

2. Алейников А.А. Основные результаты работ ДонУГИ по направленному бурению внутрипластовых технологических скважин // Борьба с пылью на угольных шахтах.-М. :ИГД им. А. А. Скочинского, 1969 г.-с.17-29
3. Демченко В С Обоснование параметров и создание машин для бурения длинных увлажнительных скважин: Дисс....канд. техн. наук – Днепропетровск, 1994 г. – 167 с.
4. Васильев Л. М., Демченко В. С. Формула усилия подачи буровых станков с учетом износа режущего инструмента. – Деп. ВИНТИ, 1988 г. – №2032 1388. – 10 с.
5. Федоров В. С. и др. Практические расчеты в бурении – М.: Недра, 1966 г– 204 с.
6. Алимов О. Д., Дворников Л. Т. Режимы вращательного бурения шпуров и пути увеличения производительности буровых работ // Разрушение горных пород механическими способами. – М.: Наука, 1966 г. – с. 25-29
7. Николаев А. Т. Разработка легких станков вращательного бурения скважин по углю на основе исследований рациональных параметров и режимов работы резцового инструмента: Дисс....канд. техн. наук – Днепропетровск, 1986– 135 с.

УДК 622.831.242-112.22

С.В. Кужель, Н.В. Хозяйкина

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ШАГА ОБРУШЕНИЯ В ЛАВЕ ПРИ НАЛИЧИИ В КРОВЛЕ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА СЛОЯ ПРОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

У роботі наведені результати аналітичних та лабораторних досліджень параметрів сталого кроку обвалення в лаві, яка має в основній покрівлі вугільного пласта шар міцного нетріщинуватого пісковика. Обґрунтована початкова математична модель об'єкта, що досліджується та встановлена залежність сталого кроку обвалення покрівлі від потужності пісковика, яка має лінійний характер і гарну збіжність з даними натурних спостережень.

THE ACCOUNT OF INDEXES OF A SET UP FAILURE STRIDE IN A DRIVE AT PRESENCE OF A COAL SEAM LAYER OF SOLID MINING ROCKS IN THE ROOFING

The results of analytical and laboratory research of indexes of a set up failure stride in a drive at presence of a coal seam layer of a solid non-fissured sandstone in the main roofing are given in the work. The initial mathematical model of an object investigated is substantiated, the dependence of a set up failure stride in the roofing on the power of the sandstone, which is of linear dependence character and has good convergence with the data of nature observations, is established.

Геологические условия разработки угольного пласта l_8 на ш. Белозерская ГХК “Добропольеуголь” характеризуются наличием в кровле песчаника мощностью до 14 м. Управление горным давлением в лавах, обрабатывающих пласт l_8 , осуществляется полным обрушением. Этот процесс обладает особенностями в силу наличия в основной кровле крепкого нетрещиноватого песчаника. На обрабатываемом горизонте 550 м фактически измеренные величины генерального обрушения составляют 90-110 м, шаг установившегося обрушения - 35-45 м.

Процесс обрушения сопровождается рядом специфических проявлений горного давления: увеличение нагрузки на механизированную крепь и крепь сопряжения, повышенное газовыделение в призабойное пространство лавы, пучение пород почвы в подготовительных выработках, динамические эффекты. Все это предполагает необходимость прогноза момента обрушения пород основной кровли с тем, чтобы технический и рабочий персонал имел

возможность осуществить необходимые действия, позволяющие свести к минимуму негативные проявления горного давления и максимально обезопасить работу в лаве.

Рассматриваемая задача является трехмерной и ее решение целесообразно выполнять каким-либо численным методом. Однако, для разработки основной компьютерной модели имеет смысл на первом этапе рассмотреть более простую механическую модель с тем, чтобы впоследствии закономерности, установленные на ее основе, перенести на более сложный вариант для исследований напряженно-деформированного состояния породного массива в окрестности перемещающегося забоя лавы.

Расчетная схема такой простой механической модели показана на рис.1.

