

В процессе сорбции катод перемещался противотоку пульпы. Насыщенный золотом катод промывался от илов, освобождался от защитной оболочки (стеклоткани), затем углеволокно снималось с каркаса и сжигалось в муфельной печи. Золотосодержащая зола растворялась в 30 %-ной азотной кислоте и отфильтровывалась. Осадок на фильтре снова сжигался в муфельной печи, а затем растворялся в 100 г царской водки в режиме:  $\tau = 1$  ч,  $t = 60 \div 70$  °C. Раствор фильтровался, осадок промывался 100 см<sup>3</sup> дистиллированной водой, фильтрат и промвода объединялись и добавлением в объединенный раствор 50 г сульфита натрия осаждался кофеобразный осадок золота, который спекался в муфельной печи при температуре 870 °C. Полученный спек золотистого цвета еще раз промывался в азотной кислоте марки ХЧ, а затем плавкой на газовой горелке получили сплав золота, который анализировали на содержание основного вещества. Результат анализа – 99,9 % золота.

В целом, обобщая результаты полупромышленных экспериментов, можно констатировать, что созданная схема совмещения операций электрохимического выщелачивания и электросорбции на углеволокнистом материале работоспособна и может быть широко внедрена в промышленную практику с достаточно высоким экономическим эффектом.

Получено 3.03.10

УДК 622.27

**А.Е. Рогов**

Институт горного дела им.Д. Кунаева, г. Алматы

**А.Б. Болатова**

ВКГТУ им. Д.Серикбаева, г. Усть-Каменогорск

#### ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОБОСНОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ СЛОЕВОЙ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ РУДНЫХ ТЕЛ С ЗАКЛАДКОЙ

При разработке твердых полезных ископаемых подземным способом создается сложная система подземных сооружений, представленная протяженными горными выработками, различно ориентируемыми в пространстве. Сеть горных выработок любого рудника или шахты вместе с выемочными участками (ВУ) представляет сложное инженерное сооружение, которое нуждается в оценке уровня его надежности на интервале времени его функционирования для добычи полезных ископаемых.

Не останавливаясь на деталях описания подземных сооружений, отметим одно их общее свойство: они должны быть устойчивыми (неразрушимыми) на некотором вполне определенном времени  $T$ .

Следовательно, основной характеристикой их устойчивости следует принять величину вероятности их неразрушения на  $T$ , т.е.

$$P_h = 1 - P_e, \quad (1)$$

где  $P_e$  – вероятность разрушения подземной конструкции.

Условие потери устойчивости различных целиков может быть представлено пересечением двух случайных величин:

$$P_e = \{\psi(\sigma_h) \otimes \varphi(\sigma_{np})\}, \quad (2)$$

где  $\psi(\sigma_h)$  - функция распределения нормальных к сечению целика напряжений в наи-

меньшем его диаметре или ширине, МПа;  $\varphi(\sigma_{np})$  - функция распределения прочности пород целика на сжатие, МПа.

Математическое ожидание  $\bar{\sigma}_n$  и дисперсия  $\sigma_n^2$  определяется по известным аналитическим зависимостям для различных гипотез формирования нагрузки на целик. Эти гипотезы в статье не обсуждаются.  $\bar{\sigma}_{np}$  и  $\sigma_{np}^2$  определяются на основании экспериментальных данных по образцам с учетом реальной среды.

Помимо катастрофических отказов при разработке месторождения подземным способом возникают отказы, к числу которых мы относим наиболее часто проявляющиеся:

- разрушение одиночных столбчатых или ленточных целиков;
- потеря устойчивости приkontурного массива на груди забоя и с боков выработок;
- обрушение кровли выработок.

Вероятность разрушения одиночных целиков определяется пересечением функции распределения (2), где математическое ожидание и дисперсии параметров  $\sigma_n$  и  $\sigma_{np}$  определяются по известным формулам [1].

Потеря устойчивости приkontурного массива прогнозируется путем пересечения случайных величин  $\psi(\sigma_n)$  и  $\varphi(\sigma_{np})$ : функций распределения напряжений  $\sigma$ , перпендикулярных к груди забоя и бокам горных выработок и прочности пород на разрыв. Аналогичным образом определяется вероятность обрушения пород кровли по выражению:

$$P'_e = \{ \psi(\sigma'_n) \varphi(\sigma_{np}) \}. \quad (3)$$

Рассмотрим далее алгоритм определения вероятностей проявления катастрофических и обычных отказов при пересечении рассматриваемых выше случайных величин.

