

А.В. Мартовицкий, к.т.н., ген.директор
(ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

О ВЕЛИЧИНЕ ПЕРВИЧНОГО ШАГА ОБРУШЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ В СТРУГОВОЙ ЛАВЕ ПРИ ОТРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ЗАПАДНОМ ДОНБАССЕ

Метою цих досліджень є встановлення закономірностей розвитку геомеханічних процесів при відході лави від монтажної камери і до першого обвалення порід основної покрівлі. Спорудження монтажної камери вносить першу зміну в початковий напружено-деформований стан вуглепородного масиву. Навколо виробки внаслідок концентрації напружень утворюється зона непружних деформацій. Подальше просування очисного вибою, викликає збільшення концентрації напружень попереду вибою і падіння напружень над виробкою.

ABOUT THE VALUE OF INITIAL STEP OF ROOF ROCK FALL IN LONGWALL WHEN MINING COAL SEAMS IN WESTERN DONBASS

The construction of the mounting chamber makes the first changes in the initial stress-strain state of coal-rock massif. Due to stress concentrations around the working, a zone of inelastic deformations is formed. The following longwall advance causes an increase of stress concentrations ahead of longwall and decreasing tensions over the mine working. The purpose of this research is to establish the laws of geomechanical processes when the moving longwall away the mounting chamber and before the first fall of the main roof rock.

Основными направлениями повышения эффективности горных работ в угольных шахтах является их концентрация и повышения темпов отработки угольных пластов на основе новой производительной техники. Одним из эффективных способов отработки является применение струговых комплексов, которые в состоянии не только обеспечить необходимый уровень добычи, но и существенно повысить безопасность труда горнорабочих.

Интенсивное ведение горных работ предполагает быстрое обнажение пород кровли в лаве на значительной площади.

Это сопровождается первичным обрушением пород основной кровли, динамической нагрузкой на крепь комплекса, оконтуривающих выработок, повышенным газовыделением [1]. Геомеханические процессы, которые развиваются при этом, в условиях слабометаморфизированных вмещающих пород Западного Донбасса изучены в недостаточной мере, что обуславливает актуальность исследований в этом направлении.

Целью настоящих исследований является установление закономерностей развития геомеханических процессов при отходе лавы от монтажной камеры и до первого обрушения пород основной кровли.

Теоретические предпосылки. Сооружение монтажной камеры вносит первое изменение в начальное напряженно-деформированное состояние (НДС) углепородного массива. Вокруг выработки вследствие концентрации напряжений образуется зона неупругих деформаций (ЗНД). Последующее продвижение очистного забоя, вызывает увеличение концентрации напряжений впереди забоя и падение напряжений над выработкой, т.е. образование зон опорно-

го давления и разгрузки.

Распространение зоны разрушения в породах кровли по мере постепенного увеличения размеров выработанного пространства можно трактовать как процесс образования свода обрушения в его классическом понимании. По физической сути классический свод «по М.М. Протодяконову» представляет собой зону предельного равновесия пород, или зона разрушения, в пределах которого породы полагаются разрушенными, утратившими сплошность и сцепление с основным массивом. Следует отметить, что для слоистой, неоднородной среды форма поперечного сечения зоны разрушения может отклоняться от классической параболы, принимая, например, форму трапеции или близкой к ней геометрической фигуры.

При определенном (критическом) размере выработанного пространства зона разрушения становится так велика, что вес пород внутри этой зоны превосходит силы сцепления, породы теряют связь с остальным массивом и обрушаются в выработанное пространство (происходит так называемое генеральное, или первичное, обрушение кровли). Согласно условию, предложенному М.М. Протодяконовым и развитому в работах Л.Я. Парчевского [2] обрушение наступит тогда, когда вес пород, заключенных в своде, превысит величину удерживающей силы

$$Q \geq R_{y\partial}, \quad (1)$$

где $Q = S \cdot \gamma_{пор}$ – вес пород свода, определяемый как произведение площади S поперечного сечения свода на усредненный объемный вес пород свода (рис. 1); $R_{y\partial} = \sigma_p L$ – удерживающая сила, определяемая как предел прочности на одноосное растяжение, взятый по всей длине L границы обрушения.

