

ВЛИЯНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ АРОЧНОЙ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КРЕПИ НА ВЫБОР ЕЁ ТИПА

К.т.н., проф. В.Л. Самойлов, студ. И.А. Николаев, ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк

Аннотация. Произведены расчеты смещений пород кровли в выработке по различным методикам. Доказано, что необходимо учитывать время поддержания выработки в различных её сечениях, а также целесообразность применения крепи с большей податливостью.

Ключевые слова: штрек, охрана, литая полоса, податливость крепи, затраты на поддержание, учет травматизма при перекреплении.

Целью данной работы является изучение влияния податливости крепи на затраты на поддержание выработки, примыкающей к очистному забою.

В Инструкции [1] рекомендуется выбирать рамные податливые крепи по максимальной величине смещений пород кровли за весь срок службы выработки.

Произведем расчеты нагрузки на крепь и плотности её установки по этой методике для следующих условий:

Выработка – штрек, примыкающий к лаве;

Вмещающие породы: непосредственная кровля – глинистый сланец, мощность 3,8 м, прочность на одноосное сжатие 40 МПа;

Основная кровля – песчаный сланец, мощность 8,3 м, прочность на сжатие 57 МПа;

Непосредственная почва – песчано-глинистый сланец, мощность 4,5 м, прочность на одноосное сжатие 48 МПа;

Основная почва – песчаник, мощность 10 м, прочность на сжатие – 87 МПа;

Мощность пласта угля 1,1 м, прочность на сжатие – 10 МПа; угол падения пласта – 14°;

Глубина разработки – 850 м;

Площадь сечения выработки в свету до осади – 15,5 м²; 18,5 м² в проходке;

Ширина выработки в проходке – 5,2 м;

Породы не обводнены;

Лавы обрабатываются обратным ходом, штрек повторно используется;

Способы охраны: литая полоса из быстротвердеющих материалов;

Длина крыла $l_{кр}=1300$ м, $V_{оч}=65$ м/мес, $V_{пр}=110$ м/мес. Выработка проводится проходческим комбайном.

Прочность горных пород на контуре выработки рассчитывается для условий, изображенных на рисунке 1.

Расчет средневзвешенной прочности пород кровли и почвы производится по формуле (4) [1].

$$R_{ск} = \frac{\sum(k_c \cdot k_w \cdot R_i \cdot m_i)}{\sum m_k} \text{ и}$$

$$R_{сп} = \frac{\sum(k_c \cdot k_w \cdot R_i \cdot m_i)}{\sum m_{п}}$$

$$R_{\text{ск}} = \frac{0,8 * 1 * 1,3 * 48 + 0,9 * 1 * 10 * 1,1 + 0,7 * 1 * 40 * 3,9 + 0,8 * 1 * 5 * 57}{1,3 + 1,1 + 3,9 + 5} = 35,14 \text{ МПа.}$$

$$R_{\text{сп}} = \frac{0,7 * 1 * 1,1 * 40 + 0,9 * 1 * 10 * 1,1 + 0,8 * 1 * 48 * 4,6 + 0,9 * 1 * 1,9 * 87}{1,1 + 1,1 + 4,6 + 1,9} = 42,08 \text{ МПа}$$

Средневзвешенная прочность пород на контуре выработки определяется по формуле [1]:

$$R_{\text{ср}} = \frac{R_{\text{ск}} \cdot \sum m_{\text{к}} + R_{\text{сп}} \cdot \sum m_{\text{п}}}{\sum m_{\text{к}} + \sum m_{\text{п}}} = \frac{35,14 * 11,3 + 42,08 * 8,7}{11,3 + 8,7} = 38,16 \text{ МПа.}$$

Устойчивость пород почвы $K_{\text{п}}$ определяется по формуле [1]:

$$K_{\text{п}} = \frac{H_{\text{р}}}{R_{\text{п}}},$$

где $H_{\text{р}}$ - расчётная глубина расположения выработки, м; $H_{\text{р}} = H \cdot k$,

где k - коэффициент концентрации напряжений за счёт тектонических процессов.

$$H_{\text{р}} = 850 \cdot 1 = 850 \text{ м.}$$

Тогда

$$K_{\text{п}} = \frac{850}{42,08} = 20,2$$

Согласно таблице 5.4 [2], породы почвы слабопучающие. Поэтому применение «жесткого» искусственного сооружения в виде литой полосы из быстротвердеющего материала в данном случае оправдано.

Основная крепь повторно используемой выработки выбирается на основании расчета смещений пород кровли $U_{\text{окр}}$ вне зоны влияния очистных работ по формуле (3) [1]:

$$U_{\text{окр}} = k_{\alpha} \cdot k_{\text{ш}} \cdot k_{\text{s}} \cdot k_{\text{в}} \cdot k_{\text{t}} \cdot U_{\text{ткр}}, \text{ мм}$$

где $U_{\text{ткр}}$ – смещения пород кровли, определяемые по графикам рис. 2, [1].

Для $R_{\text{ск}} = 35,14 \text{ МПа}$ и $H = 850 \text{ м}$. $U_{\text{ткр}} = 380 \text{ мм}$;

k_{α} – коэффициент влияния угла залегания пород. По табл.2 $k_{\alpha} = 1,0$;

$k_{\text{ш}}$ - коэффициент влияния ширины выработки. $k_{\text{ш}} = 0,2(b-1)$,

где $b = 5,2 \text{ м}$ – ширина выработки в проходке;

$$k_{\text{ш}} = 0,2(5,2-1) = 0,84;$$

$k_{\text{в}}$ – коэффициент воздействия других выработок. Для одиночной выработки $k_{\text{в}} = 1$;

k_{t} – коэффициент влияния времени на смещения пород. Для условий $t < 15$ лет, при $H / R_{\text{с.ср}} = 20-60$, определяют по графику рис.3, [1].

$$\text{В данном случае } R_{\text{с.ср}} = 38,16 \text{ МПа. } 850/38,16 = 22,3$$

