

УДК 622.28

Ю. М. ХАЛИМЕНДИК, доктор техн. наук, **А. В. БРУЙ**, канд. техн. наук, **А. С. БАРЫШНИКОВ**, аспирант
(Национальный горный университет)

С. А. ВОРОНИН, инж. (ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

А. Ф. БОНДИК, **Е. А. КОЛЕСНИЧЕНКО**, инженеры (ПСП ШУ «Добропольское»)

Выбор крепи подготовительных выработок при повторном использовании

Эффективное поддержание выработок в глубоких шахтах обеспечивается увеличением отпора крепи. Согласно нормативным документам расчетная плотность установки рам крепи для поддержания штрека за лавой может составлять более трех рам на 1 м. В таком случае целесообразно использовать канатные анкеры. Их работоспособность обеспечивается достоверным обоснованием параметров установки.

Ключевые слова: поддержание выработки, расчет крепи, канатные анкеры, натурные наблюдения.

Контактная информация: halimendik_u@nmu.org.ua; as_nmu@mail.ru

Мировой и отечественный опыт показывают, что повторное использование подготовительных выработок позволяет снизить затраты на возобновление очистного фронта, обеспечить прямую схему проветривания, увеличить нагрузку на очистной забой. Для эффективной реализации такого способа необходимо сохранить достаточную площадь сечения выработки, что достигается усилением крепи. Повторное использование подготовительных выработок дает возможность снизить затраты на возобновление очистного фронта, обеспечить прямую схему проветривания, увеличить нагрузку на очистной забой.

Нормативный документ [1] регламентирует параметры крепления подготовительных выработок, в том числе и для повторного использования. Необходимую несущую способность крепи определяют исходя из прогнозных смещений. С помощью эмпирических коэффициентов рассчитывают высоту разрушения пород в кровле выработки в виде свода обрушения на всех этапах эксплуатации. Затем, исходя из массы пород в своде, выбирают плотность установки рам. В основе данного подхода – гипотеза проф. М. М. Протодеяконова, которая предполагает, что объем пород, воздействующий на крепь, ограничивается параболическим сводом. Такой подход должен лимитироваться глубиной ведения горных работ до 300 м [2]. В предложениях [3] по совершенствованию методов расчета плотности установки рамных податливых крепей используются ранее установленные эмпирические смеще-

ния пород в каждом геомеханическом периоде, а методика определения расчетной нагрузки на крепь изменяется по сравнению с данными, приведенными в СОУ [1].

С увеличением глубины ведения горных работ изменились формы проявления горного давления, расширилось представление о понятии «глубокая шахта» как о соотношении гравитационных сил и крепости пород [4]. Эти процессы изучали с учетом запредельного состояния горных пород вокруг выработки [5]. Несмотря на значительные успехи, достигнутые в описании проявления горного давления, вопросы по отдельным геомеханическим процессам и противостоянию им с помощью крепи остаются актуальными.

Для примера приведем результаты поэтапного выбора плотности установки крепи конвейерного штрека 1-й южной лавы пласта l_1 шахты «Алмазная» (ПСП «Шахтоуправление «Добропольское») согласно СОУ [1]. Вынимаемая мощность пласта составляла 1,25 м, глубина разработки 690 м, прочность пород на одноосное сжатие 15 – 50 МПа.

Этапы проведения и поддержания выработки	Высота свода обрушения, м	Расчетное количество рам на 1 м выработки
Проведение выработки	0,9	0,35
Поддержание:		
перед первой лавой	3,8	1,5
за первой лавой	7,4	2,9
перед второй лавой	11,0	4,2

Полученные результаты определения плотности крепи приведены в таблице.

Расчеты показывают, что плотность установки крепи при условии повторного использования подготовительных выработок 1-й южной лавы без применения мер по повышению расчетной прочности горного массива (анкерования, инъекций, тампонажа) должна быть примерно четыре рамы на 1 м длины выработки перед второй лавой. Увеличение плотности установки – технологически нецелесообразное и экономически необоснованное решение. Штанговое анкерование горного массива влияет на проявление горного давления на период первого этапа эксплуатации выработки. После прохода лавы из-за дезинтеграции пород кровли эффективность анкерования снижается (рис. 1).

Таким образом, применение только рамной крепи, даже при условии анкерования кровли штанговыми анкерами, не позволяет эффективно управлять горным давлением за первым очистным забоем в условиях «глубокой шахты».

