

УДК 622.274

**Т.Т. Исмаилов, А.В. Логачев, Б.С. Лузин,  
В.И. Голик**

## **КОМБИНИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ**

*Сформулированы и типизированы закономерности поведения рудовмещающего массива при закладке пустот смесями на основе отходов добычи и переработки. Описан механизм объемного сжатия в массиве. Предложена управления напряжениями посредством ограничения деформаций с помощью закладки пустот твердеющими смесями.*

*Ключевые слова: подземная разработка, рудовмещающий массив, деформирование пород, геомеханика.*

**Семинар № 16**

**T.T. Ismailov, A.V. Logachev,  
B.S. Luzin, V.I. Golik**

### **THE COMBINATION OF THE TECHNOLOGIES OF THE UNDERGROUND MINING ON THE GEOMECHANICAL BASE**

*The laws of the ore-hosting rock mass behavior during the filling the cave-ins with the blends on the base of the mining and refinement wastes are formulated and categorized. The mechanism of the volumetric contraction is described. The technology of the stress control by the deformation limiting with the cave-in fillings by the consolidating blends is proposed.*

*Key words: underground mining, ore – hosting rock mass, deformation of rocks, geomechanics.*

**Т**ехнологии с естественным поддержанием массива характеризуются повышенными потерями и разубоживанием, но для их конверсии на основе закладки пустот твердеющими смесями необходимо обоснование технологической возможности и экономической целесообразности.

В ходе обобщения научного и практического опыта установлен ряд

закономерностей поведения рудовмещающего массива при закладке пустот смесями на основе отходов:

- прочность смесей в результате их активации существенно повышается;

- состояние искусственного массива управляется путем изменения величины бокового распора массива;

- прочность смесей при их вводе в состояние объемного сжатия увеличивается на 20-30 %.

Технологии утилизации хвостов обогащения для изготовления и размещения твердеющих смесей повышают полноту использования недр и оздоровление окружающей среды за счет сохранности земной поверхности и уменьшения объемов отходов добычи и переработки (таблица).

Реакция массива на технологическое воздействие зависит от величины и знака действующих в массиве напряжений. Сдвигение массива представляет собой следствие внутреннего деформирования и разрушения элементарных минеральных частиц, осложненного анизотропностью среды.

### Типизация горных технологий

Типы технологий	Характерные признаки	Использование отходов	Состояние земли
<b>1. Опасные</b> С обрушением пород	<b>Повышенное разубоживание минералов</b>	Накопление отходов без использования	Полная деградация в зоне добычи
<b>2. Безопасные</b> С заполнением пустот твердеющими смесями С заполнением пустот хвостами выщелачивания руд на месте их залегания	Минимальное разубоживание минералов Минералы не выдают на поверхность	Полное использование отходов  Отходы не образуются	Исключение деградации земель в зоне добычи Исключение деградации земель в зоне добычи
<b>3. Комбинированные</b> Сочетание типов с оставлением части пустот не заполненными	Разубоживание минералов в зависимости от объемов комбинирования	Использование отходов в зависимости от объемов комбинирования	Деградация лишь при нарушении технологии

Внутреннее поле напряжений структурных отдельностей массива связано с внешним полем напряжений зависимостью:

$$\sigma_{пор.} = [\sigma_{мас.} \cdot f(\Sigma(1...n)) \cdot T] \cdot k_{геол.}$$

где  $\sigma_{пор.}$  - поле напряжений пород;  $\sigma_{мас.}$  - поле напряжений массива;  $T$  - тензоры упругих модулей неоднородностей, случайных упругих модулей, постоянных и др.;  $k_{геол.}$  - коэффициент дискретности.

В условиях объемного сжатия в массивах происходит закрытие тектонических структур с увеличением прочности и модуля деформации, в результате чего объемное напряженное состояние трансформируется от растяжения и сдвига на контуре пустот до сжатия в глубине массива.

В зависимости от деформирования пород в массиве одновременно сосуществуют несколько областей разрушения. Вблизи разлома возникает зона нарушенных пород с минимальной несущей способностью. За ней следует зона ослабленных пород предельного деформирования с возрастанием прочности по мере удаления от разлома. Наконец, существует зона нетронутых пород в стадии предельного деформирования.