Максимальное время поддержания выработки вне зоны влияния очистных работ (см. расчет по методике [2]).

$$t = t_{\text{пр}} + t_{\text{оч}} = 11,8 + 20 \approx 32 \text{ мес.}$$

$$t = 2,7 \text{ года. По рис.3 } k_{\text{t}} = 1$$

$$U_{\text{окр}} = 380 \cdot 1 \cdot 0,84 \cdot 1 \cdot 1 = 319,2 \text{ мм.}$$

Расчет нагрузки P на 1 м выработки со стороны кровли вне зоны влияния очистных работ определяется по формуле (8) [1].

$$P = P^H \cdot K_n \cdot K_{пр} \cdot b,$$

где P^H – нормативная нагрузка, определяемая по табл. 4 [1], $P^H = 104,5$ кПа;

K_n – коэффициент перегрузки, $K_n = 1$;

$K_{пр}$ – коэффициент влияния способа проведения выработки. По табл. 6 [1] $K_{пр} = 1$.

$$P = 104,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,2 = 543,4 \text{ кПа}$$

Плотность установки рам металлической податливой крепи на 1 м выработки определяется по формуле (10) [1]:

$$n \geq P/N_s$$

где N_s – несущая способность одной рамы в податливом режиме. Из табл.2 Приложения 1 [1] с замками ЗСД для СВП-33, $N_s = 310$ кН.

$$n = 543,4/310 = 1,75 \text{ рам/м.}$$

Шаг установки крепи составит:

$$l = 1/n = 1/1,7 = 0,59 \text{ м}$$

Из типового ряда принимаем $l = 0,5$ м; $n = 2$ рамы/м.

Средства усиления крепи впереди забоя первой лавы выбирают на основании смещений, определяемых по формуле (12) [1].

$$U_{кр} = U_{окр} + k_{кр} \cdot k_s \cdot k_k \cdot U_1, \text{ мм.}$$

где U_1 – смещения пород в зоне временного опорного давления. По рис. 4 [1], $U_1 = 700$ мм.

По табл. 10 [1], $k_{кр} = 1$, $k_s = 1,25$ (по табл. 11 [1]), $k_k = 0,58$ (по рис. 5 [1]).

$$U_{кр} = 319,2 + 700 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,58 = 826,7 \text{ мм.}$$

Суммарная нагрузка определяется по формуле (8) [1]:

Для $U_{кр} = 800$ мм и $S = 5,2$ м, $P^H = 157$ кПа.

$$P_1 = 157 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,2 = 816,4 \text{ кПа,}$$

Количество средств усиления n_1 на 1 м выработки находят из выражения.

$$n_1 \geq (P_1 - nN_s)/N_s \text{ рам/м}$$

$$n_1 \geq (816,4 - 2 \cdot 310)/300 = 0,66 \text{ рам/м}$$

В качестве средств усиления принимаем уплотнение основной крепи.

Т.е. плотность установки основной крепи равна 2 рамы/м, $l = 1/2 = 0,5$ м. Принимаем стандартные $l = 0,5$ м, $n = 2$ рамы/м. Это обеспечит эксплуатационное состояние выработки впереди очистного забоя.

Средства усиления позади первой лавы выбирают на основании смещений в выработке, сохраняемой для повторного использования, за весь срок её службы, определяемых по формуле (17) [1]:

$$U_{кр} = U_{окр} + (2 U_1 \cdot k_k + m \cdot k_{окр} \cdot k_{t1}) \cdot k_{кр} \cdot k_s, \text{ мм},$$

где $m = 1100$ мм – мощность пласта;

k_{t1} - коэффициент влияния времени поддержания выработки между отработкой первого и второго очистного забоев. Принимается по табл. 15 [1]. В данном случае, для $t_0 = 20$ мес. или 1,66 года, $k_{t1} = 1,1$.

$$U_{кр} = 319,2 + (2 \cdot 700 \cdot 0,58 + 1100 \cdot 0,1 \cdot 1,1) \cdot 1 \cdot 1,25 = 1485,5 \text{ мм}$$

Для $U = 1485,5$ мм и $S = 5,2$ м, $P^H = 202,5$ кПа.

Суммарная нагрузка за весь срок службы выработки равна:

$$P_2 = 202,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,2 = 1053 \text{ кПа.}$$

Количество средств усиления n_2 на 1 м выработки находят по формуле (18) [1]:

$$n_2 \geq (P_2 - nN_s) / N_{s2}, \text{рам/м}$$

где n_2 – плотность установки средств усиления крепи позади забоя первой и перед забоем второй лав;

N_s, N_{s2} – соответственно сопротивление основной крепи и средств усиления крепи позади забоя первой и перед забоем второй лав.

Принимаем в качестве крепи усиления гидравлические стойки с насадками с несущей способностью 300 кН.

$$n_2 \geq (1053 - 2 \cdot 310) / 300 = 1,44 \text{ рам/м}$$

Принимаем $n_2 = 1,5$ стойки/м под прогон.

Выбор крепи по податливости осуществляется на основании расчетных смещений пород кровли по формуле (11) [1]:

$$\Delta \geq U_{кр} \cdot k_{ок} \cdot k_{ус},$$

где Δ - податливость крепи, мм;

$k_{ок}$ - коэффициент, учитывающий плотность установки основной крепи. Из таблицы 7 [1] $k_{ок} = 0,63$;

$k_{ус}$ - коэффициент, учитывающий крепь усиления. По таблице 8 [1], при $n_2 = 1,67$, $k_{ус} = 0,62$.

$$U_{кр} \cdot k_{ок} \cdot k_{ус} = 1485,45 \cdot 0,63 \cdot 0,62 = 580,2 \text{ мм}$$

Таким образом, трехзвенная крепь КМП-А3 с податливостью 300 мм при шаге установки основной крепи, равном 0,5 м. и установке крепи усиления позади забоя первой и перед забоем второй лав в количестве 1,5 стойки на м. под прогон не обеспечивает безремонтное поддержание штрека.

