

А.И. Яркович

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫРАБОТОК ПУТЕМ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА

Выполнен анализ источников выхода породы и мест ее размещения для условий шахт Западного Донбасса. Разработана методика проведения компьютерного моделирования системы «горный массив – бутовая полоса – крепление». Определена зависимость нагрузки на крепление выработки от жесткости бутовой полосы. Предложены целесообразные параметры бутовой полосы, позволяющие улучшить условия работы крепи.

ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВИРОБОК ШЛЯХОМ ЗАКЛАДКИ ВИРОБЛЕНОГО ПРОСТОРУ

Виконано аналіз джерел виходу породи та місць їх розміщення для умов шахт Західного Донбасу. Розроблено методику проведення комп'ютерного моделювання системи «гірський масив – бутава смуга – кріплення». Визначено залежність навантаження на кріплення виробки від жорсткості бутавої смуги. Запропоновано доцільні параметри бутавої смуги, що дозволяють поліпшити умови роботи кріплення.

STABILITY INCREASING OF WORKINGS WITH STOWING

Analysis of the sources of rock yield and their storage locations for Western Donbas mines is made. The methodology of the computer simulation of the system "Massif – gob pack – support" was developed. The dependence of the load on the support on the hardness of gob pack is defined. Suitable parameters of gob pack that improve service conditions of support are proposed.

ВВЕДЕНИЕ

Предшествующие и современные технологии добычи угля сопряжены с выдачей на поверхность значительного количества породы. За весь период функционирования горных предприятий на территории Украины накоплено свыше 1000 породных отвалов, содержащих более 1 млрд т породы. Эти отвалы занимают территорию около 20 тыс. га высокоплодородных украинских черноземов [1].

На территории Западного Донбасса, крупнейшего производителя энергетических углей Украины, скопилось 8 пород-

ных отвалов, которые содержат свыше 40 млн т породы. В перспективе планируется расширение трех отвалов и строительство нового.

Источниками поступления породы служат присечки кровли или почвы угольных пластов при очистной выемке, подготовительные работы и ремонт выработок.

Наибольшее количество породы поступает из очистных забоев, работающих с присечками боковых пород. В работе [2] авторами рассмотрено более 100 лав шахт Западного Донбасса, действовавших в 2005 – 2013 гг. Анализ технико-экономических показателей работы этих лав показал,

что за рассмотренный период вынимаемая мощность угольных пластов варьировалась в широких пределах – 0,9 – 1,98 м, среднегодовая вынимаемая мощность изменялась от 1,05 до 1,19 м. Полезная мощность угольных пластов на разных шахтах изменялась от 0,7 (шахта «Павлоградская») до 1,54 м (шахта «Терновская»). Среднегодовая величина присечек боковых пород в лавах составила 14 – 22 см. За рассмотренный период средняя полезная мощность разрабатываемых пластов уменьшилась на 9 см.

Другим фактором, способствующим увеличению зольности горной массы, служит выгрузка породы подготовительных забоев на угольные конвейера. Так, например, на шахте «Павлоградская» из 6-ти подготовительных забоев 5 отгружают породу на магистральные конвейеры. Протяженность выработок, пройденных в 2013 г., составила 14,0 км, а выход породы – 340,0 тыс. т.

Дополнительные объемы породы поступают при ремонте горных выработок. Высота подрывки подготовительных выработок достигает 0,5 м при ширине 4,4 м. На 1 м выработки приходится до 3,7 м³ или около 5 т породы. Если учесть, что длина подрываемых подготовительных выработок достигает 2850 м (шахта «Павлоградская», 2012 г.), объем породы от подрывки достигает 10 тыс. м³ или 14 тыс. т.

Добыча и транспортирование породы приводит к многомиллионным затратам на ее транспортирование вместе с углем конвейерами по шахте, подъем на поверхность, транспортирование на обогатительную фабрику, обогащение, транспортирование и складирование отходов обогащения в отвалы.