Пусть правые части неравенства (1), (2), (3) - функции плотности распределения вероятностей  $\varphi(\sigma_{np})$ , а левые - функции  $\psi(S')$ , тогда всевозможные исходы определения надежности подземных сооружений выражаются следующим множеством аналитических формул (рис. 1-6). Рассмотрим различные исходы:

$$1. \quad \hat{S}' \leq \underset{\vee}{S}; P_n = 1 \text{ (рис. 1).} \quad (4)$$

$$2. \quad \underset{\vee}{S}' \leq \hat{S}; P_n = 0 \text{ (рис. 2).} \quad (5)$$

$$3. \quad \underset{\vee}{S} < S'; \hat{S} < \hat{S}' \text{ (рис. 3).} \quad (6)$$

Тогда надежность определяется по следующей формуле:

$$P_n = 1 - \left[ \int_{\underset{\vee}{S}'}^{\hat{S}} [\psi(S') \cdot \int_S^{\hat{S}} \varphi(S) dS] dS' + \int_{\underset{\vee}{S}'}^{\hat{S}'} \varphi(S) \cdot \psi(S') dS' + \int_{\hat{S}'}^{\hat{S}} \psi(S') dS' \right]. \quad (7)$$

$$4. \quad \underset{\vee}{S}' < S; \hat{S}' < \hat{S} \text{ (рис. 4).}$$

Надежность для этого случая выражается в виде:

$$P_n = 1 - \left[ \int_{\underset{\vee}{S}'}^{\hat{S}'} [\psi(S') \cdot \int_S^{\hat{S}'} \varphi(S) dS] dS' + \int_{\underset{\vee}{S}'}^{\hat{S}'} \psi(S') \varphi(S) dS \right]. \quad (8)$$

5.

$$\underset{\vee}{S'} < \underset{\vee}{S}; \underset{\wedge}{S'} > \underset{\wedge}{S} \text{ (рис. 5).}$$

Для этого вида имеем:

$$P_h = 1 - \left[ \int_{\underset{\vee}{S}}^{\underset{\wedge}{S}} \psi(S') \cdot \int_S^{\underset{\wedge}{S}} \varphi(S) dS' dS + \int_{\underset{\wedge}{S}}^{\underset{\wedge}{S}} \psi(S') \varphi(S) dS + \int_{\underset{\wedge}{S}}^{\underset{\wedge}{S'}} \psi(S') dS' \right]. \quad (9)$$

И наконец случай 6, когда

6.

$$\underset{\vee}{S} < \underset{\wedge}{S'}; \underset{\wedge}{S'} < \underset{\wedge}{S} \text{ (рис. 6).}$$

Надежность запишем в виде:

$$P_h = 1 - \left[ \int_{\underset{\vee}{S'}}^{\underset{\wedge}{S'}} \psi(S') \cdot \int_S^{\underset{\wedge}{S}} \varphi(S) dS' dS + \int_{\underset{\wedge}{S'}}^{\underset{\wedge}{S}} \psi(S') \varphi(S) dS \right]. \quad (10)$$

Здесь в формулах приняты обозначения:

$\varphi(S_{np}) = \varphi(S)$  - функция распределения прочности пород в массиве (на разрыв, на сжатие);  $\psi(S_h) = \psi(S')$  - функция распределения нагрузок на приконтурный массив (нормальных, касательных).

Рассмотрены все случаи пересечения величин  $\psi(S')$  и  $\varphi(S)$ 

$$\{\psi(S') \cap \varphi(S)\}. \quad (11)$$

Нами разработаны универсальные методы вычисления величин надежности ( $P_h$ ) (7÷10) для нормального закона распределения  $\varphi(S)$  и  $\psi(S')$  для компьютерных технологий управления.

