

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УЧАСТКОВЫХ ВЫРАБОТОК
ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ
ГП «ШАХТОУПРАВЛЕНИЕ «ЮЖНОДОНБАССКОЕ №1»****А. В. Солодянкин, С. В. Машурка, И. В. Дудка, О. А. Кузяева**

Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»

просп. К. Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: alex.solodyankin@mail.ru

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 «Южнодонецкое №1». Визуальные наблюдения и численное моделирование напряженно-деформированного состояния породного массива показали, что традиционный способ поддержания выработки не обеспечивает их устойчивость. Рассмотрен способ крепления выработки с применением, помимо металлической крепи, анкеров. 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: ходок, лава, численное моделирование, критерий прочности, анкер

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ ДІЛЬНИЧНИХ ВИРОБОК
ДЛЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В УМОВАХ
ДП «ШАХТОУПРАВЛІННЯ» ПІВДЕННОДОНБАССЬКЕ №1 »****О. В. Солодянкин, С. В. Машурка, И. В. Дудка, О. О. Кузяева**

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. К. Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: alex.solodyankin@mail.ru

Метою досліджень є обґрунтування рішень щодо забезпечення стійкості підготовчих виробок для повторного використання. Наведені результати досліджень геомеханічних процесів в приконтурному масиві виробки виїмкової ділянки в умовах ШУ «Південнодонецьке №1». Візуальні спостереження та чисельне моделювання напружено-деформованого стану породного масиву показали, що традиційний спосіб підтримки виробки не забезпечує їх надійну стійкість. Розглянутий спосіб кріплення виробки із застосуванням, крім металевого кріплення, анкерів. На основі методу скінчених елементів виконано моделювання етапів експлуатації виробки поза і в зоні впливу очисних робіт. Виконана оцінка ефективності анкерного кріплення для підвищення стійкості породних оголень.

Ключові слова: ходок, лава, чисельне моделювання, критерій міцності, анкер

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Увеличение глубины разработки и интенсификация горных работ на угольных шахтах требуют реализации комплекса мероприятий, направленных на повышение надежности и безопасности труда, а

также на снижение стоимости и материалоемкости технологических средств. В этом плане повторное использование выработок при выемке угля позволит существенно сократить затраты на подготовку новых добычных участков, снизит себестоимость угля, но потребует обоснования рациональных параметров систем крепи для шахт со сложными геомеханическими условиями разработки.

Актуальным является этот вопрос для Шахтоуправления «Южнодонбасское №1», годовой объем добычи угля на котором составляет 900 тыс. т. В настоящее время на шахте работают 3 очистных забоя. Способ подготовки – погоризонтный с системой разработки длинными столбами по восстанию. Отработка пластов производится в нисходящем порядке. 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, пучению и к потере устойчивости даже при незначительном размокании. Применяемые в настоящее время средства крепления и поддержания выработок не обеспечивают их эксплуатационного состояния.

Решением проблемы поддержания выработок при добыче угля занимались многие ученые и организации [1, 2 и др.]. Сегодня имеется целый ряд решений, позволяющих, в отдельных случаях, обеспечивать устойчивость подготовительных выработок в эксплуатационном состоянии с повторным их использованием. Однако для обоснования рациональных параметров систем крепи в каждом конкретном случае необходимо учитывать специфику горнотехнических и горно-геологических условий, что требует проведения комплекса исследований.

Задача обеспечения устойчивости выработки для повторного использования является очень сложной в научном и техническом плане. Такая выработка в процессе эксплуатации последовательно испытывает различные по направлению и величине сочетания нагрузок. Поэтому, конструкция крепи и элементы охраны выработки должны эффективно работать на всех этапах подготовки и отработки пласта: вне зоны влияния очистных работ; в зоне влияния первой лавы; на сопряжении с первой лавой; в зоне влияния второй лавы.

Целью данной работы является обоснование рациональных параметров систем крепи для обеспечения устойчивости подготовительных выработок и повторного их использования в условиях ШУ «Южнодонбасское №1».

МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Для предварительного мониторинга были выбраны выработки подготовки и отработки 12-й западной лавы (рис. 1). Выемочный участок 12-й западной лавы пл. C_{18} отрабатывается обратным ходом, длинным столбом по восстанию пласта. Длина лавы 230 м. Длина выемочного участка 1050 м. Вынимаемая мощность пласта – 1,09 м.

Основными подготовительными выработками 12-й западной лавы пл. C_{18} , являются повторно используемый воздухоподающий ходок 14-й западной лавы, погашаемый за очистным забоем и конвейерный ходок 12-й лавы, который сохраняется для выдачи исходящей струи воздуха и отработки соседней лавы, ввод которой предусматривается через 2...4 года после отработки существующей.

По паспорту обе подготовительные выработки закреплены крепью КМП-А3/11,2 из СВП-27 со сплошной деревянной затяжкой.

Согласно паспортным данным для поддержания узла сопряжения лавы с конвейерным ходком 12 западной лавы пл. C_{18} , в нише, на расстоянии не более 4,9 м от линии очистного забоя, с завальной стороны конвейера, возводится полоса «Текхард», шириной 1,1 м. От нее вглубь лавы устанавливается обрезная крепь, состоящая из органного ряда с плотностью установки 4 стойки на 1 м.

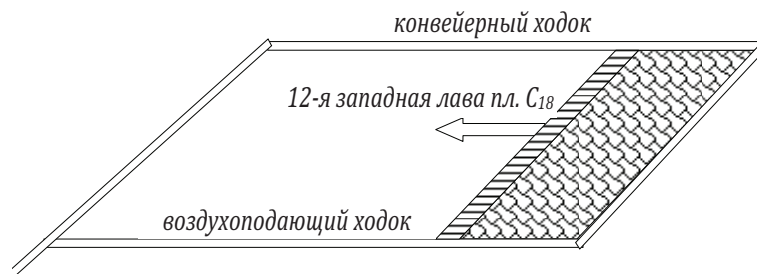


Рисунок 1 – Выкопировка с плана горных работ участка 12-й западной лавы

В качестве усиливающей крепи по конвейерному ходку 12 западной лавы под верхняк каждой рамы арочной крепи, устанавливаются деревянные стойки диаметром 18...20 см, которые должны опережать забой лавы не менее 25 м.

В непосредственной почве пласта локальными участками залегает песчаник темно-серый, в верхней части «кучерявчик», мощностью до 0,7 м и крепостью 3...4. По основной трассе, песчаник замещен алевролитом с «ложной почвой» слоем 0,35 м, который предрасположен к быстрому размоканию.

Мониторинг состояния выработок подготовки и отработки 12-й западной лавы, выполненный в январе 2014 года позволил сделать следующие выводы.

В целом текущее состояние исследуемых выработок можно считать удовлетворительным, в т.ч. за счет своевременного выполнения ремонтно-восстановительных работ, а также реализации соответствующих мероприятий по усилению паспортной крепи выработки (рис. 2, 3).



Рисунок 2 – Усиление крепи спаренными анкерами



Рисунок 3 – Состояние конвейерного ходка после подрывки пород почвы до подхода лавы

Состояние вмещающих пород, за исключением зон влияния геологических нарушений и зон с повышенным водопритокком, относительно устойчивое; породы бортов и кровли минимально деформированы; количество заколов, трещин

и расслоений незначительно; обжатие рам крепи равномерное. Однако при наличии даже незначительного количества влаги происходит резкая потеря устойчивости массива, что при нарушении паспорта крепления в большинстве случаев приводит к разрушению даже усиленных ремонтными участками выработки.

Основной вид деформации пород – пучение почвы различной интенсивности. По трассе воздухоподающего ходка 14-й западной лавы пл. C_{18} , погашаемого по мере подвигания очистного забоя лавы, вертикальная конвергенция за счет пучения, имеющего несимметричный характер, приводит к потере сечения выработки до неудовлетворительного состояния.

