Недра. - 1992. - 544.

2. *Булычёв Н. С.* Механика подземных сооружений. - М,: Недра. - 1994. - 382 с.

3. *Ержанов Ж. С., Изаксон В. Ю., Станкус В. М.* Комбайновые выработки шахт Кузбасса. Опыт поддержания и расчёт устойчивости. Кемерово, 1976. 216 с.

4. *Мусхелишвили Н. И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости. М.: Наука. - 1966. - 708.

5. *Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л.* Методы граничных элементов. - М.: Мир. - 1987. - 525 с.

6. *Лурье А. И.* Теория упругости. - М.: Наука. - 1970. -940 с.

7. Метод граничных интегральных уравнений. Вычислительные аспекты и приложения в механике. Под ред. Т. Круза и Ф. Риццо. - М.: Мир. -1978. - 210 с.

8. Метод граничных интегральных уравнений в задачах механики подземных сооружений / Черданцев Н. В., Шаламанов В. А. // Вестник КузГТУ. 2003. № 4. С. 9 - 13.

Автор статьи:

Черданцев
Николай Васильевич
- канд. техн. наук, докторант кафедры строительства подземных сооружений и шахт

УДК 622.831

К. А. Филимонов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИГАНИЯ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ НА РАЗРУШЕНИЕ КРОВЛИ

Из практики разработки пологих пластов механизированными комплексами известно, что на процесс разрушения кровли оказывают влияние различные факторы и условия разработки. Главным фактором, влияющим на процесс разрушение кровли, является напряженное состояние в разрушающемся слое кровли. В свою очереди при подвигании забоя происходит изменение напряженного состояния, а значит изменяется интенсивность процесса разрушения. Эти положения были учтены при разработке модели разрушения кровли [1], согласно которой секущие трещины, отделяющие блоки кровли от массива, зарождаются под действием максимальных касательных напряжений $\tau_{xy\ max}$ на расстоянии $x_{мк}$ впереди очистного забоя в предела зоны запредельных касательных напряжений $L_{кз}$. Зарождение трещин происходит при каждом подвигании забоя, некоторые из них прорастают на всю мощность обрушающегося слоя L (рис. 1). Характер разрушения кровли за счет сдвига (среза) отмечается в работах различных авторов [2 - 4], анализирующих натурные наблюдения за разрушением кровли на различных шахтах.

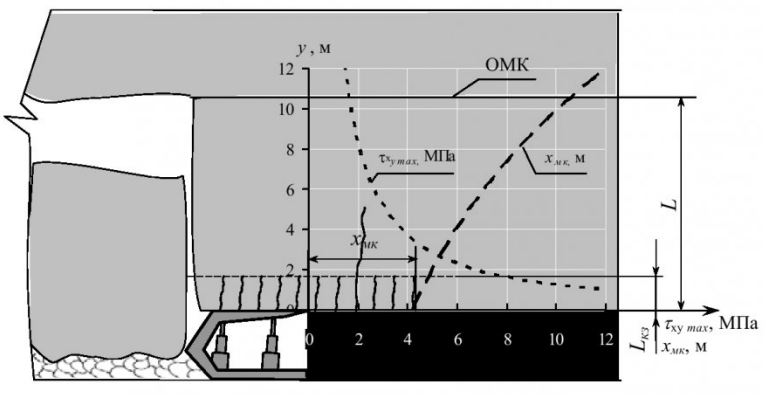

Рис. 1. Развитие трещин в кровле пласта

Описание процесса разрушения кровли с помощью данной модели вводит понятие времени образования секущей трещины, зародившейся впереди очистного забоя. Это позволяет перейти к решению важнейшей задачи установления взаимного положения секущей трещины и очистного забоя при отделении от массива очередного блока. Кроме того, чем быстрее завершится образование секущих трещин и произойдет отделение блока от массива, тем быстрее начнется прорастание очередной секущей трещины на расстоянии $x_{мк}$ впереди очистного забоя. Так обосновывается связь скорости подвигания с размером блоков обрушения.

Актуальность исследования влияния скорости подвигания на характер обрушения кровли связана с тем, что современная очистная техника позволяет достигать высоких скоростей подвигания забоя, что, несомненно, отражается на интенсивности процесса разрушения кровли. Между тем, уже более 20 лет назад возникали ситуации, когда повышенные скоро-

сти подвигания забоя приводили к аварийным ситуациям, вызванным крупноблочным обрушение кровли [5]. Так известны случаи, когда повышение скорости подвигания приводило к улучшению состояния кровли. Такие ситуации характерны, например, для слабых пород, которые интенсивно разрушались при ведении очистных работ. Увеличение скорости подвигания в данном случае приводило к тому, что породы становились менее разрушенными.

