

УДК 622.674: 539.3

**М.С. Плешко, С.А. Масленников**

**О ПРОБЛЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ  
КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ  
В ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЕ**

*Рассмотрены подходы к анализу взаимодействия крепи и породного массива с учетом влияния забоя вертикального ствола. Отмечена сложность их использования в слабых породах при комбинированной конструкции крепи. Сделан вывод о целесообразности применения численных методов.*

*Ключевые слова:* приконтурная зона, крепь, деформирование массива, забой.

**Семинар № 4**

---

**M.S. Pleshko, S.A. Maslennikov  
ABOUT THE PROBLEM OF  
RESEARCH OF WORK TIMBERING OF  
VERTICAL TRUNKS IN PRIZABOYNOY  
TO THE ZONE**

*Approaches to the взаимо-действия крепи и массива вертикального ствола изучены. Установлено, что сложность их применения связана с влиянием забоя на конструкцию крепи. Сделан вывод о целесообразности применения численных методов.*

*Ключевые слова:* приконтурная зона, крепь, деформирование массива, забой

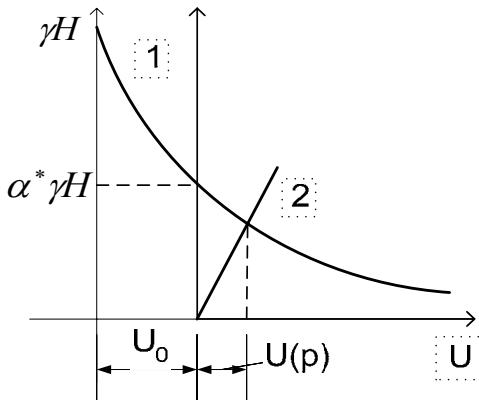
При анализе взаимодействия крепи и массива вертикального ствола чаще всего используются упругие и упругопластические модели. Последние более точно соответствуют реальным явлениям, происходящим в массиве. Упругопластическая модель предусматривает образование вокруг выработки двух зон деформаций – пластической и упругой. Нагрузки на крепь зависят от радиуса зоны пластических деформаций и величины перемещений контура сечения выработки, с ростом которых они уменьшаются [1].

Как известно, смещения породного контура можно представить в виде двух составляющих:

$$U_{\infty}^*(p) = U_0 + U(p),$$

где  $U_{\infty}^*(p)$  - смещения породного контура к моменту установления статического равновесия в системе «крепь – массив»;  $U_0$  - начальные смещения породного контура, соответствующие промежутку времени от обнажения породного контура до момента ввода крепи в работу;  $U(p)$  - смещения внешнего контура крепи к моменту

**В** настоящее время имеются комплексно разработанные геомеханические модели совместной работы массива и крепи, которые позволяют получить описание исследуемых явлений в наиболее общей математической форме. Выбор модели основывается на изучении поведения пород в массиве и испытании образцов. Анализ выбранной модели позволяет определить оптимальный режим работы крепи, величину возникающих напряжений, прогнозировать смещения и режим работы приконтурной зоны.



установления статического равновесия в системе «крепь – массив».

Впервые данное уравнение было сформулировано проф. Ф.А. Белаенко. Графическое представление данного уравнения представлено на рис. 1. Данная диаграмма равновесных состояний взаимодействия крепи с массивом содержит существенное упрощение. График зависимости представляется как результат постепенной монотонной разгрузки массива по контуру сечения выработки. В реальной ситуации разгрузка массива происходит сразу, породы смещаются, не встречая никакого сопротивления, и лишь затем в контакт с массивом вводят крепь, оказывающую возрастающее сопротивление дальнейшим смещениям. Проводимые опыты показали существенное расхождение с расчётными данными по указанной схеме.