Произведем аналогичный расчет для заданных горно-геологических условий, при проведении выработки увеличенным сечением и установкой металлической арочной крепи

КМП-А5 с податливостью 600, 800 и 1000мм. Полученные результаты представим в таблицах 1-5.

Таблица 1

Прочность горных пород на контуре выработки

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
Средневзвешенная прочность пород кровли (Средней устойчивости, легкообрушающаяся)	35,13	35,41	35,58	35,75
Средневзвешенная прочность пород почвы	42,08	41,61	41,32	41,03
Средневзвешенная прочность пород на контуре выработки	38,16	38,12	38,09	38,07
Устойчивость пород почвы (Пучащие)	20,20	20,43	20,57	20,72

При расчете прочности горных пород на контуре выработки учитывалось, что подошва штрека относительно пласта во всех четырех вариантах расположена одинаково. Изменялась высота выработки и область её влияния.

Таблица 2

Расчёт основной крепи повторно используемой выработки

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
Смещения пород кровли $U_{окр}$ вне зоны влияния очистных работ без доп. мероприятий, мм	319,2	319,2	317,52	316,7
Расчетная нагрузка Р на 1 м выработки со стороны кровли вне зоны влияния очистных работ, кПа	543,4	543,4	542,4	541,8
Расчетная плотность установки рам металлической податливой крепи на 1 м выработки	1,75	1,75	1,75	1,75
Принятый шаг установки крепи, м	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 3

Средства усиления крепи позади забоя первой лавы

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП- А5 (1000)
Смещения пород кровли $U_{кр}$, мм	826,7	837,9	839,2	840,3
Суммарная нагрузка P_1 на 1 м выработки со стороны кровли, кПа	816,4	819,8	820,0	820,6
Количество средств усиления n_1 на 1 м выработки	0,66	0,67	0,67	0,67
Плотность установки средств усиления, м	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 4

Средства усиления крепи впереди второй лавы

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП- А5 (1000)
Смещения пород кровли $U_{кр}$, мм	1485,5	1513,9	1524,2	1533,3
Суммарная нагрузка P_2 на 1 м выработки со стороны кровли, кПа	1053	1062,9	1065,5	1069,6
Количество средств усиления n_2 на 1 м выработки	1,44	1,48	1,48	1,50
Плотность установки средств усиления, м	1,5	1,5	1,5	1,5

Таблица 5

Выбор крепи по податливости с учетом крепи усиления

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
Расчетные смещения пород кровли $U_{кр}$, мм	580,2	591,3	595,3	598,9

Из таблиц 1-5 вытекает, что при установке КМП-А3 2-х рам на метр выработки и крепи усиления необходимо производить перекрепление штрека. При установке КМП-А5 с податливостью 600,800 или 1000 мм перекрепление не требуется. Из заданной таблице вытекает, что безремонтное поддержание выработки обеспечивает крепь КМП-А5 с податливостью 600 мм.

Инструкция [1] предполагает безремонтное поддержание выработок за счет уплотнения основной крепи и применения различных дополнительных мероприятий по уменьшению смещений пород кровли. Выбор крепи по её податливости производится по максимальному значению смещений пород кровли за весь срок службы выработки без учета времени её поддержания в начале и в конце выработки. Но при этом учитывается время поддержания выработки между отработкой первого и второго очистного забоев. Такой подход может привести к принятию не совсем правильных решений.

Произведем расчет смещений пород кровли по методике ВНИМИ (3), которая учитывает время поддержания в различных её сечениях при плотности установки основной крепи 1 рама/м без дополнительных мероприятий по уменьшению смещений пород кровли.

Расчёт смещений пород кровли U_k производится по формулам (69) [3]:

$$U_k = k_s (k_{пр} \cdot U_{пр} + V_o t_0 + k_{кр} (U_1 + U_2)) k_k + m k_{охр} \cdot k_s \cdot k_{кр}$$

где $k_{пр}$ - коэффициент, учитывающий способ проведения выработки, ед. Определяется по соотношению

$$\frac{H_p}{R_c} = \frac{850}{38,75} = 21,93$$

По таблице 24 [3] $k_{пр} = 1$. Для КМП-А3

$U_{пр}$ - смещения пород под влиянием проведения выработки, мм. Принимается по формуле (5.31) [2]:

$$\text{при } R_c > 15 \text{ МПа } U_{пр} = 23,43466 \cdot \left(\frac{H_p}{R_c}\right) - 0,149873 \cdot \left(\frac{H_p}{R_c}\right)^2 - 111,11$$

$$U_{пр}^{кр} = 368,12 \text{ мм.}$$

V_o - средняя скорость смещений пород выработки вне зоны влияния очистных работ, мм/мес. Принимается по формуле (5.32) [2]:

$$V_o = 0,584119 \cdot \left(\frac{H_p}{R_c}\right) - 1,26986$$

$$V_o^{кр} = 12,9 \frac{\text{мм}}{\text{мес}}$$

t_0 - время поддержания выработки вне зоны влияния очистного забоя (в массиве), мес.;

t_1 - время поддержания выработки в зоне остаточного опорного давления (за очистным забоем), мес.

$$t_{оч} = \frac{L}{V_{оч}} = \frac{1300}{65} = 20 \text{ мес.}$$

$$t_{пр} = \frac{L}{V_{пр}} = \frac{1300}{110} = 11,8 \text{ мес.}$$

где L - длина крыла, м;

$V_{оч}$ - скорость подвигания очистного забоя, $V_{оч} = 65$ м/мес;

$V_{пр}$ - скорость подвигания проходческого забоя, $V_{пр} = 110$ м/мес.

$$t_0 = 20 + 11,8 = 31,8 \text{ мес.}$$

k_s - коэффициент, учитывающий влияние площади сечения выработки S в свету, ед.

