

**С.Г.БАРАНОВ**, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, *baranovsg09@rambler.ru*  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

**S.G.BARANOV**, Dr. in eng. sc., leading research fellow, *baranovsg09@rambler.ru*  
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЙ МОЩНОСТИ МЕЖДУПЛАСТЯ ПРИ ПОДРАБОТКЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Изложен метод определения минимально допустимой мощности пород междупластья, при которой возможно применение сталепolyмерной анкерной крепи после подработки угольного пласта. Метод основан на результатах исследований поведения слоев кровли над очистной выработкой с помощью глубинных реперов.

**Ключевые слова:** кровля, глубинные реперы, опускание слоев, очистная выемка, зоны обрушения, трещиноватости и плавного опускания.

## DETERMINATION OF A MINIMUM PERMISSIBLE THICKNESS OF INTERSTRATA IN UNDERMINING OF A COAL SEAM

The Article presents the method for the determination of a minimum permissible thickness of rock interstrata, with which it is permissible to apply the steel-polymer roof bolts upon undermining of a coal seam. The method is based on the results of investigations of behavior of roof layers above the productive working with using the deep datum marks.

**Key words:** roof, deep datum marks, subsidence of layers, productive working, zones of caving, fracturing and smooth subsidence.

При выемке угольных пластов в восходящем порядке на вышерасположенном пласте при определенном расстоянии его от подрабатывающего образуются зоны беспорядочного обрушения пород кровли, повышенной трещиноватости и плавного опускания слоев кровли. Первые две из названных зон характеризуются нарушенностью и раздробленностью пород, потерей сцепления между слоями, интенсивной трещиноватостью. Если в эти зоны попадают выработки, то они очень интенсивно деформируются и становятся непригодными для дальнейшей эксплуатации. Угольный пласт и породы кровли, попадающие в эти зоны, характеризуются нарушением сплошности.

При управлении кровлей в очистном забое подрабатываемого пласта, расположенного в указанных зонах, возникают большие

сложности, связанные с поддержанием кровли. Поэтому горные работы стараются вести таким образом, чтобы подрабатываемый пласт не попадал в рассматриваемые зоны. Это требование обеспечивается в том случае, если мощность междупластья не меньше суммарной мощности зон беспорядочного обрушения и повышенной техногенной трещиноватости пород и подработанный угольный пласт находится в зоне полной подработки.

Согласно «Инструкции...» [2] поддержание выработок с анкерной крепью в подработанном пласте можно осуществлять, если мощность междупластья  $h_m \geq 12m_b$ , где  $m_b$  – мощность подрабатываемого пласта, м. Однако практика показывает, что  $h_m$  определяется не только мощностью пласта, но также зависит от состава, строения, прочно-

стных характеристик пород междупластья и наличия и расположения прочных пород основной кровли. Поэтому при решении вопроса о возможности применения анкерной крепи на подрабатываемом пласте необходимо уметь определять не только зону беспорядочного обрушения пород непосредственной кровли на подрабатываемом пласте, но и зону трещиноватости.

Для этой цели сотрудниками ВНИМИ с участием автора были выполнены исследования характера опускания слоев кровли с помощью глубинных реперов при отработке угольных пластов в различных горно-геологических условиях. На основе этих исследований выполнена схема разрушения и оседания пород кровли (рис.1) в условиях, когда на значительном расстоянии от пласта вплоть до зоны плавного опускания пород нет прочных слоев кровли типа песчаника, известняка, алевролита, которые зависят на значительном расстоянии за крепью очистного забоя. В этом случае минимально допустимая мощность пород междупластья, выше которой можно располагать выработки с анкерной крепью,

$$h_m = l_p = m_{обр} + m_{тр} : \quad (1)$$

где  $m_{обр}$  – мощность беспорядочно обрушающихся пород, м;  $m_{тр}$  – мощность пород зоны трещиноватости, м.

Для того чтобы произошло подбучивание пород, расположенных выше беспорядочно обрушающихся слоев, необходимо, чтобы высота обрушающихся слоев с учетом коэффициента разрыхления была не меньше суммарной мощности беспоря-

дочно обрушающихся пород и мощности угольного пласта:

$$m_{обр} K_p \geq m_b + m_{оп} : \quad (2)$$

где  $K_p$  – коэффициент разрыхления обрушающихся пород;  $m_b$  – вынимаемая мощность пласта, м;  $m_{оп}$  – мощность пород, плавно опускающихся за крепью.