Фактическое состояние рамной крепи можно охарактеризовать как неудовлетворительное вследствие существенных отклонений от паспорта крепления. К основным видам деформации рамной крепи можно отнести потерю симметрии крепи; разрыв замков; выкручивание и разрыв стоек крепи. На многих участках податливость рам не исчерпана. Однако есть участки, где в замках рам крепи наблюдаются разрывы профиля стоек, что, вероятно, объясняется некачественной установкой рамы (отсутствие второго хомута, межрамных стяжек и пр.).

Крепь выработки по всей длине усилена деревянными ремонтными с шагом установки 0,8 м (в местах пересечения зон ПГД – 0,5 м). После прохода лавы устанавливаются парные ремонтные с таким же шагом. Перед лавой с опережением 50...60 м по мере возможности устанавливаются 2 спаренных анкера с подхватом под верхняк. Также в силу технологической необходимости до окна лавы постоянно ведутся локальные работы по подрывке пород почвы. На ряде пикетов выполняются работы по перекреплению выработки.

Скорость движения лавы составляет 2,5-3 м/сут. По сведениям технологической отдела и геологической службы шахты проявления влияния лавы в ходке незначительны, отмечаются на расстоянии 30-50 м.

По факту режим работы рамной крепи по всей трассе обследования не соответствует условиям ее эксплуатации. Минимальная высота ходка, замеренная на ПК49...60, составляет 1,9 м при проектной – 3,1 м.

На основании анализа горно-геологических и горнотехнических условий эксплуатации, результатов предварительного обследования выработок, данных маркшейдерской службы шахты, а также данных по объемам ремонтных работ, к основным осложняющим факторам в первую очередь следует отнести:

1. Наличие слабых вмещающих пород склонных к обрушению и пучению, а также к резкой потере устойчивости даже при незначительном размокании.
2. Значительное количество непрогнозируемых мелкоамплитудных геологических нарушений в окрестности исследуемых выработок.
3. Относительно высокую степень концентрации горных работ.
4. Несоответствие применяемых в настоящее время средств обеспечения длительной устойчивости горных выработок условиям их эксплуатации.

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 является актуальным вопросом по следующим причинам.

Поддержание выработки после прохода лавы при бесцеликовой отработке предполагает применение охранных конструкций. Эффективность их определяется целым рядом факторов, основные из которых – прочность и скорость ее нарастания (для полос из твердеющих смесей), податливость, жесткость. Невысокая жесткость и высокая податливость некоторых охранных полос вызывает несимметричную нагрузку, под влиянием которой крепь значительно деформируется, не работает в податливом режиме, а выработка в результате значительной вертикальной конвергенции не удовлетворяет условиям эксплуатации.

Одним из негативных проявлений горного давления, который существенно осложняет поддержание выработки, является пучение пород почвы. В условиях больших глубин разработки пучение не является каким-то локальным процессом, затрагивающим только породы почвы. Деформационные процессы охватывают весь приконтурный массив, а пучение, как показано в [3], является признаком большой глубины разработки, при которой масштаб смещений контура выработки и разрушений пород в ее окрестности значительны по величине.

В результате пучения происходит повышенное деформирование угольного пласта у контура выработки (рис. 4) [4]. Подобный характер деформирования отмечается и в работах М.А. Выгодина и других авторов [5]. Это явление не учитывается при проектировании параметров охранных полос, в частности, их жесткости и податливости. Более того, проведение подрывки приводит к нарушению равновесного состояния пород почвы и боков, облегчению доступа воды к нижележащим пластам. Как отмечается в [3], скорость пучения после подрывок может возрасти в 6...9 раз и более по сравнению со средними скоростями, зафиксированными непосредственно перед подрывкой. Таким образом, для повышения эффективности работы охранных полос, необходимо снижение величины пучения пород почвы и исключения ее подрывки до подхода забоя лавы.