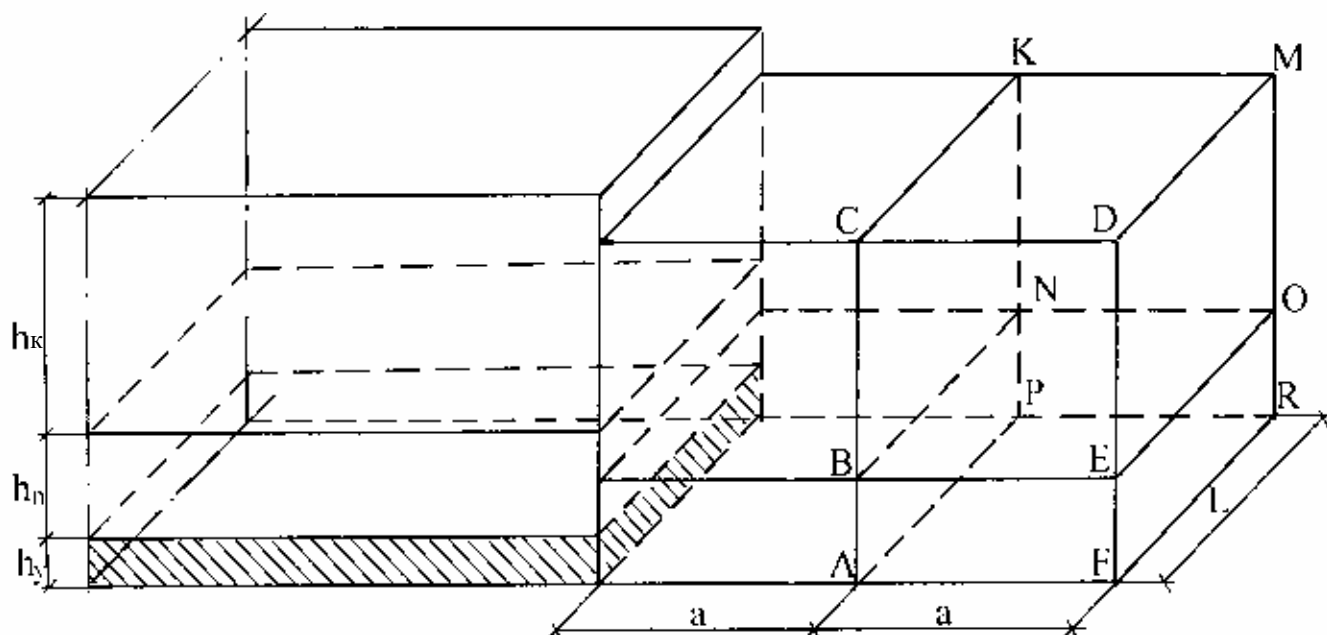


Рис. 1. Механическая модель обрушения пород основной кровли в лаве

Она представляет собой прямоугольный параллелепипед, находящийся в состоянии равновесия под действием приложенных к нему сил. Требуется установить, при каких его параметрах это равновесие будет нарушено и произойдет очередной шаг установившегося обрушения.

Условие предельного равновесия обрушающегося блока пород кровли имеет следующий вид:

$$Q = F, \quad (1)$$

где Q – вес обрушающегося блока горных пород, F – приложенные к блоку силы, удерживающие его в состоянии предельного равновесия.

Вес обрушающегося блока горных пород состоит из двух составляющих:

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (2)$$

где Q_1 – вес пород кровли в пределах пласта песчаника, кг; Q_2 – вес пород кровли, залегающих над пластом песчаника.

Сила, препятствующая обрушению блока, формируется пятью компонентами:

$$F = \sum_{i=1}^5 F_i, \quad (3)$$

где F_1 – силы от отрыва (растяжения), действующие по плоскости CDKM; F_2 – силы от сдвига, действующие по плоскостям ABEF и NORP; F_3 – силы от сдвига, действующие по плоскостям BCDE и NKMO; F_4 – силы от сдвига, действующие по плоскости ABNP; F_5 – силы от сдвига, действующие по плоскости BCKN.

Раскрывая формулы (2, 3), получим:

$$Q = \gamma_n a L h_n + \gamma_k a L h_k, \quad (4)$$

$$F = R_p^k a L + 2 a h_n R_\tau^n + 2 a h_k R_\tau^k + L h_n R_\tau^n + L h_k R_\tau^k. \quad (5)$$

Тогда, с учетом зависимостей (4) и (5) условие предельного равновесия обрушающегося блока пород кровли (1) примет следующий вид:

$$\gamma_n a L h_n + \gamma_k a L h_k = R_p^k a L + 2 a h_n R_\tau^n + 2 a h_k R_\tau^k + L h_n R_\tau^n + L h_k R_\tau^k, \quad (6)$$

где γ_n и γ_k – объемный вес песчаника и кровли, соответственно; a – шаг установившегося обрушения кровли; L – длина лавы; h_n и h_k – мощность песчаника и кровли, соответственно; R_p^k – предел прочности на одноосное растяжение для пород кровли; R_τ^n и R_τ^k – предел прочности на сдвиг для песчаника и пород кровли, соответственно.