Таким образом, задача об определении критического размера выработанного пространства, т.е. шага первичной посадки пород основной кровли, состоит из следующих этапов:

- определение НДС породного массива;
- определение области разрушения над выработанным пространством в соответствии с выбранным критерием;
- проверка условия обрушения кровли $Q \geq R_{y\partial}$.

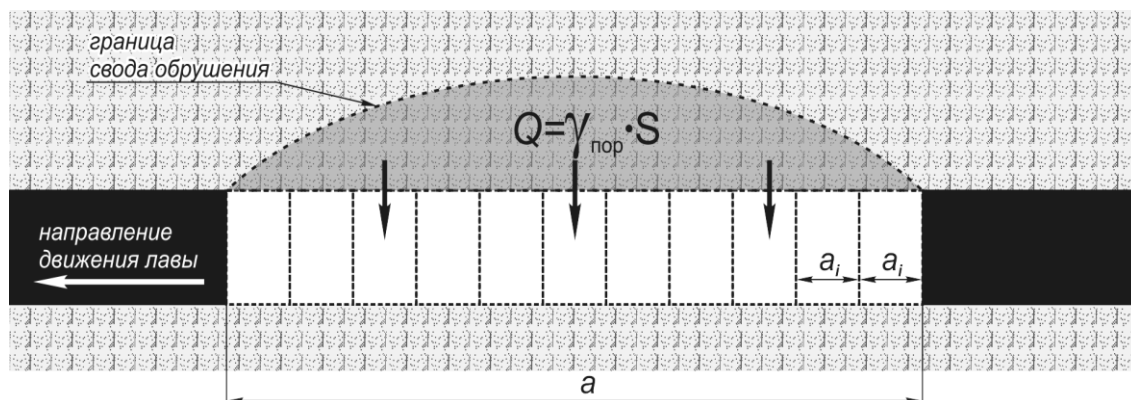


Рис. 1 – Расчетная схема для определения условия обрушения

Численное моделирование. Для определения НДС массива использовался хорошо апробированный в задачах геомеханики метод конечных элементов. Компьютерная реализация метода осуществлялась с помощью лицензионной программы PHASE-2, разработанной лабораторией Roc Science (Канада). Рассмотрен и реализован ряд последовательных расчетных схем, которые имитируют движение лавы от разрезной печи.

Первоначально моделировалось напряженное состояние нетронутого массива, нагруженного весом вышележащих слоев. Затем в массиве путем изменения граничных условий формировались поэтапно полости различных размеров:

1 стадия – формируется полость, соответствующая монтажной камере, затем дополнительно формируется полость, соответствующая разрезной печи (рис.2);

2 стадия – дополнительно формируется полость размером 5 м, имитирующая выработанное пространство при отходе лавы на 5 м от разрезной печи в процессе выемки угля (рис. 3) и так далее.

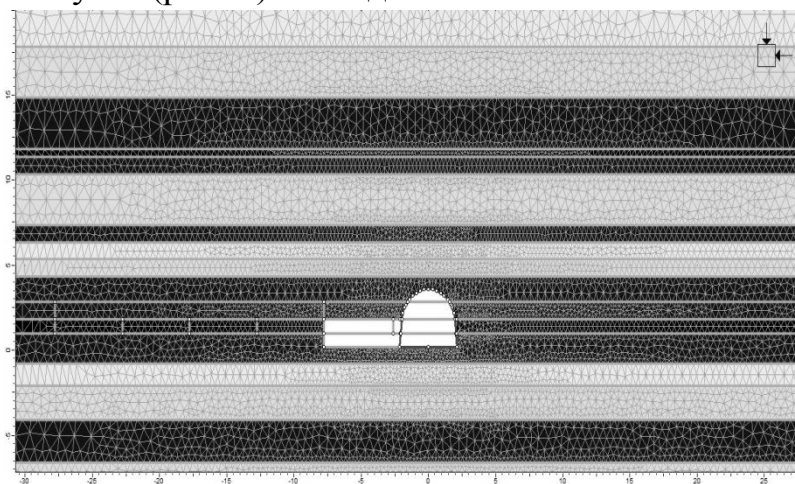


Рис. 2 – Расчетная схема к решению задачи определения величины первичного обрушения (стадии 1, 2)