Согласно работе [1], коэффициент разрыхления плотных пород при увеличении  $m_b$  от 1 до 3,0 м изменяется от 1,16 до 1,5. В соответствии с выражением (2) имеем

$$m_{обр} = \frac{m_b}{K_p - 1} . \quad (3)$$

Согласно выражению (1) минимальная допустимая мощность междупластья, при которой можно применять анкерную крепь, помимо зоны беспорядочного обрушения включает зону трещиноватости. Мощность слоев этой зоны наиболее достоверно может быть определена с помощью исследований по глубинным реперам.

С этой целью проанализированы результаты исследований поведения слоев кровли над отрабатываемым пластом с помощью глубинных реперов. В качестве примера взяты результаты исследований, проведенных на одной из шахт в Донбассе при отработке пласта мощностью 2,4 м. Непосредственно над пластом залегал алевролит прочностью 80 МПа и мощностью 7 м, над ним располагался аргиллит. Как алевролиты, так и аргиллиты были разбиты довольно часто расположенными плоскостями ослабления по напластованию пород. Расстояние между плоскостями ослабления изменялось от не-

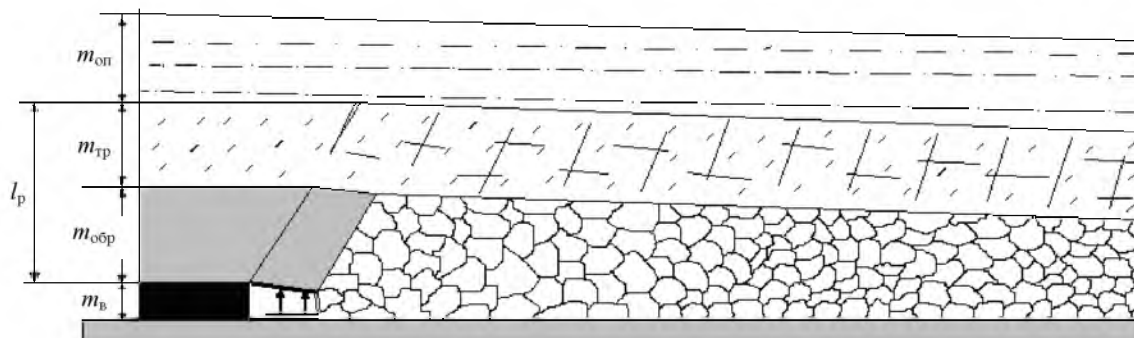


Рис.1. Схема оседания за крепью легкообрушающихся пород кровли

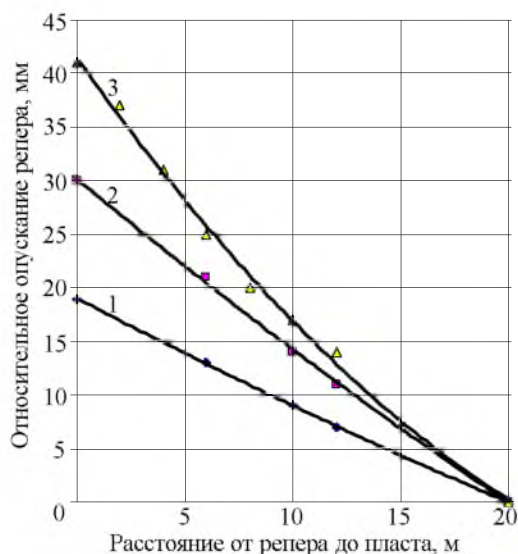


Рис.2. Изменение относительного опускания реперов в зависимости от расстояния до пласта при различном сопротивлении крепи  
1, 2 и 3 – при сопротивлении крепи 375, 288 и 173 кН/м<sup>2</sup>

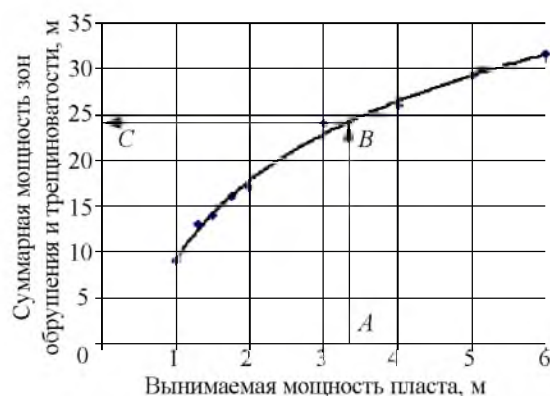


Рис.3. Влияние вынимаемой мощности пласта на величину суммарной зоны обрушения пород и трещиноватости

