© Е.П. Брагин, 2007

УДК 622.272

Е.П. Брагин

К ВОПРОСУ О КОНЕЧНОСТИ НАГРУЗКИ НА КРЕПЬ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Семинар № 15

Одной из основных особенностей подземных горных работ, как известно, является постоянное воздействие горного давления, напряжений в массиве под влиянием гравитации, тектонических процессов, изменений температуры. При отсутствии горных работ и выработок напряжения в массиве увеличиваются пропорционально глубине, достигая значительных величин. Так при глубине 400 м напряжения могут достигнуть 10000-12500 кН/м^2. Естественно, что таких нагрузок крепь выдержать не может.

Однако, при ожидаемом увеличении с глубиной нагрузки на крепь, вблизи выработок происходит перераспределение напряжений и в действующих очистных забоях успешно работают современные механизированные крепи.

Несмотря на успехи в области комплексной механизации задача о взаимодействии крепи с массивом и определения необходимой несущей способности крепи продолжает оставаться одной из наиболее важных задач в механике горных пород.

Практика подземных работ свидетельствует о конечности нагружения крепи очистного забоя при увеличении глубины работ. Академик Е.И. Шемякин, обращает внимание на установленные М.М. Протодьяконовым свойства сопротивления горного массива сдвигу (упругому, вязкому или с трением), препятствующие росту нагрузки на крепь с увеличением глубины работ [1].

Обоснованность конечности нагрузки на крепь при увеличении глубины работ, решающей роли сопротивления среды сдвигу в формировании основных нагрузок на крепь обеспечивает предпосылки к определению необходимого рабочего сопротивления механизированных крепей очистных забоев в конкретных условиях.

Анализ создания и применения механизированных крепей показывает, что принимаемое их удельное сопротивление для сходных условий отличается в широких пределах. С увеличением вынимаемой мощности прослеживается тенденция увеличения удельного сопротивления крепей.

Широкие возможности компьютерного моделирования и имеющиеся программы позволяют анализировать напряженно-деформированное состояние (НДС) геомеханической системы «крепь-массив» в конкретных условиях, формирование и обрушение консоли пород за крепью, обосновывать нагружение крепи очистного забоя деформирующимися породами кровли. С этой целью в Караганде в течение ряда лет проводились специальные исследования по инициативе и при непосредственном участии профессора Ю. А. Векслера.

Для расчетов использовался численный метод конечных элементов (МКЭ) и вязкоупругая модель среды. Рассматривалась плоская задача для массива горных пород с очистным забоем, механизированной крепью и зоной обрушения

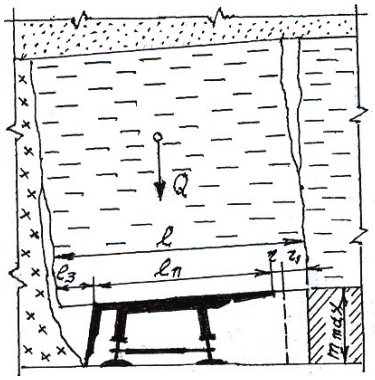

Рис. 1. Расчетная схема задачи: Q – нагрузка на секцию крепи от веса деформирующихся пород, кН/м^2; m_{max} - максимальная мощность пласта, м; l - длина блока пород, нагружающего крепь, м; l_3 - длина зависающей консоли пород за крепью, м; l_n - длина поддерживающей части секции крепи, м; r - расстояние от козырька крепи до забоя, м; r_1 -глубина захвата комбайна, м

(рис. 1) с разной величиной консоли за крепью. Глубина работ – 400 м.

Мощность пласта 3,2 м. Для крепления забоя принята механизированная крепь М130. В кровле пласта – песчаник мощностью 15 м, выше – алевролит различной крепости. В почве пласта – алевролит. Граничные условия приняты в виде сжимающих напряжений на бесконечности, нижняя граница исследуемой области закреплена.

Проанализировано свыше 90 вариантов расчетов при различных параметрах забоя – расположении, составе и характеристике пород, глубине работ, величине консоли. Получены данные о конвергенции пород, деформации кровли и забоя, нагружении крепи, влиянии консоли, предельных состояниях.

Анализ результатов расчетов показывает, что работа очистного забоя оказывает существенное влияние на НДС пласта и породного массива.

На рис. 2 приводится изменение во времени вертикальных напряжений в кровле над крепью.

Результаты расчетов показывают, что напряжения в кровле на контакте с крепью в пределах рабочего пространства лавы распределяются неравномерно, максимальные сжимающие напряжения сосредотачиваются над гидростойками. Над бесстоечным пространством сжимающие напряжения уменьшаются и перерастают в растягивающие. С течением времени напряжения сжатия над крепью увеличиваются и к концу производственного цикла становятся максимальными.

В кровле над пластом возникает обширная зона горизонтальных деформаций растяжения, создающих условия для образования вертикальных трещин в массиве. С увеличением зависающей за крепью консоли пород величина деформаций и высота зоны деформаций возрастают (рис. 3). По мере увеличения высоты зоны деформации ее рост замедляется.

