УДК 622.284:622.341.1

А.В.МАТВЕЕВ
ООО «Металл-групп», филиал «Яковлевский рудник»
В.И.ОЧКУРОВ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВМЕЩАЮЩЕГО РУДНОГО МАССИВА

Переборы за проектный контур представляют закономерное явление, причины которого заключаются в совокупном влиянии физико-механических свойств руды и сейсмического воздействия на массив взрыва шпуровых зарядов. Размер закрепного пространства хорошо аппроксимируется усеченным нормальным законом распределения. Основные направления совершенствования проходки и повышения устойчивости выработок: выбор эффективного забутовочного материала и способа его укладки в закрепное пространство, поиск рациональных параметров буровзрывных работ, изучение возможности применения комбайновой технологии.

Distinction between designed and actual profile is a natural phenomena, which is caused by combined influence of physical-mechanical properties of ore and seismic impact of blasting in strata. Size of supported space can be well approximated by truncated normal distribution law. The main direction of improving development techniques and increasing excavation stability is appropriate selection of both the effective backfill material and the method of its placing, choosing the rational parameters of drilling and blasting operations, or analyzing technical feasibility of employing the tunneling equipment.

С развитием горно-подготовительных работ в рудном массиве возрастают интенсивность геомеханических процессов и вероятность потери устойчивости рудных обнажений. Особое значение приобретает качество оконтуривания при буровзрывной технологии проведения выработок в массиве железно-слюдковых мартитовых руд. Наличие незабученного или некачественно забученного закрепного пространства могут быть причиной интенсивных деформаций рудного массива, локальных разрушений вплоть до вывалообразования, динамического нагружения, деформации элементов и потери несущей способности поддерживающей крепи.

Железно-слюдковая мартитовая руда при высокой пористости 12,3-32,5 % и плотности 0,032-0,055 МН/м^3 характеризуется низкими показателями физико-механических свойств: пределы прочности на сжатие 1,24-2,59 МПа; на растяжение 0,25-0,48 МПа; сцепление 0,21-0,26 МПа; угол внутреннего трения 29-32°; коэффициент Пуассона 0,28; модуль Юнга $1{,}37 \cdot 10^4$ МПа.

В экспериментальном штреке сечением в свету 11,2; 14,9 и 18,8 м^2, закрепленном крепью КМП-А3, был выполнен комплекс натурных наблюдений за деформированием массива железно-слюдковых мартитовых руд и дана оценка применяемой на руднике технологии буровзрывных работ. При проведении выработки на участке сечением 14,9 м^2 бурились 34 шпура диаметром 42 мм и средней глубиной 1,6 м. Клиновой вруб из 8 шпуров с углом наклона 68° размещался в центре забоя. Взрывчатое вещество 6ЖВ массой 24 кг распределялось в шпурах с величиной заряда: врубовые – 0,8 кг, отбойные (6 шпуров) – 0,6 кг, оконтуривающие свода (14 шпуров) – 0,6 кг, почвенные оконтуривающие (6 шпуров) – 1,0 кг.