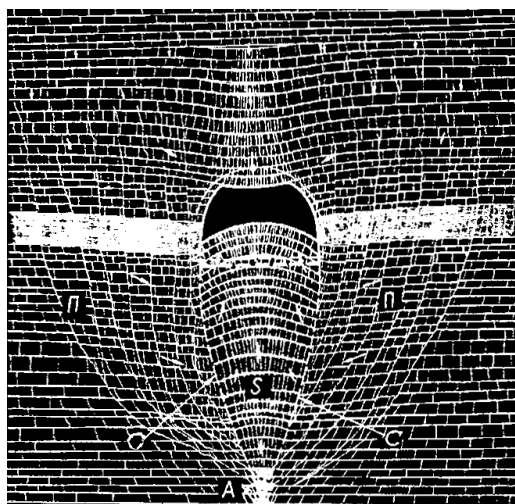


Рисунок 4 – Деформирование пород в приконтурной зоне выработки

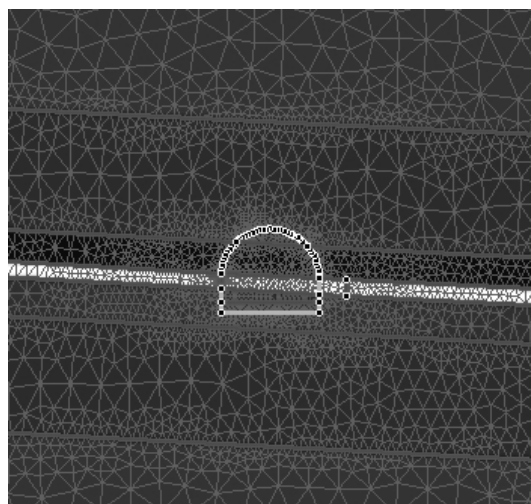


Рисунок 5 – Расчетная схема для выработки в нетронутом породном массиве

На этом этапе эксплуатации, выработка испытывает воздействие горного давления, величина которого определяется глубиной ее расположения, прочностью и структурой вмещающих пород. В условиях больших глубин при значи-

тельно возросших величинах горного давления, традиционная металлическая рамная крепь, применяемая почти повсеместно, практически не препятствует расслоениям вмещающих выработку пород. Поэтому для рассматриваемых выработок эффективным средством обеспечения их устойчивости до влияния очистных работ будет являться рамно-анкерная крепь, с установкой анкером сразу после проведения выработки. Это позволит предупредить расслоение приконтурного массива, большие деформации пород, в том числе и пучение пород почвы.

Для решения этой задачи был выполнен комплекс аналитических исследований. В качестве метода исследований принято численное моделирование с использованием современных программных комплексов.

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» [6], реализующая метод конечных элементов, позволяет имитировать постадийное образование выработок в неупругой среде путем изменения граничных условий, учитывая на каждой последующей стадии в качестве начальных деформации, реализованные на предыдущей стадии формирования напряженно-деформированного состояния (НДС).

Для определения НДС в окрестности выработки рассматривалась область массива, включающего конвейерный ходок и 12-ю западную лаву пл. C_{18} . На рис. 5 показана расчетная схема к решению плоской задачи о НДС массива.

Вначале моделировалась одиночная выработка (конвейерный ходок 12-й западной лавы). На следующем этапе в расчетную схему включается система из двух спаренных анкером длиной 2.4 м, установленных 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 (неупругое деформирование) 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 массива пород, s и a – постоянные величины, учитывающие генезис и состояние пород, σ_{ci} – предел прочности на одноосное сжатие 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. 6 показана ЗНД в соответствии с критерием Хоека-Брауна на стадии формирования выработки.

