

УДК 622.272

**Е.П. Брагин, В.Г. Виткалов, Фам Чунг Нгуен**

## **ДАВЛЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД НА МЕХАНИЗИРОВАННУЮ КРЕПЬ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ**

*Представлена программа компьютерного моделирования, которая обеспечивает выбор рациональной крепи очистного забоя, а также позволяет производить расчет НДС массива с учетом технологии работ. Обобщены технологические процессы в очистном забое, которые оказывают существенное влияние на НДС массива, при этом вызывают изменение геомеханической модели, характерной для толщи осадочных пород в естественных условиях.*

*Ключевые слова: горное давление, крепь, очистной забой, напряжения.*

---

**В** минувшем году исполнилось 100-летие выхода книги «Давление горных пород на рудничную крепь», в которой профессор М.М. Протодяконов – один из первых в мировой науке разработал теорию горного давления, положившую начало исследованиям в этом направлении.

За прошедший период в этой области выполнено значительное число исследований [1]. Установлено, что с увеличением глубины горных работ напряжения в массиве пород возрастают, достигая значительных величин. Так при глубине горных работ 400 м вертикальные напряжения могут достигнуть 12500 кН на 1 кв. м.

Однако не весь вес пород до поверхности давит на горную крепь. Возникают противодействия от сопротивления горного массива сдвигу (упругому, вязкому или с трением), трения боковых пород, препятствующие росту нагрузки на крепь.

Зависимость давления пород на крепь от глубины горных работ до настоящего времени вызывает научные споры. В результате проектировщики во многих случаях при планировании и проектировании горных, особенно очистных работ, вынуждены

принимать технические решения на основании опытных данных.

В предлагаемой работе приводятся некоторые результаты анализа взаимодействия технологии и горного массива для конкретных условий очистного забоя с использованием компьютерного моделирования. Определяется НДС пород кровли при увеличении глубины работ. Рассмотрены вопросы определения высоты зоны разрушения пород кровли при обрушении (разгрузке) крепи в очистном забое, возможной нагрузки на крепь в конкретных условиях.

Для расчетов НДС массива используются численный метод конечных элементов и имеющиеся компьютерные программы МКЭ. Исследуемая область массива с очистным забоем и крепью разбивается на конечные элементы. Модель среды – вязкоупругая. В результате расчетов определяются горизонтальные и вертикальные смещения узловых точек, горизонтальные, вертикальные и касательные напряжения в элементах, а также предельные состояния элементов по «Кулону-Мору», по максимальным растягивающим главным напряжениям и «долговечности».



**Рис. 1. Вертикальные напряжения в кровле очистного забоя при глубинах работ: 1 – 300 м; 2 – 500 м; 3 – 800 м**

Для определения влияния глубины работ выполнен расчет НДС массива при глубинах горных работ 300 м (1 вариант), 500 м (2 вариант) и 800 м (3 вариант). Результаты расчетов приводятся на рис. 1.

На диаграмме видно, что с увеличением глубины работ вертикальные напряжения в кровле соответственно увеличиваются. На контакте с лавой (пластом и крепью) происходит перераспределение напряжений. Максимальные вертикальные напряжения над крепью могут превышать величину  $\gamma H$ . Над крепью, в связи с реализацией ее несущей способности напряжения максимальны. Над безстоечным пространством очистного забоя вертикальные напряжения минимальны. Впереди лавы (над пластом) в зоне опорного давления напряжения возрастают.

Анализ результатов расчетов показывает, что во всех элементах горного массива наряду с вертикальными, возникают горизонтальные напряжения, в данном случае приложенные в центрах тяжести треугольных элементов. В нижних слоях кровли над крепью горизонтальные напряжения сжимают столб пород и противодействуют давлению на крепь (рис. 2).