Условие устойчивости массивов описывается моделью:

$$\Sigma(\sigma_3 + K \sigma_2 \sigma_1) \leq \Sigma \sigma_o \cdot K \leq \Sigma \sigma_n \cdot K$$

$$\Sigma \sigma_n \cdot K = f(\sigma_{ост.}, h_c, P_{min}, P_{max})$$

$$\Sigma \sigma_o \cdot K \cdot K_{рн} = f(\sigma_n, H, B)$$

где  $\sigma_{3,2,1}$  - главные напряжения в массиве;  $\sigma_n, \sigma_o$  - напряжения в зонах нарушенных и ослабленных пород, соответственно, МПа;  $h_c$  - высота зоны влияния разлома, м;  $P_{max}$  и  $P_{min}$  - максимальное и минимальное значения технологического воздействия;  $\sigma_{ост.}$  - остаточная прочность пород при одноосном сжатии, МПа;  $H$  и  $B$  - высота и ширина зоны технологического воздействия, м;  $K$  - коэффициент влияния тектонических нарушений;  $K_{рн}$  - коэффициент разгрузки напряжений.

Управление напряженно-деформированным состоянием массивов заключается в создании условий, когда обеспечивается неравенство:

$$[\sigma_{н.м}] < \sigma^{ост} < [\sigma^{ост}]_{крит}$$

где  $[\sigma^{ост}]_{крит}$  - критические напряжения в нарушенных породах перед их дезинтеграцией.

Поведение скального массива и сооружаемых в его пределах объек-

тов при совместном воздействии природных и техногенных факторов определяется следующими принципами:

- состояние массивов определяется свойствами пород и временем воздействия;

- исходя из приоритетности сохранности земной поверхности, технологии воздействия на массив должны включать в свой состав природоохранные мероприятия;

- оптимальное по геомеханическому признаку управление массивами обеспечивается их разгрузкой от высоких напряжений.

В развитие представлений С.В. Ветрова состояние скальных массивов описывается условием:

$$\sigma \cdot K_3 = \int_{l_{min}}^{l_{max}} f(x) (dx_1, dx_2, \dots, dx_n) \rightarrow$$

$$\rightarrow \Pi, R = \int_{l_{min}}^{l_{max}} f \cdot x (dh_k + dh.)$$

где  $\sigma$  - напряжения в зоне влияния выработок, МПа;  $K_3$  - коэффициент корректировки напряжений;  $l_{max}$ ,  $l_{min}$  - пролеты обнажения пород, м;  $x_1 \dots x_n$  - технологические, физико-механические и иные характеристики;  $\Pi$  - потери руд, доли ед.;  $R$  - разубоживание руд породами, доли ед.;  $h_3$  - высота закладочного массива, м;  $h_n$  - высота влияния горных выработок, м.

Степень безопасности технологий по развитию критических напряжений и деформаций оценивается коэффициентом  $K_1$ :

$$K_1 = f(V_o - V_3 \cdot K_T)$$

где  $V_o$  - объем образованных в массиве пустот, м<sup>3</sup>;  $V_3$  - объем заполненных закладкой пустот, м<sup>3</sup>;  $K_T$  - коэффициент доли твердеющей закладки.

При объемном сжатии прочность закладки повышается в 1,5-3 раза, а эффективность работы зависит от соотношения пригрузки массива породами и бокового подпора стенок искусственного массива. Состояние массивов и величина потерь и разу-

боживания определяются объемом пустот, объемом выданных на поверхность руд и прочностью пород.

Гипотезы управления состоянием массива исходят из условия не превышения высоты зоны влияния горных работ по сравнению с глубиной расположения рудного тела:

$$H > \eta \times h_c.$$

где  $H$  - глубина месторождения от рудного тела до поверхности, м;  $h_c$  - высота зоны влияния пустоты по вертикали, м;  $\eta$  - коэффициент запаса.

При закладке пустот твердеющими смесями разгрузка напряжений стабилизирует состояние массива с достижением эффекта за счет уменьшения потерь и разубоживания.

Предложенная модель предполагает возможность управления напряжениями посредством ограничения деформаций с помощью закладки пустот твердеющими смесями:

$$\sigma_1 \leq \sigma_2 \leq \sigma_3 = \sigma_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

где  $\sigma_1$  - напряжения в зоне нетронутых пород, МПа;  $\sigma_2$  - напряжения в зоне влияния очистных работ, МПа;  $\sigma_3$  - напряжения в закладочном массиве, МПа;  $\sigma_n$  - нормативное сопротивление сжатию закладки, МПа;  $K_1$  - коэффициент неоднородности закладочного массива;  $K_2$  - коэффициент увеличения прочности закладки со временем;  $K_3$  - коэффициент увеличения прочности закладки в массиве;  $K_4$  - коэффициент условий работы.

