УДК 622.273.2:622.831

А.П.ГОСПОДАРИКОВ
Факультет фундаментальных и гуманитарных дисциплин,
профессор кафедры высшей математики
С.В.ВАСИЛЬЕВ
Горный факультет,
доцент кафедры разработки месторождений
полезных ископаемых
Л.А.БЕСПАЛОВ
Горный факультет,
группа ТПП 01-1, ассистент профессора

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЗОН ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УГЛЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОЛОГИХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Приведена оценка влияния различных факторов на состояние краевой зоны угольного пласта впереди очистного забоя при разработке пологих пластов. Все многообразие факторов можно разделить на горно-геологические и горно-технические. Из горно-геологических наибольшее влияние на деформирование угля в краевой зоне оказывают такие факторы, как мощность, глубина разработки, угол падения, наличие прослойков, из горно-технических – длина лавы, скорость ее подвигания, система разработки, тип и силовая характеристика крепи, способ управления горным давлением.

This article contains evaluation of influence different factors on conditions of gently sloping coal measures. All variety of factors can be divided into two groups: mining-geological and mining-technological. The mining-geological factors are thickness, depth of occurrence, angle of dip, presence of partings. The mining-technological factors are dimension of a longwall, rate of advance of a lonngwall, type and characteristic of mechanized support, the method of rock pressure control.

Очистной забой оказывает существенное влияние как на угольный пласт, так и на вмещающие породы. В наибольшей степени деформации пласта и пород кровли происходят в зоне опорного давления впереди лавы, где и формируется зона отжима, происходят расслоения и образование системы трещин в нижних слоях кровли. В призабойной части угольного массива проходят все стадии деформирования пород: от значительного всестороннего сжатия на границе с зоной упругих деформаций до разрыхления пласта вблизи границы обнажения.

Отжим угля в очистном забое может оказывать как положительное, так и отрицательное воздействие на эффективность работы лавы. При отработке мощных пластов интенсивный отжим нежелателен, так как увеличивает опасность травматизма, повышает вероятность вывалообразования на участке между козырьком крепи и забоем. На пластах тонких и средней мощности увеличение интенсивности отжима приводит к повышению производительности добычных механизмов, снижению энергозатрат на отбойку угля. В наибольшей степени это сказывается при использовании струговых установок.

О степени деформирования краевой части пласта в очистных выработках можно судить по характеру распределения опорного давления. Интенсивность и характер распределения опорного давления претерпевают изменения по мере деформирования краевой части пласта вследствие ползучести, а также разрушения. Раздавливание краевой зоны приводит к соответствующему увеличению пролета поддерживаемой кров-

ли и, следовательно, к возрастанию интенсивности и ширины зоны опорного давления. В соответствии с изменившимся напряженным состоянием пласта в зоне, примыкающей к обнаженной поверхности, наблюдается перемещение элементов пласта в сторону выработанного пространства. Все многообразие факторов, влияющих на перераспределение напряжений в краевой зоне пласта, можно разделить на две группы: горно-геологические (прочность и мощность пласта, угол падения, наличие прослойков, глубина ведения работ, мощность пород непосредственной кровли, физико-механические свойства слагающих пород основной и непосредственной кровли) и горно-технические (длина лавы, скорость ее подвигания, система разработки, тип и силовая характеристика крепи, способ управления горным давлением, осуществление подработки или надработки пласта).

Влияние мощности разрабатываемого пласта на вероятность возникновения отжима проявляется следующим образом: частота возникновения отжима и ширина обнажаемой в результате полосы кровли растут с увеличением мощности пласта. Так, при прочих равных условиях увеличение мощности пласта в 2 раза повышает вероятность появления зоны отжима в 8 раз. При этом параметры зоны отжима могут быть больше средних, характерных для данной мощности при неблагоприятной структуре пласта, выражающейся в наличии породных прослойков мощностью более 30 см или кососекущих трещин кливажа, ориентированных под углом до 35° к линии забоя.

