

УДК 622.831

Е.А. СДВИЖКОВА, А.В. СОЛОДЯНКИН, доктора техн. наук, проф.,
Д.В. БАБЕЦ, канд. техн. наук, доц., С.В. МАШУРКА, инженер, О.А. КУЗЬЕВА, студентка
Национальный горный университет

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ УЧАСТКОВЫХ ВЫРАБОТОК В УСЛОВИЯХ ГП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ «ЮЖНОДОНБАССКОЕ №1»

Целью исследований является обоснование решений по обеспечению устойчивости подготовительных выработок для повторного использования. Приведены результаты исследования геомеханических процессов в приконтурном массиве выработки выемочного участка в условиях ШУ «Южнодонбасское №1». Визуальные наблюдения и численное моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива показали, что традиционный способ поддержания выработки не обеспечивает их надежную устойчивость. Рассмотрен способ крепления выработки с применением, помимо металлической крепи, анкером. На основе метода конечных элементов выполнено моделирование этапов эксплуатации выработки вне и в зоне влияния очистных работ. Выполнена оценка эффективности анкерного крепления для повышения устойчивости породных обнажений.

Ключевые слова. Штрек, лава, численное моделирование, критерий прочности, анкер

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Интенсификация горных работ на угольных шахтах требует реализации комплекса мероприятий, направленных с одной стороны на повышение надежности и безопасности труда, с другой стороны на снижение стоимости и материалоемкости технологических средств.

В этом плане повторное использование подготовительных выработок позволит существенно сократить затраты на подготовку новых добычных участков, снизит себестоимость угля и повысит безопасность труда рабочих в сложных условиях глубоких шахт.

Актуальным является этот вопрос для ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1», годовой объем добычи угля на котором составляет около 900 тыс. т. Сейчас на шахте работают три очистных забоя. Объем проведения подготовительных выработок составляет 8 км в год.

Условия залегания месторождения являются сложными. Все угольные пласты по мощности относятся к тонким и очень тонким. Вмещающие породы склонны к обрушению и пучению, а также к потере устойчивости даже при незначительном размокании. Концентрация горных работ достаточно высокая. Применяемые в настоящее время средства крепления и поддержания выработок не обеспечивают их эксплуатационного состояния.

Анализ исследований и публикаций. Вопросы поддержания выработок при отработке угольных запасов рассматривались многими научными школами и организациями. В настоящее время имеется целый ряд решений, позволяющих, в отдельных случаях, надежно и эффективно проводить отработку угля с сохранением подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии [1-4 и др.]. Однако в каждом конкретном случае необходимо учитывать специфику горнотехнических факторов и горно-геологические условия, что предполагает проведение комплекса исследований для обоснования соответствующих параметров способа.

Поддержание выработки для повторного использования представляет очень сложную в научном и техническом плане задачу. Такая выработка в процессе эксплуатации последовательно испытывает различные по направлению и величине сочетания нагрузок. Поэтому, конструкция крепи, элементы усиления и способы охраны должны эффективно работать на всех этапах: вне зоны влияния очистных работ - до подхода очистного забоя; в зоне влияния первой лавы; на сопряжении с первой лавой; в зоне влияния второй лавы. На каждом этапе должны быть приняты соответствующие рассматриваемым условиям системы крепления.

Постановка задачи. Целью проводимых исследований является обоснование решений по обеспечению устойчивости подготовительных выработок для повторного использования в условиях шахты «Южнодонбасская №1».

Результаты исследований, приведенные в данной статье, посвящены рассмотрению первого этапа эксплуатации выработки - после ее проведения и до подхода очистного забоя, что в условиях слабых вмещающих пород, склонных к пучению является актуальным вопросом.

Опыт поддержания выработок в сложных условиях эксплуатации свидетельствует, что эффективным способом обеспечения их устойчивости является применение рамно-анкерной кре-

пи, с установкой анкеров сразу после проведения выработки, что позволяет предупредить расслоение приконтурного массива, большие деформации и смещения пород [5, 6].