Испытывались паспорта БВР, в которых по отдельности и комплексно использо-

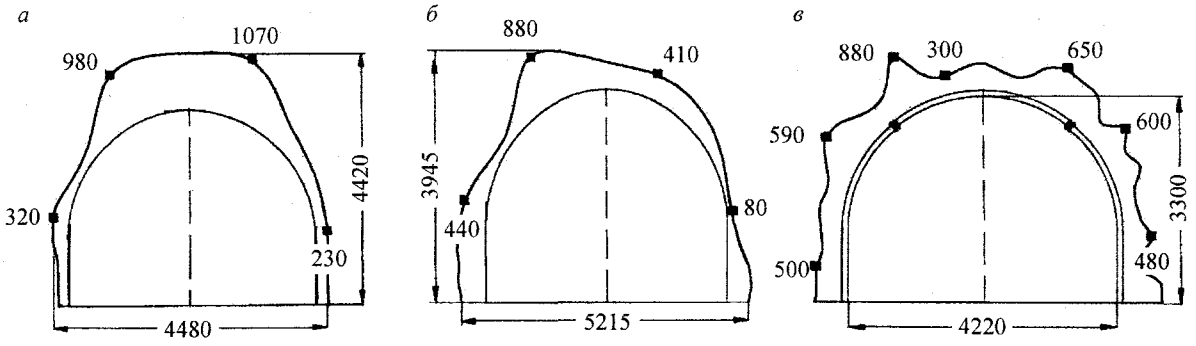


Рис.1. Фактические рудный контур и контур крепи КМП-А3 сечением в свету 11,2 м^2:
а, б – отдельные сечения; *в* – усредненное сечение; цифры – линейный размер перебора руды

вались различные способы снижения динамического воздействия на рудный массив:

- заряжание оконтуривающих шпуров через один;
- уменьшение заряда до одного патрона ВВ и число шпуров по своду выработки до четырех;
- увеличение расстояния до 0,5 м от проектного контура выработки до ряда оконтуривающих шпуров;
- уменьшение средней глубины шпуров в комплекте до 1,2-1,3 м.

Однако качество оконтуривания существенно не повысилось и не отвечало требованиям СНиП 3.02.03-84. Размер закрепного пространства составлял до 0,9 м при средней величине излишка площади поперечного сечения выработки 1,5-1,7 м^2, максимальной – 4,3 м^2 (рис.1). Установлено, что разрушение приконтурной зоны рудного массива на мелкие отдельности носит системный характер. Наиболее интенсивно руда разрушается на участке 5-8 м от забоя, затем интенсивность процесса снижается. Деформации массива развиваются во времени и в пространстве без тенденции к стабилизации.

Для подтверждения или отсутствия взаимосвязи между величиной сверхнормативных переборов руды и технологическими параметрами буровзрывных работ результаты измерений линейных переборов (расстояния от внешнего контура крепи до рудного обнажения) были обработаны методами статистики (рис.2). Выявлено, что статистические характеристики (среднее значение, стандарт отклонения, коэффициент вариации, закон распределения) линейных переборов на участках выработки с разными площадями сечения в свету отличаются несущественно.

Размер закрепного пространства по контуру крепи характеризуется неравномерностью (рис.2, *б*). При среднем значении $U_0 = 519$ мм стандарт отклонения и коэффициент вариации составили соответственно $\sigma = 382$ мм и $\mu = 0{,}736$. Наиболее значительна неравномерность в своде выработки: $U_0 = 642$ мм, $\sigma = 451$ мм, $\mu = 0{,}703$ (рис.2, *г*).

При практически одинаковом среднем значении размера закрепного пространства в лежачем ($U_0 = 392$ мм) и висячем ($U_0 = 356$ мм) боках выработки большая неравномерность отмечена в лежачем боку (рис.2, *б*, *в*). Так, в лежачем боку $\sigma = 237$ мм, $\mu = 0{,}602$, в висячем боку $\sigma = 170$ мм, $\mu = 0{,}478$, что объясняется дополнительным разрушением рудного массива за счет малого сцепления между слоями.

Линейный размер закрепного пространства в рудном массиве, содержащем макродефекты, можно описать нормальным законом распределения и оценить величиной U_i с некоторой вероятностью P. Нормальный закон распределения линейного размера закрепного пространства правомерно использовать при коэффициенте вариации $\mu \le 0{,}25$, когда погрешность расчета не превышает 15 %. При существенной неоднородности выборки ($\mu \ge 0{,}25$) ошибка расчета значительна. Кроме того, при интегрировании функции плотности нормального распреде-