Помимо увеличения производственных расходов на транспортирование, подъем на поверхность важным является экологический налог за размещение отходов, который составляет 0,31 грн/т в год. Таким образом, шахты Западного Донбасса за уже отсыпанную породу платят более 12 млн грн/год. Напрашивается вопрос, а не пора ли изменять технологию добычи угля из

тонких и весьма тонких пластов с оставлением породы в выработанном пространстве.

Рассматривая место для размещения породы можно выделить два вида пространства: погашаемые выработки и выработанное пространство отработанных лав. К первым относятся магистральные (2 – 3%) и подготовительные (77 – 98%). Остаточное сечение погашаемых выработок 11 м² (без повторного использования) составляет до 80% от паспортного или 8,8 м². Остаточное сечение погашаемых выработок после повторного использования составляет до 50% от паспортного или 5,5 м². На шахтах Западного Донбасса в среднем погашается 70% выработок, среди которых 30% после повторного использования. Таким образом, в пространстве погашаемых выработок можно разместить до 74 тыс. м³ породы, что составляет 8% от общего количества выдаваемой породы на поверхность.

Второе и самое объемное место для размещения породы – выработанное пространство очистных забоев. При средней длине лав 260 м (шахта «Павлоградская»), вынимаемой мощности 1,05 м и средней длины столбов 1360 м (2013 г.) освобождается более 370 тыс. м³ пространства. А с учетом того, что одновременно отработывается до 4-х лав, объем выработанного пространства достигает 1,5 млн м³. Поэтому выработанного пространства достаточно, для того чтобы разместить всю добываемую породу.

Кроме того, размещение породы в выработанном пространстве очистных забоев позволит создать благоприятные условия для поддержания и повторного использования подготовительных выработок. Технологии закладки выработанного пространства давно созданы и успешно применяются [3].

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Угольные месторождения со слабометаморфизованными вмещающими поро-

дами имеют существенные особенности с точки зрения проявления горного давления. Напряженно-деформированное состояние (НДС) горного массива вокруг горных выработок, характерное для глубины 700 – 800 м, на шахтах Западного Донбасса проявляется уже на глубине 250 – 300 м. Поэтому при креплении горных выработок используют рамно-анкерную крепь, а шаг ее установки регулируют от 0,8 до 1 м. Это позволяет достигнуть сохранения сечения и формы выработок в допустимом диапазоне величин.

Повторное использование выработок улучшает технико-экономические показатели шахты. За время эксплуатации повторно используемые выработки претерпевают несколько периодов проявления горного давления:

- вне зоны влияния очистных работ;
- в зоне опорного давления первой лавы;
- вне зоны опорного давления пород позади забоя первой лавы;
- в зоне опорного давления второй лавы;
- вне зоны опорного давления пород позади забоя второй лавы.

Обеспечение устойчивости выработок в таких условиях требует изыскания рациональных охранных мероприятий. Одним из таких способов являются бутовые полосы. Селективная технология добычи угля с оставлением пород в выработанном пространстве лав дает возможность варьировать в широком диапазоне шириной охранной полосы, ее формой и плотностью складочного материала. Поэтому моделирование НДС системы «горный массив – бутовая полоса – крепление» позволит оптимизировать геометрические параметры полосы при изменении ее физико-механических свойств и степени уплотнения.

Для исследований был выбран 105-й бортовой штрек шахты «Павлоградская», расположенный на глубине 100 м. Исследование проводилось в несколько этапов. На первом этапе была построена и рассчитана модель горного массива с креплением и охраной в базовом варианте. На втором и

третьем этапе базовая охранный конструкция была заменена на бутовую полосу длиной 5 м с двумя вариантами ее жесткости.

Построение моделей горного массива, крепления выработки и охранных элементов выполнено в программе SolidWorks, расчет моделей выполнен в упругой постановке в среде конечно-элементарного анализа ANSYS согласно методики, приведенной в работе [4].

Структура моделей массива включает 14 породных слоев и угольных пластов. Высота моделей (по координате Y) составляет 37,4 м, ширина принята 50 м (по 25 м в каждую сторону от вертикальной оси штрека). Боковые породы представлены аргиллитами ($\sigma_{сж} \approx 15$ МПа), алевролитами ($\sigma_{сж} \approx 12 - 20$ МПа) и песчаниками ($\sigma_{сж} \approx 37 - 40$ МПа). Мощности породных слоев моделей и их механические характеристики приняты по данным геологического прогноза и литологических колонок скважин вблизи участка ведения горных работ.

