

УДК 622.268.2

ИССЛЕДОВАНИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ВЛИЯНИЯ ШАГА ОБРУШЕНИЯ ОСНОВНОЙ КРОВЛИ ЛАВЫ НА СОСТОЯНИЕ ПОРОДНОГО МАССИВА В ОКРЕСТНОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ

А. В. Мартовицкий

Публичное акционерное общество «ДТЭК Павлоградуголь»

ул. Ленина, 76, Днепропетровская обл., г. Павлоград, 51400, Украина. E-mail: solodyankinO@nmu.org.ua

Представлены данные визуальных и инструментальных наблюдений за состоянием пород в подготовительной выработке шахты им. Бажанова ГП «Макеевуголь» в зоне влияния очистных работ. Даны характеристики объекта и методики натурных исследований. Выполнен численный анализ изменений напряженно-деформированного состояния породного массива при последовательном продвижении забоя угольной лавы пласта m_3 от монтажной камеры. Методом конечных элементов моделировались различные стадии развития очистных работ с учетом формирования зон разрушения в породной среде на основе критерия Парчевского-Шашенко. Определен критический размер выработанного пространства, при котором происходит посадка основной кровли.

Ключевые слова: горное давление, зона неупругих деформаций, лава.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА ВПЛИВУ КРОКУ ОБВАЛЕННЯ ОСНОВНОЇ ПОКРІВЛІ ЛАВИ НА СТАН ПОРОДНОГО МАСИВУ НАВКОЛО ПІДГОТОВЧОЇ ВИРОБКИ

А. В. Мартовицкий

Публічне акціонерне товариство «ДТЕК Павлоградвугілля»

вул. Леніна, 76, Дніпропетровська обл., м. Павлоград, 51400, Україна. E-mail: solodyankinO@nmu.org.ua

Наведені відомості візуальних та інструментальних спостережень за станом порід в підготовчій виробці шахти ім. Бажанова ДП «Макеєввугілля» в зоні впливу очисних робіт. Надані характеристики об'єкта та методики натурних досліджень. Виконаний чисельний аналіз змін пружно-деформованого стану породного масиву при послідовному посуванні забою вугільної лави пласта m_3 від монтажної камери. Методом скінчених елементів моделювалися різні стадії розвитку очисних робіт з урахуванням формування зон руйнування в породному середовищі на основі критерію Парчевського-Шашенка. Визначений критичний розмір відпрацьованого простору, при якому відбувається посадка основної покрівлі.

Ключові слова: гірський тиск, зона непружних деформацій, лава.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Ежегодный объем проходки горных выработок на угольных шахтах Украины составляет, в среднем, 1,5–1,8 тыс. км. На 1 млн. т угля для принятых в Украине систем разработки требуется проведение 6...12 км протяженных выработок.

При поддержании подготовительных выработок в основном (92–98 %) применяется арочная податливая крепь из спецпрофилей СВП-27 и СВП-33, масса которой на одном метре выработки достигает 600–1000 кг (1–2 рамы на метр).

В особо тяжелом состоянии находятся пластовые выработки; потери площади их поперечного сечения достигают 60...70 %. Это приводит к тому, что 30 % выработок ежегодно ремонтируется и перекрепляется. Доля затрат на проведение, крепление и поддержание выработок в Донбассе достигает от 25 % до 45 % себестоимости угля [1]. В тоже время из-за невыполнения плана проходки выработок ежегодное отставание в объемах воспроизводства линий очистных забоев составляет 13...15 млн. т, причем на поддержании и ремонте выработок задействовано 32,3 тыс. человек (при общей численности горнорабочих очистного забоя – около 54 тыс. человек).

При этом необходимо учитывать, что наиболее интенсивное влияние повышенного горного давления, которые и приводят к ухудшению их состояния, выработки испытывают в зоне влияния очистных работ.

С ростом глубины работ и возрастанием нагрузок на лаву повышается газоносность угольных пластов. Это требует увеличения поперечного сечения выработок для обеспечения нормальной вентиляции, что также приводит к снижению устойчивости выработок.