Из (6) получим значение высоты блока обрушающихся пород:

$$h_k = \frac{R_p^k a L + 2 a h_n R_\tau^n + L h_n R_\tau^n - \gamma_n a L h_n}{\gamma_k a L - 2 a R_\tau^k + L R_\tau^k} \quad (7)$$

Формула (7) получена из условия предельного равновесия породного блока. При этом необходимо учитывать отличие исследуемой модели от реальных условий, например, некоторый перекоп блока при обрушении, особенности сил трения по плоскости FDMR ранее обрушившегося блока и т.д. Поэтому, в формулу (7) следует ввести некоторый поправочный коэффициент, который приблизил бы механическую модель к реальным условиям. Коэффициент приве-

дения k_{np} можно рассчитать, если для какого-то конкретного случая будут известны все геометрические и механические параметры модели.

Поправку в математическую модель введем применительно к тем членам зависимости (7), которые формируются за счет сил трения. Тогда, с учетом коэффициента приведения формула (7) примет следующий вид:

$$h_k = \frac{R_p^K aL + 2ah_n R_\tau^n k_{np} + Lh_n R_\tau^n k_{np} - \gamma_n aLh_n}{\gamma_k aL - 2aR_\tau^K k_{np} + LR_\tau^K k_{np}} \quad (8)$$

Из формулы (8) получим:

$$k_{np} = \frac{\gamma_n aLh_n + \gamma_k aLh_k - R_p^K aL}{2ah_n R_\tau^n + 2ah_k R_\tau^K + Lh_n R_\tau^n + Lh_k R_\tau^K} \quad (9)$$

Выполним расчет коэффициента приведения для условий шахты «Белозерская» ГХК «Добропольеуголь», используя исходные данные: $\gamma_n = 2800 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_k = 2500 \text{ кг/м}^3$; $a = 45 \text{ м}$; $L = 165 \text{ м}$; $h_n = 14 \text{ м}$; $h_k = 100 \text{ м}$. Величина h_k – получена из следующих соображений. В соответствии с исследованиями, приведенными в работах В.А. Жданкина [1], А.А. Борисова [2] высота свода обрушения h_c над лавой составляет $0,65 \div 0,7L$. Поскольку мощность песчаника h_n известна, то мощность пород обрушающейся кровли составит $h_k = h_c - h_n$.

Предел прочности на сдвиг песчаника и пород кровли (аргиллит, алевролит) определим в соответствии с зависимостью, приведенной в книге [3]:

$$R_\tau^n = 0,5 \sqrt{R_c^n R_p^n}; \quad (10)$$

$$R_\tau^K = 0,5 \sqrt{R_c^K R_p^K}. \quad (11)$$

Значения величин R_c^n и R_c^K – предела прочности на одноосное сжатие песчаника и кровли, соответственно, взяты из данных геологической службы шахты ($R_c^n = 550 \cdot 10^4 \text{ кГ/м}^2$ и $R_c^K = 260 \cdot 10^4 \text{ кГ/м}^2$). Они не противоречат таким же данным, которые приведены в книге [4]. Для того чтобы вычислить R_p^K и R_p^n согласно [5] введем в рассмотрение коэффициент хрупкости горных пород:

$$\psi = \frac{R_p}{R_c}. \quad (12)$$

Коэффициент хрупкости ψ изменяется в пределах от 0 до 1. Для углевмещающих пород исследуемого объекта ψ согласно [6] принимаем равным 0,08, поэтому $R_p = 0,08R_c$. Подставляя значение R_p в формулы (10, 11) для величин R_T^n и R_T^K получим:

$$R_T^n = 0,14R_c^n; \quad (13)$$

$$R_T^K = 0,14R_c^K. \quad (14)$$

Предел прочности на одноосное сжатие R_c , определяемый в процессе испытаний на стандартных образцах горных пород, необходимо распространить на прочность структурно неоднородного породного массива. Это делается путем умножения величины R_c на коэффициент структурного ослабления k_c . При расчете k_c необходимо учесть, что породный массив представляет собой неоднородную среду, содержащую случайно распределенные микродефекты и макродефекты в виде системы трещин. Коэффициент структурного ослабления может быть рассчитан по формуле [5]:

$$k_c = \left[1 - \sqrt{0,5\eta} \exp(-0,25\eta) \right] \frac{\eta_0^2 + 1}{\eta^2 + 1}, \quad (15)$$

где η – коэффициент вариации прочности породного массива, определяемый по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{l_T + l_0}{l_T} (\eta_0^2 + 1)} - 1, \quad (16)$$

где l_T – среднее расстояние между трещинами, l_0 – характерный размер стандартного породного образца; η_0 – коэффициент вариации результатов лабораторных испытаний породных образцов.

