УДК 622.285:624.042.3

М.А.РОЗЕНБАУМ, *д-р техн. наук, заведующий лабораторией, rozenbaum_ma@spmi.ru*
С.Г.БАРАНОВ, *д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник, baranovsg09@rambler.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
М.А.ЛОГИНОВ, *главный инженер, loginovma@suek.ru*
Шахта им.Кирова, ОАО «СУЭК-Кузбасс»

M.A.ROZENBAUM, *Dr. in eng. sc., laboratory head, rozenbaum_ma@spmi.ru*
S.G.BARANOV, *Dr. in eng. sc., leading research assistant, baranovsg09@rambler.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
M.A.LOGINOV, *chief engineer, loginovma@suek.ru*
The Kirov mine, OJSC «SUEK-Kuzbas»

ОБОБЩЕННЫЕ СХЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ КРЕПИ С КРОВЛЕЙ

Рассмотрены три основные схемы разрушения кровли над призабойным пространством лавы при ведении очистных работ, охватывающие все многообразие механизмов взаимодействия крепи с кровлей. Дана модель взаимодействия механизированной крепи с тяжелой кровлей и расчетная схема для определения необходимого номинального сопротивления крепи.

Ключевые слова: кровля, схемы разрушения, механизированная крепь, номинальное сопротивление, механизм взаимодействия крепь – кровля.

GENERALIZED SCHEMES OF INTERACTION BETWEEN THE POWERED SUPPORT AND ROOF

The paper considers three basic schemes of roof failure above the face bottom of long-wall during mining operations covering the whole diversity of mechanisms of support-roof interaction. The model of interaction between the powered support and heavy roof is given as well as the calculated scheme for the determination of necessary rated resistance of roof.

Key words: roof, schemes of failure, powered support, rated resistance, mechanism of support-roof interaction.

Как показывают исследования, проведенные в шахтных условиях различными авторами, существует большое множество различных схем разрушения и перемещения пород кровли над очистным пространством при ведении очистных работ. Рассмотрим наиболее представительные обобщенные схемы взаимодействия.

Характерной особенностью первой обобщенной схемы являются слоистые породы над пластом (рис.1).

Плоскостями расслоения породы кровли мощностью 12 м делятся на пять ярусов. В каждом ярусе породы разбиты трещинами давления на блоки. Трещины давления располагаются примерно под углом 75° к плоскости пласта. Первая плоскость расслоения расположена на расстоянии 2 м от пласта и приурочена к угольному прослойку, вторая – удалена на 5 м и связана с сидеритовым прослойком, третья плоскость отстоит от пласта на 7,2 м и проходит по контакту алевролита и аргиллита, четвертая плоскость расположена в 11 м от пласта.

При сопротивлении крепи не ниже 300 кН/м^2 породы первого и второго ярусов при ведении очистных работ движутся практически совместно. Разница в опуска-