В соответствии с установленными закономерностями [6–7] для уменьшения размеров зоны запредельных деформаций вокруг выработки необходимо максимально увеличить отпор, создаваемый крепью, особенно в начальный период после ее установки. Это приводит к минимизации смещений, максимально возможному сохранению естественной прочности пород и к улучшению устойчивости выработки. Установлено, что непосредственно упругие деформации вызывают незначительные смещения контура породного обнажения, при образовании зоны неупругих (запредельных) деформаций равновесие системы крепь–массив наступает со временем – при определенном соотношении веса разрушенных пород и отпора крепи. Увеличивая отпор крепи, можно добиться более раннего во времени наступления равновесия системы. При этом размеры зоны неупругих деформаций будут меньшими по сравнению со случаем, когда применяют крепь с меньшим отпором и большей податливостью.

Для реализации такого подхода и решения задачи поддержания выработок в условиях глубокой шахты в мировой практике применяют систему анкеров глубокого заложения либо двухуровневое анкерование с обычными штанговыми анкерами (первый уровень, длина обычно 2 – 3 м) и анкерами глубокого заложения (длиннее анкеров первого уровня) [8]. Опыт показывает, что канатные анкеры позволяют эффективно поддерживать штрек до



Рис. 1. Нарушение работы штанговых анкеров за лавой из-за значительной дезинтеграции пород на шахте «Степная».

подхода лавы, в зоне опорного давления впереди лавы, на сопряжении с ней и за очистным забоем.

В шахте «Степная» (Западный Донбасс) испытан способ усиления штрека № 165 и сопряжения с лавой с помощью канатных анкеров, т. е. без установки опережающей стоечной крепи [9]. Боковые породы – переслаивающиеся алевролиты и аргиллиты (прочность на одноосное сжатие до 25 МПа, слабое сцепление). Штрек был закреплен рамно-анкерной крепью КШПУ-17,7 с замком АПЗ-030, шаг установки 0,7 м. Кровлю выработки усиливали сталеполимерные анкеры длиной 2,2 м (пять в ряду) под металлический подхват. Сборный штрек № 165 в зоне опорного давления и на сопряжении с лавой поддерживали за счет двух рядов канатных анке-

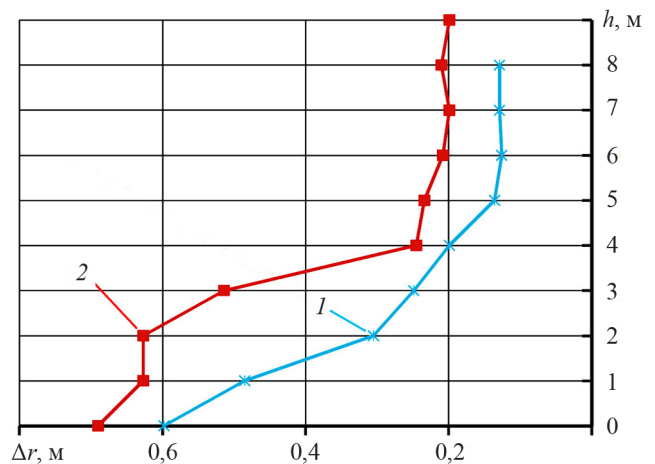


Рис. 2. Смещения Δr глубинных реперов, заложенных на высоте h в кровлю выработки: 1 – станция № 1, 166 м за лавой; 2 – станция № 2, 277 м за лавой.

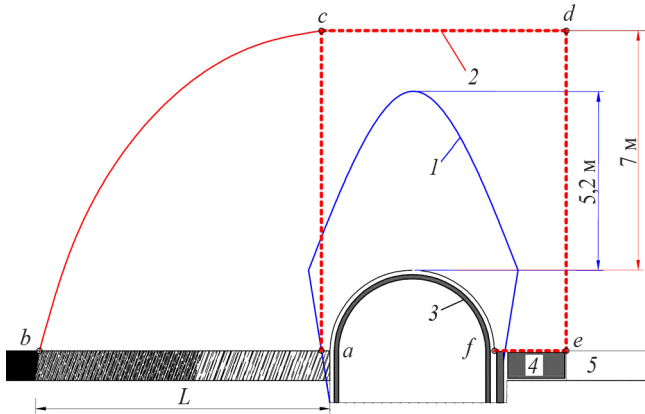


Рис. 3. Схема нагрузки на крепь штрека № 165 за очистным забоем 163-й лавы шахты «Степная»: 1 – свод обрушения, рассчитанный по СОУ [1]; 2 – фактическая высота зоны дезинтеграции пород, полученная по результатам натурных исследований; 3 – рамная крепь; 4 – охранный конструкция; 5 – выработанное пространство; L – зона разрушения массива [11].

ров АК01-21 длиной 6 м и несущей способностью 210 кН, устанавливаемых впереди зоны опорного давления с плотностью 1,4 анкера на 1 м погонной длины выработки.