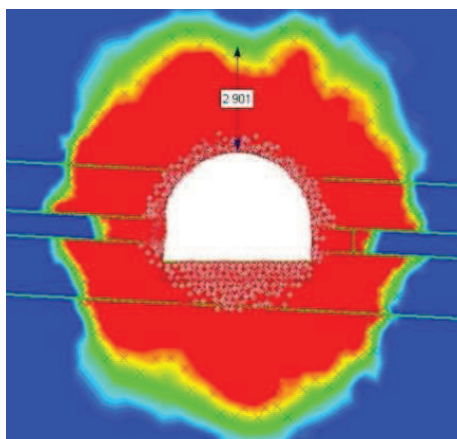


Рисунок 6 – Зона разрушения на стадии проведения выработки

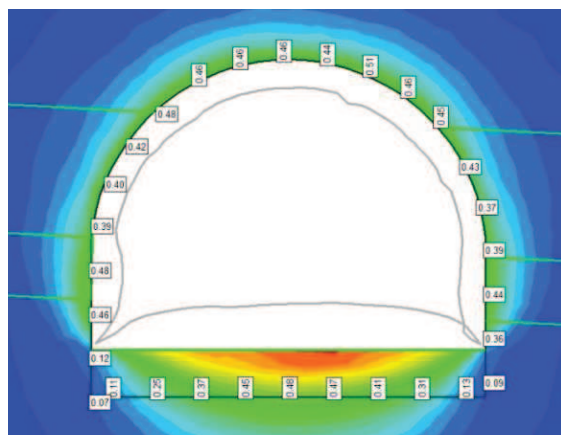


Рисунок 7 – Смещения пород на стадии проведения выработки

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

$$P = \gamma \cdot S \cdot k_{др}$$

где S – площадь зоны неупругих деформаций пород; $k_{др} = 2.0$ – коэффициент динамичности.

Из рис. 6 видно, что при проходке ходка вне зоны влияния очистных работ образуется ЗНД высотой 3 м, что, при ширине выработки 4.2 м создает нагрузку на 1 м выработки $P = 63$ т. Такая нагрузка сопоставима с несущей способностью крепи КМП-АЗР3-13,4 ($P_{нес} = 55.3$ т/раму). При шаге установки крепи 0.8 м, создаваемый ею отпор составляет $55.3/0.8 = 69.1$ т/м. Таким образом, вне зоны влияния лавы нагрузка со стороны массива на конвейерный ходок вполне компенсируется установкой металлической крепи КМП-АЗР3-13,4.

Для определения перемещений 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 реальным величинам для рассматриваемых условий. Совпадение расчетных и наблюдаемых значений достигнуто путем корректировки констант s , a , t входящих в (1) и учитывающих генезис и структуру породного массива. Таким образом, деформационная модель среды в рамках программы «Phase-2» откалибрована и может быть использована для прогноза проявлений горного давления.

Под воздействием опережающей волны горного давления смещения пород в конвейерном ходке интенсифицируются, особенно в почве. Поднятие почвы делает невозможным эксплуатацию выработки. Поэтому до подхода лавы проводится подрывка пород. Этот процесс смоделирован путем увеличения сечения выработки на величину поднятия почвы (рис. 7). После подрывки почвы на 0,5 м высота зоны разрушения вокруг выработки увеличилась на 0,5 м, что свидетельствует о неэффективности данного мероприятия для целей обеспечения устойчивости выработки при повторном ее использовании.

Для стабилизации смещений и подготовки выработки к подходу лавы устанавливаются сдвоенные анкеры в районе замков арочной крепи (рис. 8).

