

## ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ КРЕПИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

*К.т.н., проф. В.Л.Самойлов, студ. Н.А. Сибилёва, Донецкий национальный технический университет, г.Донецк*

*Произведен расчет нагрузки на крепь горных выработок, плотности её установки по различным методикам. Подтверждено, что для обеспечения устойчивости горных выработок необходимо создавать систему «крепь-порода».*

*The calculation of the load on the support of mine workings, the density of its installation by different methods is made. It was confirmed that in order to ensure the stability of mine workings, it is necessary to create a "bracing-massif" system.*

В «Паспорте проведения и крепления горных выработок» производится расчет нагрузки на крепь и плотности её установки.

На угольных шахтах бывшего Советского Союза, а также Донбасса, широкое распространение с конца 80-х годов XX столетия, получила методика ВНИМИ [1].

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

Выработка – выемочный штрек;  
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 осадки – 15,5 м<sup>2</sup>;  
ширина выработки в проходке – 5,2 м;  
породы не обводнены; лава обрабатывается обратным ходом, штрек повторно используется.

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].

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

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

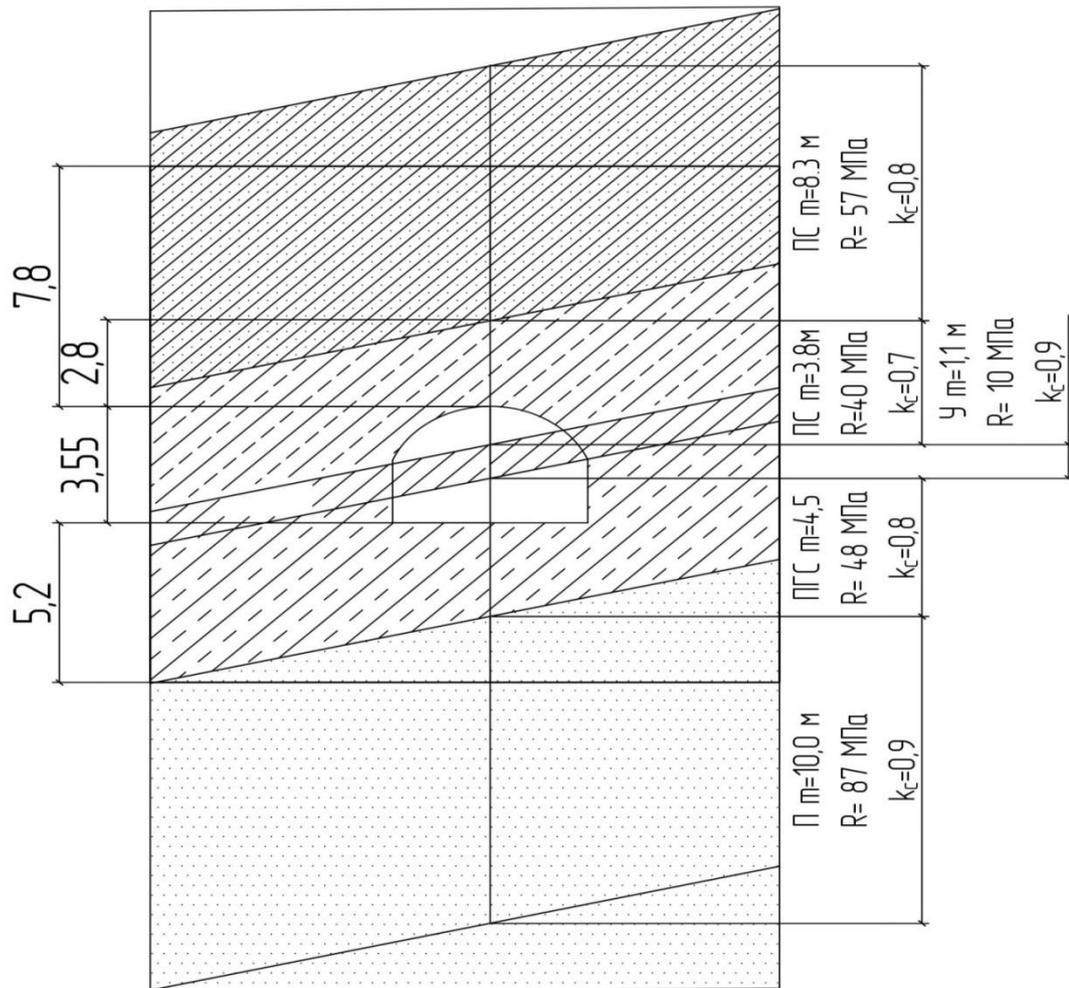
В этих формулах  $\sum m_k = h + 1,5 \cdot B$  и  $\sum m_n = h + 1,0 \cdot B$ ,

где  $R_i$  – прочность  $i$ -того слоя породы при одноосном сжатии в образце, МПа;

$m_i$  – мощность данного слоя породы в пределах расчётной схемы вдоль расчётной линии, м;

$k_c$  – коэффициент структурного ослабления горных пород, ед., принимается в зависимости от интенсивности нарушения. Указан на рис.1;

$k_w$  – коэффициент, учитывающий обводнённость пород. т.к. выработка не обводнена, то  $k_w = 1$ .