Для геометрического мониторинга за деформированием системы крепь–массив в сборном штре-

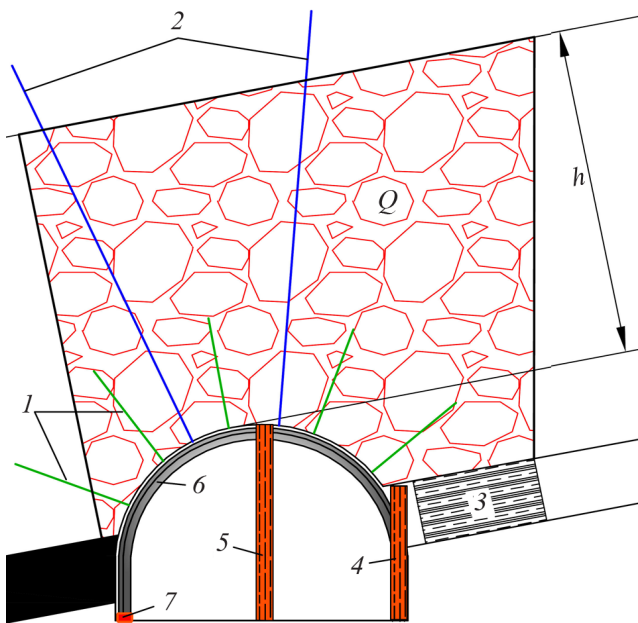


Рис. 4. Схема нагрузки на крепь конвейерного штрека 1-й южной лавы шахты «Алмазная» и идеализированная схема крепления: 1 и 2 – анкера штанговый и канатный; 3 – охранный конструкция; 4 и 5 – стойки под массив по бровке лавы и усиления; 6 – рамная крепь; 7 – подпятник.

ке № 165 оборудовали наблюдательные станции. Процесс формирования зоны неупругих деформаций изучали с помощью глубинных реперов, заложенных с шагом 1 м в скважине глубиной до 9 м, пробуренной вертикально в кровлю на каждой станции. Для определения высотного положения точек контурной наблюдательной станции и наиболее глубокого репера прокладывали прямой и обратный нивелирный ходы. Исходные реперы закрепили за пределами зоны влияния очистной выработки.

Максимальные смещения реперов при деформировании пород кровли после прохода лавы, полученные на наблюдательных станциях, приведены на рис. 2. Наибольшие смещения реперов в кровле выработки зафиксированы на глубине до 4 м. Реперы, заложенные выше 6–7 м, подвержены равномерному опусканию до 0,2 м. Таким образом, на глубине 7 м и выше имеется слой пород, который не подвержен деформациям растяжения. Этот слой равномерно опускается после прохода лавы до 0,2 м и его можно использовать для закрепления канатных анкеров длиной 7 – 8 м.

Пространственная форма разрушения пород в кровле выработки после прохода лавы отличается от свода естественного равновесия и представляет собой нарушенную зону – зону дезинтеграции пород [10].

Ширина L распространения этой зоны в нетронутой части пласта в условиях шахт Западного Донбасса определяется зависимостью [11]

$$L = 0,04H + 0,47,$$

где H – глубина ведения горных работ, м;
0,04 и 0,47 – эмпирические коэффициенты.

Вес пород в этой зоне приходится не только на крепь штрека, но и на охранный конструкцию. В соответствии с СОУ [1] отпор охранный конструкции не учитывают при расчете крепи штрека, а учитывают только ее тип путем использования коэффициентов. Согласно данным работы [12] от того, насколько эффективно охранный конструкция предотвращает опускание пород кровли по бровке лавы, зависят вертикальная конвергенция и нагрузка на крепь штрека.

Используя результаты исследований [9–12] и полученные результаты в условиях шахты Западного Донбасса, можно сформировать упрощенную схему определения нагрузки на крепь штрека № 165 (рис. 3). Породы, заключенные в 1 м области $acdef$ (см. рис. 3), формируют нагрузку Q на крепь штрека и охранный конструкцию. Зная отпор охранный

ной конструкции P_o , крепи штрека $P_{ш}$, стоек усиления $P_{ст}$ и несущую способность канатного анкера P_a , рассчитаем плотность установки канатных анкеров на 1 м погонной длины выработки:

$$n = [(Q - P_o - P_{ш} - P_{ст})k_3 / P_a],$$

где k_3 – коэффициент запаса.

Рабочая длина канатного анкера должна обеспечивать его закрепление в слабдеформированных породах, т. е. глубже контура зоны деформаций растяжения – выше линии cd в соответствии со схемой (см. рис. 3).

Равномерное опускание породных слоев предотвратит невозможно, так как оно возникает вследствие упругого прогиба массива после выемки угля. Технические возможности крепи штрека и охранной конструкции обеспечивают компенсацию равномерного опускания породных слоев, что происходит за счет деформаций массива пород в зоне дезинтеграции, деформаций охранной конструкции и наличия пустот за крепью.