Наличие прослойков существенно влияет на деформирование угольного пласта. Все многообразие макроструктурных особенностей трещиноватых массивов может быть сведено к трем группам:

1) массив сложен одной или несколькими пачками пород, несущественно отличающимися по характеру деформируемости и прочности, – однородный массив;

2) массив сложен отдельными пачками пород, отличающимися по характеру деформируемости и прочности в 10-20 раз, – неоднородный слоистый массив;

3) массив сложен двумя однородными пачками пород, разделенными весьма тонкими прослоями слабого перетертого углисто-глинистого материала с зеркальными поверхностями по контактам.

Краевая часть угольного пласта, относящегося к первой группе, вплоть до разрушения сохраняет способность к упругому деформированию и хрупкому разрушению. При нагрузках, достигающих 80 % разрушающей, доля упругой деформации составляет 70-100 %.

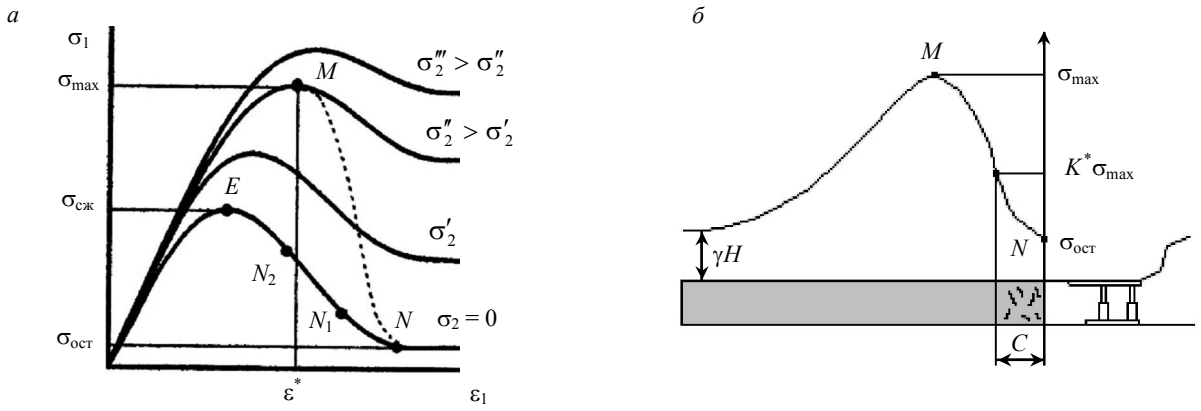
Для неоднородных массивов, которые отнесены ко второй группе, основное влияние на характер деформирования оказывают слои с прочностью на сжатие 0,5-3,0 МПа. При нагружении пластов такого строения возможно возникновение двух вариантов деформирования: 1) если слабая пачка податлива и выдавливается в сторону выработанного пространства, краевая часть угольного массива деформируется пластично; 2) если слабая пачка разрушается без выдавливания в выработку, краевая часть приобретает податливость и деформируется до уплотнения разрушенного слоя угля.

Представителями третьей группы являются антрацитовые пласты, отличительной особенностью деформирования которых является хрупкость и склонность к интенсивному трещинообразованию.

В соответствии с меняющимся напряженным состоянием впереди очистного забоя можно выделить следующие стадии деформирования угольного пласта, последовательно протекающие в зоне опорного давления, которые аналогичны стадиям, полученным при исследовании образцов угля на жестком прессе[*] в условиях всестороннего сжатия (см. рисунок).

В зоне «допредельных» напряжений происходит медленное нагружение угольного пласта, протекающее упруго (стадия 1). Первоначальное состояние пласта сменяется неравномерно-напряженным: напряжение σ_1

[*] *Ардашев К.А.* Показатели сопротивления, разрыхления и механизма разрушения горных пород в условиях объемного сжатия / К.А.Ардашев, Б.В.Матвеев, М.Д.Ильинов // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. 1984. № 2.



Модель формирования зоны предельного состояния угля (зона отжима) впереди очистного забоя: *а* – диаграмма полных деформаций угля при всестороннем сжатии; *б* – диаграмма реакции пласта в зоне опорного давления

увеличивается; напряжение σ_2, действие которого направлено в сторону забоя, также растет, но отстает на величину, связанную со сцеплением; напряжение σ_3 остается практически неизменным.