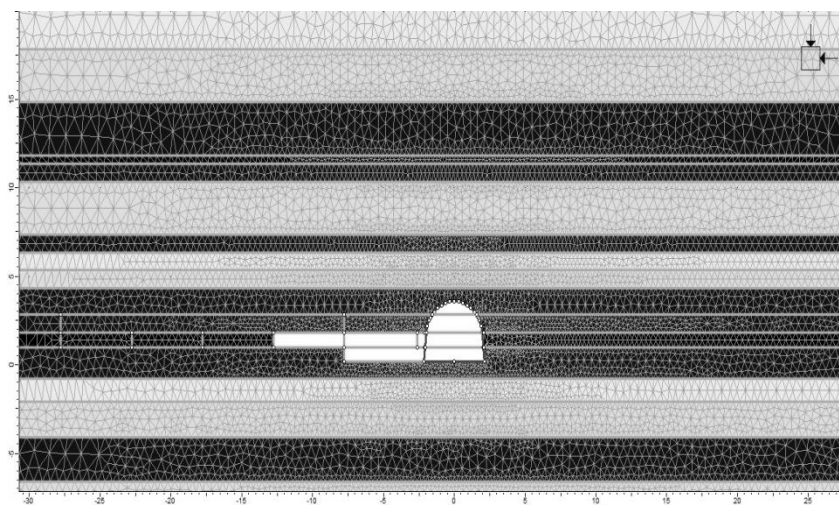


Рис. 3 – Расчетная схема к решению задачи определения величины первичного обрушения (стадия 3)

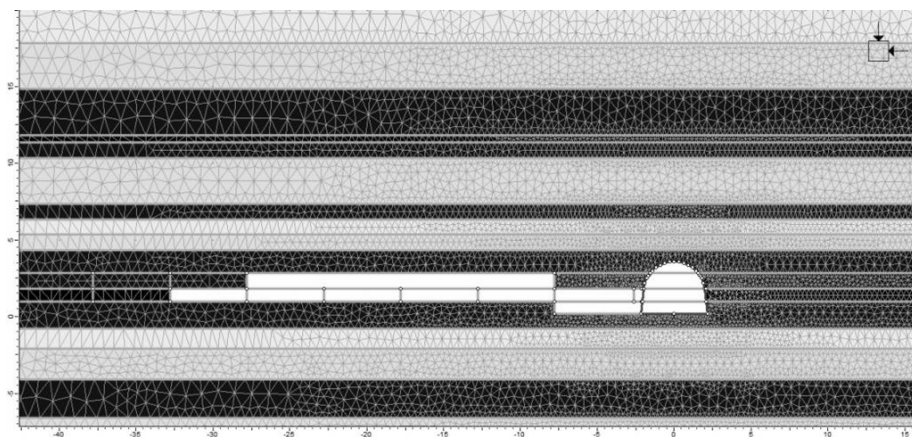


Рис. 4 – Расчетная схема к решению задачи определения величины первичного обрушения (отход лавы на 20 м от разрезной печи)

В качестве критерия оценки состояния пород и условия перехода их в разрушенное состояние использовался обобщенный критерий Хоека - Брауна, в соответствии с которым разрушение породной среды в структурном элементе имеет место при выполнении условия:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + R_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{R_c} + s \right)^a, \quad (2)$$

где σ_1 и σ_3 – максимальное и минимальное действующие напряжения, R_c – среднее значение предела прочности на одноосное сжатие породных образцов, m_b – константа Хоека-Брауна, учитывающая генезис и состояние (качество) породного массива, s и a – константы.

Для условий 163-й лавы шахты «Степная» моделировались две ситуации, отвечающие различным горно-геологическим условиям:

- наличие в кровле на расстоянии 15 м от пласта прочного нетрещиноватого песчаника;
- наличие в кровле на том же расстоянии менее прочного трещиноватого песчаника.

Физико-механические свойства пород, принятые для моделирования в соответствии с данными геологической службы шахты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики угля и вмещающих пород по данным геологической службы

№	Название характеристики	Уголь	Аргил-лит	Алевро-лит	Песчаник
1	Модуль упругости (Юнга), МПа	11755	913	1197	14856
2	Коэф. Пуассона	0,26	0,3	0,3	0,3
3	Прочность на сжатие, МПа	20	20	25	70

Начальное напряженное состояние породного массива, отвечающее глубине разработки 470 м и плотности пород $2,47 \text{ т/м}^3$ составляет 11 МПа.

