УДК 622.341.1

А.С.МАЛЮТИН, *студент, alexey-malyutin@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

A.S.MALYUTIN, *student, alexey-malyutin@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОБРУШЕНИЙ КРАЕВЫХ ЧАСТЕЙ РУДНОГО МАССИВА В ОЧИСТНЫХ ЗАХОДКАХ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ СЛОЕВЫМИ СИСТЕМАМИ С ЗАКЛАДКОЙ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

Исследованы факторы, влияющие на формирование напряженного состояния рудного массива и интенсивность разрушения его краевых частей. Выполнены расчеты глубины зоны разрушения массива полезного ископаемого в боках очистных заходок. Разработан способ предотвращения обрушений краевых частей рудного массива в очистных заходках, позволяющий повысить безопасность ведения горных работ и их технико-экономические показатели.

Ключевые слова: железная руда, краевая часть, очистная заходка, обрушения, слоевая система разработки с закладкой.

PREVENTION OF FAILURE OF STOPE EDGES IN CUT-AND-FILL MINING METHODS

Factors which influence the formation of the stress condition of ore body and the intensity of failure of stopes are investigated for Yakovlev's mine conditions. Calculations of depth of failure zones in stopes are made. Method of failure prevention is developed. It allows to increase the safety of mining and technical and economic index.

Key words: iron ore, selvedge, stope, rock failure, cut-and-fill method.

При отработке месторождений на больших глубинах в сложных горно-геологических условиях нередко наблюдаются самопроизвольные обрушения массива полезного ископаемого из боков очистных выработок. Этот процесс значительно осложняет ведение горных работ, а также способствует резкому повышению опасности получения рабочими травм различной степени тяжести при очистной выемке. Случаи подобных обрушений были зафиксированы в результате шахтных наблюдений на руднике «Яковлевский» Белгородской области. Протяженность одиночного обрушения составляла 15 м, а его масса достигала 360 т. Внезапные и мгновенные обрушения такой массы с высоты очистной заходки, составляющей 4 м для условий Яковлевского рудника, представляют огромную опасность для людей, поэтому их предотвращение весьма актуально.

Яковлевское месторождение представляет большой интерес для промышленной разработки, так как содержит значительные запасы богатых железных руд с содержанием железа более 60 %. Отработка его ведется системой разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства. Руды представлены рыхлой, пористой, порошковатой, со слабыми структурными связями массой, что способствует возникновению обрушений из боков очистных заходок. Поскольку над кровлей рудного тела имеется семь высоконапорных водоносных горизонтов и существует опас-

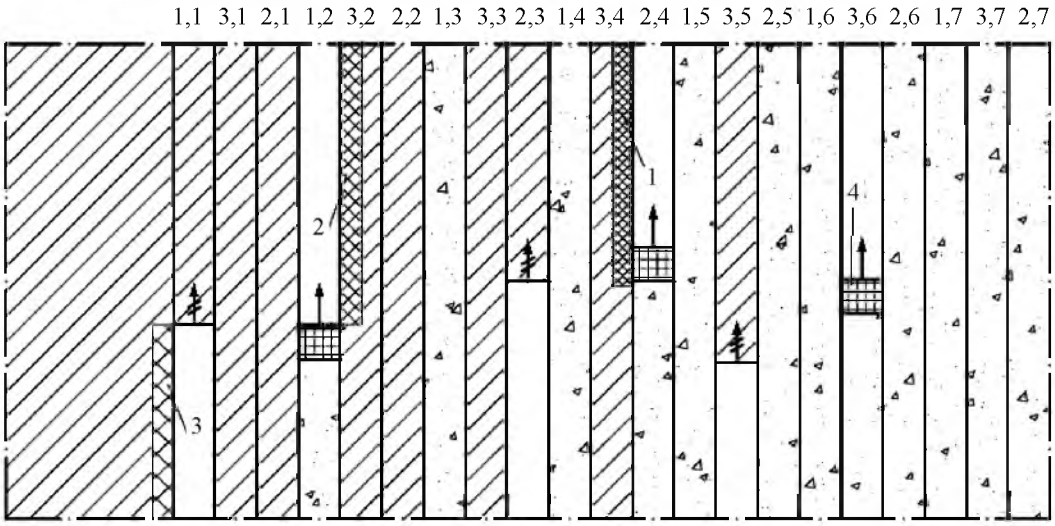


Рис.1. Последовательность отработки очистных заходок в пределах слоя (разработана В.П.Зубовым)