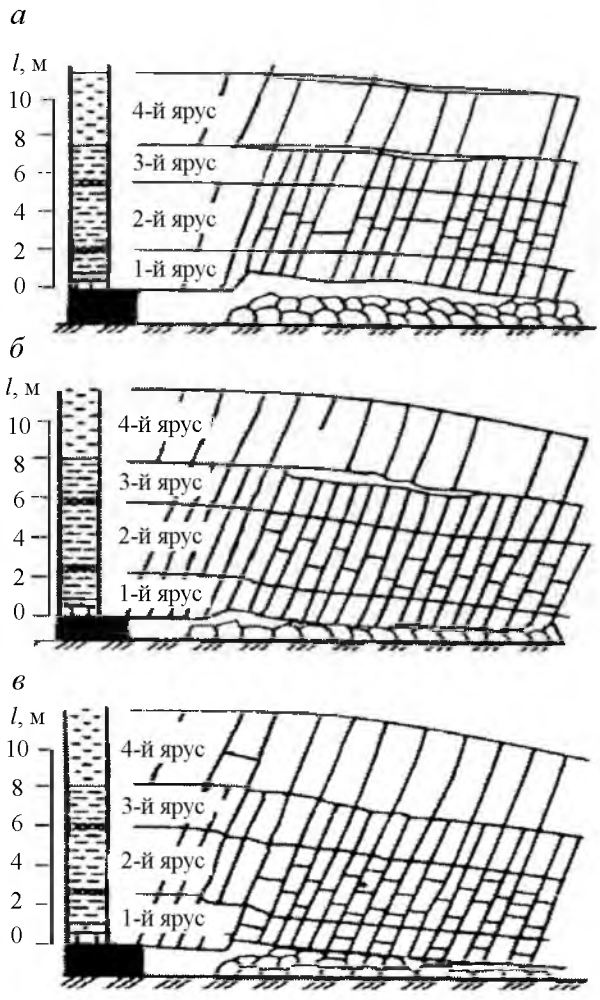


Рис.1. Схемы разрушения и перемещения слоистых пород кровли при различном сопротивлении крепи, кН/м^2: *а* – 390; *б* – 300; *в* – 180 [2, 3].

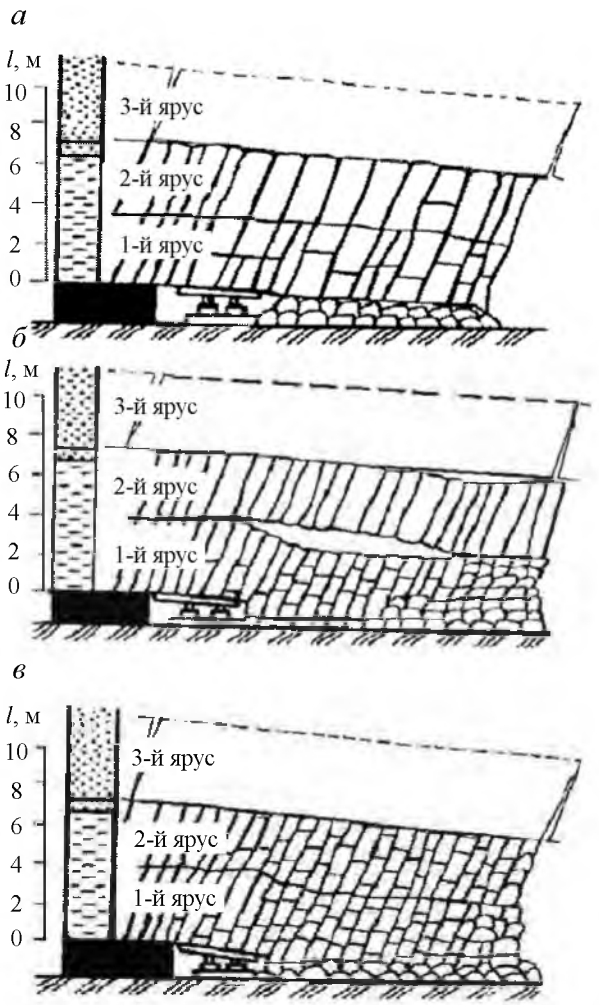


Рис.2. Обобщенные схемы разрушения и перемещения пород при сочетании легко- и труднообрушаемых пород кровли и трех уровнях сопротивления крепи, кН/м^2: *а* – 390; б – 270; *в* – 222

нии их не превышает 2 мм. При уменьшении сопротивления крепи до 180 кН/м^2 разница в опускании этих ярусов увеличивается до 4 мм. Второй и третий ярусы разделяются более четко при всех ступенях сопротивления крепи. Описанная схема (и последующие) получены при проведении исследований с помощью глубинных реперов, устанавливаемых в различных слоях кровли в скважине, пробуренной в середине лавы. Наблюдения велись в течение всего времени, которое скважина находилась в пределах призабойного пространства лавы, до выхода скважины в завал (за крепь).