Из рисунков видно, что при отходе лавы от разрезной печи на расстояние 20 м вся основная кровля (15 м) охвачена зоной разрушения (красный цвет). Прочный песчаник остается неразрушенным, хотя в вышележащих менее прочных породах (алевролит прочностью 30 МПа) формируется область разрушения. При этом вес пород в зоне разрушения не превосходит сил сцепления (табл. 2).

Таблица 2 – Определение веса пород и удерживающей силы

Расстояние до забоя, м	h, м	Уд. вес, кН/м^3	Прочность на растяжение, МПа	Площадь зоны, м^2	Вес пород, кН	Длина дуги, м	Удерживающая сила, кН	Разность Q-R
15	14	25	0,4	273	6825	43	17200	-10375
20	16	25	0,4	560	14000	67	26800	-12800
25	16	25	0,4	624	15600	71	28400	-12800
30	16	25	0,4	720	18000	77	30800	-12800
35	16	25	0,4	800	20000	82	32800	-12800
40	33	25	0,4	1336,5	33412,5	88	35200	-1787,5
45	34	25	0,4	1445	36125	91	36400	-275
50	38	25	0,4	1786	44650	108	43200	1450

Обрушения кровли на этом этапе не происходит. При определении удерживающей силы по формуле $R_{y\partial} = \sigma_p L$ предел прочности на растяжение принят равным 2 МПа с коэффициентом структурного ослабления $K_c=0,2$. Таким образом расчетное значение предела прочности для определения удерживающей силы равно $\sigma_p=2 \cdot 0,2=0,4$.

На рис. 5 и 6 показаны зоны разрушения на начальной и конечной стадиях подвигания очистного забоя.

