

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ ШАХТ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНОЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Д. А. ДИУЛИН

ОАО «Трест Шахтспецстрой», Солигорск-4, Республика Беларусь

М. Г. КУЗНЕЦОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одна из основных задач анализа напряженно-деформированного состояния (далее – НДС) крепи вертикальных шахтных стволов заключается в оценке их несущей способности на основе определения напряжений, возникающих в конструкции ствола шахты и сравнении их с допускаемыми значениями. При расчете нагрузки на крепь учитываются форма и площадь поперечного сечения выработки, физико-механические свойства окружающих шахту горных пород, а также материал крепи.

В соответствии с [1, 2] аналитический расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) системы «крепь – породный массив» допускает анализ в рамках решения плоской контактной задачи. Одна из основных задач этого анализа заключается в оценке несущей способности крепи ствола, основанной на расчете нормальных напряжений. Прежде всего, решается классическая задача о НДС упругого кругового кольца. Поэтому для начальной оценки НДС крепи в шахтах Солигорского месторождения выполнено двумерное моделирование нагружения поперечного сечения стволов шахт на различной глубине.

Исходные данные для моделирования рассчитаны в соответствии с геологическим составом горных пород на рудниках Солигорского месторождения (рисунок 1).



Рисунок 1 – Геологический состав горных пород на рудниках Солигорского месторождения

Параметры нагружения участков стволов вертикальных шахт рассчитаны по формулам бокового давления на шахтный ствол при пересечении вертикальной выработкой различных по своим физико-механическим свойствам пород [3]:

$$q_H = \gamma_{\text{ср}} H \cdot \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi_{\text{ср}}}{2} \right), \quad (1)$$

где H – глубина шахты, м;

$\gamma_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение объемного веса пород, Н/м³,

$$\gamma_{\text{ср}} = \frac{h_1 \gamma_1 + h_2 \gamma_2 + \dots + h_{n-1} \gamma_{n-1} + h_n \gamma_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n}; \quad (2)$$

$\varphi_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение угла внутреннего трения, град,

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{h_1 \varphi_1 + h_2 \varphi_2 + \dots + h_{n-1} \varphi_{n-1} + h_n \varphi_n}{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1} + h_n}. \quad (3)$$

При этом считается, что боковое давление изменяется линейно, увеличиваясь с увеличением глубины выработки. Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов бокового давления на крепь

| Расчетный параметр | H , м | $\gamma_{ср}$, кН/м ³ | $\phi_{ср}$, град | $q_{ш}$, МН/м ² |
|--------------------|---------|-----------------------------------|--------------------|-----------------------------|
| Ствол 2 рудник 1РУ | 503,0 | 18,919 | 26,062 | 3,707 |
| Ствол 1 рудник 3РУ | 623,7 | 20,727 | 26,726 | 4,909 |
| Ствол 1 рудник 4РУ | 834,7 | 17,965 | 26,966 | 5,640 |

Приняты следующие значения плотности ρ , модуля упругости E и коэффициента Пуассона μ материалов крепи: 1) ствол № 2 рудник 1РУ: $\rho_{бетонM150} = 2000$ кг/м³; $\rho_{чугунШ} = 7000$ кг/м³; $\rho_{кирпич} = 1600$ кг/м³; $E_{бетонM150} = 19$ МПа; $E_{чугунШ} = 11,6 \cdot 10^4$ МПа; $E_{кирпич} = 3,52$ МПа; $\mu_{бетонM150} = 0,2$; $\mu_{чугунШ} = 0,22$; $\mu_{кирпич} = 0,25$; 2) ствол № 1 рудник 3РУ: $\rho_{бетонM200} = 2000$ кг/м³; $\rho_{чугунК} = 7600$ кг/м³; $E_{бетонM200} = 23,5$ МПа; $E_{чугунК} = 83,4 \cdot 10^4$ МПа; $\mu_{бетон200} = 0,2$; $\mu_{чугунК} = 0,25$; 3) ствол № 1 рудник 4РУ: $\rho_{бетонM300} = 2000$ кг/м³; $\rho_{чугунК} = 7600$ кг/м³; $\rho_{бетонM400} = 2200$ кг/м³; $E_{бетонM300} = 30$ МПа; $E_{чугунК} = 83,4 \cdot 10^4$ МПа; $E_{бетонM400} = 33,1$ МПа; $\mu_{бетон300} = 0,2$; $\mu_{чугунК} = 0,25$; $\mu_{бетонM400} = 0,2$.

Компьютерное моделирование статического нагружения стволов шахт выполнялось в среде ANSYS Workbench. Максимальные напряжения по Мизесу зафиксированы в стволе 2 рудника 1РУ на глубине 503 м и составили 0,554 МПа; в стволе 1 рудника 3РУ – на глубине 623,7 м и составили 1,456 МПа; в стволе 1 рудника 4РУ – на глубине 824 м и составили 1,651 МПа (таблица 2).

Таблица 2 – Некоторые результаты компьютерных расчетов

| Эквивалентные напряжения по Мизесу, Па | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------|-----------------------|---------|------------------|-----------------------|---------|------------------|------------|
| | | | | | | | | | |
| Ствол № 2, рудник 1РУ | | | Ствол № 1, рудник 3РУ | | | Ствол № 1, рудник 4РУ | | | |
| H , м | Толщина крепи, м | | | H , м | Толщина крепи, м | | H , м | Толщина крепи, м | |
| | тюбинг | бетон M150 | кирпич | | тюбинг | бетон M300 | | тюбинг | бетон M400 |
| 503,0 | 0,05 | 0,56 | 0,0125 | 623,7 | 0,06 | 0,20 | 824,0 | 0,06 | 0,60 |

Полученные результаты показывают, что напряжения в крепи стволов шахт в начале эксплуатации не превышают допускаемых значений, однако не учитывают время их использования. Также значения давлений на крепь стволов, полученные аналитическим путем, не всегда соответствуют линейному закону в зависимости от слоя и глубины его залегания. На основе двумерного моделирования можно получить представление о распределении напряжений в толще ствола, однако при этом сложно получить полную картину напряжений в других направлениях, а также учесть такие свойства отдельных грунтов, как обводненность. Поэтому нужно выполнять пространственное моделирование НДС стволов шахт с учетом свойств грунтов, характерным сплошным средам.

Список литературы

- 1 Бульчев, Н. С. Механика подземных сооружений : учеб. для вузов / Н. С. Бульчев. – М. : Недра, 1994. – 382 с.
- 2 Пашкова, О. В. Обоснование технических и технологических решений по сооружению приствольных выработок в пройденных вертикальных стволах : дис. ... канд. техн. наук / О. В. Пашкова. – Новочеркасск, 2015. – 145 с.
- 3 Кологривко, А. А. Проведение и крепление подземных горных выработок / А. А. Кологривко. – Минск : БГПА, 2001. – 38 с.