В конкретных условиях породы кровли могут быть разбиты не на пять, а на три яруса. Рассмотренная схема разрушения пород над призабойным пространством относится к категории легких, когда для отработки пласта не требуется повышенное сопротивление крепи.

Вторая обобщенная схема отличается тем, что над пластом на некотором расстоянии от него залегают слои прочных пород (рис.2). Такая схема может относиться к тяжелым по нагрузочным свойствам кровлям.

Признаками тяжелой кровли являются следующие:

- мощность прочных пород должна быть не менее двух вынимаемых мощностей пласта, указанный слой должен быть монолитным;
- прочность монолитного слоя должна быть более 50 МПа;
- шаг первой осадки основной кровли $l_0 \geq 30$ м, шаг периодических осадок $l_0 \geq 15$ м;

• расстояние прочного слоя от угольного пласта должно быть менее $m_в + 3$ м (где $m_в$ – мощность выработки, м); чем меньше указанное расстояние, тем кровля по нагрузочным свойствам является более тяжелой, а для успешного управления ею требуется более высокое номинальное сопротивление механизированной крепи.

В этом случае породы кровли разделены на три яруса. Два нижних яруса представлены легкообрушаемыми породами, третий ярус – прочным песчаником. Общая мощность пород нижних двух ярусов равна 7 м. При сопротивлении крепи 390 кН/м^2 породы двух нижних ярусов опускаются как единое целое, без разделения на слои. Третий ярус опускается с меньшей интенсивностью по сравнению с нижними ярусами.

Между ними происходит расслоение. При снижении сопротивления крепи до 270 кН/м^2 расслоение пород кровли происходит не только между вторым и третьим, но и между первым и вторым ярусами. В этом случае породы первого (нижнего яруса) обрушаются за подвиганием крепи, а породы второго яруса образуют устойчивую арку (рис.2, *а*). Рабочее сопротивление крепи обусловлено весом пород нижнего и частично второго ярусов. Породы третьего яруса создают дополнительную нагрузку на крепь только после облома пород основной кровли (пород третьего) яруса (рис.2, *в*). При осадках основной кровли арка из блоков второго яруса проседает, сопротивление крепи в эти моменты резко возрастает, оно увеличивается до уровня настройки предохранительных клапанов гидростоек, крепь в этот период работает при срабатывании клапанов.

Породы прочных слоев разрушаются на блоки значительной длины (15-20 м и более). Между осадками опускание песчаника в призабойном пространстве лавы сравнительно небольшое. Но после обрушения оно резко возрастает. Во время облома песчаника перемещение непосредственной кровли задается его движением до тех пор, пока система блоков песчаника не придет в новое состояние равновесия.

Значительное влияние на характер разрушения и перемещения пород непосредственной кровли оказывает сопротивление крепи. По мере его снижения увеличиваются опускания по всем слоям, возрастает число плоскостей расслоения пород непосредственной кровли по напластованию и относительные смещения блоков, уменьшается длина блоков в направлении подвигания лавы, снижаются зависания пород кровли за крепью и устойчивость арок.

Залегающие непосредственно над пластом прочные и достаточно мощные слои пород при ведении очистных работ разрушаются, как правило, на длинные блоки. Из-за наличия сил распора образуется цепочка взаимодействующих между собой блоков. В выработанном пространстве блоки могут выпадать на почву.

Во время облома блока в движение приходят большие массы пород, которые вызывают резкое нагружение крепи. В ряде случаев при обломе песчаника происходит проскальзывание переднего конца блока относительно массива пород. При недостаточном сопротивлении крепи это приводит к ее зажатию. При выемке угольного пласта зависающие за крепью породы после достижения определенного веса обрушаются. Линия облома проходит впереди линии очистного забоя на расстоянии примерно 1,5 м. Передний конец блока оказывается опертым на угольный забой. Под действием веса обломившегося блока в угле пласта появляются трещины. В отдельных местах происходит отжим угля из забоя. Часть веса блока поддерживается крепью. Как показывают исследования, в первый момент после обрушения блока воздействие его на крепь происходит в виде удара (динамическое нагружение). Если сопротивление крепи мало, секции крепи при обрушении блока могут быть деформированы.