Случайные величины  $\varphi(S)$ ,  $\psi(S')$  могут быть распределены по любому известному закону, параметры которых можно определить либо теоретически методом статистических испытаний, либо экспериментально. Для упрощенной оценки надежности конструкций подземных сооружений можно применять простейшие законы распределения [3]:

– равновероятный

$$\varphi(S) = \frac{1}{\underset{\vee}{S} - \underset{\wedge}{S}}; \quad \psi(S') = \frac{1}{\underset{\wedge}{S'} - \underset{\vee}{S}'}; \quad (12)$$

– треугольный

$$\varphi(S) = \frac{4 \left( \underset{\wedge}{S} - S \right)^2}{\left( \underset{\wedge}{S} - \underset{\vee}{S} \right)^2} \quad npu \underset{\wedge}{S} < S < \underset{\wedge}{S}; \quad (13)$$

$$\varphi(S) = \frac{4 \left( S - \underset{\vee}{S} \right)^2}{\left( \underset{\wedge}{S} - \underset{\vee}{S} \right)^2} \quad npu \underset{\vee}{S} < S < \underset{\wedge}{S}; \quad (14)$$

– усеченный нормальный

$$\varphi(S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_3} \exp\left[-\frac{(\bar{S}-S)^2}{2\sigma_3^2}\right]; \quad (15)$$

– с параметрами

$$\left. \begin{aligned} M(S) &= \frac{\hat{S} - S}{2}; \\ \sigma(S) &= \frac{\hat{S} - S}{6} \\ \text{или} \\ \sigma(S) &= \frac{\hat{S} - M(S)}{3}; \\ \sigma(S) &= \frac{M(S) - S}{3} \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

с нормированной к единице площадью  $F_1 = 0,999$ , аналогично для  $\psi(S')$ .

Указанные законы распределения (12), (15) позволяют получить формулы (10) ÷ (12) для  $P_h$  в явном виде.

Возможные исходы пересечения случайных величин  $\varphi(S)$   $\psi(S')$  изображены на рис. 1-6.