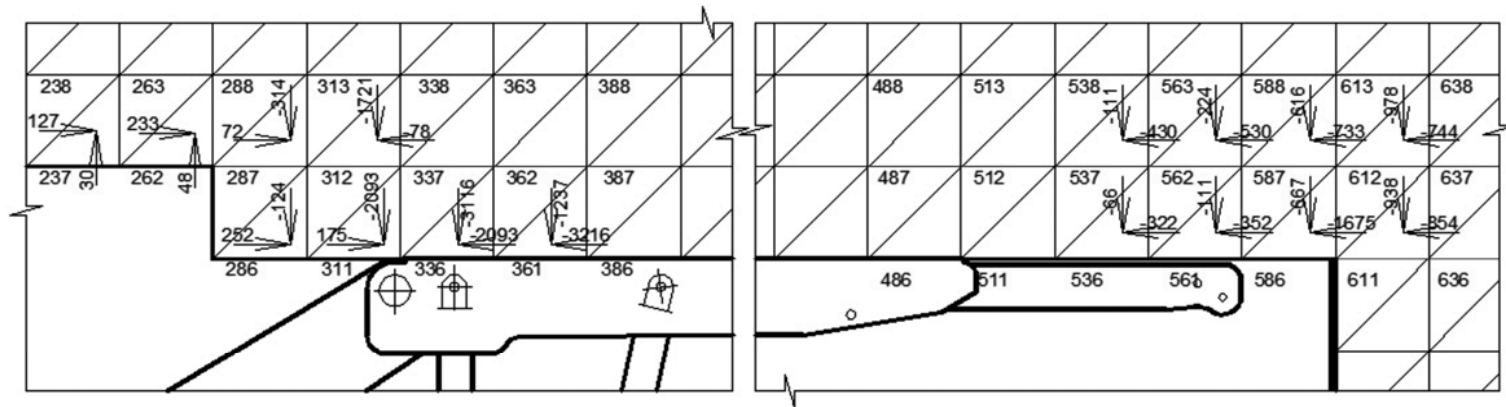
Горизонтальные напряжения в кровле по величине близки к вертикальным напряжениям.

Взаимодействие очистного забоя с массивом горных пород приводит к возникновению деформаций и зоны разрушения пород в нижних слоях кровли над забоем (рис. 3). Возникшие уже на начальной стадии расчета вертикальные растягивающие деформации над крепью приводят к расслоению пород и способствуют их обрушению при разгрузке крепи. Разрушение

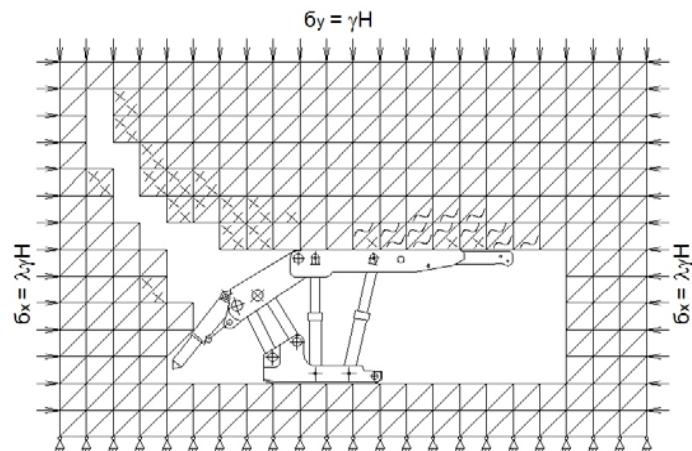
элементов в кровле за крепью (по «Кулону-Мору») происходит при достижении касательными напряжениями предельных величин, зависящих от нормальных вертикальных и горизонтальных напряжений.

При увеличении глубины работ с 300 м до 800 м, несмотря на рост напряжений, деформации пород кровли над крепью и предельные состояния (разрушение) элементов не изменяются. Это позволяет сделать вывод, что возможная нагрузка крепи обрушающимися породами кровли не зависит от глубины ведения горных работ. Этот вывод подтверждается на практике успешным использованием механизированных крепей с одинаковыми силовыми параметрами (типа М130, ОКП70, «Пиома» и др.) при разных глубинах работ.

