

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ВЫРАБОТКИ В УСЛОВИЯХ БОЛЬШИХ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИКОНТУРНОГО МАССИВА ПОРОД

А.В. Солодянкин, И.В. Дудка, С.В. Маиурка, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина

Для условий шахты «Южнодонбасская №1», выполнен комплекс натурных исследований, разработана новая численная модель геомеханической системы «крепь выработки-массив», которая позволила изучить деформационные процессы, связанные с пучением пород почвы и их подрывкой, а также выбрать рациональные параметры анкерной крепи для обеспечения рабочего состояния выработки в зоне влияния первой лавы.

Добыча полезных ископаемых неизбежно связана с увеличением глубины разработки. При этом существенно возрастает горное давление, ухудшаются условия эксплуатации выработок, что требует значительного роста затрат на ремонтные работы, приводит к повышению себестоимости добываемого сырья и снижению рентабельности предприятий.

В настоящее время на глубоких шахтах Украины объем перекрепляемых выработок достигает 50% по отношению к пройденным, а отремонтированных – в 1,7 раза превышает протяженность пройденных. При этом более 40% выработок ремонтируется еще до сдачи в эксплуатацию, 52% действующих выработок деформировано. Ухудшение состояния выработок из-за процесса пучения составляет 45% от общего объема деформированных [1].

Часто в капитальных выработках возникает необходимость проведения многократных ремонтов, а в условиях глубоких шахт Донбасса при столбовой системе разработки пластов, кратность ремонтов в подготовительных выработках составляет 2..3 и более.

Одной из весомых составляющих себестоимости угля являются затраты на поддержание и ремонт выработок. Повышение устойчивости выработок с целью их повторного использования при отработке выемочных столбов, позволяет уменьшить общее количество поддерживаемых выработок, увеличивает концентрацию горных работ и, таким образом, снижает затраты на добычу угля.

Целью исследований, результаты которых изложены в статье, является обоснование рациональных параметров крепи, обеспечивающей эксплуатационное состояние выработки и возможность ее повторного использования для отработки второй лавы.

В качестве объекта исследований выбран выемочный участок 12-й западной лавы пласта C_{18} шахты «Южнодонбасская №1» (рис. 1).

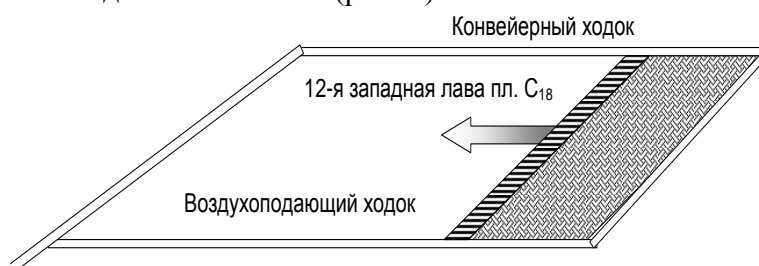


Рис. 1. Выкопировка с плана горных работ выемочного участка 12-й западной лавы

Порядок отработки выемочного столба – обратным ходом. Длина лавы 230 м. Длина выемочного участка 1050 м. Мощность пласта – 1,09 м. Условия залегания месторождения являются сложными. Вмещающие породы склонны к обрушению, пучению и потере прочности при размокании. Вследствие этого, при отработке 12-й западной лавы пласта C_{18} для поддержания конвейерного ходка и повторного его использования проводится три подрывки пород почвы и перекрепление выработки. Причем первая подрывка почвы выполняется еще до подхода первой лавы [2]. Обобщенные результаты измерений, выполненных в выемочной выработке, приведены на рис. 2.