скольких сантиметров до 0,7 м, породы трещиноватые. Наблюдения и измерения выполнялись по трем скважинам при различных уровнях настройки предохранительных клапанов гидростоек крепи в лаве [3]. В скважинах 1 и 2 в различных слоях кровли закладывалось по четыре репера, в скважине 3 – семь. Во всех скважинах верхние реперы устанавливались на расстоянии 12 м от пласта. По каждой скважине наблюдения осуществлялись непрерывно от момента установки реперов в скважине, находящейся у забоя, до выхода скважины за пределы призабойного пространства (выход скважины в завал). По всем реперам посто-

янно измерялось и определялось относительное опускание соответствующих слоев кровли.

Под относительным опусканием кровли понимается ее смещение относительно почвы пласта конкретного репера, приходящееся на 1 м мощности пласта и 1 м ширины призабойного пространства. Каждая точка, представленная на рис.2, соответствует относительному опусканию пород за период нахождения репера над призабойным пространством лавы. По полученным данным построены зависимости изменения относительного опускания слоев кровли от расстояния их до верхней плоскости пласта.

По результатам замеров в каждой скважине построены зависимости опускания слоев от расстояния их до пласта, которые с использованием интерполяции продолжены до пересечения их с осью абсцисс. Оказалось, что все они пересекаются в одной точке, которая соответствует сумме мощности зон беспорядочного обрушения и трещиноватости. Породы, находящиеся на расстоянии  $h_{\min} = l_p = m_{\text{обр}} + m_{\text{тр}}$  и выше (см. рис.1), опускаются плавно без разрыва сплошности. Найденная точка пересечения графиков с осью абсцисс *A* определяет границу пород кровли, где слои опускаются плавно, без резких проседаний.

Таким образом, полная зона трещиноватости пород

$$m_{\text{тр}} = l_p - m_{\text{обр}}. \quad (4)$$

В нашем случае  $l_p = 20$  м (соответствует точке *A* на рис.2). Подставляя (3) в выражение (4), получим формулу

$$m_{\text{тр}} = l_p - \frac{m_b}{K_p - 1}, \quad (5)$$

позволяющую при известных  $K_p$  и  $l_p$  определять зону трещиноватости подработанных слоев пород. Эти параметры можно получить, воспользовавшись результатами исследований по глубинным реперам, проведенным при различных вынимаемых мощностях пласта (см. таблицу).

Коэффициент допустимой мощности междупластья  $K_m = l_p/m_b$ , соответственно  $l_p = K_m m_b$ .

# Результаты исследований

$m_{в}, \text{ м}$	$K_p$	$m_{обр}, \text{ м}$	$m_{гр}, \text{ м}$	$l_p, \text{ м}$	$K_m$
1,0	1,16	6,25	3,25	9,5	9,5
1,3	1,18	7,22	4,98	12,2	9,4
1,5	1,20	7,50	6,50	14,0	9,3
1,75	1,22	7,95	8,05	16,0	9,1
2,4	1,25	9,60	10,40	20,0	8,3
3,0	1,30	10,00	13,00	23,0	7,7
4,0	1,36	11,10	14,90	26,0	6,5
5,0	1,42	11,90	17,60	29,5	5,9
6,0	1,50	12,00	20,00	32,0	5,3

По данным таблицы построен график зависимости величины  $l_p$  от вынимаемой мощности пласта (рис.3). Определение суммарной зоны беспорядочного обрушения пород и трещиноватости показано на рис.3 стрелками. Например, при мощности пласта 3,4 м (точка А) суммарная зона беспорядочного обрушения и трещиноватости пород кровли равна 24,5 м. При этом коэффициент  $K_m$ , определяющий допустимую мощность междупластья, при которой возможно применение анкерного крепления в подготовительных выработках, равен 7,2. Аналогичным образом определяется величина суммарной зоны разрыхления и трещиноватости при других значениях вынимаемой мощности пласта.

Следует отметить, что с увеличением вынимаемой мощности пласта допустимый коэффициент междупластья  $K_m$  уменьшается с 9,5 при вынимаемой мощности пласта 1,0 м до 5,3 при вынимаемой мощности, равной 6 м. В то же время суммарная зона беспорядочного обрушения пород и их трещиноватости увеличивается от 9,5 до 32,0 м.