Необходимость обеспечения устойчивого состояния выемочных штреков в зоне влияния очистных работ, для интенсивного проветривания механизированных забоев на шахтах с высокой газообильностью, ставит задачи изучения деформационных процессов, вызванных выемкой угольного пласта, особо актуальными.

Несмотря на имеющиеся многочисленные результаты исследований по данному направлению [2, 3], каждая горнотехническая ситуация, даже в пределах одного разрабатываемого угольного пласта требует индивидуального подхода и детального анализа возможных вариантов охраны и поддержания протяженных выработок.

Учитывая сложный характер протекания геомеханических процессов при отработке угольного пласта, большое количество влияющих факторов на состояние, как очистного забоя, так и подготовительной выработки, наиболее эффективными являются исследования с использованием численных методов, исходные данные для которых могут быть получены по результатам шахтных наблюдений.

Таким образом, целью настоящей статьи является изучение геомеханических процессов и влияния шага обрушения основной кровли лавы на напряженно-деформированное состояние массива в окрестности подготовительной выработки.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Изучение геомеханических процессов, происходящих в окрестности выработки, проводимой вслед за лавой в натуральных условиях.

В качестве объекта исследований принята шахта им. В.М. Бажанова ГП "Макеевуголь". Для сплошной системы разработки, применяемой на шахте при добыче угля на пласте m_3 , интерес представляет состояние выработок (вентиляционных ходков), проходимых вслед за лавой для целей вентиляции. Сохранность этих выработок очень важна для обеспечения бесперебойного проветривания лавы, отрабатываемой выбороопасный пласт.

Для изучения геомеханических процессов, происходящих в окрестности выработки, проводимой вслед за лавой, на первом этапе исследований были проведены наблюдения на контурных замерных станциях.

В качестве объекта наблюдений был выбран вентиляционный ходок 6-й западной лавы пласта m_3 гор. 1100 м, проходимый комбайновым способом за лавой на расстоянии 4...8 м с подрывкой пород кровли.

Замерная станция для проведения измерений представляет собой арку крепи, которая переводится в жесткий режим работы путем максимального затягивания хомутов. На верхняке по центру и стойках на уровне перехода из прямолинейной в криволинейную части арки керном насекаются зарубки.

С учетом скорости подвигания очистного забоя, частоту измерений принимали в среднем равной одному измерению в неделю. Измерения на каждой замерной станции осуществляются с помощью ленточной рулетки расстояний:

- ширины – между точками стойке крепи;
- высоты – между точкой на середине верхняка и головкой рельса;
- величины нахлеста левого и правого замков.

Здесь остановимся на некоторых из полученных данных натуральных измерений.

Размер зоны активного влияния лавы составляет 15–180 м, процесс смещения боков выработки плавно затухает, горизонтальная конвергенция составляет в среднем 40–55 см и приводит к уменьшению ширины выработки в 1,1 раза. Процесс же вертикальных смещений контура почвы и кровли выработки остается незатухающим, величина вертикальной конвергенции достигает в вентходке 100 см, что приводит к уменьшению высоты выработки в 1,4 раза, несмотря на то, что вентиляционный ходок пройден вслед за лавой, т.е. по разгруженным породам. Такая ситуация приводит к необходимости уже с расстояния 30...40 м от прошедшего забоя лавы производить периодические подрывки пород почвы с целью сохранения сечения вентходка.

Анализ показывает, что пучение пород почвы вентходка (рис. 1) составляет в среднем 60...80% (60...80 см) от общей величины конвергенции.

Для обеспечения эксплуатационного состояния таких выработок на шахте им. Бажанова применяется способ подрывки двойным забоем (согласно паспорту лавы): первая подрывка выполняется на расстоянии 30 м на величину до 0,8 м, вторая – на расстоянии 200 м от забоя лавы. При этом на расстоянии свыше 200 м такие работы не предусмотрены и не выполняются в действительности ввиду отсутствия необходимости в них – имеющиеся на этом участке выработки смещения пород почвы не мешают нормальной ее эксплуатации.