1,1; 2,3 и 3,5 – соответственно первичные, присечные и вторичные заходки при их проведении; 1,2; 2,4 и 3,6 – соответственно первичные, присечные и вторичные заходки, в которых производят монтаж арматуры, извлечение крепи и закладку твердеющими материалами; 1, 2, 3 – ситуации образования целиков; 4 – монтаж арматуры и извлечение крепи

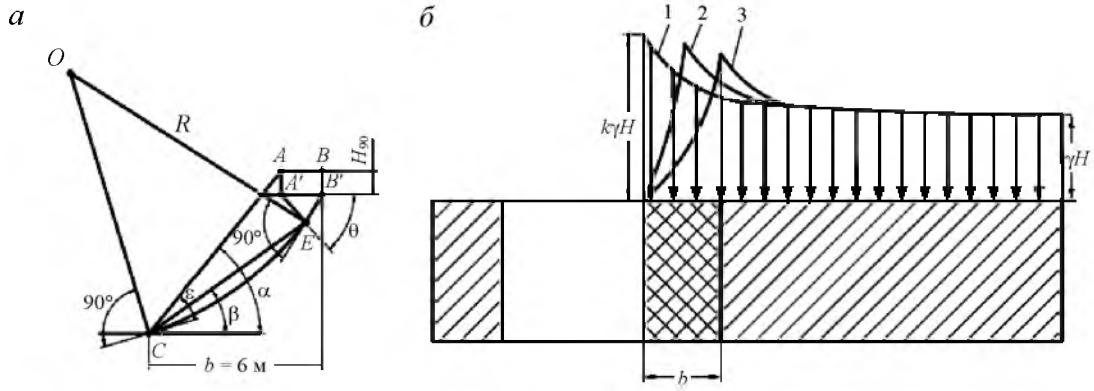


Рис.2. Гипотезы о причинах разрушения краевых частей рудного массива: *а* –образование линии скольжения [3]; *б* –действие опорного давления [1]

ВВ′ЕС – поверхность скольжения; b – максимальная глубина распространения поверхности скольжения; γ – объемный вес горных пород; H – глубина ведения горных работ; k – коэффициент концентрации напряжений; 1, 2, 3 – соответственно эпюры опорного давления в моменты времени $t_1 < t_2 < t_3$.

ность их прорыва в очистное пространство, горные работы ведутся под специально оставленным рудным целиком высотой 65 м. Очистная выемка осуществляется послойно в нисходящем порядке заходками шириной 4,5 м и высотой 4 м. В настоящий момент завершена отработка нулевого технологического слоя, и работы ведутся под искусственно созданной кровлей из закладочного массива в последовательности, рекомендованной кафедрой разработки месторождений полезных ископаемых Горного университета (рис.1). Современными технологиями закладочных работ нельзя обеспечить 100 %-ную полноту закладки выработанного пространства, между заложенными заходками образуются рудные целики различной ширины. В них возникает повышенное напряжение, вызывающее разрушение руды в краевых частях массива, а затем и их обрушение. На рис.1 различной штриховкой, соответствующей интенсивности обрушений и представляющей опасность для людей, выделены три ситуации: 1 – образование целика шириной в одну очистную заходку; 2 – шириной в две заходки; 3 – шириной в три и более заходок.

После проведенного анализа горно-технической литературы по исследуемому

Результаты расчета глубины зоны разрушения

ВНИМИ [2]	В.Г.Гмошинский [4]	По данным [7, 8]
$b = \frac{0{,}02K_k m\gamma H}{\sigma^2_{\text{сж.ср.изв}}} e^{-0{,}003P}$	$b = \frac{1}{\frac{2}{l} + \frac{2f}{m\xi}} \ln \frac{\gamma H(1+K_к)}{C}$	$b = \frac{1}{a} \ln\left[1 + \frac{\lambda\gamma H}{kv}\right]$
b = 0,1 м	b = 3,5 м	b = 2,5 м

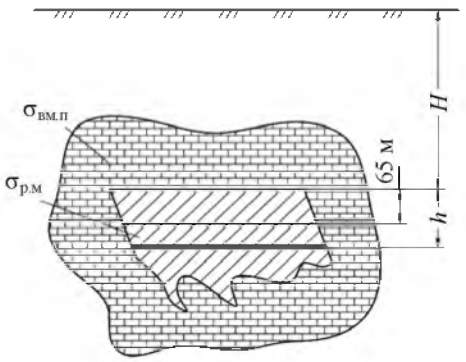


Рис.3. Гипотеза о формировании напряженного состояния рудного массива

H – глубина ведения горных работ; h – высота пород, оказывающих влияние на горное давление в очистной заходке: $\sigma_{вм.п}$ – сопротивление сжатию вмещающих пород; $\sigma_{р.м}$ – сопротивление сжатию рудного массива