В качестве метода исследований принято численное моделирование с использованием современных программных комплексов.

Изложение материала и результаты. В качестве объекта исследований выбран выемочный участок 12-й западной лавы пл. C_{18} (рис. 1). Порядок отработки - обратным ходом. Длина лавы 230 м. Длина выемочного участка 1050 м. Вынимаемая мощность пласта - 1,09 м.

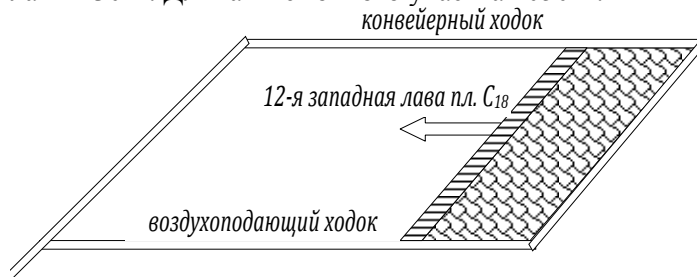


Рис. 1. Выкопировка с плана горных работ выемочного участка 12-й западной лавы пл. C_{18} ШУ «Южнодонбасское №1»

Исходные данные к расчетам следующие. Начальное поле напряжений, создаваемое весом вышележащих пород для заданной глубины: $\sigma_y = \gamma H = 10$ МПа.

Здесь $\gamma = 25$ кН/м³ – объемный вес пород, H – глубина разработки, принятая равной 400 м на данном горизонте. Граничные условия задаются в перемещениях – все границы жестко закреплены. Граница выработок свободна от напряжений. Физико-механические свойства вмещающих пород приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород				
Название характеристики	Уголь	Песчаник	Алевролит	Аргиллит
Модуль упругости (Юнга), МПа	9200	5700	2900	3000
Коэффициент Пуассона	0,26	0,25	0,25	0,25
Прочность на сжатие, МПа	20	50	25	23

Вычислительная программа «Phase-2» [7], реализующая метод конечных элементов, позволяет имитировать поэтапное образование выработок в неупругой среде путем изменения граничных условий, учитывая на каждой последующей стадии в качестве начальных деформации, которые реализованы на предыдущей стадии формирования напряженно-деформированного состояния (НДС).

Моделировалось несколько стадий для определения НДС области массива, включающего конвейерный ходок и 12-ю западную лаву пл. C_{18} .

На рис. 2 показана расчетная схема к решению плоской задачи о НДС породного массива.

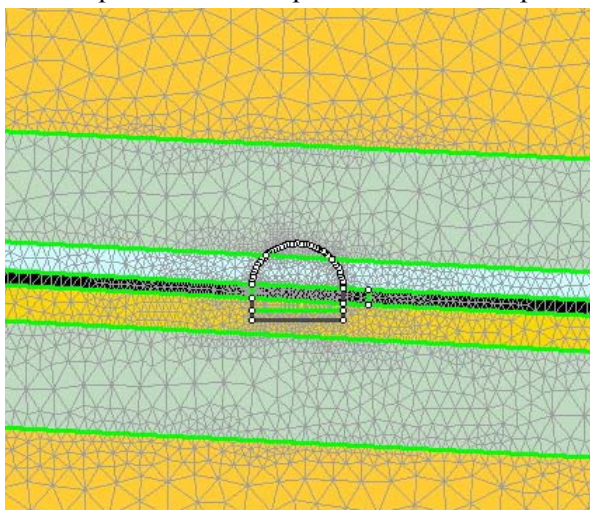


Рис. 2. Расчетная схема - моделирование нетронутого породного массива

Изначально моделировалась одиночная выработка (конвейерный ходок 12-й западной лавы). На следующем этапе в расчетную схему задачи включается система анкеров, состоящая из двух спаренных анкеров длиной 2,4 м, установленных через металлический подхват в районе замков крепи в кровлю выработки. Сталеполимерные анкера имитировались средствами «Phase-2» как стальные стержни, закрепленные в массиве полимером.