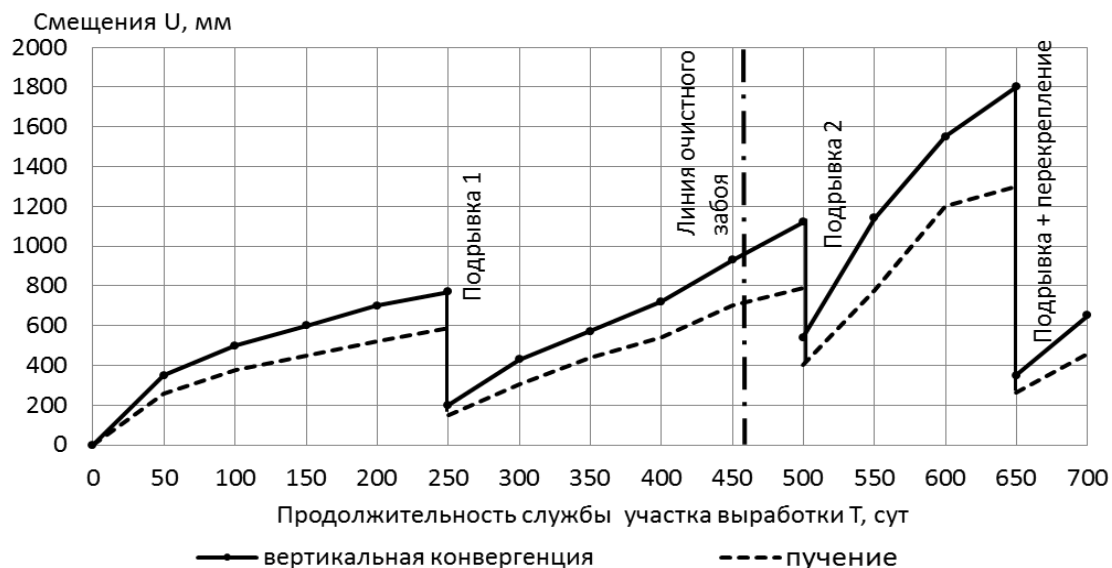


Рис. 2. Сводный график смещений породного контура в конвейерном ходе

С учетом большого объема выполняемых ремонтных работ, поддержание конвейерного хода таким способом очень дорого. Кроме того, такая технология сохранения выработки абсолютно не приемлема по геомеханическому фактору.

Как известно, на глубоких шахтах пучение является следствием деформационных процессов, охватывающих весь приконтурный массив в окрестности выработки, и, как показано в [3], является признаком большой глубины разработки, при которой масштабы смещений контура выработки и разрушений пород весьма значительны по величине.

Подрывка почвы интенсифицирует пучение, приводит к снижению устойчивости выработки, нарушает равновесие окружающего массива пород. Скорость пучения после подрывки возрастает в несколько раз. Опыт ведения горных работ показывает, что после 2...3-х подрывок, выработку обычно перекрепляют [4].

Последствия этого технологического процесса в выработках подтверждаются результатами исследований пучения, приведенных в [5]. Так, установлено, что коэффициент пластического разрыхления массива пород β вокруг выработки линейно возрастает с увеличением количества подрывок и составляет: после первой подрывки $\beta = 1,12$; после второй $\beta = 1,25$; после третьей $\beta = 1,33$. Также показано, что после вспучивания пород в выработке, деформационные процессы в большей степени затрагивают породы кровли, увеличивая размер области разрушенных пород в 2 раза.

Таким образом, для сохранения устойчивости выработки и снижения ее стоимости необходимо применять такие конструкции крепи и мероприятия, которые уменьшат смещения породного контура, и позволят за весь срок службы выработки выполнять не более одной подрывки.

В зависимости от степени капитальности выработки для этих целей применяют:

- для выработок с длительным сроком службы и сложными условиями поддержания – замкнутые конструкции крепей;
- для основных подготовительных выработок – комбинированные конструкции крепей на базе рамной металлической крепи с анкерами, тампонажем закрепного пространства и другими способами повышения устойчивости;
- для участков выработок со сроком эксплуатации 1,5...2 года – рамно-анкерные крепи.

Геомеханически обоснованная и экономически целесообразная эксплуатация выработки будет в том случае, если в течение ее срока службы проводится не более одной подрывки, а смещения кровли не приведут к перекреплению выработки.

Рассмотрим возможность повышения устойчивости и снижения стоимости поддержания конвейерного хода 12-й западной лавы для его сохранения и повторного использования. Как было показано выше, эффективным способом обеспечения устойчивости выработок является

применение рамно-анкерной крепи, с установкой анкеров сразу после проведения выработки. Это позволит предупредить расслоение приконтурного массива, большие деформации и смещения пород.