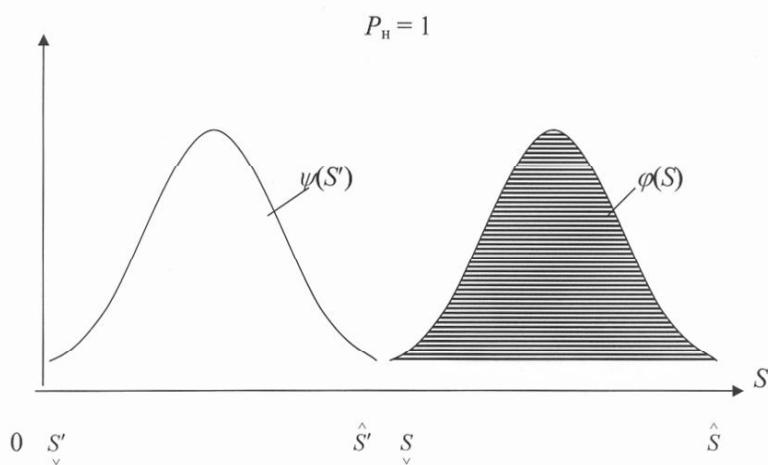


Рисунок 1 – График возможных пересечений случайных величин

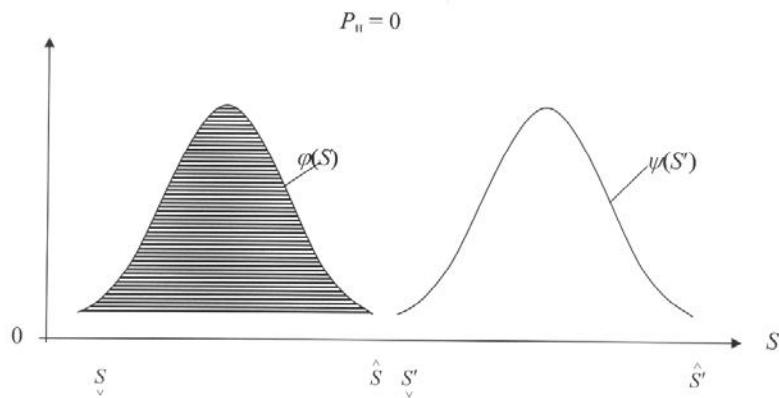


Рисунок 2 – График возможных пересечений случайных величин

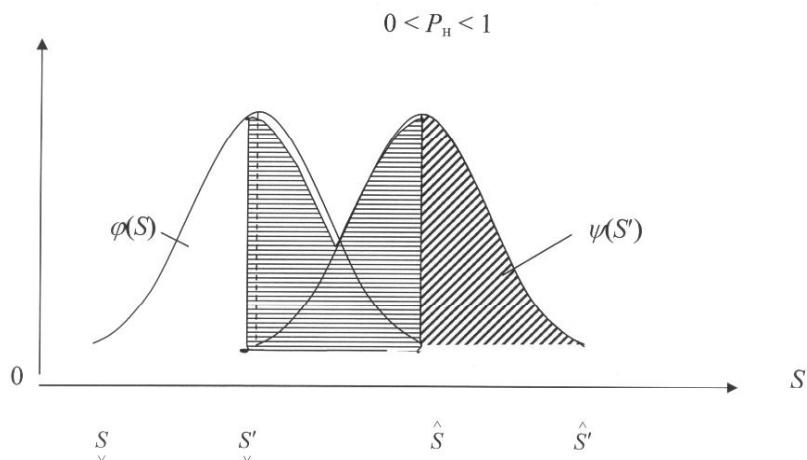


Рисунок 3 – График возможных пересечений случайных величин

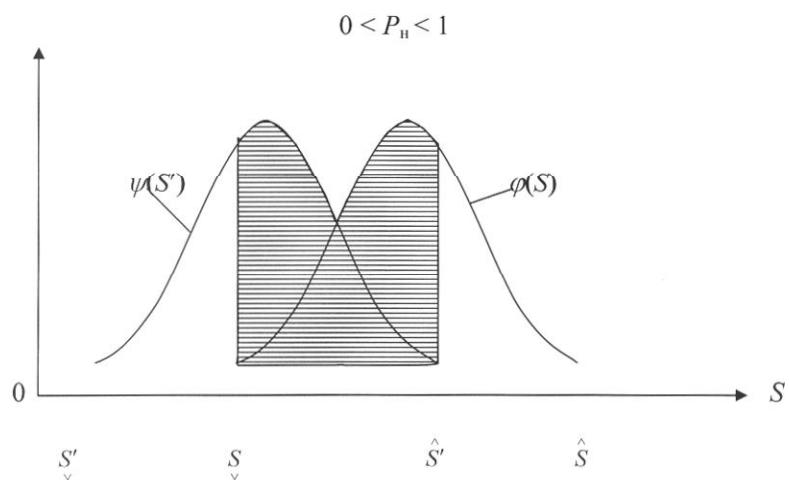


Рисунок 4 – График возможных пересечений случайных величин

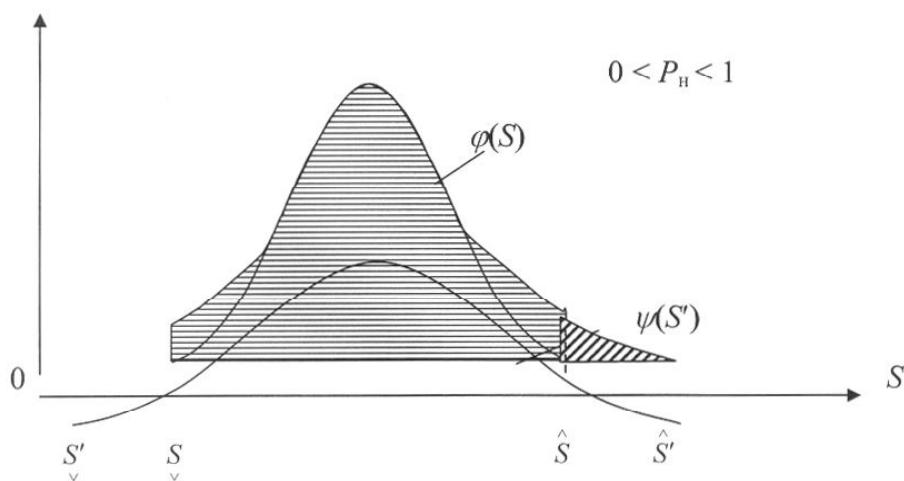


Рисунок 5 – График возможных пересечений случайных величин

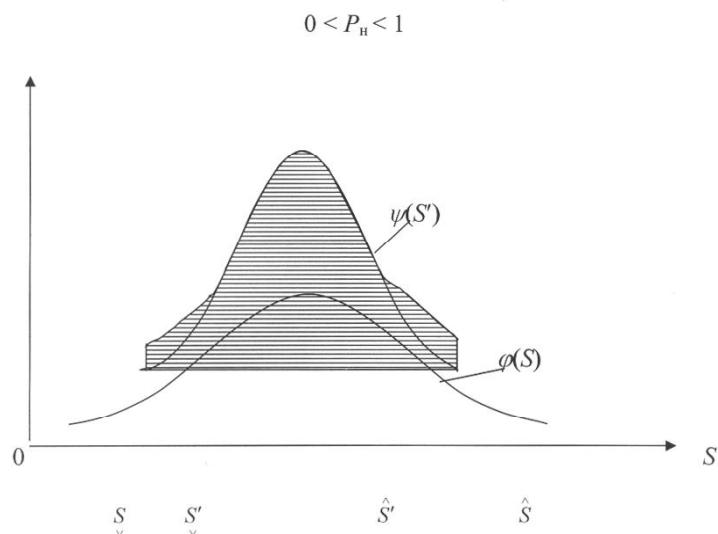


Рисунок 6 – График возможных пересечений случайных величин

В соответствии с результатами, приведенными выше, основополагающими параметрами для исследования надежности (устойчивости) искусственной бетонной кровли и искусственного массива, поддерживающего кровлю камер, являются:

1.  $\sigma_p$  (МПа или тс/м<sup>2</sup>) - предел прочности массива закладки на растяжение, который определяется в лабораторных условиях

$$\sigma_p = \frac{(1 + \kappa_n) \gamma_3 L^2}{10^6 h_h}, \quad (17)$$

где  $\kappa_n$  - коэффициент запаса прочности;  $\gamma_3$  - удельный вес закладочного массива, тс/м<sup>3</sup>;  $L$  – пролет камеры, м;  $h_h$  – высота слоя закладки, м.

2. Нагрузка на искусственную потолочину закладки, которая работает на растяжение массива. Эту величину  $P$  ( $\text{тс}/\text{м}^2$ ) рекомендуется определять по формуле проф. Н.С. Булычева [1].

$$P = \frac{\gamma_3 b - C}{\lambda g \varphi} \left[ 1 - \exp \left( - \lambda \frac{H}{b} \operatorname{tg} \varphi \right) \right], \quad (18)$$

где  $\gamma_3$  ( $\text{тс}/\text{м}^3$ );  $b$  (м);  $C$  ( $\text{тс}/\text{м}^2$ );  $X$  и  $\operatorname{tg} \varphi$  – безразмерные.

