8) от угла сечения.

С целью апробации методики определения объемов камер пустот прибором ЛСК-1 [1] выполнены измерения помещения, имеющего форму параллелепипеда с размерами $12 \times 7,2 \times 4$ м. Результаты измерения приведены в таблице.

Значение объема, вычисленного по формуле (1) при $\Delta\varphi = 5^\circ$ с учетом объема мертвой зоны, составляет $V_0' = 342,0$ м³, а теоретическое $V_T = 345,6$ м³. Относительная ошибка, вычисленная как $\frac{\Delta V}{V}$ ($\Delta V = V_T - V_0$), составляет $\approx 1\%$.

Значение средних квадратических ошибок определения объема, вычисленных по (4) с использованием (3) и (7) при следующих исходных данных. $S_i^{\max} = 87,7$ м², $\sigma_{S_i} = \frac{1}{300}$, $r_i = 12,2$ м,

Таблица результатов измерений помещения формы параллелепипеда

φ°	$r(\varphi)$	$S(\varphi)$	φ°	$r(\varphi)$	$S(\varphi)$	φ°	$r(\varphi)$	$S(\varphi)$
0	2,50	18,00	50	3,89	28,00	100	8,64	62,19
5	2,51	18,07	55	4,36	31,32	105	5,80	41,72
10	2,54	18,28	60	5,00	36,00	110	4,38	31,58
15	2,59	18,63	65	5,92	42,59	115	3,55	25,55
20	2,66	19,16	70	7,31	52,63	120	3,00	21,60
25	2,76	19,86	75	9,66	69,55	125	2,62	18,83
30	2,89	20,78	80	12,18	87,73	130	2,33	16,80
35	3,05	21,97	85	12,04	86,73	135	2,12	15,27
40	3,26	23,50	90	12,00	86,40	140	1,95	14,10
45	3,54	25,46	95	12,04	86,73	145	1,83	13,18
						150	1,73	12,47

$\sigma_{r_i} = \frac{1}{50}$, $m_{\Delta\varphi} = 4'$ и $\Delta\varphi = 5^\circ$, составляет соответственно $m_{V'} = 6,0 \text{ м}^3$ и $m_{V''} = 3,4 \text{ м}^3$, или $\sigma_{V'} = 1,8\%$ и $\sigma_{V''} = 1\%$.

Таким образом, формулы (3) и (7) дают достаточно надежную оценку точности определяемого объема.

На рис. 3 показана зависимость точности определения объема по формуле прямоугольников от угла сечения.

Как видно из рис. 2 и 3, при $\Delta\varphi$, изменяющихся от 1 до 10° , точность определения объема соответствует допуску.

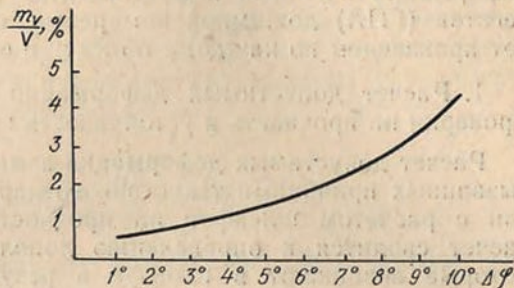


Рис. 3. Зависимость относительной ошибки вычисления объема от ошибок исходных данных для различных углов сечений.

1. Гребенюк В. Г., Кравцов Н. И., Фис М. М. Определение объемов камер пустот с одной точки установки прибора // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1986. Вып. 43. С. 15—18. 2. Демидович В. Д., Марон Н. А. Основы вычислительной математики. М., 1960. 3. Казаковский Д. А., Гурвич А. А., Кротов Г. А. и др. Звуколокационная съемка горных выработок. М., 1973. 4. Справочник по маркшейдерскому делу. М., 1973.