Первой задачей в этом направлении будет определение такого количества анкеров, при котором смещения пород почвы не вызовут необходимости подрывки пород до подхода первой лавы. Опыт эксплуатации показывает, что величина пучения на сопряжении с лавой в этом случае не должна превышать $U_{п} \leq 0,4$ м. Смещения пород кровли не должны превышать величину податливости крепи, равную для типовых трехзвенных конструкций 300 мм.

Выполним численное моделирование поведения геомеханической системы «крепь выработки-массив» для рассматриваемых условий отработки угля на шахте «Южнодонбасская №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, $H = 400$ м – глубина разработки. Граничные условия задаются в перемещениях – все границы жестко закреплены. Граница выработок свободна от напряжений. Физико-механические свойства вмещающих пород приведены в таблице 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород

Название показателя	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

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

Первый этап расчетов был направлен на адаптацию деформационной модели породного массива и расчетного алгоритма к реальным свойствам пород и условиям эксплуатации выработок, т.е. осуществлялась «калибровка» модели и вычислительной процедуры. На рис. 3 показана расчетная схема к решению плоской задачи о НДС породного массива.

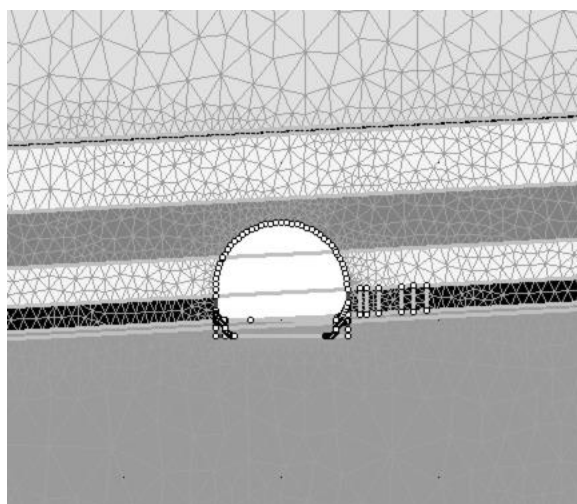


Рис. 3. Расчетная схема для моделирования нетронутого породного массива

Изначально моделировалась одиночная выработка (конвейерный ходок) в нетронутом массиве пород. Для оценки состояния выработки в заданных условиях рассматривались варианты с пучением пород почвы и с их подрывкой.

На следующем этапе в расчетную схему задачи включалась система стандартных сталеполлимерных анкеров длиной 2,4 м. Сталеполлимерные анкера имитировались средствами «Phase-2» как стальные стержни, закрепленные в массиве полимером.

Применяемый метод исследований позволяет определить смещения контура выработки и

область разрушенных пород, которые и создают нагрузку на крепь. Найти эту область можно на основе принятой теории прочности.

Хорошо апробирован и широко применяем в прикладных программных пакетах критерий прочности Хоека-Брауна, который позволяет оценить степень разрушения пород в исследуемой точке среды от совокупного воздействия нормальных и касательных напряжений, учитывая при этом природную и техногенную нарушенность породного массива.

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 массива пород, 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. 4, а показана зона неупругих деформаций (ЗНД) в соответствии с критерием Хоека-Брауна на этапе эксплуатации выработки до подхода первой лавы, на рис. 4, б показаны перемещения контура выработки.