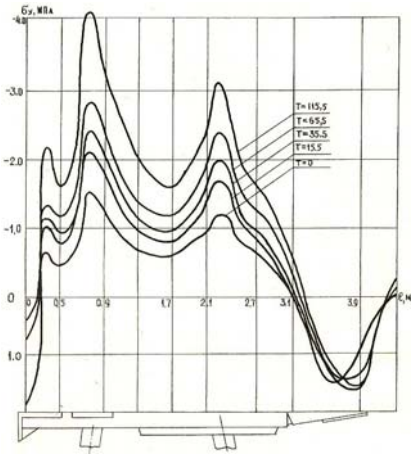

Рис. 2. Вертикальные напряжения в кровле над очистным забоем

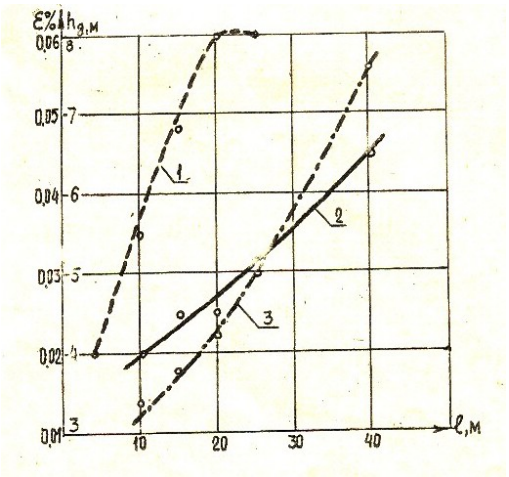

Рис. 3. Высота зоны деформаций (1) и величина деформаций в кровле за крепью на расстоянии 2 м (2) и 4 м (3)

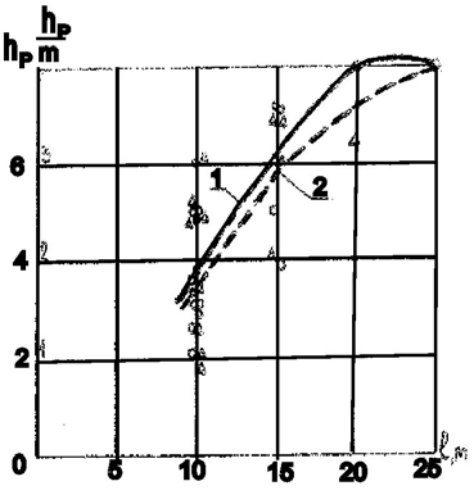

Рис. 4. Влияние величины консоли пород за крепью на высоту зоны разрушения (1) и на отношение этой высоты к вынимаемой мощности пласта (2)

Высота зоны разрушения (предельных состояний) и отношение высоты зоны разрушения к вынимаемой мощности пласта также зависит от величины консоли пород за крепью. Характерно, что предельная высота зоны разрушения во всех случаях находится в пределах четырехкратной вынимаемой мощности пласта (рис. 4).

Расчеты показывают, что на высоту зоны возможного разрушения пород определенное влияние также оказывают физико-механические свойства пород кровли. Ослабление пород кровли (уменьшение модуля упругости в 2,1 раза) приводит к увеличению деформаций в породах кровли в 2-3 раза. Увеличение консоли пород за крепью приводит к росту в забое конвергенции кровли и почвы, а также горизонтальных деформаций (отжима) пласта (рис. 5).

Результаты выполненных исследований позволяют обосновать удель-ное сопротивление механизированных крепей, необходимое и достаточное для поддержания блока пород кровли высотой, равной максимальной высоте зоны возможного разрушения. Как было установлено, эта высота во всех случаях находится в пределах четырехкратной вынимаемой мощности пласта. Предельная величина консоли пород за крепью является функцией прочности пород кровли на изгиб. Блок пород над очистным забоем представлен как балка, защемленная одним концом [2]. Каждая секция крепи несет нагрузку от блока пород шириной захвата равной шагу установки секций и высотой, равной четырехкратной вынимаемой мощности пласта. При этом удельная нагрузка на крепь может быть определена из выражения [3]:

$$Q = \frac{4 g y_{ср} m_{max}}{l_п} \times \qquad (1)$$

$$\times \left(l_п + r + r_1 + \sqrt{\frac{4000\,\sigma_и m_{max}}{3 g y_{ср}}}\right) кН/м^2,$$

где g - ускорение свободного падения; $y_{ср}$ - средняя плотность пород кровли,

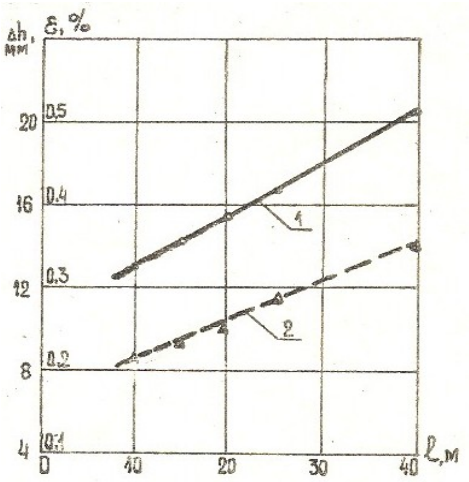

Рис. 5. Конвергенция пород в забое (1) и отжим пласта (2)