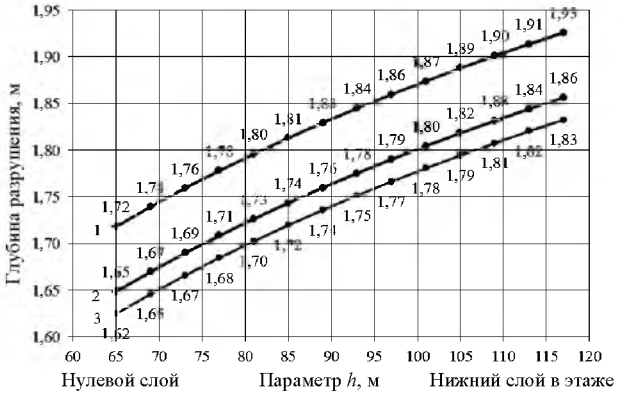


Рис.4. Влияние h на глубину зоны разрушения в боках очистных заходок в условиях Яковлевского рудника

вопросу был выявлен ряд известных науке способов предотвращения обрушений массива полезного ископаемого из очистных выработок [5, 6]. Наиболее актуальными для рассмотрения в условиях Яковлевского рудника отмечены следующие: анкерование и химическое упрочнение пород стенок горных выработок, разгрузка массива путем взрывания в верхней его части одного или нескольких рядов шпуров, а также изменение последовательности проведения очистных заходок.

Несмотря на известность науке этих способов, применение их не представляется возможным без обоснования параметров для конкретной ситуации. Основным значимым параметром была отмечена глубина зоны разрушения краевой части массива полезного ископаемого. Для ее определения необходимо знать причины, по которым происходит разрушение. Было выдвинуто две гипотезы: 1) образование линии скольжения; 2) действие опорного давления (рис.2). После сопоставления проведенных расчетов и построений линии скольжения с данными шахтных наблюдений первая гипотеза была снята с рассмотрения (расчетная глубина зоны разрушения составила 6 м; реальная – 1,7 м). В качестве основной для дальнейшего изучения была принята вторая гипотеза. Также была выдвинута гипотеза о формировании напряженного состояния рудного массива, согласно которой на величину горного давления в очистной выработке оказывает влияние лишь рудный целик и вышерасположенные технологические слои (параметр h на рис.3). Это допущение объясняется значительным различием прочностных характеристик руд и вмещающих пород. Рудное тело находится как бы в «скорлупе», заполняя собой полость, образованную внутри прочного массива.

После проведения анализа известных методик расчета глубины зоны разрушения массива полезного ископаемого было отобрано три методики, по которым выполнен расчет для условий Яковлевского рудника (см. таблицу).

Для дальнейшего исследования выбрана формула, предложенная В.Г.Гмошинским

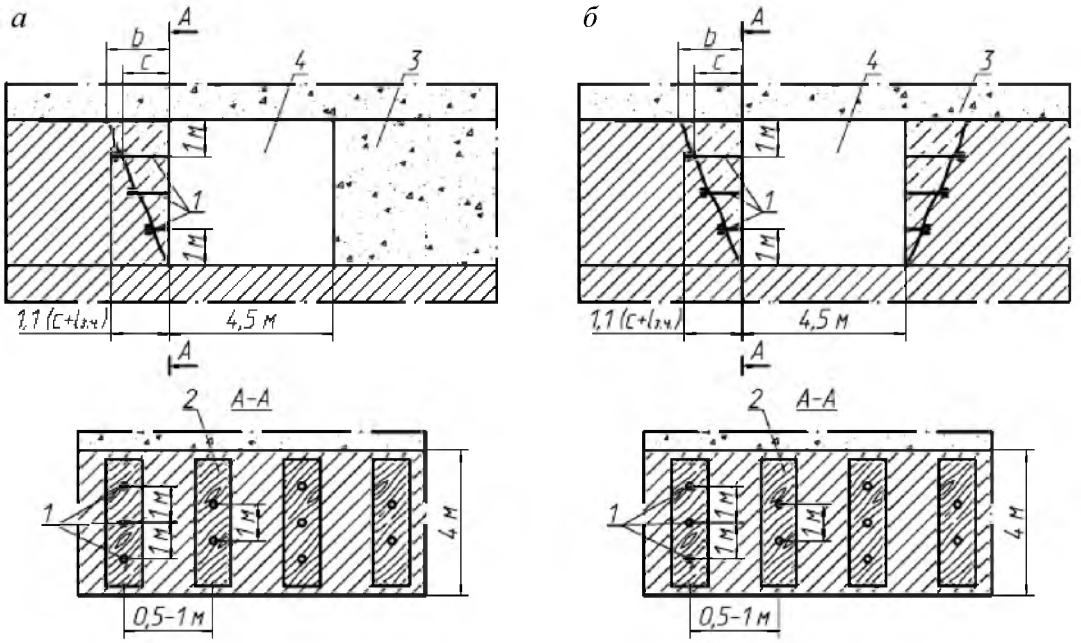


Рис.5. Рекомендуемая схема установки деревянных анкеров в боках очистных заходок: *а* – присечная заходка; *б* – первичная заходка;