Применяемый метод исследований позволяет определить область разрушенных пород (неупругая стадия деформирования) которые и

создают нагрузку на крепь выработок. Найти эту область можно на основе принятой теории прочности.

Наиболее апробированным и широко применяемым в прикладных программных пакетах, является критерий прочности Хоека-Брауна, который позволяет оценить степень разрушения пород в рассматриваемой точке среды от совокупного воздействия нормальных и касательных напряжений, учитывая при этом природную и техногенную нарушенность пород.

Вычислительная программа «Phase-2» содержит модуль, реализующий проверку обобщенного критерия Хоека-Брауна, который имеет вид

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

где σ_1 и σ_3 - максимальные и минимальные напряжения в массиве, m_b - константа Хоека-Брауна для породного массива, s и a - постоянные величины, учитывающие генезис и состояние пород, σ_{ci} - предел прочности на одноосное сжатие массива пород в интактном состоянии.

Критериальное соотношение (1) проверяется в каждой точке массива и таким образом выявляется зона разрушения, образующаяся в результате концентрации напряжений в окрестности выработок. На рис. 3 показана ЗНД в соответствии с критерием Хоека-Брауна на стадии формирования выработки и показаны численные значения высоты зоны.

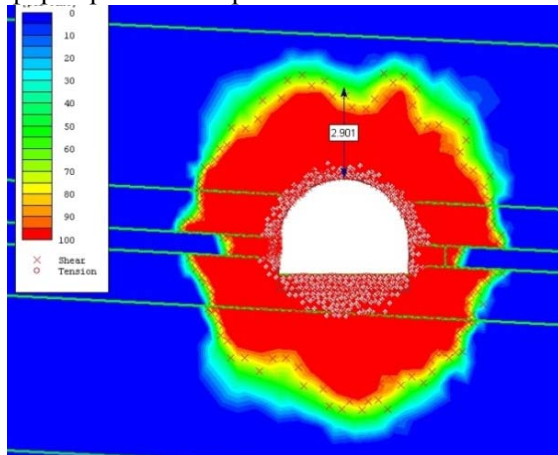


Рис. 3. Зона разрушения на 2-й стадии (проведение выработки)

Вес пород внутри зоны разрушения, приходящийся на 1 м выработки, а, следовательно, и нагрузку на крепь можно определить как произведение:

$$P = \gamma \cdot S \cdot k_d.$$

Здесь S - площадь пород, охваченных неупругими деформациями; k_d - коэффициент динамичности, принимаемый равным 2.0.

Из рис. 3 видно, что при проходке конвейерного ходка при отсутствии влияния очистных работ образуется зона разрушения высотой 3 м, что,

при ширине выработки 4,2 м составит площадь разрушения $12,6 \text{ м}^2$, а вес пород, создающий нагрузку на 1 м выработки $P=63 \text{ т}$. Такая нагрузка сопоставима с несущей способностью крепи КМП-АЗР3-13,4 ($P_{\text{нес}} = 55.3 \text{ т/раму}$) с шагом установки 0,8 м. Создаваемый ею отпор составляет $55,3/0,8 = 69,1 \text{ т/м}$ [8].

Таким образом, вне зоны влияния лавы нагрузка со стороны массива на конвейерный ходок вполне компенсируется установкой металлической крепи КМП-АЗР3-13,4. Перемещения контура выработки показаны на рис 4.