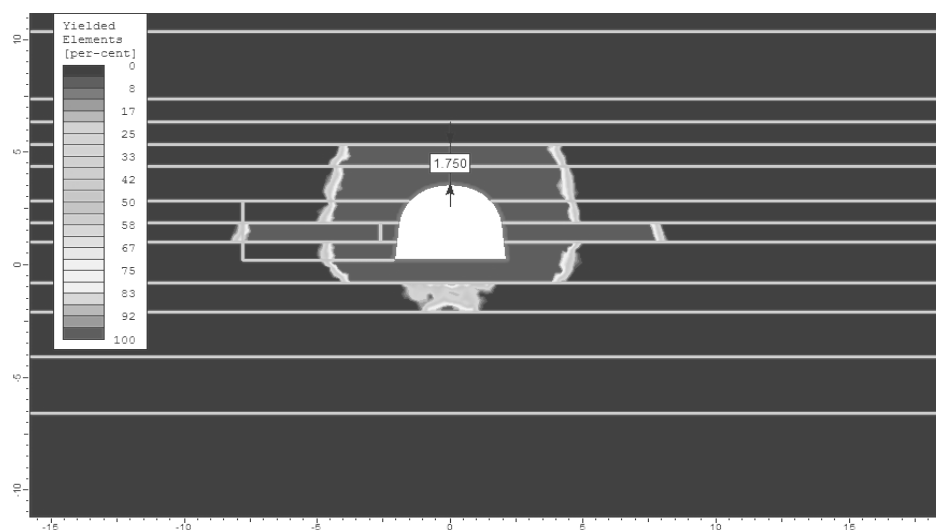


Рис. 5 – Зона разрушения при сооружении монтажной камеры

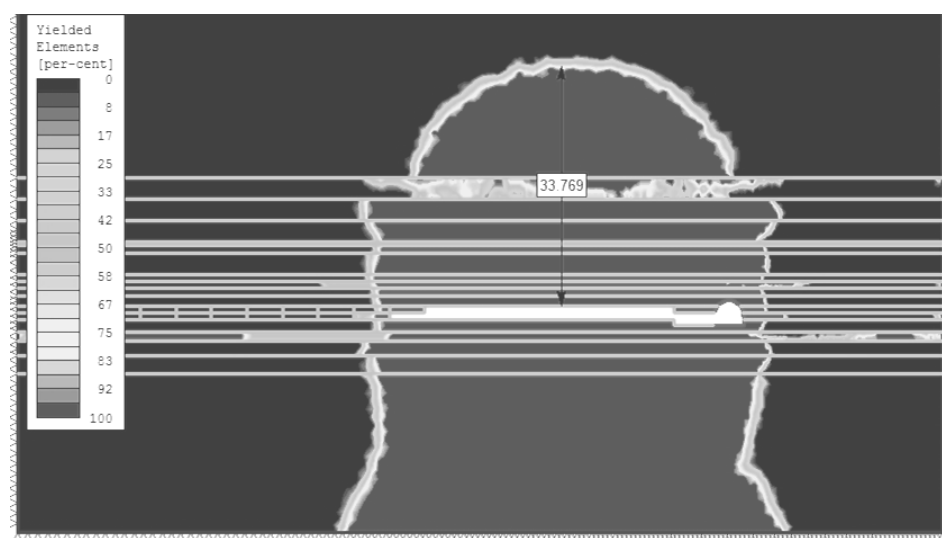


Рис. 6 – Зона разрушения при отходе лавы от разрезной печи на 40 м

При дальнейшем отходе лавы на расстояние 25, 30, 35, 40 м появляются очаги разрушения в слое прочного песчаника. При отходе лавы на 45, 50 м большая часть песчаника над выработанным пространством разрушена. Вес пород в образовавшейся зоне разрушения превосходит силу сцепления при отходе лавы на расстояние 45-50 м, что соответствует факту обрушения пород кровли.

Используя те же расчетные схемы, но с измененными физико-механическими свойствами пород таким образом, что песчаник над основной кровлей незначительно отличается по прочности от других пород (табл. 3), моделируется ситуация с трещиноватым песчаником в кровле.

Таблица 3 – Физико-механические характеристики угля
и вмещающих пород

№	Название характеристики	Уголь	Аргил-лит	Алевро-лит	Песчаник
1	Модуль упругости (Юнга), МПа	11755	3193	2981	8165
2	Коэф. Пуассона	0,26	0,3	0.3	0,3
3	Прочность на сжатие, МПа	20	15	20	40

Развитие зон разрушения показано на рис. 7 и 8. Как видим, уже при отходе лавы на расстояние 20 м песчаник разрушен над серединой выработки. При длине консоли 25-30 м большая часть песчаника разрушена, зона разрушения над песчаником и в основной кровле сливаются, образуя почти классический свод. Вес пород в своде обрушения превосходит силы сцепления при ширине выработанного пространства 30 м (табл. 4). В данном варианте расчетов предел прочности на растяжение принят равным 1,5 Мпа, что с учетом коэффициента структурного ослабления составит 0,3 МПа.

Таблица 4 – Определение веса пород и удерживающей силы

Расстояние до забоя	h, м	Уд. вес, кН/м ³	Прочность на растяжение, МПа	Площадь зоны, м ²	Вес пород, кН	Длина дуги, м	Удерживающая сила, кН	Разность Q-R
25	27	25	0,3	783	19575	71	21300	-1725
30	31	25	0,3	961	24025	75	22500	1525
35	37	25	0,3	1258	31450	86	25800	5650