b – максимальная глубина разрушения; *c* – глубина разрушения на определенной высоте выработки; $l_{з.ч}$ – длина замковой части анкера; 1 – деревянный анкер; 2 – деревянная планка; 3 – закладочный массив; 4 – очистная заходка

[4], учитывающая большее количество влияющих факторов. По данным шахтных наблюдений введен поправочный коэффициент 0,5 на реальные условия.

По результатам исследований построены графики зависимости глубины зоны разрушения от параметра *h* (рис.4). Эта зависимость является логарифмической. Кривые на рисунке соответствуют ситуациям 1, 2, 3 на рис.1.

В результате проделанной работы совместно с проф. В.П.Зубовым был разработан способ предотвращения обрушений краевых частей рудного массива из очистных заходок для условий Яковлевского рудника (рис.5). Он заключается в следующем: стенки заходок рекомендуется укреплять деревянными клиновыми анкерами с минимально возможным отставанием от очистной выемки. Деревянные анкеры легко разрушаются рабочим органом комбайна, поэтому не оказывают отрицательного воздействия на скорость ведения горных работ в соседней выработке. По высоте слоя в одном сечении устанавливаются три анкера. Нижний и верхний анкеры расположены на расстоянии 1 м от почвы и кровли выработки, третий находится ровно по центру. В следующем сечении устанавливаются два анкера на расстоянии 1,5 м от кровли и почвы заходки. Далее все повторяется. Такой порядок расстановки крепи позволит добиться нужного эффекта при минимальном количестве анкеров. Для более качественного удержания разрушенного массива анкеры по высоте рекомендуется скреплять деревянными планками. Шаг установки крепи зависит от конкретных горно-геологических условий и изменяется от 0,5 до 1,0 м. Длину анкера следует принимать на 10 % больше суммарной расчетной глубины разрушения на данной высоте *c* и длины замковой части $l_{з.ч}$.

Выводы

1. Рассчитана максимальная глубина зоны разрушения рудного массива в очистных заходках. При ведении горных работ в первом технологическом слое она составляет 1,74 м.

2. Построены графики зависимости глубины зоны разрушения от высоты масси-

ва пород, оказывающих влияние на горное давление в очистной заходке. Эта зависимость является логарифмической.

3. Разработан способ предотвращения обрушений краевых частей рудного массива в очистных заходках, использование которого позволит повысить безопасность ведения очистных работ и их технико-экономические показатели.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Борисов А.А.* Механика горных пород и массивов. М., 1980.

2. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35°. ВНИМИ. Л., 1982.

3. *Гальперин А.М.* Геомеханика открытых горных работ. М., 2003.

4. *Гмошинский В.Г.* Горное давление на угольный пласт в окрестности выработки // Уголь. 1957. № 6.

5. *Зубов В.П.* Особенности управления горным давлением в лавах на больших глубинах разработки. Л., 1990.

6. *Макарова С.В.* Практика отработки и управление горным давлением при выемке широких целиков / С.В.Макарова, В.В.Балашов. М., 1984.

7. *Ржевский В.В.* Основы физики горных пород / В.В.Ржевский, Г.Я.Новик. М., 1984.

8. *Турчанинов И.А.* Основы механики горных пород. Л., 1989.

REFERENCES

1. *Borisov A.A.* Rock mechanics. Moscow, 1980.

2. Temporary guide for rock strata control in stopes for seams with thickness 3,5 m and angle of inclination up to 35°. Leningrad, 1982.

3. *Galperin A.M.* Geomechanics surface mining. Moscow, 2003.

4. *Gmoshinsky V.G.* Rock stress in coal seam in vicinity of excavations // Coal. 1957. N 6.

5. *Zubov V.P.* Characteristics of rock strata control in longwalls at high depth. Leningrad, 1990.

6. *Makarova S.V*, *Balashov V.V* Practice of mining of wide pillars and rock strata control. Moscow, 1984.

7. *Rzhevsky V.V*, *Novik G.Y.* Basics of rock physics. Moscow, 1984.

8. *Turchaninov I.A.* Basics of rock mechanics. Leningrad, 1989.

Научный руководитель д-р техн. наук, профессор *В.П.Зубов*