Наиболее опасным с точки зрения возможности зажатия крепи и ее деформирования является тот момент, когда задний конец перекрытия крепи при подвигании лавы окажется под передним концом обломившегося блока. В этом случае крепь должна полностью обеспечивать поддержание переднего конца блока. Угольный забой пласта при этом не будет участвовать в поддержании блока. Для этого потребуется более высокое сопротивление крепи. Именно

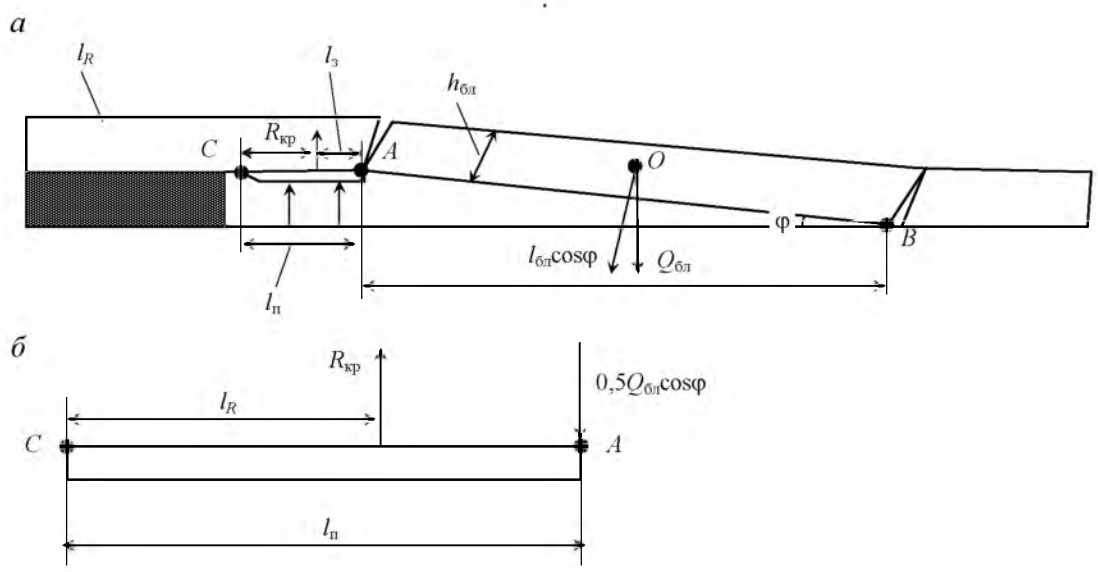


Рис.3. Модель взаимодействия механизированной крепи с тяжелой кровлей (*а*) и расчетная схема (*б*) для определения необходимого номинального сопротивления крепи

этот случай нужно учитывать при определении необходимого номинального сопротивления крепи в рассматриваемых условиях залегания пласта.

Представленная на рис.3 модель соответствует наиболее тяжелому случаю взаимодействия крепи с обломившимся блоком, когда блок своей передней частью опирается на задний конец перекрытия крепи.

Исходными данными для выполнения расчетов являются: $l_{бл} = 0{,}5l_{пер}$ – максимальная длина обломившегося блока, м; $l_{пер.ос}$ – шаг первичной осадки кровли; в рассматриваемом случае $l_{пер.ос} = 50$ м, поэтому $l_{бл} = 25$ м; $h_{бл}$ – высота обломившегося блока, по данным наблюдений максимальное значение высоты блока 18 м; $m_{пл}$ – максимальная вынимаемая мощность пласта, $m_{пл} = 45$ м; $P_{ном}$ – номинальное сопротивление механизированной крепи, кН/м^2; φ – угол наклона обломившегося блока относительно почвы пласта, град.; l_R – расстояние от равнодействующей сопротивления секции крепи до переднего конца жесткой части перекрытия, м; $l_п$ – длина жесткой части перекрытия, м; $l_З$ – расстояние от равнодействующей сопротивления стоек секции до заднего конца перекрытия, м; $R_{кр}$ – сопротивление крепи в расчете на один метр длины лавы, кН/м, $R_{кр} = P_{ном}l_{пр}$; $l_{пр}$ – ширина призабойного пространства лавы, м; $Q_{бл}$ – вес обломившегося блока, кН; $R_{бл}$ – усилие, с которым обломившийся блок воздействует на перекрытие, кН.