Принимается по табл. 33 [3]: $k_s = 1,25$

k_k - коэффициент, учитывающий долю смещений пород кровли выработки в общих смещениях, ед. Принимается по рис. 43 [3]: $k_k = 0,58$

$k_{охр}$ - коэффициент, учитывающий влияние податливости искусственных сооружений на опускание пород кровли, ед. Для литой полосы из быстротвердеющих материалов $k_{охр} = 0,1$.

$k_{кр}$ - коэффициент, учитывающий влияние класса основной кровли надрабатываемого пласта. Для среднеобрушаемой кровли $k_{кр}=1$.

U_1 - смещения пород на контуре выработки в зоне временного опорного давления лавы, мм. Определяется по рис. 33 [3]: $U_1^{кр} = 700$ мм.

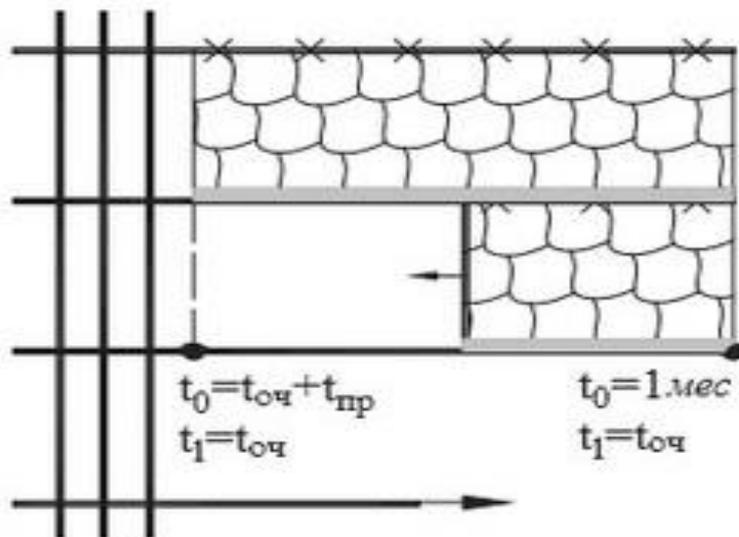


Рис. 2 – Схема к определению t_0 и t_1

Для начала выработки:

$$U_k = 1,25 (1 \cdot 368,12 + 12,9 \cdot 31,8 + 1(700+700)) 0,58 + 1100 \cdot 0,1 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1716,1 \text{ мм.}$$

Для конца выработки:

$$U_k = 1,25 (1 \cdot 368,12 + 12,9 \cdot 1 + 1(700+700)) 0,58 + 1100 \cdot 0,1 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1428,7 \text{ мм}$$

Аналогичным образом рассчитываются смещения пород кровли для КМП-А5 с различной податливостью при установке основной крепи через 1 м ($n=1$ рама/м) и при отсутствии дополнительных мероприятий по снижению смещений. Результаты расчетов приведены в таблице 6.

Таблица 6

Смещения пород кровли в начале и в конце выработки

Смещения пород кровли $U_{кр}$	Тип крепи			
	КМП-А3(300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
В начале выработки, мм	1716,1	1733,3	1764,2	1792,9
В конце выработки, мм	1428,7	1442,1	1468,6	1493,4

Для анализа полученные результаты представим в виде диаграммы смещений кровли выработки по её длине.

Исходя из диаграммы смещений пород кровли для КМП-А3, определим объем перекрепления выработки:

$$L_{пер} = 4 \cdot 1300 + 1 \cdot 975,7 = 6175,7 \text{ м}$$

Аналогичным образом определяем объем перекрепления для КМП-А5 с различной податливостью. Для КМП-А5 (600) необходимо произвести два перекрепления по всей длине выработки. $L_{пер}=2600$ м. Для КМП-А5 (800) – одно перекрепление по всей длине выработки и еще одно на участке длиной 723 м, то есть $L_{пер}=2023$ м. Для КМП-А5 (1000) необходимо одно перекрепление по всей длине выработки, т.е. $L_{пер}=1300$ м.

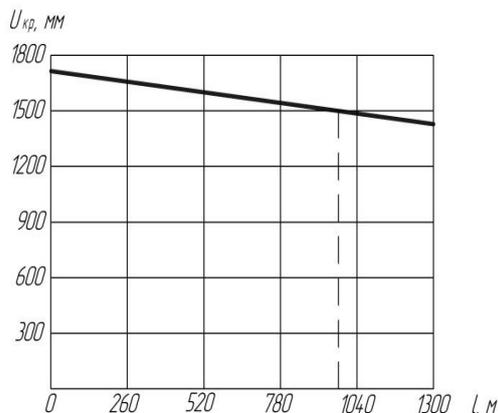


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А3(300)

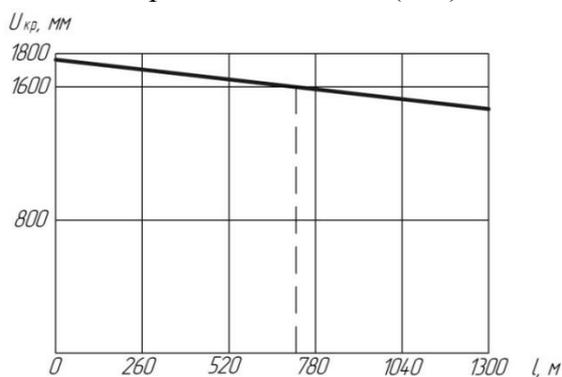


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А5 (800)

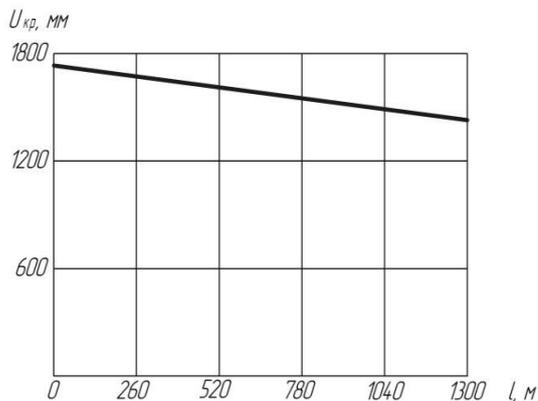


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А5 (600)