Для расчета η_0 были использованы результаты лабораторных испытаний образцов углевмещающих пород для условий шахт Донбасса [7]. Испытания достаточно большого числа стандартных образцов с микродефектами сводится к образованию некоторой статистической совокупности, позволяющей с вероятностных позиций оценить изучаемую механическую систему. Эти результаты представлены в виде гистограмм относительных частот.

В результате обработки гистограмм были получены следующие коэффициенты вариации породных образцов: для песчаника $\eta_0^n = 0,5\%$; для аргиллита $\eta_0^{арс} = 0,4\%$. Используя вычисленные значения η_0^n , $\eta_0^{арс}$ и геологические данные о среднем расстоянии между трещинами в углевмещающем породном массиве, был рассчитан коэффициент вариации прочности η для песчаника и аргиллита по

формуле (16). Среднее расстояние между трещинами для песчаника принималось равным нулю, поскольку он практически нетрещиноват и монолитен. Для аргиллита среднее расстояние между трещинами согласно геологическим данным составляет 0,21 м. Число образцов, испытанных для песчаника - 542, а для аргиллита - 317. В результате расчетов по формуле (16) определены значения $\eta^n=0,66$ и $\eta^{ap^2}=0,41$. Далее произведен расчет коэффициента структурного ослабления (13) для песчаника и аргиллита:

$$k_c^n = \left[1 - \sqrt{0,5\eta^n} \exp(-0,25\eta^n) \right] \frac{\eta_0^{n^2} + 1}{\eta^{n^2} + 1} = 0,6;$$

$$k_c^{ap^2} = \left[1 - \sqrt{0,5\eta^{ap^2}} \exp(-0,25\eta^{ap^2}) \right] \frac{\eta_0^{ap^2} + 1}{\eta^{ap^2} + 1} = 0,4.$$

Используя определенные в натуральных условиях и вычисленные значения параметров для формулы (9), определим величину коэффициента приведения для конкретных геологических условий, который учитывает отличие рассматриваемой модели от реальных условий обрушающегося породного блока:

$$k_{np} = \frac{\gamma_n a L h_n + \gamma_K a L h_K - 0,08 R_c^K a L}{2 a h_n 0,14 R_c^n k_c^n + 2 a h_K 0,14 R_c^K k_c^K + L h_n 0,14 R_c^n k_c^n + L h_K 0,14 R_c^K k_c^K}. \quad (21)$$

Величина коэффициента приведения, определенная по формуле (21), получилась равной 0,26.

С учетом вышеперечисленных поправок и расчетов прочностных характеристик, формула (8) примет следующий вид:

$$h_K = \frac{\psi R_c^K k_c^K a L + 2 a h_n 0,14 R_c^n k_{np} k_c^n + L h_n 0,14 R_c^n k_{np} k_c^n - \gamma_n a L h_n}{\gamma_K a L - 2 a 0,14 R_c^K k_{np} k_c^K + L 0,14 R_c^K k_{np} k_c^K}. \quad (22)$$

При выполнении численных расчетов мощности кровли h_K по формуле (22) варьировались две величины: h_n и a , где h_n – мощность песчаника, которая согласно геологическим данным последовательно принималась равной 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 м; a – установившейся шаг обрушения кровли, который изменялся в пределах от 30 до 45 м с шагом 2 м. Остальные параметры формулы (22), для конкретных условий исследуемого объекта, являются величинами постоянными.

Результаты расчетов величины h_K сведены в табл. 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов h_k численным методом

№	h_n , м	h_k , м	$h_c=h_n+h_k$, м	a , м
1	0	116	116	29
2	2	112	114	31
3	4	108	112	33
4	6	105	111	35
5	8	102	110	37
6	10	99	109	39
7	12	96	108	41
8	14	93	107	42

Величина h_k определялась также в лабораторных условиях путем моделирования на эквивалентных материалах. Результаты, полученные при моделировании, приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов h_k методом моделирования на эквивалентных материалах

№	h_n , м	h_k , м	$h_c=h_n+h_k$, м	a , м
1	0	117	117	30
2	2	113	115	28
3	4	109	113	35
4	6	106	112	33
5	8	103	111	37
6	10	98	108	40
7	12	96	108	42
8	14	94	108	44

Сравнивая результаты, приведенные в табл. 1 и табл. 2, следует отметить, что полученные на основе аналитических и лабораторных исследований значения величин a и h_n имеют расхождения с небольшими отклонениями. По результатам исследований построены графики зависимости установившегося шага обрушения кровли от мощности песчаника (рис. 2).