Угол наклона

$$\varphi = \arcsin(m_{пл}/l_{бл}) = \arcsin(4{,}5/25) \approx 10°;$$
$$\cos 10° = 0{,}9848.$$

Ширина призабойного пространства лавы

$$l_{пр} = (l_п + l_к + a),$$

где $l_к$ – длина консоли перекрытия, м; a – расстояние от линии забоя до переднего конца перекрытия, $a = 0{,}3$ м.

Вес обломившегося блока

$$Q_{бл} = 1 l_{бл} h_{бл} \gamma,$$

где γ – объемный вес пород основной кровли, $\gamma = 26$ кН/м^3.

Необходимые расчетные параметры представлены в таблице.

Номинальное сопротивление механизированной крепи определяется путем деления соответствующего значения $P_{уд}$ на $l_{пр}$. Например, для крепи 2М142М/3 (см.таблицу) искомое значение $P_{ном} = 7240/4{,}99 = 1450$ кН/м^2, что соответствует табличному значению номинального сопротивления данной крепи.

Прежде чем перейти к определению необходимого номинального сопротивления механизированной крепи, нужно иметь в виду

Расчетные параметры некоторых двухрядных крепей

Крепь	$l_{пр}$, м	$l_{п}$, м	l_R, м	$l_{пер.ос}$, м	$P_{уд}$, кН/м	Сопротивление крепи, кН/м^2	
						$P_{ном}$	$P_{расч}$
2М142	4,38	2,62	1,59	4,03	5700	1300	1474
2М142М/1	4,60	2,75	1,67	4,30	6900	1500	1400
2М142М/2	4,83	2,89	1,75	4,53	7250	1500	1340
2М142М/3	4,99	2,98	1,81	4,69	7240	1450	1290
МКЮ.4-11/32	4,85	2,90	1,78	4,55	5330	1100	1316
МКЮ.4У.23/45	5,18	3,31	2,2	4,88	6580	1270	1140
МКЮ.4У-22/40	4,67	2,79	1,70	4,37	6540	1400	1377

следующее: 1) обломившийся блок основной кровли при опускании его завального конца на почву распирается между породами, находящимися впереди плоскости облома, и обрушившимся в завале предыдущим блоком, лежащим на почве. В результате появления сил распора по плоскости облома возникает сила трения, которая совместно с сопротивлением крепи $R_{кр}$ препятствует свободному опусканию переднего конца блока. Именно поэтому, как показали специальные исследования, измеренное сопротивление крепи меньше веса находящихся над крепью пород, которое может быть определено с помощью коэффициента сопротивления крепи $K_с$. Искомое значение коэффициента сопротивления крепи равно $K_с = 0,70$. Тем не менее, при обломе блока происходит значительное выделение энергии упругого сжатия слоев кровли, которое происходило перед обрушением [1]. В результате происходит динамический удар пород блока по крепи. При недостаточном сопротивлении она может быть выведена из строя.

Сопротивление крепи $P_{расч}$ обязательно должно учитываться при определении усилия, действующего на задний конец перекрытия.