Напряжения в результате заполнения пустот:

$$\sigma_m = n_1 \sigma_{n.3} + n_2 \sigma_{c.3} + n_3 \sigma_{m.3} +$$

$$+ n_4 \sigma_{n.3} + n_5 \sigma^{ост} = \sum_1^l n_l \sigma_m^y$$

где  $\sigma_{n.3}$ ,  $\sigma_{c.3}$ ,  $\sigma_{m.3}$ ,  $\sigma_{n.3}$  - величины подпора, соответственно, прочного, среднепрочного и мало прочного состава твердеющей смесей;  $l$  - число

упрочняющих элементов;  $n_1, \dots, n_5$  - массовое число материала в количестве смеси;  $\sigma_m^y$  - прочность смесей.

Модель управления состоянием массива разгрузкой от напряжений:

$$\sigma_1 \leq \sigma_2 \leq \sigma_3 = \sigma_{н} \cdot K_1 K_2 K_3 K_4$$

$$P y_T = C_T - Z_T - Y_{T_{бат}} - Y_{T_{БРС}} - Y_{T_{БРР}}$$

$$V_a = V_c \cdot \mathcal{E}_B,$$

где  $\sigma_1$  - напряжения в зоне нетронутых пород, МПа;  $\sigma_2$  - напряжения в зоне влияния очистных работ, МПа;  $\sigma_3$  - напряжения в закладочном массиве, МПа;  $\sigma_{н}$  - нормативное сопротивление сжатию, МПа;  $K_1$  - коэффициент неоднородности закладочного массива;  $K_2$  - коэффициент увеличения прочности закладки со временем;  $K_3$  - коэффициент увеличения прочности закладки в массиве;  $K_4$  - коэффициент условий работы;  $P_{y_m}$  - прибыль от добычи и переработки руды, руб/т;  $C_{T_b}$  - ценность добытой руды, руб/т;  $Z_T$  - полные затраты на добычу и переработку руды, руб/т;  $Y_{T_{рс}}$  - ущерб от 1 т разубоживающей массы по контуру блока, руб/т;  $Y_{T_{рп}}$  - ущерб от переработки 1 т разубоживающей массы внутри блока, руб/т.;  $V_a$  - количество альтернативных вяжущих, вес. ед.;  $V_c$  - количество стандартных вяжущих, вес. ед.;  $\mathcal{E}_B$  - коэффициент эквивалентности вяжущего.

В комплексировании способов управления напряжениями и дефор-

мациями связующую и регулирующую роль играет твердеющая закладка, из которой создаются искусственные сооружения в массиве. Опережающая отработка отдельных участков месторождений разгружает кровлю с передачей опорного давления на искусственные массивы. Нормативная прочность искусственного массива может быть снижена, если подработка ведется выработками ограниченного сечения или с замедлением во времени.

При разработке мощных месторождений скального типа с блочной структурой образование пустот сопровождается разрушением массива в форме потери сцепления структурных блоков пород. При закладке пустот твердеющими смесями разгрузка напряжений стабилизирует состояние массива с достижением эффекта за счет уменьшения потерь и разубоживания. При прочих равных условиях реакция массива на технологическое воздействие зависит от уменьшения зоны влияния пустот путем закладки их твердеющими смесями. При этом радикально уменьшаются потери и разубоживание руд.

Комбинирование технологий подземной разработки месторождений на геомеханической основе в условиях становления рыночных отношений предоставляет возможность повышения качества руд за счет рационального использования свойств массива и способности разрушенных пород к самоупрочнению. **IVAS**

### Коротко об авторах

*Исмаилов Т.Т.* - кандидат технических наук, доцент, Московский государственный горный университет, ud@msmu.ru

*Логачев А.В.* - кандидат технических наук, доцент, Южно-Российский государственный технический университет, ngtu@novoch.ru

*Голик В.И.* - доктор технических наук, профессор, Северо-Кавказский горно-металлургический институт, v.i.golik@mail.ru

*Лузин Б.С.* - доктор экономических наук, Северо-Кавказский горно-металлургический институт, v.i.golik@mail.ru