Это уменьшало интенсивность вывалов и улучшению состояния кровли. В [5] приводится вариант зависимости интенсивности вывалообразования от скорости подвигания забоя.

Можно предположить, что для любых условий разработки существует оптимальная скорость подвигания, при котором разрушение кровли не вызовет проблем. Использование [1] позволяет определить характер разрушения кровли в зависимости от условий разработки и скорости подвигания забоя.

Из практики разработки пологих пластов [2- 4] известно, что обрушение может происходить узкими, короткими и длинными (крупными) блоками, а секущая трещина может раскрыться на всю длину впереди забоя, над забоем или за ним (рис. 2). От этого взаимоположения зависит характер влияния обрушения кровли на механизированную крепь, состояние забоя и подготовительных выработок вблизи забоя. Представленная в [1] модель разрушения кровли теоретически обосновывает все три закономерности образования блоков периодического обрушения кровли. Наиболее тяжелые ситуации возникают при крупноблочном обрушении кровли (рис. 2 в, г). Модель позволяет сформулировать условие возникновения таких ситуаций: при скоростях подвигания выше граничного значения $V_{гр}$ (рис. 2 б) секущая трещина, зародившаяся впереди очистного забоя, не успевает раскрыться на всю мощность обрушающегося слоя L до прохода под ней очистного забоя. При этом часть слоя $L_н$ остается неразрушенной. В выработанном пространстве будет зависать протяженная консоль $l_к$ и возникать изгибающий момент M, вызывающий проявление растягивающих усилиий $\sigma_р$. Эти усилия можут вызывать зарождение и развитие трещины на верхней границе обрушающегося слоя (рис. 2 в), что будет способствовать отделению блока от массива (рис. 2 г).

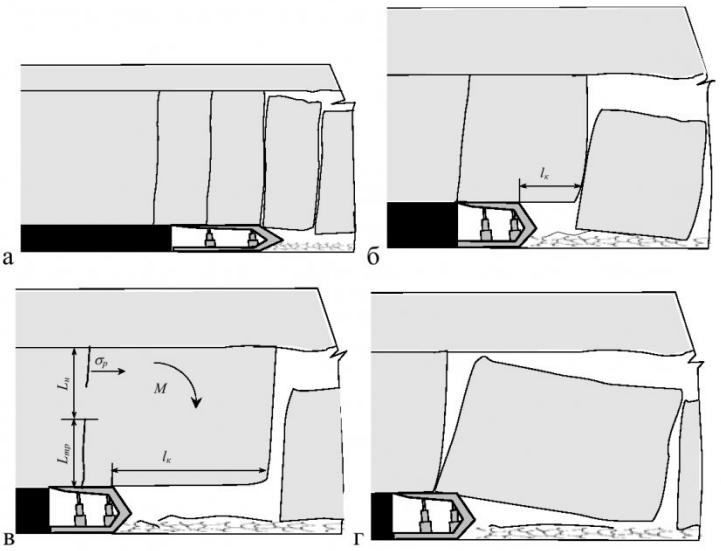

Рис. 2. Закономерности формирования блоков обрушения: а – узкоблочное обрушение; б – короткоблочное обрушение; в, г – длинноблочное обрушение

Таким образом, для каждой группы условий разработки существует определенное значение граничной скорости подвигания очистного забоя $V_{гр}$, при котором секущая трещина раскрывается на всю мощность обрушающегося слоя L над очистным забоем (рис. 2 б). Из представленных схем видно, что такая скорость подвигания обеспечивает относительно благоприятную ситуацию по фактору обрушения кровли. При этом будут образовываться короткие блоки (рис. 2 б) относительно небольших размеров, в тоже время не обладающие способностью к образованию арочных систем, как узкие блоки (рис. 2 а). Кроме того, из модели следует, что размеры блоков периодического обрушения кровли будут зависеть от фактического значения скорости подвигания по сравнению с $V_{гр}$. Шаг обрушения кровли для случаев рис 2 а,б будет численно равен подвиганию забоя к моменту раскрытия секущей трещины на всю мощность обрушающегося слоя L. Для расчета шага обрушения при образовании длинных блоков требуется более сложная модель.

На основе модели определены значения $V_{гр}$ в условиях разработки, характерных для Кузбасса при наличии в кровле песчаника исследованного типа (предел прочности образцов на одноосное сжатие $\sigma_{сж}$=55,5 МПа, структурно-чувствительный коэффициент $\gamma' = 5{,}896 \cdot 10^{28}$ м^3, энергия активации разрушения U_0=1,578·10^{19} Дж). Полученные результаты были сопоставлены со значениями скорости подвигания забоя, обеспечивающими высокую производительность на современном этапе развития горной промышленности и возможными в ближайшее время (4–20 м/сут). Результаты анализа приведены на рис. 3.