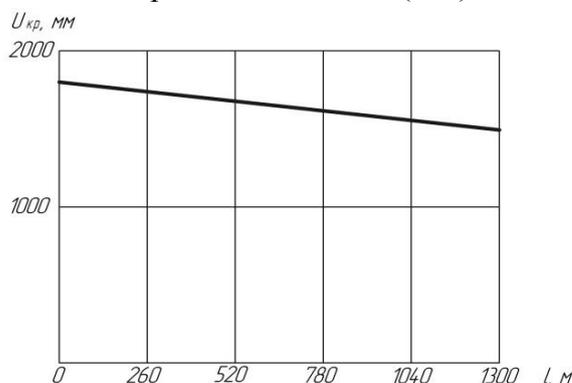


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А5 (1000)

Расчет экономических показателей проведения и поддержания выработки для КМП-А3. Дополнительные данные:

Расчет производится для крыла панели. Примем, что в панели 6 ярусов, высота яруса 200м. Следовательно, необходимо провести 7 выработок длиной 1300 м. Для поддержания выработок возводят 5 литых полос. Первый и седьмой штреки погашаются вслед за лавой.

Стоимость проведения 1 м выработки, проходческим комбайном определяется по формуле (5.62) [2] *:

$$C_{пр}^1 = c_1(3323,7 \prod_1^n k_{c_1} + 113,27 * S_{пр} \prod_1^n k_{c_2})$$

где $S_{пр}$ – площадь поперечного сечения выработки в свету при её проведении, $S_{пр}= 18,5$ м²;

c_1 – коэффициент, учитывающий общешахтные расходы, зависит от периода сооружения выработки, $c_1= 1,84$;

k_{c_1} и k_{c_2} – коэффициенты, учитывающие отклонения реальных горных, технических и экономических условий от принятых в расчётах «средних» условий.

L – средняя длина транспортировки породы: (0,5 длины штрека + 0,5 длины бремсберга + расстояние до ствола), $L= 0,5*1300+0,5*1200+1200=2450$ м

Таблица 7

Коэффициенты влияния технических и экономических факторов на величину затрат по проведению штрека

Влияющий фактор	Комбайновая проходка	
	Коэффициент k_{c1}	Коэффициент k_{c2}
Стоимость подвигания выработки, м/мес	$027/(110/120)+0,73=1,03$	$1-0,005/(110/120)=1,0$
Мощность угольного пласта, м	1	$1,06-0,06*(1,1/1,2)=1,005$
Угол наклона выработки, градус	1	1
Коэффициент крепости пород	1	1
Расстояние между рамами арочной крепи, м	$0,34/(0,5/0,8)+0,66=1,204$	$0,51/(0,5/0,8)+0,49=1,306$
Тип спецпрофиля, кг/м	$0,23*(33/27)+0,77=0,98$	$0,44*(33/27)+0,56=1,10$
Цена 1 т спецпрофиля, тыс. ден.ед	$0,31*(6,5/4)+0,69=1,19$	$0,44(6,5/4)+0,56=1,275$
Тип рельса, кг	$0,11*(33/33)+,89=1$	1
Количество рельсовых путей в выработке	1	1
Тарифная ставка рабочего, ден.ед /смену	$0,13*(170/90)+0,87=1,12$	$0,45*(170/90)+0,55=1,4$
Средняя длина транспортировки породы, км	$0,012*(2,45/3)+0,988=0,998$	$0,012*(2,45/3)+0,988=0,998$
Коэффициент списочного состава рабочих	$0,13*(1,27/1,27)+0,87=1$	$0,43*(1,27/1,27)+0,57=1$
Процент начислений на зарплату, %	$0,04*(36/36)+0,96=1$	$0,11*(36/36)+0,89=1$
Стоимость основного проходческого оборудования, млн. ден.ед	$0,14*(4,5/3)+0,86=1,07$	1
Выработка проводится специализированным проходческим участком	1	1
Уголь и порода не выбрасоопасны	1	1
Выделение воды до 6 м ³ /час	1	1
Выработка проводится сплошным забоем	1	1
Погрузка горной массы в вагонетки	1	1
Тип крепи выработки – арка трёхзвенная	1	1
Тип затяжки - ЖБ	$0,2*(0,65/0,5)+0,81=1,07$	$0,2*(0,65/0,5)+0,82=1,08$
Произведение коэффициентов	1,84	2,76

* В работе [2] стоимостные параметры даны в гривнах. Заменить их на рубли с учётом курса валют невозможно. Поэтому грн везде заменены на ден.ед. Результаты технико-экономического сравнения вариантов при этом не изменятся.

Стоимость проведения 1 м выработки, при проведении проходческим комбайном:

$$C_{\text{пр}}^1 = 1,84 * (3323,7 * \prod_1^n k_{c_1} + 113,27 * 18,5 * \prod_1^n k_{c_2}), \text{ ден. ед/м}$$

$$C_{\text{пр}}^1 = 1,84 * (3323,7 * 1,84 + 113,27 * 18,5 * 2,76 = 21887,98 \text{ ден. ед/м}$$

Полная стоимость проведения выработок:

$$C_{\text{пр}} = n_{\text{выр}} * L_{\text{выр}} * C_{\text{пр}}^1 = 7 * 1300 * 21887,98 = 199\ 180\ 593 \text{ ден. ед}$$

Затраты на сооружение средств охраны.

Согласно заданию выработка поддерживается литой полосой из быстротвердеющих материалов. Её ширину примем минимальной – 1м. Литая полоса возводится на расстоянии 2,5 м от крепи выработки, пространство между выработкой и литой полосой, для избегания вывалов, закладывается кострами из круглого леса размером 2,0x2,0 м, расстояние между центрами костров 3,0 м. Литая полоса ограждается органной крепью.