Для устранения данного противоречия процесс смещения пород на контуре разделили на 2 периода. 1 период – начальные смещения, включающие деформации, возникающие до обнажения пород (впереди забоя), а также деформации, происходящие от момента обнажения пород, до возведения крепи, из рассмотрения исключают. Его сводят к введению корректирующего множителя  $\alpha^*$ , кото-

**Диаграмма взаимодействия массива и крепи:** 1 – диаграмма деформирования массива до наступления равновесного состояния; 2 – график характеризующий жёсткость крепи

рый характеризует снижение нагрузки на возводимую крепь, по сравнению с напряжениями в нетронутом массиве (см. рис. 1). Наиболее точно, как показывает практический опыт, данный множитель определяется экспоненциальной зависимостью, полученной Д. Баудендилем [1]:

$$\alpha^* = 0,64 \exp\left(-\frac{1,75l_0}{r_0}\right),$$

где  $l_0$  – расстояние установки крепи от забоя;  $r_0$  – радиус выработки.

Второй период – смещения внешнего контура крепи от момента возведения, до установления статического равновесия ( $U(p)$ ) определяют из анализа выбранной механической модели. Так для упругопластической модели (при условии идеальной пластичности) они составят:

$$U(p) = r_0 \frac{C}{2G} \exp\left(\frac{q - P}{C} - 1\right),$$

где  $C$  – сцепление пород;  $G$  – модуль сдвига пород;  $q$  – величина напряжений в массиве;  $P$  – отпор крепи.

Как уже указывалось выше, рост смещений пород до возведения крепи приводит к снижению нагрузки. Но возможность улучшения условий работы крепи за счёт этого процесса ограничена требованием отсутствия разрушения пород на контуре выработки, или развития процесса вывалообразования.

Оценка устойчивости пород по фактору вывалообразования с помощью аналитических методов весьма затруднена, а по фактору разрушения пород может быть произведена из

аналитического решения плоской контактной задачи [2]. Необходимое условие устойчивости массива можно представить в виде:

$$\sigma_{\theta} = \sigma_c = 2\lambda \cdot \gamma \cdot H \cdot (1 - \alpha^*) \leq R_{cж},$$

где  $\lambda$  – коэффициент бокового давления пород в ненарушенном массиве;  $H$  – глубина ствола;  $R_{cж}$  – предел прочности пород в массиве.

Таким образом, современное проектирование крепи должно основываться на параллельной оценке напряженно-деформированного состояния крепи и устойчивости пород с учетом особенностей из взаимодействия в призабойной зоне ствола. При проходке выработок в крепких породах, позволяющих оставлять породные стенки без крепления на длительный срок или использовать облегченные временные крепи ( $\alpha^* \rightarrow 0$ ), расчет параметров крепи на основании плоской контактной задачи позволяет достаточно точно выполнить данную оценку.

В более слабых породах, где высота незакрепленного участка составляет несколько метров, указанная схема не позволяет учесть все особенности взаимодействия системы «крепь – массив». Особенno это касается работы комбинированных крепей, состоящих из нескольких слоев с различными свойствами и возводимых в разное время. Их взаимодействие с учетом влияния забоя выработки необходимо рассматривать в объемной постановке геомеханической задачи. При этом математические трудности значительно возрастают, и приходится обращаться к численным методам моделирования. Их применение, особенно при рассмотрении конкретных горно-геологических условий и конструкций подземных сооружений, позволит более точно спрогнозировать взаимодействие массива и пород и определить необходимые параметры крепи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булычёв Н.С. Механика подземных сооружений: Учеб. для вузов. – М.: Недра. – 1994. – 382 с.
2. Фотиева Н. Н., Саммаль А. С. и др. Определение области применения набрызгобетонной крепи стволов в сочетании с анкерами. // «Шахтное строительство». – 1988. - №3. - С. 9 – 11. ГИАС

#### Коротко об авторах

Плещко М.С. – доцент, кандидат технических наук,  
Масленников С.А. – ассистент каф. ППГСиСМ,  
Шахтинский институт (филиал) Южно-Российский государственный технический  
университет (Новочеркасский политехнический институт), siurgtu@siurgtu.ru