Такое протекание процесса деформирования в этой зоне отмечает большинство исследователей механики горных пород. При этом в угольном массиве возникают касательные напряжения, максимальные из которых направлены под углом 45° к направлению действия главного напряжения σ_1.

Как только уровень касательных напряжений превысит предел упругости самых слабых элементов структуры, в них начинает развиваться процесс необратимой деформации сдвига. Рост сопротивляемости нагрузке на таких микроэлементах сдвига и напряжений в них начинает отставать от сопротивляемости массива в целом, который находится в стадии упругих деформаций. Это приводит к возникновению отрывных напряжений по площадкам, примыкающим к элементам сдвига и направленным параллельно действию главного напряжения σ_1 (стадия 2). При достижении отрывными напряжениями уровня, превосходящего предел прочности на отрыв, по этим площадкам происходит акт отрыва с образованием микротрещин (стадия 3). При дальнейшем росте нагрузки количество микроэлементов сдвиг-отрыв в массиве увеличивается и при определенной концентрации происходит их слияние с образованием макроскопической площади отрыва, появление которой свидетельствует о достижении массивом предела упругости (стадия 4). До этого момента под влиянием нарастающих опусканий кровли происходит сжатие угля и увеличение его плотности. Деформация по образовавшейся плоскости отрыва сопровождается некоторым деформационным упрочнением, что вызывает образование других плоскостей отрыва (стадия 5). Это приводит к уменьшению плотности угля и появлению, наряду с вертикальным сжатием пласта, горизонтальных перемещений в сторону призабойного пространства[*].

На графике полных деформаций, полученном при испытаниях образцов угля на жестких прессах и представленном в общем виде на рисунке, *а*, переход к этой стадии деформирования соответствует области упругопластических деформаций. При завершении этой стадии деформирования напряжения в массиве на расстоянии *l* от забоя достигают максимума σ_{max}.

За точкой максимума формируется область запредельного состояния угля, которая, в свою очередь, имеет две характерные зоны, различающиеся внутренними процессами, происходящими в нагружаемом об-

[*] *Васильев С.В.* Определение напряжений и деформаций в краевой зоне угольного пласта / С.В.Васильев, В.И.Кимков // Физические процессы горного производства / Ленинградский горный ин-т. Л., 1982. Вып.10.

разце. Это участок спада нагрузок, на котором происходит рост числа трещин и уменьшение сцепления между элементами среды, и участок остаточной прочности $\sigma_{ост}$, состояние образца в котором определяется только остаточным трением между кусками полностью разрушенного угля.

Допустимо предположить, что у обнаженной поверхности забоя, где наблюдается максимальное сжатие пласта и наибольшая интенсивность отжима угля, создаются условия нагружения, близкие к одноосному сжатию при испытаниях образцов. На диаграмме полных деформаций это состояние характеризуется одной из точек на кривой $\sigma_2 = 0$, например точкой N (см. рисунок, *а*).

Степень разрушения пласта в краевой зоне характеризует интенсивность отжима угля в очистном забое. Изменение условий нагружения пласта приводит к изменению интенсивности отжима, что соответствует различному положению точек на кривой $\sigma_2 = 0$, например N_1 или N_2.

Как видно из рисунка, *б* значение реакции пласта на линии забоя определяется его остаточной прочностью $\sigma_{ост}$ (по данным К.А.Ардашева и др., $\sigma_{ост} = (0{,}1 \div 0{,}2)\sigma_{сж}$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности угля при одноосном сжатии), а на границе зоны отжима C реакция пласта равна $K^*\sigma_{max}$, где $\sigma_{max} = k\gamma H$ – реакция пласта в точке максимума опорного давления. Допустимо принять $K^* = 0{,}2 \div 0{,}5$, а $\sigma_{max} = (2 \div 3)\gamma H$.

Наличие в очистном забое участков с повышенной интенсивностью отжима угля свидетельствует о технологической возможности создания таких условий по всей длине лавы и повышения производительности струговых установок. Управление интенсивностью отжима угля в лаве возможно осуществить путем реализации принципиально новых подходов к созданию прогрессивных технологических схем отработки угольных пластов, обеспечивающих целенаправленное управление массивом горных пород и создание условий для перераспределения напряжений в краевой зоне пласта впереди забоя лавы.