Применяя полученный опыт для условий шахты «Алмазная» (см. таблицу), после прохода 1-й лавы прогнозируемая зона дезинтеграции пород будет иметь вид, приведенный на рис. 4.

С учетом коэффициента разрыхления, угла внутреннего трения пород и вынимаемой мощности для конвейерного штрека 1-й лавы высота зоны разрушения h в кровлю выработки составит 6,7 м; породы в зоне дезинтеграции, воздействующие на крепь в штреке и на охранную конструкцию, – 1700 кН на 1 м погонной длины выработки.

Если принять установку стоечной и рамной крепи с шагом 0,7 м и обеспечить отпор охранной конструкции в 700 кН на 1 м, то для реализации необходимого отпора в данных условиях нужно дополнительно установить два канатных анкера несущей способностью 200 кН на 1 м выработки.

Для контроля расслоений кровли следует обязательно применять глубинные реперы или трехуровневые тэл-тэйлсы. Это обеспечит мониторинг работы канатных анкеров, позволит скорректировать в случае необходимости длину и плотность установки либо принять решение о корректировке паспорта поддержания. При успешном управлении кровлей, т. е. отсутствии значительных расслоений, выработка будет эксплуатироваться в зоне влияния опорного давления 2-й лавы с минимальными потерями высоты от опускания кровли.

Выводы. При выборе крепи в случае повторно-использования подготовительных выработок

следует учитывать размеры зоны дезинтеграции пород после прохода 1-й лавы.

Для создания достаточного отпора разрушенным породам и противодействия образованию зон дезинтеграции целесообразно использовать канатные анкера. Необходимо обосновывать параметры их установки с учетом горно-геологических условий, пространственных размеров зон дезинтеграции и способов поддержания штреков за очистным забоем. Достоверно устанавливая параметры зон дезинтеграции рекомендуется натурными способами с применением глубинных реперов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Підготовчі вивибки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони:* СОУ 10.1.00185790.011:2007. – К.: Мінвуглепром України, 2007. – 113 с.
2. *Горная энциклопедия.* – М.: Советская энциклопедия, 1986. – Т. 2. – С. 97.
3. *Южанин И. А.* К вопросу расчета рамной податливой крепи / И. А. Южанин, В. А. Дрибан // *Наук. пр. УкрНДМІ НАН України.* – 2014. – № 14. – С. 355–367.
4. *Литвинский Г. Г.* Фундаментальные закономерности и новая классификация проявлений горного давления / Г. Г. Литвинский // *Наук. пр. ДонНТУ. Сер. гірничо-геологічна.* – 2009. – Вип. 10 (151). – С. 21–28.
5. *Виноградов В. В.* Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок / В. В. Виноградов. – К.: *Наук. думка*, 1989. – 192 с.
6. *Зорин А. Н.* Механика разрушения породного массива и ее использование при добыче полезных ископаемых / А. Н. Зорин, Ю. М. Халимендик, В. Г. Колесников. – М.: *Недра-Бизнесцентр*, 2001. – 413 с.
7. *Каретников В. Н.* Крепление капитальных и подготовительных выработок: справ. / В. Н. Каретников, В. Б. Клейменов, А. Г. Нуждиних. – М.: *Недра*, 1989. – 571 с.
8. *Разумов Е. А.* Опыт применения канатных анкеров для сохранения и повторного использования штреков угольных шахт / Е. А. Разумов, П. В. Гречишкин, А. В. Самок, А. С. Позолотин // *Уголь.* – 2012. – № 6. – С. 10–12.
9. *Воронин С. А.* Использование канатных анкеров в слабых породах / [С. А. Воронин, А. В. Ефремов, В. В. Панченко и др.] // *Уголь Украины.* – 2013. – № 6. – С. 17–19.
10. *Жаров А. М.* Закономерности геомеханических процессов при бесцеликовых технологических схемах / А. М. Жаров. – М.: *МГГУ*, 2007. – 44 с.
11. *Заболотная Ю. А.* Формирование нарушенной зоны горного массива при ведении очистных работ в условиях слабых боковых пород / Ю. А. Заболотная // *Геотехнічна механіка.* – 2013. – Вип. 111. – С. 30–36. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/gtm_2013_111_6.pdf
12. *Khalymendyk Iu.* Usage of cable bolts for gateroad maintenance in soft rocks / Iu. Khalymendyk, A. Brui, A. Baryshnikov // *Journal of Sustainable Mining.* 2014. – 13(3). – 1–6. doi:10.7424/jsm140301, <http://jsm.gig.eu/articles/2014/3/351>.