Стоимость возведения 1 м охранный сооружения:

$$k_{oi} = k_{cp} \prod_{i=1}^n k_j, \text{ ден. ед/м}$$

где k_{oi} – затраты на сооружение i -го способа охраны, ден.ед /м;

k_{cp} – затраты на сооружение этого способа охраны при «средних» значениях всех влияющих факторов, ден.ед /м.

Расчет коэффициентов влияния отдельных факторов и стоимость возведения охранный сооружения представлен в виде таблица 8.

Таблица 8

Расчёт коэффициентов влияния отдельных факторов на затраты по сооружению средств охраны выработки

Влияющий фактор	Коэффициент влияния
Клетевые костры	
$k_o = 89,94 k_m * k_{цл} * k_{тс} * k_{cm} * N_p * c_1 = 89,94 * 0,89 * 1,929 * 1,178 * 0,965 * 1 * 1,17 = 205,5$	
Мощность пласта, м	$k_m = (1,1/1,2)^{1,33} = 0,89$
Цена крепежного леса, ден.ед /м ³	$k_{цл} = 0,82 * 640/300 + 0,18 = 1,929$
Тарифная ставка рабочего, ден.ед	$k_{тс} = 0,2 * 170/90 + 0,8 = 1,178$
Длина стойки, м	$k_{cm} = 0,21/2 + 0,86 = 0,965$
Число рядов костров	$N_p = 1$
Органная крепь	
$k_o = 59,91 k_m * k_{цл} * k_{тс} * N_p * c_1 = 59,91 * 0,98 * 1,578 * 1,436 * 2 * 1,17 = 311,86$	
Мощность пласта, м	$k_m = (1,1/1,2)^2 + 0,12 * 1,1/1,2 + 0,83 = 0,98$
Цена крепежного леса, ден.ед /м ³	$k_{цл} = 0,51 * 640/300 + 0,49 = 1,578$
Тарифная ставка рабочего, ден.ед	$k_{тс} = 0,49 * 170/90 + 0,51 = 1,436$
Число рядов крепи	$N_p = 2$
Литая полоса	
$k_o = 1100,85 k_m * k_{цб} * k_{тс} * c_1 = 1100,85 * 0,923 * 0,96 * 1,142 * 1,17 = 1299,415$	
Мощность пласта, м	$k_m = 0,9 * 1,1/1,2 + 0,098 = 0,923$
Цена крепежного леса, ден.ед /м ³	$k_{цб} = 0,76 * 1,332/1,2 + 0,24 = 0,96$
Тарифная ставка рабочего, ден.ед	$k_{тс} = 0,16 * 170/90 + 0,84 = 1,142$

Полная стоимость возведения охранных сооружений:

$$C_{\text{охр}} = \sum n_{\text{выр}} * L_{\text{выр}} * k_o = 5 * 1300 * 205.5 + 5 * 1300 * 311.86 + 5 * 1300 * 1299,415 = 11\,809\,243,7 \text{ ден. ед}$$

Затраты на одноразовое перекрепление выработки при опускании кровли на величину податливости крепи:

$$C_{\text{пер}} = c_1 * (11,97 * \ln \Delta * S + 168,62 \ln \Delta - 17,64 * S - 248,5) \prod_1^{10} k_i, \text{ ден. ед/м}$$

Коэффициенты влияния факторов приведены в таблице 9.

Таблица 9

Коэффициенты влияния факторов на затраты по перекреплению выработки

Влияющий фактор	Значение коэффициента
Расстояние между арками, м	0,87/0,5+0,13=1,87
Цена 1 т спецпрофиля, ден.ед /т	0,69*(6500/3750)+0,31=1,506
Вес 1 м спецпрофиля, кг/м	0,69*(33/27)+0,31=1,15
Тарифная ставка крепильщика, ден.ед /см	0,21*(156/90)+0,79=1,154
Коэффициент списочного состава	1
Процент премии рабочим при выполнении плана, %	1
Процент начислений на зарплату, %	1
ЖБ затяжка, ден.ед /м ³	0,41*(650/385)+1,095=1,79
Погрузка породы в вагонетку	1
Разработка породы отбойным молотком	1
Произведение коэффициентов	6,7

$$C_{\text{пер}} = 1,17 * (11,97 * \ln(300) * 13,6 + 168,62 * \ln(300) - 17,64 * 13,6 - 248,5) * 6,7 = 2606,4 \text{ ден. ед/м}$$

Полная стоимость перекрепления:

$$C_{\text{пер}} = n_{\text{выр}} * L_{\text{пер}} * R_{\text{пер}} = 7 * 6175,7 * 2606,4 = 112\,673\,325 \text{ ден. ед}$$

Величина эксплуатационных затрат по варианту охраны:

$$\sum C = C_{\text{пр}} + C_{\text{охр}} + C_{\text{пер}} = 199\,180\,593 + 11\,809\,243,7 + 112\,673\,325 = 307\,566\,972 \text{ ден. ед}$$

Промышленные запасы крыла панели:

$$Q_{\text{пр}} = SHm\gamma c = 1300 * 1200 * 1.1 * 1.35 * 0.98 = 2\,270\,268 \text{ т}$$

где S – размер вынимаемой части поля по простиранию, м;

H – размер вынимаемой части поля по падению, м;
 m – вынимаемая мощность пласта, м;
 γ – плотность угля, т/м³;
 c – коэффициент извлечения угля в шахтном поле.

Удельные эксплуатационные затраты:

$$C_{\text{э}} = \frac{\sum C}{Q_{\text{пр}}} = \frac{309\,928\,820,7}{2\,270\,268} = 135,5 \text{ ден. ед./т}$$

Аналогичным образом выполнены расчеты для КМП-А5 с различной податливостью. Результаты расчетов сведены в таблицу 10.

Промышленные запасы крыла панели остаются неизменными – 2 270 268 т.