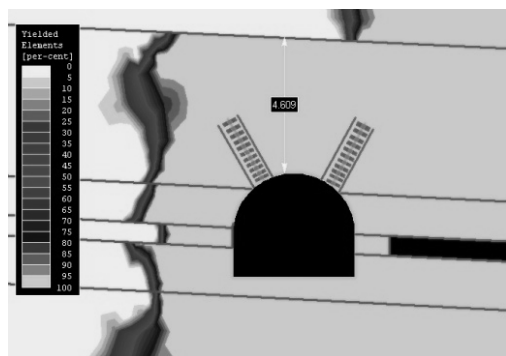


Рисунок 8 – Зона разрушения вокруг выработки в окне лавы

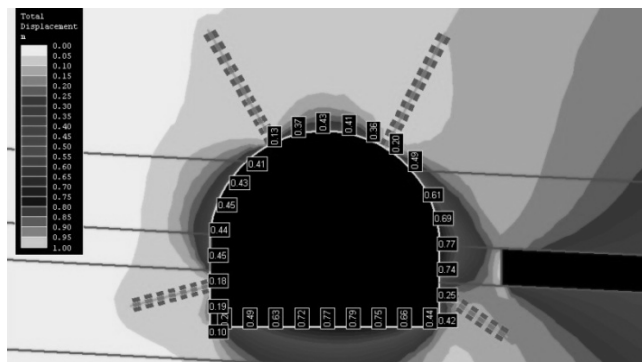


Рисунок 9 – Смещения контура выработки, закрепленной анкерами при подходе лавы

При подходе лавы к конвейерному ходку начинает воздействовать опережающая волна горного давления и зона разрушения увеличивается. Непосредственно на сопряжении выработки с лавой зона разрушения охватывает большую область пород над подготовительной и очистной выработкой (рис. 8). Площадь ЗНД непосредственно над конвейерным ходком составляет $19,3 \text{ м}^2$. Нагрузка на крепь (с учетом коэффициента динамичности $k_d = 2,0$) достигает $96,5 \text{ т/м}$.

Для создания дополнительного отпора устанавливается деревянная ремонтная под каждую арку, несущая способность которой составляет 30 т. Общий отпор системы крепи КМП-АЗРЗ с шагом 0,8 м составит $P_{н.общ} = (55+30)/0.8 = 106.6 \text{ т/м}$. Следовательно, используемый на настоящий момент способ крепления конвейерного ходка 12-й лавы обеспечивает устойчивость выработки при шаге крепи 0,8 м. При этом следует отметить, что запас прочности крепи составляет $k_{зан} = 106,6/96 = 1,11$, что не позволяет считать способ надежным при ухудшении условий и уменьшать плотность крепи с целью снижения затрат.

Смещения породного контура в местах установки анкеров составляют 0.3...0.4 м. Смещения боков со стороны лавы развиваются до 0.6...0.7 м, а в почве – до 0.7...0.8 м.

При рассмотрении различных вариантов дополнительного усиления крепи и снижения деформаций, наиболее приемлемым по сложности и смещениям контура оказалась конструкция с установкой металлической крепи КМП-АЗРЗ-13,4, пятью анкерами, установленными в сводчатой части выработки и двумя анкерами в бровке пласта со стороны лавы при возведении охранной полосы из твердеющей полосы «Текхард» шириной 1,6 м (рис. 10). В этом случае перемещения со стороны кровли снижаются до 0,2...0,3 м, со стороны почвы – до 0,43 м, что позволяет обеспечить необходимую для выполнения всех технологических операций площадь поперечного сечения выработки без подрывки пород почвы. Наиболее деформированным по-прежнему остается борт выработки со стороны лавы, где перемещения достигают 0,5...0,6 м.

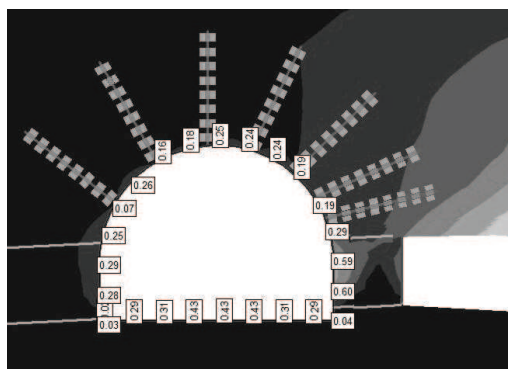


Рисунок 10 – Смещения контура выработки, закрепленной комбинированной рамно-анкерной крепью на сопряжении лава-ходок