Для всех моделей структура пород кровли после прохода очистного забоя смоделирована в соответствии с современными представлениями о геомеханических процессах сдвижения подработанного углевмещающего массива на пологих пластах Западного Донбасса. Позади очистного забоя в первую очередь происходит обрушение непосредственной кровли, в результате чего в выработанном пространстве образуется зона беспорядочного обрушения. В основной кровле выделяется две классических зоны – шарнирно-блокового сдвижения и плавного прогиба слоев без нарушения сплошности. Между всеми породными слоями задан контакт «трение». Коэффициент трения принят 0,4 на основании [5].

Крепежная система выработки смоделирована на основании паспорта крепления и включает крепь КШПУ-11,0 из профиля СВП-22, по одному сталеполимерному анкеру длиной 1,5 м в боках выработки

и 9 сталеполимерных анкеров длиной 2,4 в кровле выработки.

Охранная конструкция в первой модели (базовый вариант) представлена полигональной крепью и двумя рядами органичной крепи.

Физико-механические характеристики ранее приведенных элементов (породные и угольные слои, крепь, охранная конструкция) приняты на основании горно-геологических прогнозов (для пород) и свойств материалов, из которых они изго-

товлены (крепь и охранная конструкция).

Во второй и третьей моделях охранная конструкция представляет собой буттовую полосу шириной 5 м и один ряд органичной крепи, необходимый для поддержания бермы и препятствия возможных вывалов складочного материала в пространство выработки.

Физико-механические характеристики буттовой полосы приняты на основании [6] и представлены в таблице.

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БУТОВОЙ ПОЛОСЫ

Таблица

| Жесткость | E , МПа | ρ , кг/м ³ | $\sigma_{сж}$, Па | σ_p , МПа | μ |
|--------------|-----------|----------------------------|--------------------|------------------|-------|
| Минимальная | 20 | 2400 | 20 | 2 | 0,4 |
| Максимальная | 600 | | | | 0,3 |

На верхнюю грань моделей приложена нагрузка, соответствующая глубине ведения работ (за вычетом мощности близлежащих пород кровли, которые присутст-

вуют в моделях), которая составляет 2,6 МПа. Нижние грани моделей служат жесткой опорой. Изображения расчетных моделей представлены на рис. 1.

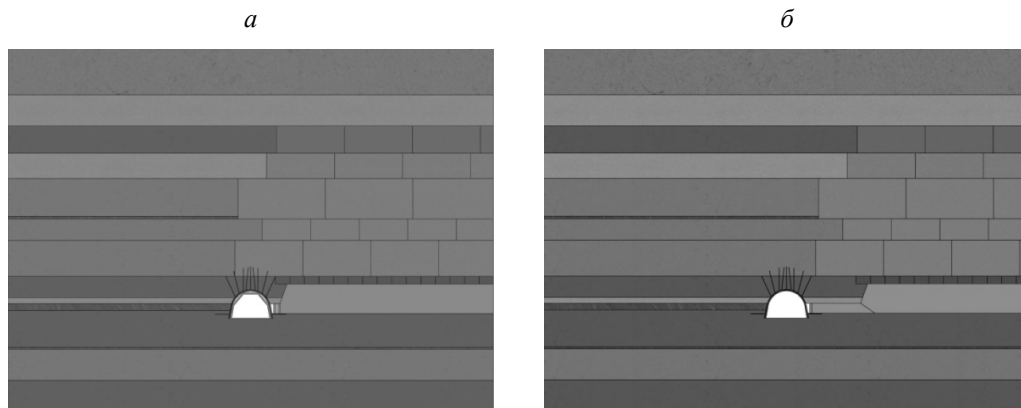


Рис. 1. Расчетные модели: а – базовый вариант; б – буттовая полоса шириной 5 м

По боковым плоскостям моделей введено условие плоской деформации, что отвечает реальному механизму деформирования массива.