Из рисунка следует, что зависимость шага обрушения от мощности песчаника в кровле имеет линейный характер и может быть представлена формулой:

$$a = 30 + 0,95h_n. \quad (23)$$

Результаты определения величины шага установившегося обрушения, полученные путем лабораторного моделирования, аналитических исследований и по формуле (23) приведены в табл.3.

Таблица 3 - Сравнение результатов определения шага установившегося обрушения пород кровли в лаве

h_n , м	a , м			Δ , %
	значения полученные при лабораторном моделировании	значения полученные при аналитических исследованиях	значения вычисленные по формуле (23)	
0	30	29	30	3,3
2	28	31	32	3,1
4	35	33	34	2,9
6	33	35	36	2,7
8	37	37	38	2,6
10	40	39	40	2,5
12	42	41	42	2,4
14	44	42	44	4,5

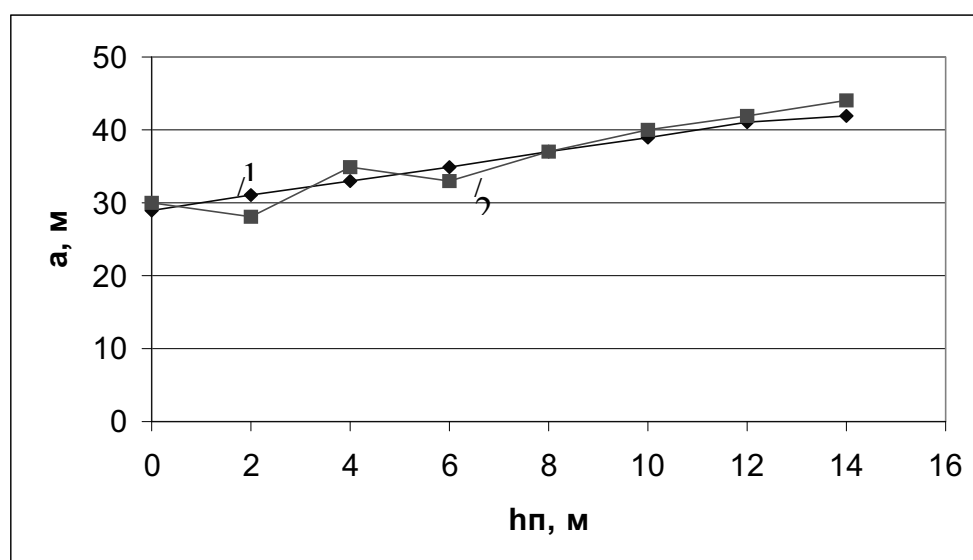


Рис. 2. - Зависимость шага обрушения от мощности песчаника в кровле: 1 – расчетные данные; 2 – данные моделирования.

Из табл.3 следует, что точность определения величины a будет составлять, примерно, 95 % и уже в таком виде зависимость (23) может быть рекомендована для прогнозирования начала обрушения пород кровли в лаве пласта l_8 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жданкин Н.А., Жданкин А.А. Геомеханика горных выработок. Сопряжение лава – штрек.-Новосибирск:Наука.Сиб.отд., 1990.-112 с.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов.-М.:Недра, 1980.-360 с.
3. Шашенко А.Н., Сургай Н.С., Парчевский Л.Я. Методы теории вероятностей в геомеханике.-К.:Техніка, 1994.-216 с.
4. Справочник (кадастр) физических свойств горных пород. Под ред. Н.В. Мельникова, В.В. Ржевского, М.М. Протодяконова. М.:Недра, 1975.-279 с.
5. Шашенко А.Н. Механика горных пород.-Днепропетровск: НГАУ, 2002.-302 с.
6. Баклашов И.В. Деформирование и разрушение породных массивов. М.:Недра, 1988.-270 с.
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Оценка прочности неоднородного породного массива, поддерживающего системы трещин, как основы расчетов устойчивости горных выработок». Днепропетровск: НГАУ, 1994.-56 с.