Таблица 10

Эксплуатационные затраты и удельные эксплуатационные затраты при установке 1 рамы основной крепи на м. выработки и отсутствии крепи усиления

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
Эксплуатационные затраты, ден.ед	307566972	273348584	270926029	264635819
Удельные эксплуатационные затраты, ден.ед, (%)	135,5 (116)	120,4 (103)	119,3 (102)	116,6 (100)

Из данной таблицы вытекает, что с экономической точки зрения варианты крепления выработки КМП-А5 с податливостью 600, 800, 1000 мм практически равноценны. Это согласуется с результатами расчетов по методике [1]. Но при применении КМП-А5 с податливостью 600 мм необходимо иметь два перекрепления по всей длине выработки, а с податливостью 1000 мм – только одно.

Произведем расчет смещений пород кровли в штреке с учетом установки 2 рам основной крепи на м. выработки и установки крепи усиления позади первой и впереди второй лав в количестве соответственно 0,5 и 1,5 стойки на м. по выше приведенной формуле (69) [3].

$$U_{\text{к}} = (k_s (k_{\text{пр}} \cdot U_{\text{пр}} + V_{0t0} + k_{\text{кр}} (U_1 \cdot k_{\text{yc1}} + U_2 \cdot k_{\text{yc2}})) k_{\text{к}} + m k_{\text{охр}} \cdot k_s \cdot k_{\text{кр}} \cdot k_{\text{yc2}}) \cdot k_{\text{ос}},$$

где k_{yc1} и k_{yc2} - коэффициенты, учитывающие уменьшение смещений пород кровли за счет установки крепи усиления позади первой и впереди второй лав: $k_{\text{yc1}} = 0,7$; $k_{\text{yc2}} = 0,6$;

$k_{\text{ос}}$ – коэффициент, учитывающий уменьшение смещений пород кровли за счет установки двух рам основной крепи на 1 выработки. $k_{\text{ос}} = 0,63$; Остальные величины указаны раньше.

Для начала выработки:

$$U_{\text{к}} = (1,25 (1 \cdot 368,12 + 12,9 \cdot 31,8 + 1(700 \cdot 0,7 + 700 \cdot 0,6)) 0,58 + 1100 \cdot 0,1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,6) \cdot 0,63 = 822,7 \text{ мм.}$$

Для конца выработки:

$$U_{\text{к}} = (1,25 (1 \cdot 368,12 + 12,9 \cdot 1 + 1(700 \cdot 0,7 + 700 \cdot 0,6)) 0,58 + 1100 \cdot 0,1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,6) \cdot 0,63 = 641,7 \text{ мм}$$

Аналогичным образом рассчитываются смещения пород кровли для КМП-А5 с различной податливостью при установке основной крепи через 0,5 м (n=2 рама/м) и при наличии дополнительных мероприятий по снижению смещений. Результаты расчетов сведем в таблицы 11 и 12.

Таблица 11

Расчетные смещения пород кровли в начале и конце выработки

Смещения пород кровли $U_{кр}$	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
В начале выработки, мм	822,7	831,3	845,6	858,9
В конце выработки, мм	641,7	647,8	659,4	670,2

Для анализа полученные результаты представим в виде диаграммы смещений кровли выработки по её длине.

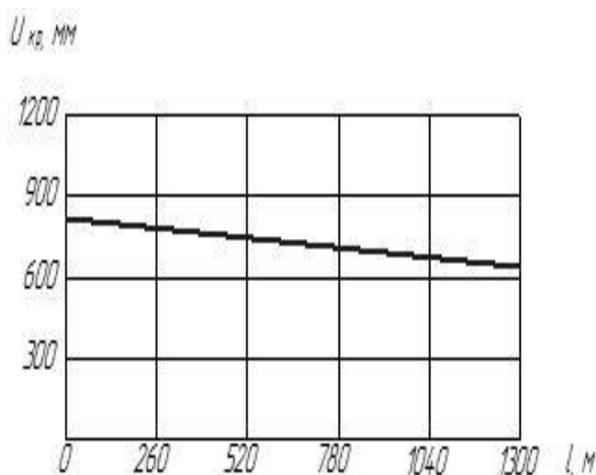


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А3(300)

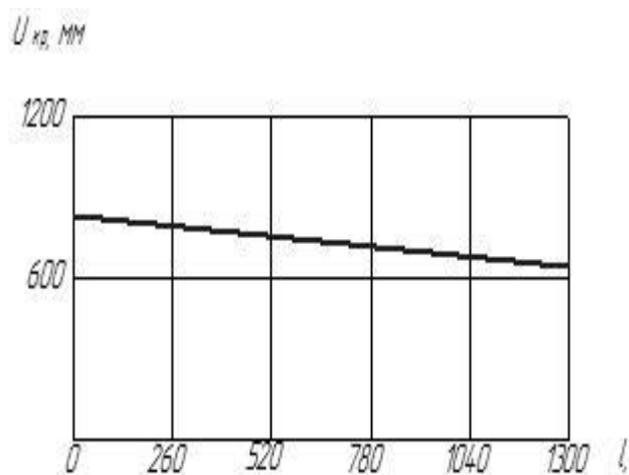


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А5 (600)

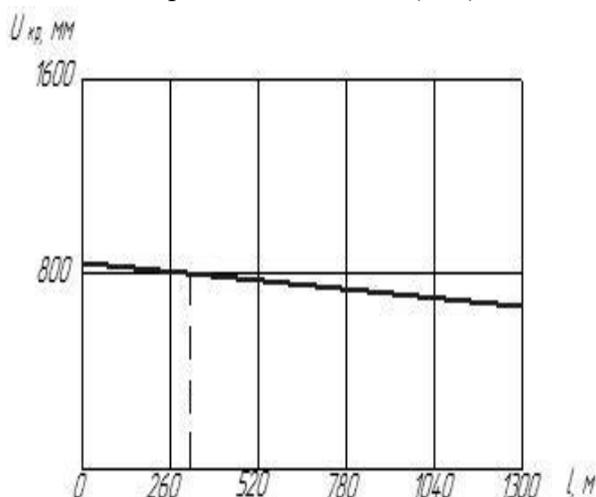


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А5 (800)