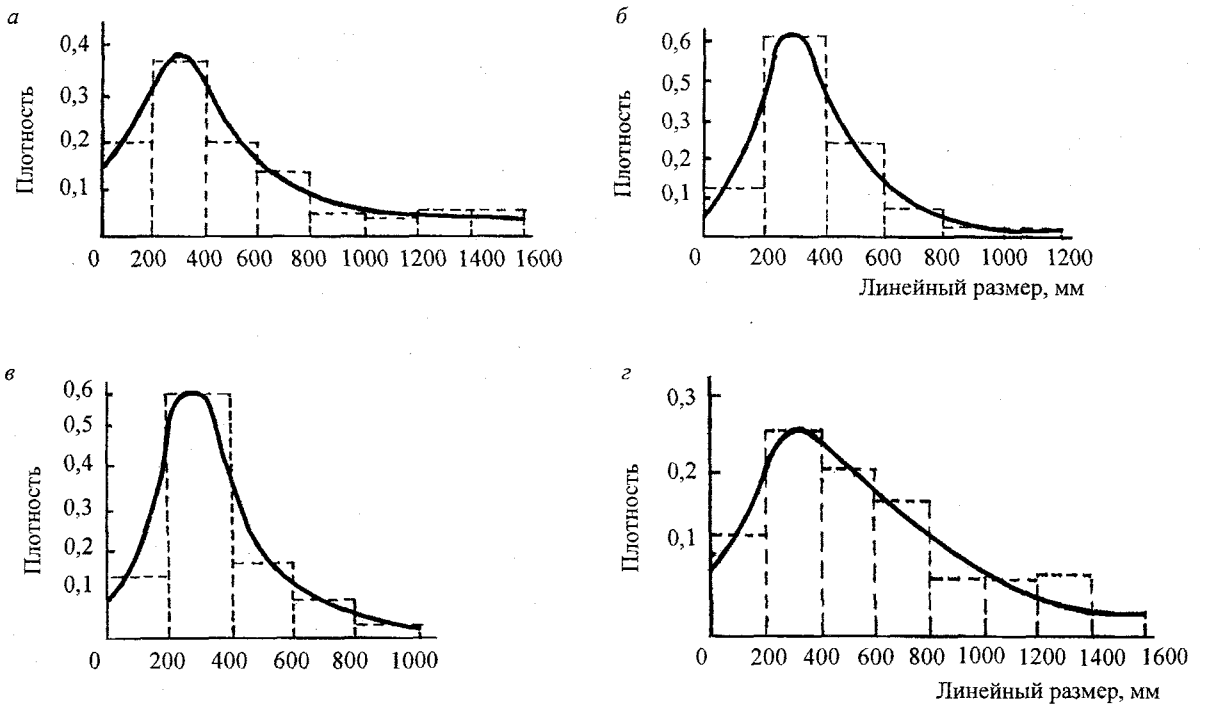


Рис.2. Плотность распределения линейного размера закрепного пространства крепи КМП-А3:
а – по контуру; *б* – в лежачем боку; *в* – в висячем боку; *г* – в кровле

ления автоматически предполагается наличие отрицательных значений случайной величины.

Содержанию поставленной задачи отвечает усеченный нормальный закон распределения. Усеченное нормальное распределение определяется двумя параметрами исходного нормального распределения (среднее значение U_0 и стандарт σ размера закрепного пространства) и двумя точками усечения U_1 и U_2.

Плотность вероятности усеченного нормального распределения равна

$$f(U;\ U_0;\ \sigma;\ U_1;\ U_2)=$$

$$=\begin{cases} 0 & \text{при } U \le U_1; \\ \dfrac{A}{\sigma} f(t) & \text{при } U_1 < U \le U_2; \\ 0 & \text{при } U \ge U_2, \end{cases}$$

где $A=\dfrac{1}{\Phi_0(t_2)-\Phi_0(t_1)}$; $t=\dfrac{U-U_0}{\sigma}$; $t_1=\dfrac{U_1-U_0}{\sigma}$;

$t_2=\dfrac{U_2-U_0}{\sigma}$.

Среднее значение $\overline{U}$, дисперсия $\overline{D}$ и среднее квадратическое отклонение $\overline{\sigma}$ размера закрепного пространства равны:

$$\overline{U}=U_0+B\sigma; \qquad (1)$$

$$\overline{D}=\overline{\sigma}^2=\sigma^2\left\{1-B^2-A\left[t_2 f(t_2)-t_1 f(t_1)\right]\right\}, \qquad (2)$$

где $B=\dfrac{f(t_1)-f(t_2)}{\Phi_0(t_2)-\Phi_0(t_1)}$.