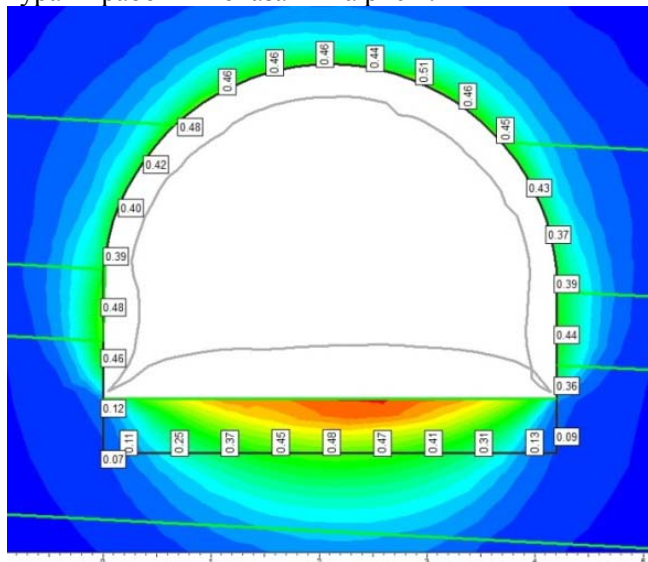


Рис 4. Свободные перемещения контура выработки без крепи

Для их определения использована упруго-пластическая модель деформирования, основанная на соотношениях теории прочности Хоека-Брауна. Значения перемещений (0,45 м в почве, 0,44 м в кровле, 0,36 м в боках) соответствуют значениям перемещений в реальных условиях 12-й западной лавы пл. С₁₈. Совпадение расчетных и наблюдаемых значений достигнуто путем корректировки констант s, a, m входящих в критерий (1) и учитывающих генезис и структуру породного массива на основе анализа геологической информации и визуального обследования структуры массива на участках породных обнажений.

Сопоставление расчетных величин и реального состояния выработки показывает, что деформационная модель среды в рамках программы «Phase-2» откалибрована и на ее основе можно выполнять прогноз проявлений горного давления в более сложных условиях.

Под воздействием опережающей волны горного давления смещения пород в конвейерном ходке интенсифицируются, особенно в почве. Поднятие почвы делает невозможным эксплуа-

тацию выработки. Поэтому до подхода лавы проводится подрывка пород. Этот процесс смоделирован путем увеличения сечения выработки на величину поднятия почвы. После подрывки почвы на 0,5 м высота зоны разрушения вокруг выработки увеличилась на 0,05 м.

В этот момент для стабилизации смещений и подготовки выработки к подходу лавы устанавливаются сдвоенные анкеры в районе замков арочной крепи. Поскольку анкеры устанавливаются уже после формирования зоны разрушения вокруг выработки, их установка оказывает влияние только на перемещения приконтурных пород. На рис. 5 показаны смещения пород на расстоянии 0,5 м от контура после подрывки до установки анкеров, а на рис. 6 – после установки анкеров. Введение двух сдвоенных анкеров стабилизирует развитие перемещений в непосредственной близости от их установки. Смещения в окрестности выработки на расстоянии 0,5 м от контура уменьшились на 50% (от 0,13 до 0,06 м).