Одним из основных показателей, предопределяющих нагрузку крепи очистного забоя, является высота зоны обрушения пород над крепью. По результатам ранее выполненного компьютерного моделирования взаимодействия очистного забоя с массивом, высота зоны разрушенных пород, нагружающих крепь, близка к четырехкратной вынимаемой мощности пласта [2].



**Рис. 2.** Фрагмент сетки конечных элементов с перекрытием крепи и напряжения в элементах нижних слоев кровли над пластом и крепью



**Рис. 3.** Зоны предельных состояний: разрушения элементов (по «Кулону-Мору») на границе с обрушением и вертикальных растягивающих деформаций над крепью

Учитывая разрыхление пород при обрушении с увеличением объема, обрушающиеся породы могут «подбучивать» вышележащие слои прогибающихся пород [3, 4], при условии, если  $k_p h = h + m_s$

где  $k_p$  - коэффициент разрыхления пород;  $h$  - высота зоны разрушенных пород, м;  $m_s$  - максимальная вынимаемая мощность, м.

Тогда высота зоны  $h = m_s / (k_p' - 1)$ , м.

При высоте зоны разрушающихся пород, равной четырехкратной мощности пласта, удельная нагрузка крепи

$$R = \frac{4y_{cp} m_s g}{l_n} (l_n + r + r_1 + 1,15 \sqrt{\frac{\sigma_u m_s 1000}{y_{cp} g}}),$$

кН/м<sup>2</sup>,

где  $g$  - ускорение свободного падения;

$y_{cp}$  - средняя плотность пород кровли, т/м<sup>3</sup>;  $\sigma_u$  - прочность пород кровли на изгиб, МПа;  $l_n$  - длина поддерживающей части секции крепи, м;  $r$  - расстояние от козырька крепи до забоя, м;  $r_1$  - глубина захвата комбайна, м.

С учетом возможного коэффициента разрыхления разрушающихся пород, удельная нагрузка крепи

$$R_1 = \frac{\gamma_{cp} m_s g}{l_n (k_p - 1)} (l_n + r + r_1 + 0,58 \sqrt{\frac{\sigma_u m_s 1000}{\gamma_{cp} g (k_p - 1)}},$$

кН/м<sup>2</sup>.

Как видно из приведенных выражений, возможная нагрузка крепи определяется для конкретных условий и вида крепи. Основными, влияющими на нагрузку факторами являются характеристика крепи, пород кровли (прочность на изгиб) и вынимаемая мощность пласта. При средней характерной величине коэффициента разрыхления, равной 1,20, высота зоны разрушающихся пород близка к четырехкратной вынимаемой мощности пласта.

Основные выводы

1. В породах кровли над очистным забоем возникают горизонтальные напряжения, сжимающие столб пород и противодействующие давлению на крепь.

2. Возможная нагрузка крепи обрушающимися породами кровли не зависит от глубины ведения горных работ.

3. Компьютерное моделирование взаимодействия технологии и горно-геологических условий обеспечивает возможность исследований НДС горного массива и нагрузок крепи комплексно механизированных очистных забоев.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродский М.П. Новая теория давления пород на подземную крепь. ОНТИ НКТП
2. СССР. Гос. н.т. горно-геологическое издательство. Москва. Ленинград. Новосибирск. 1933.
3. Брагин Е.П., Вечера В.Н., Мельникова Н.М. Разработка программы автоматизированного выбора и обоснования рациональ-

ных механизированных крепей для конкретных горно-геологических условий. Горное дело. Труды Карагандинского политехнического института, В. 1., 1993. – С. 20-26.

4. Бурчаков А.С., Гринько Н.К., Черняк И.Л. Процессы подземных горных работ. – М.: Недра, 1982.

5. Киячков А.П. Технология горного производства. – М.: Недра, 1992. **ГИАБ**

## Коротко об авторах

Брагин Е.П. – профессор, доктор технических наук,  
Виткалов В.Г. – профессор, кандидат технических наук,  
Фам Чунг Нгуени – аспирант,  
Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, ud@msmu.ru