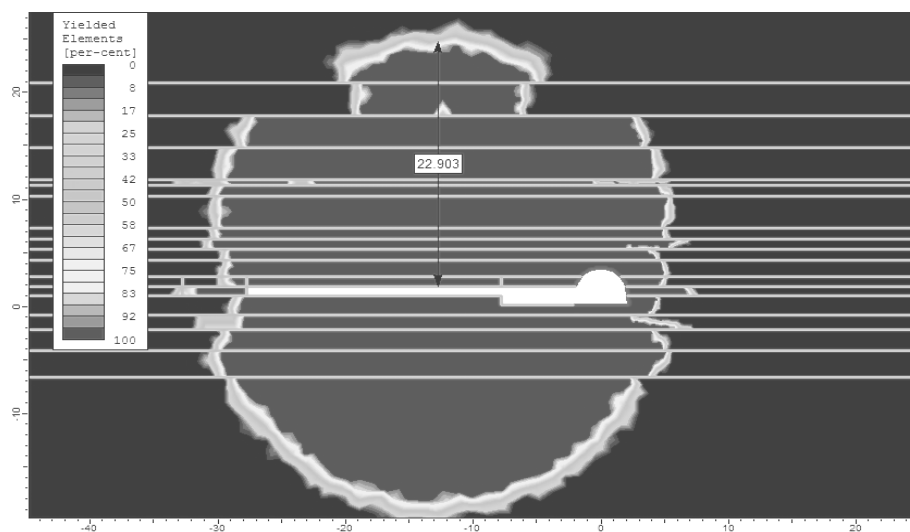


Рис. 7 – Зона разрушения при отходе лавы от разрезной печи на 20 м

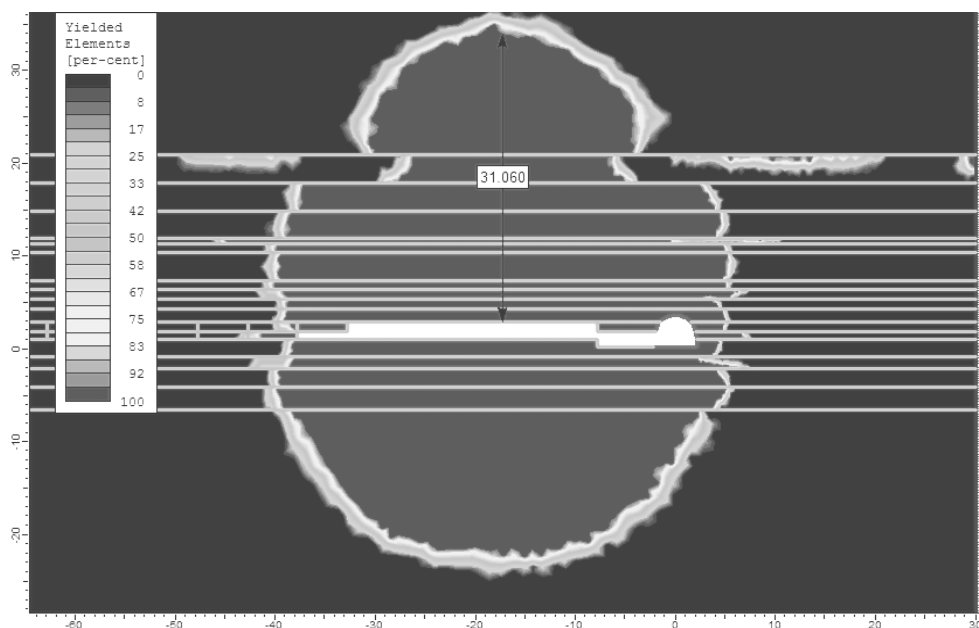


Рис. 8 – Зона разрушения при отходе лавы от разрезной печи на 30 м

Таким образом, при наличии более слабых пород в кровле выработанного пространства, в частности при наличии относительно малопрочного песчаника (с прочностью на сжатие не более 40 МПа) первичное обрушение основной кровли следует ожидать при отходе лавы от разрезной печи на расстояние 25-30 м.

Аналитические исследования. Рассматривая схему, изображенную на рис. 1., Л.Я. Парчевский предложил формулу для определения допустимого пролета камеры, заложенной в однородном породном массиве. [2]. Полагая, что в случае первичного обрушения пород основной кровли коэффициент запаса прочности будет равен единице, получим следующее выражение:

$$2a = \frac{\overline{R}_c k_c k_\sigma}{2\gamma}, \quad (6)$$

$$b = \frac{3\sqrt{3}a}{\overline{R}_c}. \quad (7)$$

Здесь a - полупролет свода первичного обрушения, $\overline{R}_c$ - средневзвешенное значение предела прочности пород кровли, k_c - коэффициент структурного ослабления, определяемый по формуле [3]:

$$k_c = 1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta), \quad (8)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{l_T + l_0}{l_T} (\eta_0^2 + 1)} - 1, \quad (9)$$

где k_e - коэффициент, учитывающий снижение прочности за счет влаги, γ - плотность горных пород, l_T - среднее расстояние между трещинами, l_0 - размер породного образца, η_0 - коэффициент вариации испытываемых горных пород на одноосное сжатие, γ - плотность горных пород.