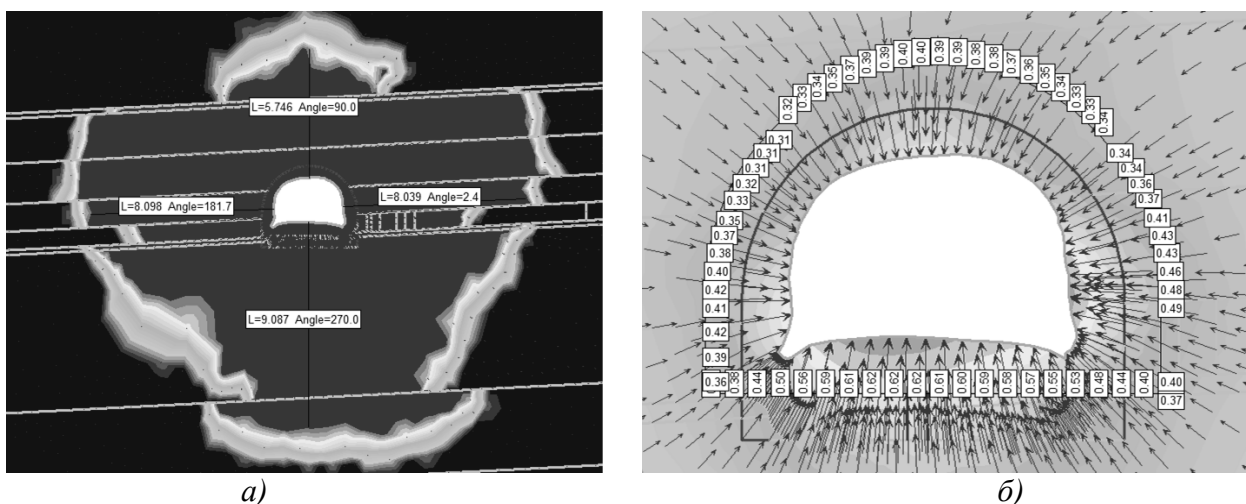


Рис. 4. Результаты численного моделирования одиночной выработки вне зоны влияния очистных работ: а – зона разрушенных пород (ЗНД); б – перемещения на контуре выработки

Полученные значения перемещений (0,69 м в почве, 0,39 м в кровле, 1,02 м в боках) соответствуют величине перемещений в реальных условиях эксплуатации конвейерного ходка 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 выработки.

Пучение почвы делает невозможным эксплуатацию выработки. Поэтому до подхода лавы проводится подрывка пород. Этот процесс смоделирован путем «выемки» пород в выработке на величину поднятия почвы. На рис. 5 показаны смещения пород после проведения подрывки почвы. Подтверждением отрицательного влияния подрывки пород является резкое увеличение площади разрушенных пород вокруг выработки – на 15,5 м². Сопоставление расчетных смещений контура 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 для других ситуаций и типов крепи. На этапе до подхода первой лавы в качестве элементов усиления будут использованы анкера. Расчетная схема для решения этой задачи показана на рис. 6.