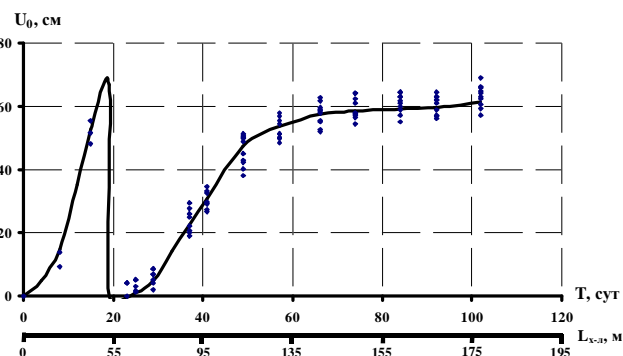


Рисунок 1 – Поднятие почвы вентиляционного ходка 6-й западной лавы

Отчетливо прослеживается тенденция наиболее интенсивного протекания процесса пучения в первые 8...20 суток после удаления забоя штрека от установленной замерной станции на расстояние 20...40 м. При этом величина пучения на этом участке достигает 50...55 % от суммарной величины на расстоянии 150...200 м от забоя, достигающихся на 85...102 сутки.

График абсолютных величин пучения пород почвы в пределах контуров замерных станций, представленный на рис. 1, можно представить в общем виде (рис. 2), где выделяются несколько характерных участков:

а) участок 0–12 суток наблюдений (или 15–25 м от забоя ходка) – для него характерны небольшие перемещения почвы выработки и сравнительно небольшая их скорость;

б) участок 13–84 суток наблюдений (или 130–170 м от забоя ходка) – начало этого участка характеризуется резким ростом смещений и их скорости. Дальнейшее развитие смещений в пределах участка происходит с достаточно высокой скоростью, которая постепенно снижается к окончанию участка, оставаясь при этом сравнительно высокой;

в) участок 85–102 суток наблюдений (или 150–195 м от забоя ходка) – в его пределах процесс развивается очень медленно, скорость постоянна, величины приращения смещений невелики и сами по себе, находясь на первом участке, не оказывали бы влияния на эксплуатацию выработки.

Следует отметить, что резкий рост интенсивности смещений контура почвы (начало активного процесса пучения почвы вентходка – порог пучения) начинался при их величине, равной 150 мм, которая была достигнута на расстоянии 25 м за забоем ходка. Таким образом, в массиве пород в окрестности вентходка на расстоянии 25–30 м за забоем лавы происходят геомеханические процессы, которые вызывают активизацию деформаций окружающего выработку массива, проявляющихся в виде пучения почвы в вентходке.

Исходя из многолетнего опыта поддержания выработок в условиях шахты, было выявлено, что значительные деформации крепи наблюдаются при отходе лавы на 25–30 м. В данных условиях величина порога пучения в вентходке, очевидно, достигается в период осадки основной кровли.

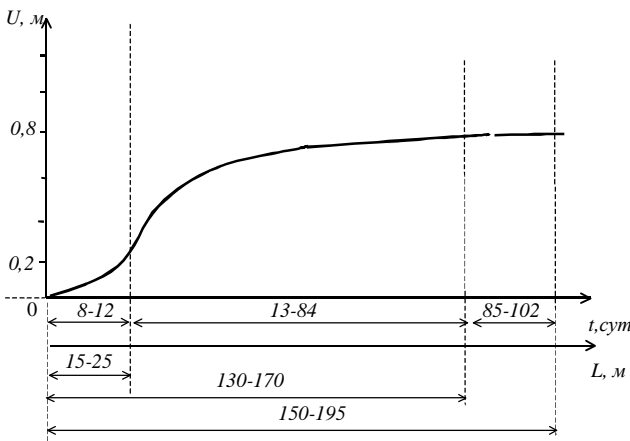


Рисунок 2 – Усредненный график пучения пород почвы вентиляционного ходка 6-й западной лавы: U – величина пучения пород почвы; t – время прошедшее с момента заложения станций (отхода забоя выработки от исследуемого контура); L – удаление исследуемого контура до забоя проводимого вентиляционного ходка