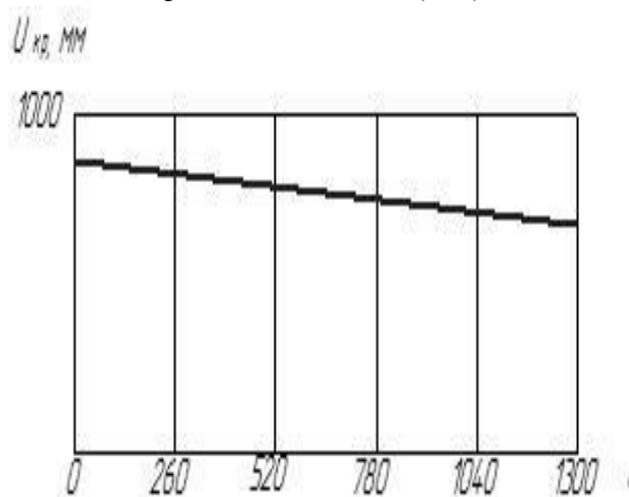


Диаграмма смещений кровли по длине выработки КМП-А5 (1000)

Исходя из диаграммы смещений пород кровли для КМП-А3, определим объем перекрепления выработки:

$$L_{пер} = 2 * 1300 = 2600 \text{ м}$$

Аналогичным образом определяем объем перекрепления для КМП-А5 с различной податливостью.

Для КМП-А5 (600) необходимо произвести одно перекрепление по всей длине выработки. $L_{пер} = 1300 \text{ м}$.

Для КМП-А5 (800) – одно перекрепление на участке длиной 320 м, то есть $L_{пер} = 320 \text{ м}$.
Для КМП-А5 (1000) – необходимость производить перекрепление отсутствует $L_{пер} = 0 \text{ м}$.

Таблица 12

Эксплуатационные затраты и удельные эксплуатационные затраты при установке 2 рам основной крепи на м. выработки и наличии крепи усиления

	Тип крепи			
	КМП-А3 (300)	КМП-А5 (600)	КМП-А5 (800)	КМП-А5 (1000)
Эксплуатационные затраты, ден.ед	258425859	251722362	234840105	234270749
Удельные эксплуатационные затраты, ден.ед, (%)	113,8 (110)	110,9 (107)	103,4 (100)	103,2 (100)

Из таблицы 12 вытекает, что с экономической точки зрения варианты крепления выработки КМП-А5 с податливостью 800 и 1000 мм практически равноценны. Но при креплении выработки крепью КМП-А5 с податливостью 800 необходимо будет перекрепить 320 м выработки, а при креплении крепью КМП-А5 с податливостью 1000мм перекрепления не будет.

Вывод: Из расчетов следует, что проведение выработки с большей податливостью приводит к увеличению первоначальных затрат. Так как выработки повторно используются, то избежать перекрепления без дополнительных мероприятий невозможно. Таким образом, необходимо обратить внимание на объем работ по перекреплению для варианта. Как видно из таблиц 6 и 11, а также соответствующих диаграмм смещений, объем перекрепления КМП-А5 (1000) относительно КМП-А3, при установке 1 рамы основной крепи на м выработки и при отсутствии крепи усиления уменьшился более чем в 4,5 раза. А при установке 2 рам основной крепи на м выработки и при наличии крепи усиления объем перекрепления КМП-А5 (800) уменьшился более чем в 8,1 раза. Для КМП-А5(1000) перекрепление вообще не требуется. Из этого выходит, что полная стоимость перекреплений также снизилась. В конечном результате было получено, что эксплуатационные затраты и удельные затраты уменьшаются с увеличением податливости крепи (Смотри таблицы 10 и12).

На сегодняшний день шахты Донбасса отрабатывают угольные пласты на глубинах свыше 600-1000 м. С ростом глубины наблюдается тенденция к снижению устойчивости боковых пород, особенно на пластах с непосредственной кровлей, представленной глинистыми и песчано — глинистыми сланцами. Анализ производственного травматизма по предприятиям угольной промышленности Украины за 1998 — 2008 гг. указывает на то, что около 65% травм приходится на очистные забои. На забои подготовительных выработок приходится 22%, а травматизм при перекреплении выработок составляет около 12% [4]. Из выше сказанного следует ориентироваться на безремонтное поддержание горных выработок,

чтобы уменьшать производственный травматизм. При невозможности обеспечить безремонтное поддержание необходимо принимать крепь, обеспечивающую минимальное количество перекреплений. Таким образом, в данных условиях следует отдать предпочтение проведению выработки с креплением её КМП-А5 с податливостью 1000мм с установкой 2 рам на м выработки с крепью усиления позади первой и впереди второй лав в количестве соответственно 0,5 и 1,5 стойки на м.

Из выше приведенных расчетов вытекает, что с учетом травматизма рабочих при перекреплении выработок выбор крепи необходимо производить по величине смещений пород кровли, рассчитанной по методике ВНИМИ (3) с учетом дополнительных мероприятий по уменьшению смещений, эффективность которых определяется по Инструкции (1).

Библиографический список

1. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок (Издание второе, переработанное и дополненное). – Л.:ВНИМИ, 1991.- 128 с.
2. Методические указания к курсовому проекту по дисциплине «Управление состоянием массива горных пород» для студентов горного направления всех форм обучения. / Сост.: В.Л. Самойлов, С.В. Подкопаев, В.Е. Нефедов, В.И. Стрельников, Н.Н. Малышева. Под ред. Самойлова В.Л. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – 140 с
3. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1986, - 222 с.
4. Кузьменко Н.С. Развитие научных основ обрушаемости пород и предотвращение травматизма в очистных выработках угольных шахт. Автореф.дисс. ... докт.техн.наук. — Макеевка, МакНИИ. — 2007. — 36с.