

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМОВ КАМЕР ПУСТОТ С ОДНОЙ ТОЧКИ УСТАНОВКИ ПРИБОРА

В настоящее время на подземных рудниках горнодобывающей промышленности получили широкое распространение высокопроизводительные системы добычи руды с глубоких скважин, что привело к образованию недопустимых подземных пустот (очистных камер). В результате значительно изменились объем, содержание и методика маркшейдерских работ, возникла необходимость определения положения и развития выемочных пустот, состояния целиков, потолочины и т. п.

Съемка очистных камер связана с рядом трудностей, в частности ограниченностью подступов к очистному пространству; повышенной опасностью; отсутствием высокопроизводительных и достаточно точных приборов; большим объемом полевых и камеральных работ.

Недоступные подземные пустоты создаются при обработке мощных залежей полезных ископаемых следующими системами разработки: с открытым очистным пространством; с магнетизированием руды; с обрушением.

Недоступные пустоты представляют собой в большинстве случаев очистные камеры, размеры которых зависят от горногеологических и горнотехнических условий. В настоящее время на мно-

гих рудниках камеры имеют длину 50...100 м, ширину 30...50 м, высоту 30...70 м.

Цель маркшейдерской съемки недоступных очистных камер — получение достоверных планов и разрезов, позволяющих решать следующие производственные и исследовательские задачи: проверка соответствия фактических параметров проектным; учет движения запасов полезных ископаемых; определение фактических потерь и разубоживания; проверка состояния взрывных уступов; периодический контроль за устойчивостью целиков и потолочин.

Маркшейдерская съемка требует применения специальных приборов и своеобразной методики, зависящей в каждом конкретном случае от взаимного положения прибора и объекта съемки.

В отраслевой научно-исследовательской лаборатории (ОНИЛ-18) Львовского ордена Ленина политехнического института был разработан и изготовлен лазерный самопишущий контурмер (ЛСК-1), позволяющий производить съемку запыленных очистных камер с одновременной рисовкой сечений. Прибор устанавливают в подходящих выработках горизонта верхней или нижней подсечки камеры.

Для определения объема камеры примем:  $S(\varphi)$  — площади сечений, зависящие от угла сечений;  $r(\varphi)$  — измеренные расстояния, зависящие от угла сечений;  $\varphi$  — угол сечений.

Определим объем  $V$ , если  $\varphi$  изменяется  $\varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_2$  (рис. 1), для чего разобьем его на  $n$  частей.

Для малых значений  $\Delta\varphi_i$  объем между двумя сечениями  $S(\varphi_i)$  и  $S(\varphi_i + \Delta\varphi_i)$  можно рассматривать как полуцилиндр (рис. 2), при этом будем считать  $\alpha \approx 90^\circ$ .

Тогда

$$V_i = \frac{1}{2} S(\varphi_i) \cdot h_i,$$

где  $h_i$  — высота сечения, равная  $h_i = r(\varphi_i) \sin \Delta\varphi_i \approx r(\varphi_i) \Delta\varphi_i$ . Или с учетом  $h_i$  получим

$$V_i = \frac{1}{2} S(\varphi_i) r(\varphi_i) \Delta\varphi_i.$$

Объем камеры

$$V = \sum_{i=1}^{n-1} V_i = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} S(\varphi_i) r(\varphi_i + \Delta\varphi_i) \Delta\varphi_i,$$

при  $n \rightarrow \infty$ ,  $\Delta\varphi_i \rightarrow 0$  искомый объем будет равен

$$V = \frac{1}{2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} S(\varphi) r(\varphi) d\varphi. \quad (1)$$

Проверим (1) на примере вычисления объема выработки, имеющего форму полушара (рис. 3). Как известно, объем полушара

$$V = \frac{2}{3} \pi R^3, \text{ а } 2x = 2R \cos \varphi, \text{ } x = R \cos \varphi,$$

и на основании (1) получаем то же:

$$V = \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} \pi (2x) (x^2 d\varphi) = \frac{2}{2} \pi \int_0^{\pi/2} R^3 (\cos \varphi)^3 d\varphi = \pi R^3 \int_0^{\pi/2} d(\sin \varphi) \times \\ \times (1 - \sin^2 \varphi) = \pi R^3 \left( \sin \varphi - \frac{\sin^3 \varphi}{3} \right) \Big|_0^{\pi/2} = \pi R^3 \left( 1 - \frac{1}{3} \right) = \frac{2}{3} \pi R^3.$$

Вычисление объема по формуле (1) для выработок, имеющих более сложную конфигурацию, практически сложно, так как для

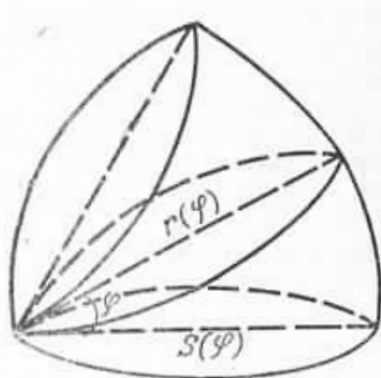


Рис. 1. Определение объема камеры.