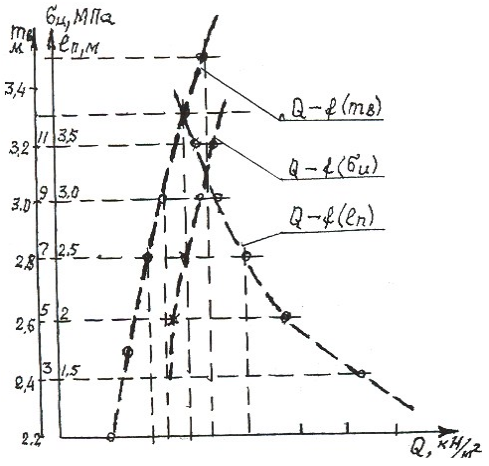

Рис. 6. Основные факторы, определяющие нагружение механизированной крепи

$т/м^3$; $\sigma_и$ - прочность пород кровли на изгиб, МПа.

Анализ полученного выражения показывает, что основными факторами, оказывающими влияние на нагружение механизированной крепи являются вынимаемая мощность пласта, прочность пород кровли на изгиб и длина перекрытия механизированной крепи (рис. 6).

В области реальных крепей при увеличении вынимаемой мощности с 2,2 до 3,5 м (в 1,6 раза) удельное сопротивление должно быть увеличено в 1,77 раза. Увеличение прочности пород кровли на изгиб с 3 до 11 МПа (в 3,66 раза) требует увеличения удельного сопротивления крепи в 1,23 раза. При увеличении длины перекрытия крепи в 2,3 раза удельное сопротивление крепи может быть снижено в 1,8 раза.

В меньшей степени на удельное сопротивление крепи влияют расстояние от забоя до перекрытия и величина захвата комбайна. Плотность пород кровли, как правило, в пределах угольного региона изменяется незначительно и его влияние на удельное сопротивление близко к постоянному.

Полученное выражение для определения удельного сопротивления механизированной крепи учитывает работу крепи в режиме заданной нагрузки от блока пород кровли в зоне деформирования. В практике реальная крепь работает в комбинированном режиме, включающем помимо заданной нагрузки также заданную деформацию под действием непреодолимой пригрузки прогибающимися вышележащими породами кровли. Влияние этой пригрузки обеспечивается запасом податливости крепи. При этом минимальный и максимальный конструктивные размеры крепи (в м) могут быть определены по известной методике [4] с учетом опускания кровли в очистном забое за рабочий цикл и запаса хода крепи на разгрузку (распор).

$$H_{min} = m_{min} - u_з - a_{кр} = m_{min}(1 - l_з\alpha) - a_{кр};$$

$$H_{max} = m_{max} - u_п + a_{кр} = m_{max}(1 - l_п\alpha) + a_{кр},$$

где $u_з$ - опускание кровли на максимальном расстоянии от забоя, м; $u_п$ - опускание кровли над стойкой на минимальном расстоянии от забоя, м; $a_{кр}$ - запас хода крепи на разгрузку (распор), м; α - коэффициент прогиба вышележащих пород, может быть принят равным коэффициенту опускания кровли на контакте с крепью (0,03-0,05); $l_з$ - расстояние от забоя до задней стойки крепи, м.; $l_п$ - расстояние от забоя до передней стойки, м.

В качестве примера использования полученных результатов может быть приведен расчет удельного сопротивления крепи М130 для конкретных условий.

Исходные данные

1. Пласт к10 шахты «Кировская» б. объединения Карагандауголь;

2. Вынимаемая мощность пласта m_{max} = 3,2 м;

3. Средняя плотность пород кровли $y_{ср}$ = 2,5 $т/м^3$;

4. Прочность пород кровли на изгиб $\sigma_и$ =10,0 МПа;

5. Длина перекрытия крепи $l_п$ = 4,20 м;

6. Расстояние от забоя до козырька r = 0,1 м;

7. Глубина захвата комбайна r_1 = 0,63 м.

Необходимое удельное сопротивление механизированной крепи М130 для условий пласта к10 шахты «Кировская» из выражения (1) Q = 689 $кН/м^2$.

По технической характеристике удельное сопротивление крепи М130 составляет 700 $кН/м^2$.

Таким образом по нагрузке принятая крепь М130 соответствует условиям.

Проведенные контрольные расчеты по механизированным крепям, работающим в различных горно-геологических условиях, показывают возможность использования полученной методики при планировании и проектировании горных работ, оценке нагружения крепей, выборе типов и типоразмеров механизированных крепей для конкретных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шемякин Е.И.* Механика горного массива. ГИАБ. – 2006. – №3. – С. 5-17.

2. *Тимошенко С.П.* Сопротивление материалов. Физматгиз, М. 1960.

3. *Брагин Е.П., Вечера В.Н., Мельникова Н.М.* Разработка программы автоматизированного выбора и обоснования рациональных 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.

Коротко об авторах

Брагин Е.П. – чл.-корр. РАЕН, профессор, доктор технических наук, Московский государственный горный университет.