Величина размера закрепного пространства с вероятностью P окажется не менее величины

$$U_{\min}=\overline{U}+\overline{\sigma}\arg\Phi_0\times$$

$$\times\left[(1-P)\Phi_0\left(\frac{U_2-\overline{U}}{\overline{\sigma}}\right)+P\Phi_0\left(\frac{U_1-\overline{U}}{\overline{\sigma}}\right)\right] \qquad (3)$$

и не более

$$U_{\max}=\overline{U}+\overline{\sigma}\arg\Phi_0\times$$

$$\times\left[(1-P)\Phi_0\left(\frac{U_1-\overline{U}}{\overline{\sigma}}\right)+P\Phi_0\left(\frac{U_2-\overline{U}}{\overline{\sigma}}\right)\right]. \qquad (4)$$

Результаты расчета параметров (1)-(4) приведены в таблице и могут быть использованы для расчетов площади поперечного сечения выработок в проходке и объема забутовочного материала, оценки процесса деформирования вмещающего рудного массива, режима нагружения и работоспособности крепи.

Системность и слабая зависимость переборов руды от параметров буровзрывных работ позволяют считать, что переборы за проектный контур представляют закономерное явление, причины которого заключаются в совокупном влиянии физико-механических свойств руды и сейсмического воздействия на массив взрыва шпуровых зарядов. Неоднородность структуры рудного массива – чередование слабых и прочных прослойков, плоскости напластования, местные включения железистых кварцитов – предопределяют разброс величин линейных переборов.

Значения параметров

Линейный размер закрепного пространства, мм	Уровень вероятности		
	0,85	0,90	0,95
По контуру:			
Среднее значение	580	580	580
Минимальное значение	269	208	127
Максимальное значение	822	871	928
Интервал значений	553	663	801
Кровля:			
Среднее значение	667	667	667
Минимальное значение	340	268	171
Максимальное значение	1007	1083	1188
Интервал значений	667	815	1017
Лежачий бок:			
Среднее значение	395	395	395
Минимальное значение	340	331	323
Максимальное значение	460	469	477
Интервал значений	65	138	154
Висячий бок:			
Среднее значение	361	361	361
Минимальное значение	203	166	115
Максимальное значение	525	564	619
Интервал значений	322	398	504

Отсутствие подпора со стороны поддерживающей крепи из-за незабученного или некачественно забученного закрепного пространства создает условия для достижения опасных деформаций приконтурной зоны рудного массива, вплоть до его разрушения, и дальнейшего развития деформаций вглубь массива, для динамического нагружения крепи в форме вывалов значительного объема.

Применяемая на руднике забутовка закрепного пространства деревом не выполняет своего функционального назначения. Выбор эффективного забутовочного материала и способа его укладки в закрепное пространство является актуальной задачей технологии проведения и поддержания в эксплуатационном состоянии выработок в железно-слюдковом мартитовом рудном массиве.

Известные гидромеханический и пневматический способы подачи в закрепное пространство быстротвердеющих строительных смесей характеризуются технической и организационной сложностью реализации. Строительные смеси, как правило, с отношением жидкой фазы к твердой 0,30-0,55 и долей цементного вяжущего 30-55 % (по массе) укладываются в герметично изолированное закрепное пространство или в распорные рукава «Бульфлекс» из синтетического материала.

Следует проверить способ укладки в закрепное пространство мешков из синтетического материала, заполненных забутовочным материалом. Степень заполнения мешков должна обеспечить возможность придания им различных форм при укладке в закрепное пространство.

Опыт проходки выработок по простиранию железно-слюдковых мартитовых руд дает основание для вывода о необходимости дальнейшего совершенствования взрывных работ. Альтернативой является комбайновая технология проведения выработок. Способ резания позволит сохранить естественную структуру рудного массива, исключить сверхпроектные переборы контура и создать более благоприятные геомеханические условия для поддержания выработок.