В формулах по определению размеров зоны трещиноватости (5) и высоты беспорядочного обрушения пород (4) участвует коэффициент разрыхления пород  $K_p$ . Зависимость этого параметра от вынимаемой мощности пласта построена на основании данных, полученных опытным путем для пород, прочность которых изменяется в пределах от 30 до 50 МПа (рис.4). Минимальное значение коэффициента разрыхления, равное 1,16, соответствует мощности пласта 1 м, максимальное, равное 1,5, – вынимаемой мощности пласта 6,0 м (см. таблицу).

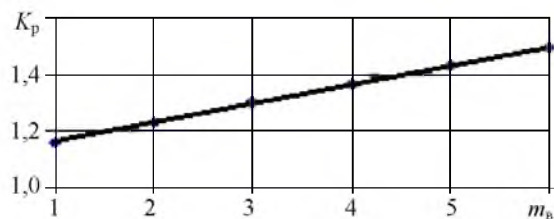


Рис.4. Зависимость изменения коэффициента разрыхления пород кровли при обрушении от вынимаемой мощности пласта

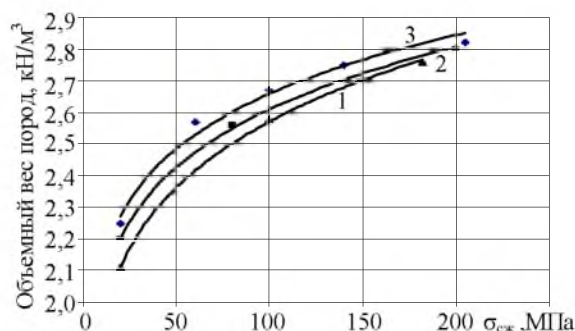


Рис.5. Соотношение предела прочности пород на одноосное сжатие и объемного веса

1 – сланец песчанистый; 2 – песчаник; 3 – известняк

Был выполнен также анализ соотношения между пределом прочности пород на сжатие  $\sigma_{сж}$  и их объемным весом  $\gamma$ . Установлено, что с увеличением объемного веса возрастает предел прочности пород на сжатие, а вместе с ним увеличивается остаточный коэффициент разрыхления пород. Отмеченная тенденция наблюдается по основным типам осадочных пород: песчанику, известняку, глинистому и песчанистому сланцу (рис.5).

Для перечисленных типов пород построенные зависимости располагаются близко относительно друг от друга. Отклонение наибольших крайних значений от среднего составляет около 5 %, что допустимо.

Следует отметить, что «Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт» дают следующие рекомендации по выбору минимальной мощности междупластья при отработке свиты пластов. Подработка пластов тонкими и средней мощности пластами, отрабатываемыми с обрушением кровли, допустима при минимальной мощности междупластья не менее 6-кратной мощности подрабатываемого пласта. При выемке подрабатываемого пласта с заклад-

кой или при заполнении его выработанного пространства породой, перепускаемой с верхнего горизонта, допускается подработка пластов при величинах междупластья не менее 3-кратной мощности подрабатываемого пласта. Эти положения не противоречат данным, полученным при исследованиях с помощью глубинных реперов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Ардашев К.А.* Основные положения оценки технологичности запасов шахтных полей и разработка регламента высокопроизводительной работы лав с мехкомплексами / К.А.Ардашев, М.А.Розенбаум, С.Г.Баранов // Уголь. 1999. № 10. С.20-23.

2. Инструкция по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах России / ВНИМИ. СПб, 2000. 70 с.

3. *Орлов А.А.* Крепление и управление кровлей в комплексно-механизированных очистных забоях / А.А.Орлов, С.Г.Баранов, Б.К.Мышляев. М., 1993. 288 с.

#### REFERENCES

1. *Ardashev K.A., Rozenbaum M.A., Baranov S.G.* Basic principles of estimation of adaptable reserves of mine fields and development of regulations of high production of longwalls with mechanized complexes // Ugol. 1999. N 10. P.20-23.

2. Instructions for calculation and application of roof bolts at coal mines in Russia. Saint Petersburg, 2000. 70 p.

3. *Orlov A.A., Baranov S.G., Myshlyayev B.K.* Roof support and its control in the integrated powered faces. Moscow, 1993. 288 p.