Наблюдения служб шахты за какими-либо внешними или акустическими проявлениями этого процесса в выработке не дают результатов – обрушение основной кровли не проявляет себя ни звуковыми эффектами, ни полочками крепи, ни обвалами. Поэтому в практике ведения очистных работ по пласту m_3 на шахте им. В.М. Бажанова шаг обрушения основной кровли принимают ориентировочно.

Численные исследования напряженно-деформированного состояния породного массива при продвижении забоя угольной лавы пласта m_3 от монтажной камеры.

С целью проверки высказанного предположения была проведена серия численных экспериментов по определению шага обрушения основной кровли в

лаве по пласту m_3 , с применением метода конечных элементов (МКЭ). Для проведения указанных исследований использована методика определения шага обрушения основной кровли в лавках пологопадающих пластов, изложенная в [4–6] и заключающаяся в следующем.

Решение производится МКЭ в упругой постановке пошагово, что имитирует движение забоя лавы в пространстве.

В произвольной точке исследуемого массива угроза разрушения материала определяется на основе точечного критерия прочности Парчевского-Шашенко путем сравнения величины эквивалентных напряжений σ_e с пределом прочности на одноосное сжатие R_c , причем значение σ_e определяется по выражению

$$\sigma_e = \frac{1}{y} \left[(1-y) \frac{s_1 + s_3}{2} + \sqrt{(1-y)^2 \left(\frac{s_1 + s_3}{2} \right)^2 + 4y \left(\frac{s_1 - s_3}{2} \right)^2} \right] \quad (1)$$

Здесь σ_1 и σ_3 соответственно означают наибольшее и наименьшее главные значения тензора напряжений σ в конечном элементе, а $y = R_t / R_c$ (R_t – прочность на растяжение). Т.е., точечное условие прочности имеет вид

$$s_e \geq R_c \cdot \quad (2)$$

Область массива, внутри которой выполняется условие (2), считается разрушенной. Однако обрушение пород кровли может произойти только в том случае, если выполняется интегральное условие прочности, определяющее целостность всей системы «выработка–породный массив», имеющее вид [6]

$$a = \frac{10 R_c k_c^p h \sin \alpha}{gh - 10 R_c k_c^p} \quad (3)$$

где k_c^p – коэффициент структурного ослабления при растяжении ($k_c^p = 0,1 k_c$); h – высота пород основной кровли, м; α – угол наклона боковых линий аппроксимированной параболы свода обрушения кровли к горизонту. Параметр a в выражении (3) имеет смысл шага обрушения пород кровли.

Смыкание области, внутри которой выполняется точечное условие прочности (2), с границами области, определенной в соответствии с интегральным условием (3), служит признаком потери равновесия, т.е. обрушения пород кровли.

В ходе выполнения исследований установлено, что выполнение условия совпадения областей разрушения по точечному и интегральному условиям прочности происходит при значении параметра a , равном 24,0 м (рис. 3), т.е. по результатам компьютерного моделирования шаг обрушения основной кровли при отработке пласта m_3 на шахте им. Бажанова составляет 24,0 м.

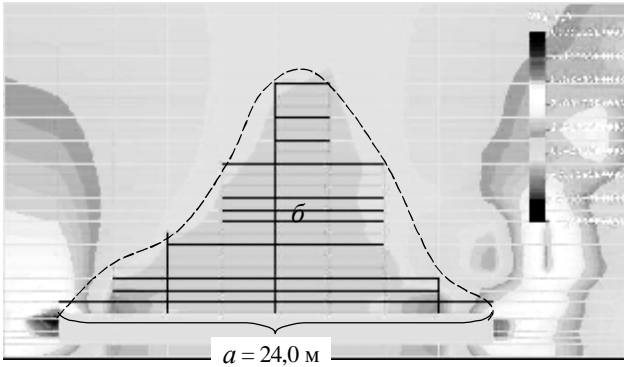


Рисунок 3 – Область, в якій виконуються інтегральне (а) і точкове (б) умови міцності в кровлі лави (кінечно-елементна модель)