Лабораторные исследования прочностных характеристик закладочного массива позволяют оценить их в течение всего периода твердения и нормальной работы в виде двух составляющих [2]:

- прочность закладочного массива на сжатие (по образцам) -  $\sigma_{c_{sj},j}$ ;
- прочность закладочного массива на разрыв (по образцам) -  $\sigma_{z,j}$ , где  $j$  – интервалы времени,

Следует обратить внимание на то, что отработка залежей ценных руд производится нисходящими слоями, когда техника и люди работают в камере с искусственным массивом кровли. Ясно, что надежность кровли (закладки) должна быть достаточно высокой. По данным статистики работы Бакырчикского золотодобывающего рудника надежность  $P_3$  искусственной кровли в функции от коэффициента запаса  $K_3$  ее прочности нами будет исследована в интервале:

$$\left. \begin{array}{l} 0,9 \leq P_3 \leq 0,99, \\ 2 \leq K_3 \leq 14, \end{array} \right\} \quad (19)$$

что достаточно для практических целей.

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Получены теоретическим путем универсальные математические модели в стохастической постановке для определения надежности подземных сооружений, в частности для искусственных закладочных массивов.
3. Получены расчетные модели для определения устойчивости искусственных закладочных массивов.
4. Выведены стохастические закономерности для надежности искусственной кровли от коэффициента запаса ее прочности на разрыв.

#### Список литературы

1. Булычев Н.С. Механика подземных сооружений (в примерах и задачах). – М.: Недра, 1989. – 314 с.
2. Рогов Е.И. Системный анализ в горном деле. – Алма-Ата, 1976. – 206 с.
3. Рогов Е.И. Математические модели адаптации процессов и подсистем угольной шахты / Е.И. Рогов, Г.И. Грицко, В.Н. Вылегжанин. – Алма-Ата, 1979. – 208 с.

Получено 18.02.10