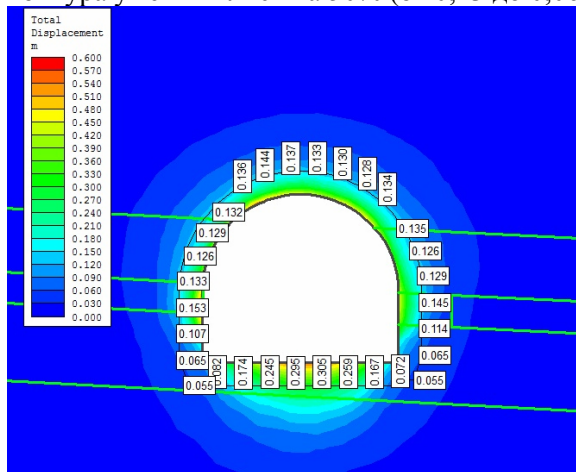


Рис. 5. Смещения пород в выработке после подрывки до установки анкеров

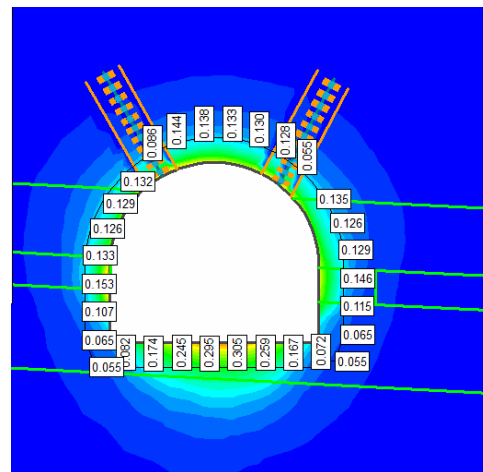


Рис. 6. Смещения пород в выработке после установки анкеров

При подходе лавы к конвейерному ходу начинает действовать опережающая волна горного давления и зона разрушения увеличивается, тем самым и увеличивается нагрузка на крепь (рис. 7).

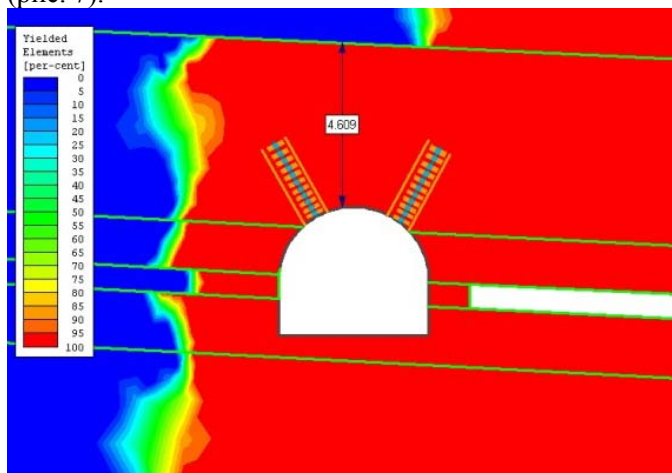


Рис. 7. Зона разрушения на 5-й стадии (выработка в окне лавы)

Непосредственно на сопряжении выработки с лавой (выработка в окне лавы) зона разрушения охватывает большую область пород и над подготовительной и над очистной выработкой. Площадь зоны разрушения непосредственно над конвейерным штреком составляет 19,3 м². Нагрузка на крепь (с учетом коэффициента динамичности, равным 2,0) достигает 96,5 т/м.

Для создания дополнительного опоры устанавливается деревянная ремонтная под каждую арку. Несущая способность деревянной стойки диаметром 0,24 м составляет 30 т. Общий отпор системы крепи КМП-А3Р3 с шагом 0,8 м составит при этом $P_{н.общ} = (55+30)/0,8 = 106,6$ т/м. Следовательно, используемый на настоящий момент способ крепления конвейерного хода 12-й лавы обеспечивает функциональную устойчивость выработки при шаге крепи 0,8 м. При этом следует отметить, что запас прочности крепи составляет $k_{зан} = 106,6/96 = 1,11$. Такая незначительная величина запаса прочности не позволяет считать данный способ надежным при ухудшении условий, а также уменьшать плотность крепи для снижения затрат.

Увеличить несущую способность крепи хода можно путем установки дополнительных анкеров в местах наибольших деформаций контура. В частности, деформации боков выработки

могут быть стабилизированы путем установки анкеров под пласт под углом 25° к горизонту.

По современным представлениям установка анкеров даже в непосредственной близости от забоя подготовительной выработки практически не способствует уменьшению ЗНД, но блокирует развитие смещений пород.

Таким образом, основной величиной, которая показывает эффективность анкерной системы, являются смещения пород приконтурной зоны.

При попадании сечения ходка в окно лавы наличие установленных анкеров стабилизируют перемещения пород на уровне 0,3-0,4 м на контуре выработки со стороны нетронутого массива.

Со стороны лавы смещения развиваются до 0,6-0,7 м, что говорит о необходимости дополнительных мер крепления и охраны в районе бровки.

Результаты показывают, что установка анкеров в кровле и почве позволяет снизить смещения в боках выработки на 45 %, в кровле - на 35% (рис. 8,9).