Толщина моделей (по оси Z) совпадает с продольной осью выработок и составляет

0,5 м. При этом рамы и анкера разрезаны плоскостью XU по вертикальной оси профиля СВП с заданием им граничного условия «симметрия» так как в моделировании целой рамы нет необходимости.

Результат расчета первой модели представлен на рис. 2.

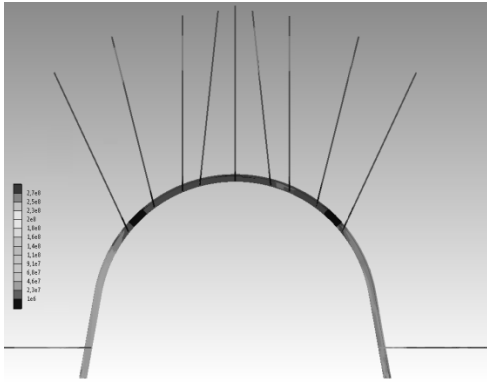


Рис. 2. Эюра интенсивности напряжений крепи, Па

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В стойке со стороны выработанного пространства наблюдается концентрация напряжений длиной 2 м, которая достигает 206 МПа, но не превышает предел текучести стали. В левой стойке также присутствует зона небольшой концентрации напряжений величиной до 134 МПа и длиной 1,9 м. Верхняк и анкера практически полностью разгружены. Охранные конструкции разгружены, что объясняется небольшой глубиной расположения выработки.

Следующим шагом проведено моделирование НДС крепи 105 б.ш. при охране выработки бутовой полосой (рис. 3).

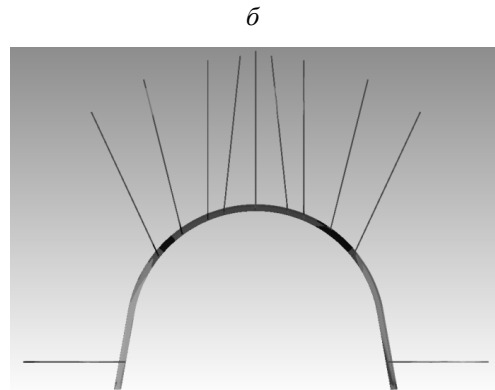
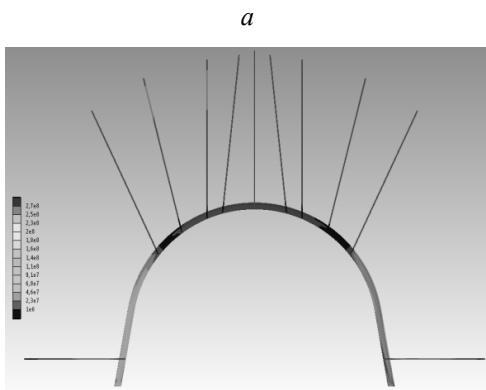


Рис. 3. Эюра интенсивности напряжений в крепи 105 б.ш. при его охране бутовой полосой разной жесткости, Па: а – минимальной; б – максимальной

В данном случае крепь выработки более разгружена, по сравнению с первым вариантом, что объясняется влиянием бутовой полосы. Интенсивность напряжений в левой стойке изменяется в пределах 80 – 100 (рис. 3, а) и 60 – 95 МПа (рис. 3, б). Верхняк крепи в обоих вариантах разгружен. Правая стойка, при меньшей жесткости бутовой полосы (рис. 3, а), имеет локальные зоны интенсивности напряжений 150 – 195 МПа, которые снижаются при увеличении жесткости бутовой полосы до значения 100 – 120 МПа.

Сравнение трех вариантов охраны выработки выполнено по следующей методике. За основу взят контур рамной крепи с исходной точкой А в нижней части левой стойки и конечной точкой Б в нижней части правой стойки (рис. 4).

Расстояние между точками 1 и 33 составило 8 м, которое было поделено на равные отрезки. В процессе обхода контура в выбранных точках были определены максимальные значения интенсивности напряжений (рис. 5).