Выделены 4 группы условий разработки, причем условия четвертой группы по размеру блоков обрушения кровли в каждом конкретном случае можно отнести в одну из первых трех групп. Установлено, в каких условий наиболее вероятна та или иная закономерность формирования блоков из представленных на рис. 2.

1. Наиболее характерные условия этой группы – тонкие пласты, особенно при глубине работ более 250–300 м. Граничные скорости имеют недостижимые пока значения ($V_{гр}$>20 м/сут). Вероятность образования узких блоков, способных зависать в выработанном пространстве с образованием арочных систем (рис. 2 а). Наиболее тяжелые ситуации в данных условиях будут возникать при обрушении этих протяженных арочных систем позади забоя.

2. Характерные условия – пласты мощностью более 3,5 м и глубина работ менее 250 м при любой мощности пластов. Значения граничных скоростей слишком малы для высокопроизводительной работы очистного забоя ($V_{гр}$<4 м/сут). В случае планирования подвигания забоя с более высокой скоростью будет происходить крупноблочное обрушение, которому предшествует зависание протяженных консолей в выработанном пространстве (рис. 2 в, г). Наиболее

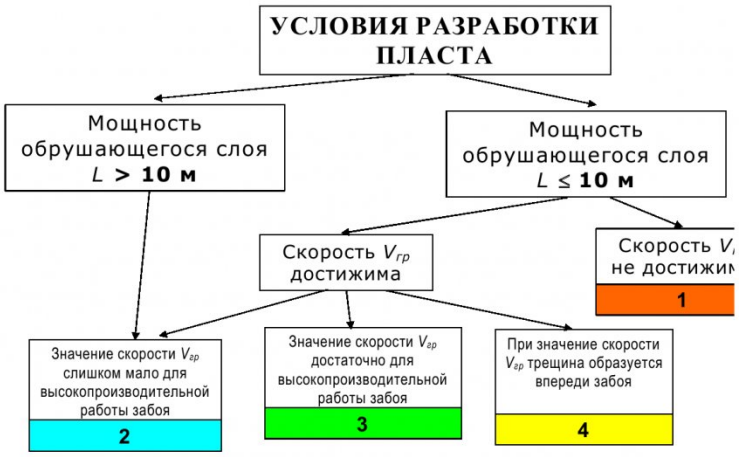

Рис.3. Возможные варианты при определении граничной скоро-

тяжелые ситуации будут связанны с повышенной нагрузкой на крепь при зависании и обрушении блока, а также с возникновением отжима угля в забое.

3. Характерные условия – пласты мощностью 1,5–2,5 м при мощности обрушающегося слоя менее 8-10 м. Значения граничных скоростей достаточны для высокопроизводительной очистной выемки (4–20 м/сут). Вероятность образования коротких блоков с шагом обрушения не более 7 м (рис. 2 б). Наиболее благоприятные условия разработки.

Проведенный анализ показывает, что скорость подвигания очистного забоя является важнейшими факторами, влияющими на характер обрушения кровли. Так, при наличии над пластом песчаника исследованного типа, обрушающегося слоями мощностью более 8–10 м практически во всех, характерных для Кузбасса условиях при скоростях подвигания забоя более 3–4 м/сут следует ожидать крупноблочного обрушения. Следует отметить, что основные результаты, полученные в работе, соответствуют данным натурных наблюдений за обрушением кровли на ряде шахт Кузбасса. Исследование, основанное на модели [1], позволяет получить представление о характере обрушения кровли в конкретных условиях разработки при проектировании очистных работ и планировать мероприятия по снижению опасных проявлений обрушения кровли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Филимонов К. А.* Модель процесса разрушения подрабатываемого массива // Вестн. КузГТУ. 2003. № 5. – С. 26–28.

2. *Глушихин Ф. П.* Трудноуправляемые кровли в очистных забоях. – М.: Недра, 1974. – 192 с.

3. Разупрочнение труднообрушаемых кровель угольных пластов / С. Т. Кузнецов, Ю. А. Семенов, В. П. Шишкин, М. М. Мукушев. – М.: Недра, 1987. – 200 с.

4. Взаимодействие механизированных крепей с кровлей / А. А. Орлов, В. Ю. Сетков, С. Г. Баранов и др. – М.: Недра, 1976. – 335 с.

5. *Калинин С. И.* Геомеханическое обеспечение эффективной выемки мощных пологих пластов с трудно-обрушаемой кровлей механизированными комплексами / С. И. Калинин, В. М. Колмогоров. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2002. – 113 с.

□ Автор статьи: Филимонов Константин Александрович - ст. преп. каф. разработки месторождений полезных ископаемых