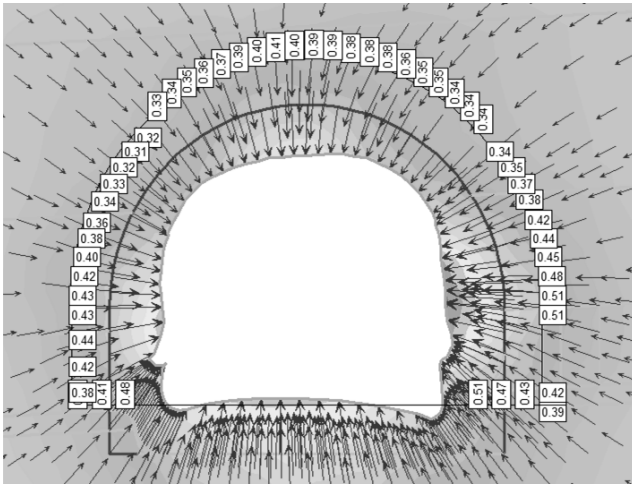


Рис. 5. Перемещения на контуре выработки после подрывки пород почвы

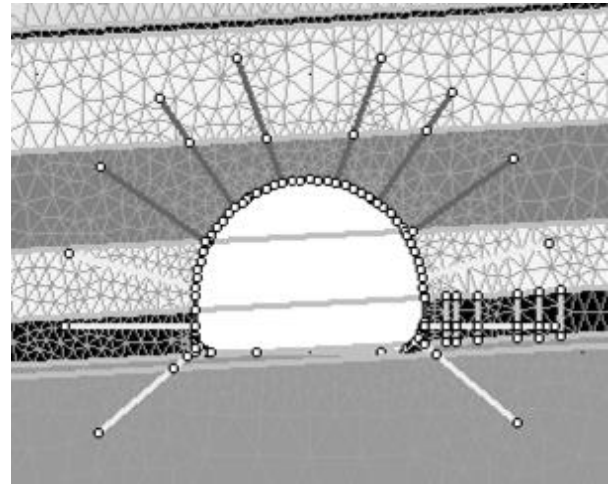
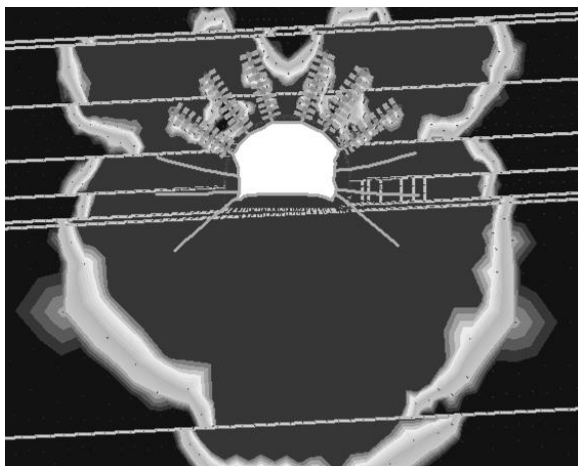


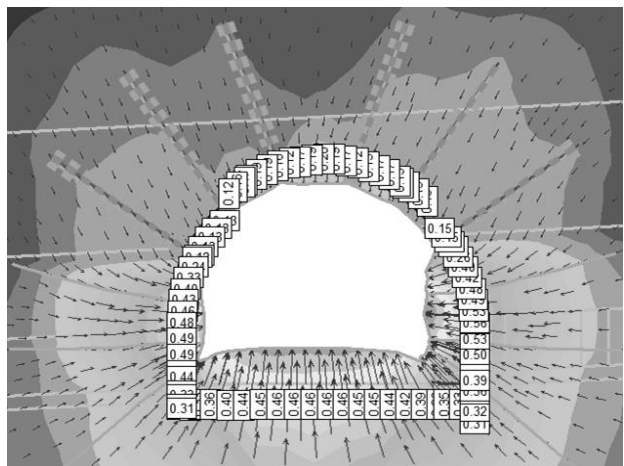
Рис 6. Расчетная схема для моделирования системы анкерной крепи

Условием сохранения нормального состояния выработки при проходе первой лавы являются смещения пород почвы на величину не более 0,4 м, при котором подрывка пород не требуется. Однако, в отличие от рассмотренных условий, на данной стадии необходимо учесть влияние лавы, которая вызывает интенсификацию смещений пород, особенно в почве. Для учета влияния опорного давления впереди движущегося забоя лавы вводится так называемый коэффициент пригрузки $K_{np} = 1,3$, изменяются условия на вертикальной границе исследуемой области. Величина коэффициента K_{np} обоснована из рассмотрения 3D модели шахтного поля в [6].

На рис. 7 показаны результаты моделирования при установке 6 анкеров в своде выработки. Введение этих анкеров снижает развитие перемещений перед подходом лавы: в кровле – на 20 см, в боках – на 8...11 см, в почве – на 19 см ($U_{п} = 50$ см). Очевидно, что установка анкеров только в сводчатой части позволяет существенно снизить перемещения в кровле выработки. Для снижения пучения пород почвы необходимо увеличить зону укрепленного приконтурного массива за счет расположения анкеров по всему контуру выработки.



а)



б)

Рис. 7. Результаты численного моделирования выработки с анкерной крепью в зоне влияния очистных работ: а – зона разрушенных пород (ЗНД); б – перемещения на контуре выработки

Результаты моделирования системы анкерной крепи с различным количеством анкеров приведены на рис. 8.