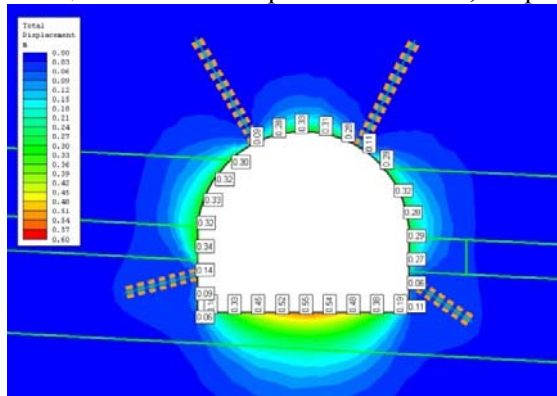


Рис. 8. Смещения контура выработки при наличии анкеров до подхода лавы

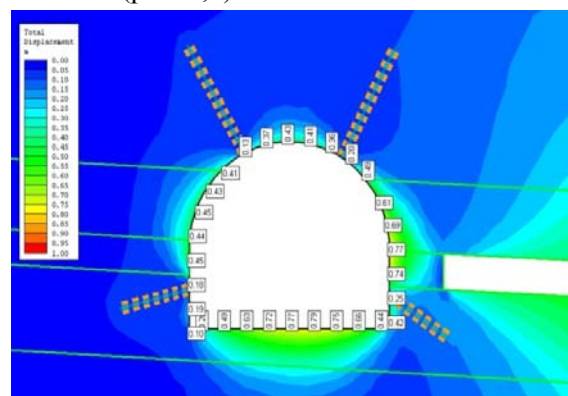


Рис. 9. Смещения контура выработки, закрепленной анкерами при подходе лавы

Выводы и направления дальнейших исследований. Упруго-пластическая деформационная модель породной среды, реализованная лицензионной программой «Phase-2», адаптирована к реальным условиям 12-й лавы ШУ «Южнодонбасское №1».

Моделирование последовательных этапов эксплуатации конвейерного ходка 12-й лавы, показало, что при существующем способе крепления запас прочности крепи минимален, что не позволяет снизить металлоемкость крепи.

Введение анкерной крепи оказывает положительный эффект при стабилизации смещений вокруг выработки.

Дальнейшим совершенствованием системы крепления может быть применение канатных анкеров, хорошо зарекомендовавших себя в зоне влияния очистных работ.

Список литературы

1. Демченко А.И., Кулассек М. Инженерное обеспечение устойчивого проветривания высоконагруженных лав в горно-геологических условиях пласта d_4 шахты «Красноармейская-Западная № 1» // Глюкауф. – 2003. – № 4. – С. 45-50.
2. Скипочка С.И., Усаченко Б.М., Куклин В.Ю. Элементы геомеханики углепородного массива при высоких скоростях подвигания лав. – Днепропетровск: ЧП «Лира ЛТД», 2006. – 248 с.
3. Байсаров Л.В. Новые условия хозяйствования требуют новых технологических решений // Уголь Украины. – 2007. – № 7. – С. 3-6.
4. Ильяшов М.А. Перспективы использования комбинированного способа охраны сопряжений лав // Уголь Украины. – 2008. – № 4. – С. 8-11.
5. Shashenko A., Solodyankin A., Gapieiev S. Numerical simulation of the elastic-plastic state of rock mass around horizontal workings // Archives of mining sciences. Archiwum gornictwa. Polish Academy of science, Krakow. 2009. Vol. 54. No 2. P. 341-348.
6. Shashenko A., Solodyankin A., Gapieiev S. Bifurcational model of rock bottom heaving in mine workings // New techniques and technologies in mining. Proceedings of the school of underground mining, Dnipropetrovsk/ Yalta, Ukraine, 12-18 september 2010. p. 71-76.
7. Phase². Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 // Режим доступа: <https://www.roscience.com/products/3/Phase2>.
8. Шашенко А.Н., Пустовойтенко В.П. Механика горных пород. – Киев: Новый друк, 2003. – 399 с.

Рукопись поступила в редакцию 05.05.15.