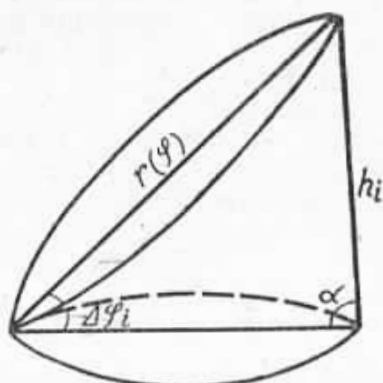


Рис. 2. Определение выработки, имеющей форму цилиндра.

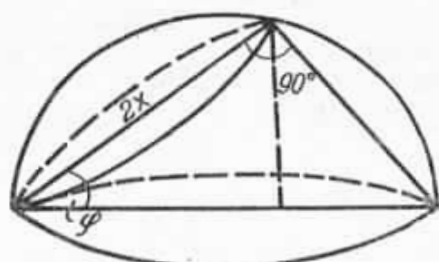


Рис. 3. Определение выработки, имеющей форму полушара.

этого следует знать функции  $S(\varphi)$  и  $r(\varphi)$ , которые неизвестны, и их значения получаем как дискретные значения измерений. Поэтому для вычислений объемов воспользуемся приближенными методами нахождения определенного интеграла, применяя формулу прямоугольников или трапеций, т. е.

$$V \approx \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} S(\varphi_i) r(\varphi_i) \Delta\varphi, \quad \Delta\varphi = \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{n},$$

$$V \approx \frac{1}{2} \left[ \sum_{i=1}^{n-1} 2S(\varphi_i) r(\varphi_i) + S(\varphi_0) r(\varphi_0) + S(\varphi_n) r(\varphi_n) \right] \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2n}, \quad (2)$$

где  $n$  — количество сечений.

Использование формулы Симпсона приводит к следующей рабочей формуле:

$$V \approx \frac{1}{2} \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{6m} \left\{ S(\varphi_0) r(\varphi_0) + S(\varphi_{2m}) r(\varphi_{2m}) + \right. \\ \left. + 2 \sum_{i=1}^{m-1} S(\varphi_{2i}) r(\varphi_{2i}) + 4 \sum_{i=1}^m S(\varphi_{2i-1}) r(\varphi_{2i-1}) \right\}, \quad (3)$$

где  $n = 2m$ .

В зависимости от требуемой точности определения объема выработки и условий работ вычисления можно проводить по формуле (2) или (3). Формулы (2), (3) дают приближенные результаты значений объемов. Оценка их остаточного члена затруднительна, так как величины  $S(\varphi)$ ,  $r(\varphi)$  получают из измерений. Поэтому при оценке точности следует вычислять объемы по формулам (2), (3), изменяя количество сечений, например, уменьшая шаг  $\Delta\varphi$  вдвое. Совпадающие знаки вычисленных объемов при различных сечениях можно принимать в качестве искомого объема, а разница значений этих объемов может служить оценкой точности их определения.

**Список литературы:** 1. Демидович В. Д., Марон Н. А. Основы вычислительной математики. — М.: Наука, 1960. — 320 с. 2. Родионов А. В., Некрасов Л. М. К вопросу съемки внутренних очертаний тоннелей после взрыва при гидротехническом строительстве. — Тр. ВЗПИ. Сер. Маркшейдерское дело и геодезия, 1966, вып. 33, с. 67—75. 3. Справочник по маркшейдерскому делу. — М.: Недра, 1973. — 536 с. 4. Фихтенгольц Г. М. Курс дифференциального исчисления. — М.: Наука, 1969, ч. 3. — 540 с. 5. Шеховцов Г. А. Необходимая точность приборов для съемки очистных камер при разработке мощных крупнопадающих залежей. — Сб. науч. тр. Перм. политехн. ин-та, 1969, № 60, с. 44—59.