Как показывает анализ механизма взаимодействия крепи с обломившимся блоком, именно жесткая часть перекрытия определяет безопасное управление этим блоком. Следовательно, при определении необходимого номинального сопротивления крепи в рассматриваемом случае сумму моментов, действующих на перекрытие, надо определять вокруг передней точки жесткой части перекрытия (точка C). Итак, сумма моментов вокруг точки C равна нулю:

$$\sum M_C = 0\,;\; R_{бл} l_{п} - R_{кр} l_R = 0\,,$$

откуда

$$R_{кр} l_R = R_{бл} l_{п}\,. \qquad (1)$$

С другой стороны,

$$R_{кр} = P_{ном} l_{п} l_R\,, \qquad (2)$$

$$R_{бл} = 0,5 Q_{бл} K_с \cos 10° = 0,5 l_{бл} h_{бл} \gamma K_с \cos 10°\,.$$

После подстановки соответствующих значений получим

$$R_{бл} = 0,5 \cdot 25 \cdot 18 \cdot 26 \cdot 0,68 \cdot 0,9848 = \\ = 3917,5 \text{ кН/м}.$$

Приравняв правые части уравнений (1) и (2), найдем

$$P_{ном} = R_{бл} l_{п} / \left(l_{пр} l_R \right). \qquad (3)$$

Выражение (3) является расчетной формулой для определения необходимого номинального сопротивления механизированной крепи при крупноблочном разрушении прочных слоев основной кровли, залегающих непосредственно над пластом. По ней рассчитаны значения $R_{ном}$, представленные в колонке таблице.

Из приведенных в таблице значений следует очень важный вывод: при крупноблочном разрушении кровли при отработке пласта удельное номинальное сопротивление механизированной крепи в расчете на один квадратный метр поддерживаемой площади кров-

ли не является объективным показателем, определяющим эффективность управления кровлей (блоком), так как не учитывает ширину поддерживаемого призабойного пространства лавы. Подтверждением могут служить следующие расчетные данные для крепей 2М142 и 2М142М/3. При применении первой из названных крепей поддерживаемая ширина призабойного пространства равна 4,38 м. При удельном номинальном сопротивлении крепи 1300 кН/м^2 максимальная развиваемая ею реакция будет равна 1300·4,38 = = 5694 кН. Вторая крепь (2М142М/3), поддерживающая призабойное пространство шириной 4,99 м, будет создавать реакцию, равную 1300·4,99 = 6487 кН. В первом случае реакция крепи может оказаться недостаточной для эффективного управления кровлей, в то время как во втором она будет достаточной.

Поэтому номинальное сопротивление механизменных крепей, предназначенных для отработки угольных пластов, кровли которых при ведении очистных работ разрушаются на крупные блоки, должно определяться в соответствии с выражением (3), учитывающим шаг осадки основной кровли и ширину призабойного пространства лавы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баранов С.Г.* Результаты исследований изменения параметров нагружения гидростоек крепи М 142 при осадках / С.Г.Баранов, С.В.Поляков, А.Н.Галаев // Управление горным давлением и прогноз безопасных условий освоения угольных месторождений / ВНИМИ. Л., 1991. С.116-121

2. ГОСТ Р 52152-2003. Крепи механизированные для лав. М.: Изд-во стандартов, 2003. 38 с.

3. *Орлов А.А.* Крепление и управление кровлей в комплексно-механизированных забоях / А.А.Орлов, С.Г.Баранов, Б.К.Мышляев. М.: Недра, 1993. С.143-165.

REFERENCES

1. *Baranov S.G., Polyakov S.V., Galaev A.N.* Results of Investigations of Changes in Loading Parameters of Hydraulic Props of the M 142 Support in Subsidence // Rock pressure Control and Prediction of Safe Conditions in Exploration of Coal Deposits / VNIMI. Leningrad, 1991. P.116-121.

2. GOST R 52152-2003. Powered supports for longwalls. Moscow: Publ. Standarts, 2003 38 p.

3. *Orlov A.A., Baranov S.G., Myshlyaev B.K.* Roof support and its control in the integrated powered faces. Moscow: Nedra, 1993. P.143-165.