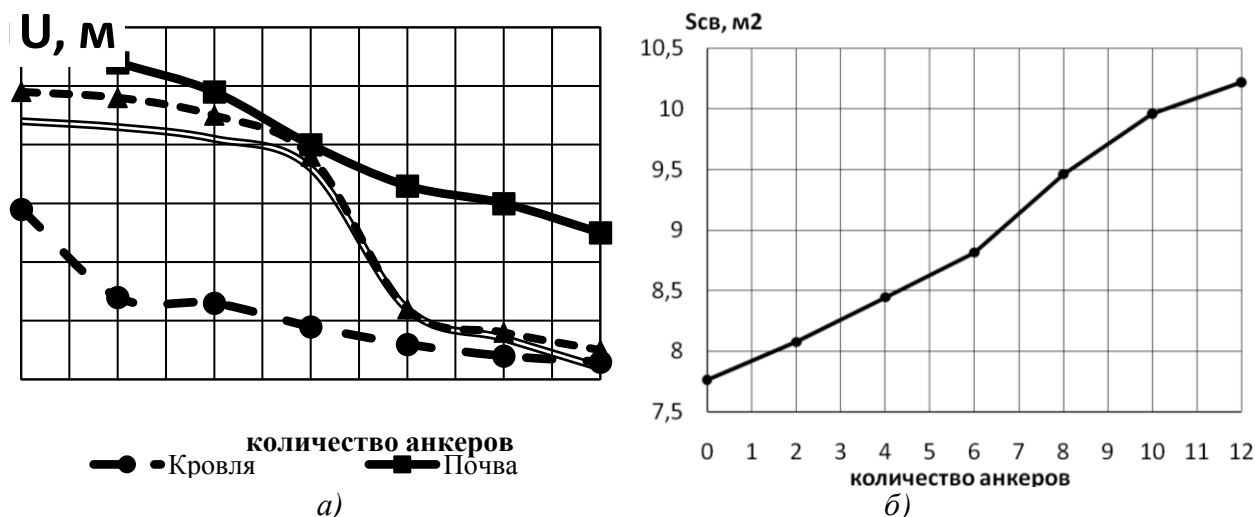


Рис. 8. Влияние количества установленных в выработке анкеров: а – на изменение величины смещений контура; б – на изменение площади поперечного сечения

Ограничение смещений пород в почве до требуемой величины достигается при 10 анкерах – 40 см и при 12 анкерах – 35 см. При этом, если сечение выработки при проходке составляло $S_{св} = 13,4 \text{ м}^2$, а на сопряжении с лавой при схеме крепления, принятой на шахте $S_{св} = 7,7 \text{ м}^2$ (57%), то при рамно-анкерной крепи сечение составляет: при 10 анкерах $S_{св} = 9,9 \text{ м}^2$ (74%), при 12 – $S_{св} = 10,2 \text{ м}^2$ (76%). Это позволит обеспечить достаточную для нормальной работы площадь поперечного сечения выработки на сопряжении «лава-штрек» без проведения на этом этапе подрывки пород почвы.

Выводы. Для условий шахты «Южнодонбасская №1» выполнен комплекс натуральных и численных исследований, которые позволили установить закономерности протекания деформационных процессов в приконтурном массиве пород. По полученным результатам обоснована рациональная конструкция крепи, позволяющая существенно снизить смещения на контуре выработки и предупредить многократные подрывки пород почвы. Вторым условием возможности повторного использования подготовительной выработки при отработке второй лавы, является обоснование параметров охранной полосы, позволяющей обеспечить ее эксплуатационное состояние на сопряжении «лава-штрек», что требует проведения соответствующего комплекса исследований.

Список литературы

1. Овчинников В.Ф., Дротик В.А., Иваненко А.М. Влияние усиленной анкерной крепи и охранной бутовой полосы на устойчивость пластовой выработки // Уголь Украины. – 2006. – № 5. – С. 17-18.
2. Шахтные исследования геомеханических процессов в окрестности участков выработок ГП «Шахтоуправление «Южнодонбасское №1» / А.В. Солодянкин, А.Е. Григорьев, А.В. Халимендик, С.В. Машурка // Геотехнічна механіка. – Дніпропетровськ: ІГТМ НАН України. – 2015. – Вип. №123. – С. 87-98.
3. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. – Днепропетровск: ЛизуновПресс, 2012. – 384 с.
4. Литвинский Г.Г. Механизм пучения пород почвы подготовительных выработок // Уголь. – 1987. – № 2. – С.15-17.
5. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Смирнов А.В. Пучение пород почвы в выработках угольных шахт. – Днепропетровск: ООО «ЛизуновПресс», 2015. – 256 с.
6. Shashenko A.N., Sdvizhkova E.A. Analysis of failure criterions and estimation of scale effect in rocks // New challenges and Visions for mining 21-st World Mining Congress, Poland. – 2008. – P. 103-110.