ВЫВОДЫ. Деформационная модель породной среды, реализованная программой «Phase-2», адаптирована к условиям 12-й лавы ШУ «Южнодонецкое №1». Моделирование различных этапов эксплуатации ходка 12-й лавы, показало, что запас прочности существующей крепи минимален и не позволяет снизить ее металлоемкость. Введение анкеров является эффективным средством для стабилизации смещений контура выработки и снижения пучения пород почвы, что устраняет необходимость проведения подрывки. Дальнейшим совершенствованием системы крепления может быть применение канатных анкеров, хорошо зарекомендовавших себя в зоне влияния очистных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демченко А.И., Куласек 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 «Лири ЛТД», 2006. – 248 с.
3. Шашенко А.Н., Солодянкин А.В., Мартовицкий А.В. Управление устойчивостью протяженных выработок глубоких шахт. – Днепропетровск: Лизунов-Прес, 2012. – 384 с.
4. Тупиков Б.Т., Компанец В.Ф. Устойчивость пластовых выработок в массиве на больших глубинах. – Уголь Украины. – 1998. – № 6. – С. 15-17.

5. Гапеев С.Н., Логунов Д.М. Оценка влияния негидростатического начального поля напряжений на протекание потери упругопластической устойчивости пород почвы одиночной горной выработки // Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2014. – Вип. 1(13). – С. 25-33.

6. Phase². Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0 // Режим доступа: <https://www.rocscience.com/products/3/Phase2>.

**PROVISION STABILITY LOCAL WORKINGS FOR REUSING
UNDER THE STATE ENTERPRISE "COAL COMPANY
«YUZHODONBASSKAYA №1»"**

O. Solodyankin, S. Mashurka, I. Dudka, O. Kuziaieva

State Higher Education Institution "National Mining University"

prosp. K. Marks, 19, Dnipropetrovs'k, 49005, Ukraine.

E-mail: alex.solodyankin@mail.ru

The purpose of research there is rationale for decisions to ensure the stability of development workings for reuse. The results of the study of geomechanical processes in the rock mass around mine excavation area in a Coal Company "Yuzhnodonbasskaya №1». Visual inspection and numerical simulation of stress-deformed state of the rock mass showed that the traditional of system supports for workings or provide reliable stability. The way of consolidate development workings with, in addition to the metal supports, anchors. On the basis of the finite element method modeled stages of operation and workings is in the area of influence of mining works. The evaluation of the effectiveness of anchor to enhance the stability of rock outcrops.

Key words: drift, longwall, numerical simulation, test strength, anchor

REFERENCES

1. Demchenko, A.I., Kulassek, M. (2003) "Engineering support sustainable airing longwall heavily in mining and geological conditions of the coal seam d₄ mine "Krasnoarmeyskaya-Zapadnaya № 1", *Glukauf*. no 4, pp. 45-50.

2. Skypochka, S.I., Usachenko, B.M., Kuklin, V.U. (2006) *Elementy heomehanyky uhleporodnoho massyva pry vysokyh skorostyah podvyhaniya lav* [Elements of geomechanics rock mass at high advance rates of longwall], Lyra LTD, Dnepropetrovsk, Ukraine.

3. Shashenko, A.N., Solodyankyn, A.V., Martovytskyy, A.A. (2012) *Upravlenie ustoychivostyu protyazhennyh vyrabotok glubokih shaht* [Controlling stability of the workings of deep mines], LyzunovPres, Dnepropetrovsk, Ukraine.

4. Tupykov, B.T., Kompanets, V.F. (1998) "Stability in an array formation workings at great depths", *Ugol Ukrainy*. no 6, pp. 15-17.

5. Gapieiev, S.N., Logunov, D.M. (2014) "Impact assessment non –hidrostatic initial stress fields on progress of loss of elasto-plastic sustainability of rocks in the floor single exavation", *Up-to-date resource- and energy- saving technologies in mining industry. Research and practice journal: Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiyi national University: Kremenchuk: KrNU*, no 1. pp. 25-33.

6. Phase². Finite Element Analysis for Excavations and Slopes. version 8.0.: <https://www.rocscience.com/products/3/Phase2>.

Стаття надійшла 15.05.2015..