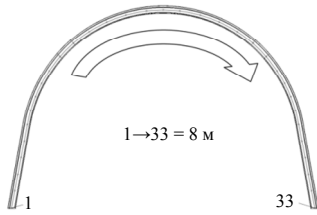


Рис. 4. К определению максимального значения интенсивности напряжений по контуру крепи

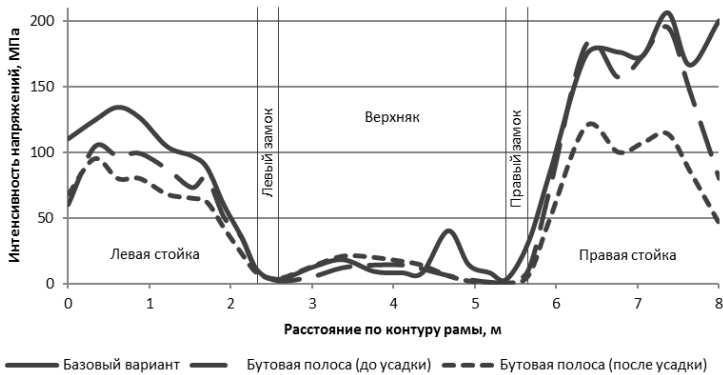


Рис. 5. Изменение интенсивности напряжений в элементах крепи

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что из одной угольной шахты Западного Донбасса на поверхность выдается около 1 млн т/год породы. Стоимость ее выдачи и размещения превышает 1,2 млн грн/год.

2. Технологии закладки выработанного пространства позволяют устранить или значительно сократить объемы поступления породы на поверхность, что снижает расходы на транспортирование, подъем, обогащение горной массы и складирование породы в отвалы. Оставление породы в шахте позволит снизить себестоимость добычи угля на 15 – 20%. Оставляемые породы предлагается использовать в качестве бутовых полос.

Исходя из результатов моделирования видно, что применение бутовой полосы для охраны выработки в условиях 105 б.ш. шахты «Павлоградская» позволяет снизить интенсивность напряжений на 20% (до усадки) и на 40% (после усадки) с сохранением необходимой устойчивости выработки.

3. Выполнено компьютерное моделирование системы «горный массив – бутовая полоса – крепление» методом конечных элементов. Определена зависимость нагрузки на крепление выработки от жесткости бутовой полосы.

4. Установлено, что охрана подготовительной выработки бутовой полосой шириной 5 м минимальной жесткости снижает нагрузку на крепь до 20%, по сравнению с охраной органной крепью. Возведение бутовой полосы максимальной жесткости позволяет снизить нагрузку на крепление до 40%.

Для улучшения условий работы крепи целесообразной и достаточной является охрана выработки бутовой полосой шириной 5 м минимальной жесткости.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bondarenko V.I. *New technique of coal mining very thin seams with leaving rock in mine* / Bondarenko V.I., Vivcharenko A.V., Yarkovych A.I. // *Szkola Eksploatacji Podziemnej*. – Krakow, Poland, 2013.

2. *К вопросу оставления породы в выработанном пространстве угольных шахт* / [В.И. Бондаренко, В.В. Русских, А.И. Яркович и др.] // *Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб.* – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – С. 19 – 24.

3. Яркович А.И. *Опыт и перспективы оставления пород в шахтах Западного Донбасса* / А.И. Яркович, А.В. Малыхин // *Розробка родовищ: щорічний наук.-техн. зб.* – Д.: ЛізуновПрес, 2013. – С. 201 – 205.

4. *Экспериментальные исследования устойчивости выемочных выработок, повторно используемых на пологих пластах Донбасса: монография* / [Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др.]. – Д.: ЛізуновПрес, 2012. – 426 с.

5. Барон Л.И. *Характеристики трения горных пород* / Л.И. Барон. – М.: Наука, 1967. – 208 с.

6. Кияшко Ю.И. *Научно-технические принципы создания высокопроизводительных технологий очистной выемки угольных пластов: дисс. ... доктора техн. наук: 05.15.02* / Кияшко Юрий Иванович. – Д., 2001. – 376 с.

ОБ АВТОРАХ

Яркович Артем Игоревич – аспирант кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.