ВЫВОДЫ. Таким образом, расстояние от забоя лавы, на котором при натурных измерениях происходит резкое возрастание смещений почвы (начинается потеря устойчивости почвы, т.е. пучение) фактически совпадает с рассчитанным выше шагом обрушения пород почвы (с отклонением менее 1%). Полученные результаты подтверждают ранее высказанное предположение о том, что резкий рост интенсивности геомеханических процессов в окрестности выработки, проводимой вслед за лавой, провоцируется обрушением пород основной кровли обрабатываемого пласта.

RESEARCH OF GEOMECHANICAL PROCESSES AND EFFECTING OF THE CAVING STEP OF FACE HANDING WALL ON THE ROCK MASS CONDITION IN VICINITY OF PRELIMINARY DEVELOPMENT

A. Martovitskiy

DTEK Pavlogradugol, PJSC

vul. Lenina, 76, Pavlograd, 51400, Ukraine. E-mail: solodyankinO@nmu.org.ua

Descriptions of the object and method of model researches are resulted. Data of visual and instrumental observation of rock mass of preliminary development at Bazhanov «Makeevugol» mine in extraction influence area are presented. The numerical analysis of strain-stressed rock state changing during the longwall successive advancing of m_3 layer from the assembly room is carried out. Various stages of stoping with rock failure zones occurrence considered based on the Parchevskiy-Shashenko criterion are studied using the finite element method. The critical size of mined-out space at which main roof caving takes place is determined.

Key words: rock pressure, inelastic strain zone, longwall.

REFERENCES

1. Ovchinnikov V.F., Drotik V.A., Ivanenko A.M. Influence of the increased roof bolting and guard rubble bar on stability of the stratal working // *Coal of Ukraine*. – 2006. – № 5. – PP. 17–18. [in Ukrainian]
2. ChernyaK I.L., Yarunin S.A. *Management the state of rock mass*. – M.: Nedra. – 1995. – 398 p. [in Russian]
3. Gryaduschuy Yu.B. Periodic character of display of rock mass pressure outside longwall which moves // *GIAB*. – 1997. – № 4. – PP. 120–121. [in Russian]
4. Shashenko A.N., Khozyaykina N.V. Conformities to law of change of the maximum consisting of complex structure roof of coal layer at the set bringing down // *Scientific bulletin of the National mining university*. – 2004. – № 4. – PP. 49–52. [in Ukrainian]

Полученные результаты могут быть использованы для разработки мероприятий по обеспечению устойчивости выемочного штрека, сохраняемого за лавой для обеспечения нормальных условий проветривания участка шахты.

ЛИТЕРАТУРА

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. Черняк И.Л., Ярунин С.А. Управление состоянием массива горных пород. – М.: Недра. – 1995. – 398 с.
3. Грядущий Ю.Б. Периодический характер проявления горного давления за пределами движущей лавы // *ГИАБ*. – 1997. – № 4. – С. 120–121.
4. Шашенко А.Н., Хозяйкина Н.В. Закономерности изменения предельного состояния в сложноструктурной кровле угольного пласта при установившемся обрушении // *Науковий вісник Національного гірничого університету*. – 2004. – № 4. – С. 49–52.
5. Шашенко А.Н., Сдвижкова Е.А., Хозяйкина Н.В. О критериях прочности при оценке устойчивости пород кровли в лавах // *Разработка рудных месторождений*. – 2005. – № 88. – С. 49–53.
6. Хозяйкина Н.В. Закономірності зміни граничного напруженого стану у складно структурній покрівлі лав положистих вугільних пластів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.15.09 / Дніпропетровськ: НГУ, 2004. – 17 с.

Стаття надійшла 23.02.2012.

Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Чебенком В.М.