Используя данные, приведенные в табл. 1, получим для условий 163-лавы ш. «Степная» величину пролета свода первичного обрушения при наличии в кровле нетрещиноватого прочного слоя песчаника равную, примерно, 42 м.

По данным маркшейдерской службы шахты реальное обрушение пород основной кровли в 163-й лаве ш. «Степная» произошло при длине выработанного пространства, равной 40 м.

Результаты исследований. Таким образом, обобщая выполненные исследования, имеем длину пролета свода первичного обрушения равную:

- численного моделирования – 45 м;
- аналитических расчетов – 42 м;
- по данным натурных измерений – 40 м.

Как следует из приведенного выше, отклонения прогнозных величин от фактической не превышает 12,5 %, что вполне допустимо для подобного рода расчетов.

Выводы.1. При наличии в кровле пласта трещиноватого песчаника прочностью 40-50 МПа шаг первичной посадки кровли составит 25-30 м.

2. В условиях шахты «Степная» при наличии прочного нетрещиноватого и необводненного песчаника (с пределом прочности на сжатие 60-70 МПа) шаг первичной посадки кровли составит 40-50 м.

3. Шаг первичной посадки кровли, определяемый аналитически, составляет 42 м.

4. Шаг первичной посадки, зафиксированный маркшейдерской службой шахты «Степная», составил 40 м, что достаточно близко совпадает с данными прогноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов, А.А. Механика горных пород и массивов / А.А. Борисов. – М.: Недра. 1980. – 360 с.
2. Шашенко А.Н. Методы теории вероятностей в геомеханике / А.Н. Шашенко, Н.С.Сургай, Л.Я.Парчевский. – К.:Техніка, 1994. – 216 с.
3. Hoek, E. Practical Rock Engineering 2002. London: Institution of Mining and Metallurgy. p.p. 325.

ПОРОДЫ ПЕСЧАНИКИ – РЕДКИЕ МАТЕРИАЛЫ ВЫСОКОЙ КРЕПОСТИ – УНИКАЛЬНЫЕ ФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Розглядаються питання при підготовці до відпрацювання пологих вугільних пластів на великих глибинах в умовах шахти «Довжанська Капітальна» ТОВ "ДТЕК Сverdlovantratsit". Проведено дослідження вміщуючих підготовчу виробку порід. Запропоновано можливості проектування комплексного видобутку супутніх корисних компонентів при підготовці Антрацитівського пластів до видобутку.

SANDSTONE ROCK – RARE MATERIALS HIGH STRENGTH – UNIQUE FRICTION MATERIALS

The questions in preparation for mining of shallow coal seams at great depths in the mine "Dolzhanskaya Capital" LLC "DTEK Sverdlovantratsit." Investigations of host rocks of underground working. Suggested the possibility of designing an integrated co-production of useful components in preparation Antratsitovskogo of flat seam to production.

Введение. Подземная разработка полезных ископаемых требует проведения сети горных выработок, при этом большое значение имеет расположение выработок, определенный порядок отработки запасов. С проникновением на более глубокие горизонты горно-геологические условия усложняются, что влечёт за собой решения ряда вопросов улучшения условий труда, совершенствования техники, снижения себестоимости и т.д. Решить эту проблему возможно только путем комплексного обследования вопросов добычи угля.

В условиях рынка возрастает роль и значение прогрессивного технического проектирования на шахте, задачей которого является тщательное и объективное обоснование программы действий коллектива на ближайшую и отдаленную перспективу.

Наряду с оценкой производственных возможностей шахты по добыче угля на планируемый период, формированием плана добычи, нагрузки на лаву и по предприятию в целом, определении необходимой численности персонала, затрат на добычу угля, цены на уголь и другими задачами необходимо планирования производственной, хозяйственной и финансовой деятельности шахты. Важное значение приобретают вопросы своевременной подготовки запасов к выемке.

Исторически сложилось так, что объекты угольной промышленности являются градообразующими, вокруг них создавалась и формировалась насыщенная антропотехнологическая структура, а в погоне за «черным золотом» мы не обращали внимание на сопутствующие углю другие полезные компоненты.

Таким образом, комплексная добыча и использование полезных ископаемых – актуальная научно-практическая задача.

Целью работы является возможность применения способа комплексной добычи и использования полезных ископаемых.