**Рис.1** - Схема к определению прочности горных пород на контуре выработки.

$$R_{\text{ск}} = \frac{0,8 * 1 * 1,45 * 48 + 0,9 * 1 * 10 * 1,1 + 0,7 * 1 * 40 * 3,8 + 0,8 * 1 * 5 * 57}{1,45 + 1,1 + 3,8 + 5} = \frac{399,98}{11,35} = 35,24 \text{ МПа.}$$

$$R_{\text{сп}} = \frac{0,7 * 1 * 1 * 40 + 0,9 * 1 * 10 * 1,1 + 0,8 * 1 * 48 * 4,5 + 0,9 * 1 * 2,15 * 87}{1 + 1,1 + 4,5 + 2,15} = \frac{379}{8,75} = 43,3 \text{ МПа}$$

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

$$R_{\text{ср}} = \frac{R_{\text{ск}} \cdot \sum m_{\text{к}} + R_{\text{сп}} \cdot \sum m_{\text{п}}}{\sum m_{\text{к}} + \sum m_{\text{п}}} = \frac{35,24 * 11,35 + 43,3 * 8,75}{11,35 + 8,75} = 38,75 \text{ МПа.}$$

Устойчивость пород почвы Кп 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.

$$H_p = 850 \cdot 1 = 850 \text{ м.}$$

$$\text{Тогда } K_{II} = \frac{850}{43,3} = 19,6$$

Согласно таблице 5.4 [2], породы почвы слабопучащие  
Расчёт смещений пород кровли  $U_K$  и почвы  $U_{II}$  производится по формулам (69) и (70) [1]:

$$U_K = k_s (k_{np} \cdot U_{np} + V_{ot0} + k_{kp} (U_1 + U_2)) k_K + mk_{oxp} \cdot k_s \cdot k_{kp}$$

$$U_{II} = k_s (k_{np} \cdot U_{np} + V_{ot0} + k_{kp} (U_1 + U_2) \cdot (1 - k_K) + V_{I1} \cdot k_s \cdot k_{kp}$$

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

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

По таблице 24 [1]  $k_{np} = 1$ .

$U_{np}$  - смещения пород под влиянием проведения выработки, мм. Принимается по рис. 31 [1] или по формуле (5.31) [2]:

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

$$U_{np}^{kp} = 374,9 \text{ мм.}$$

$$U_{np}^{II} = 290,6 \text{ мм.}$$

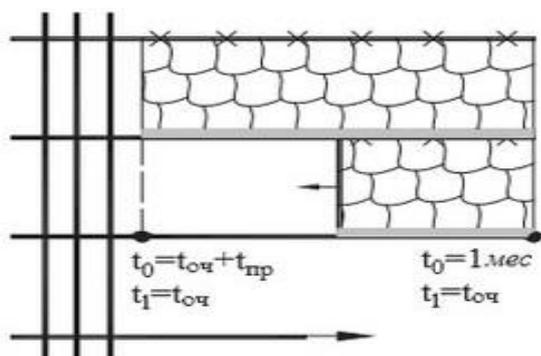
$V_o$  - средняя скорость смещений пород выработки вне зоны влияния очистных работ, мм/мес. Принимается по рис. 32 [1] или по формуле (5.32) [2]:

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

$$V_o^{kp} = 12,8 \frac{\text{мм}}{\text{мес}}$$

$$V_o^{II} = 10,17 \frac{\text{мм}}{\text{мес}}$$

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



**Рис.2** - Схема к определению  $t_o$  и  $t_1$ ,  $t_o = 20 + 11,8 = 31,8$  мес.

$t_l$  - 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.

$k_s$  - коэффициент, учитывающий влияние площади сечения выработки  $S$  в свету, ед. принимается по табл. 33 [1] или по формуле (5.35) [2]:

$$k_s = 0,3296 \cdot S^{0,4873} = 1,25$$

$k_k$  - коэффициент, учитывающий долю смещений пород кровли выработки в общих смещениях, ед. принимается по рис. 43 [1] или по формуле(5.38) [2]:

$$\text{при } R_k < R_{п} k_k = 1.023878 - 0.56866 \left( \frac{R_k}{R_{п}} \right) = 0,56$$

$k_{охр}$  - коэффициент, учитывающий влияние податливости искусственных сооружений на опускание пород кровли, ед. для туб БЖБТ  $k_{охр} = 0,15$ .

$k_{кр}$  - 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 [1] или по формуле (5.34) [2]:

$$\text{при } R_c > 15 \text{ МПа } U_1^{кр} = 36,44152 \cdot \left( \frac{H_p}{R_{кр}} \right) - 0,31134 \cdot \left( \frac{H_p}{R_{кр}} \right)^2 - 7,79691 = 689,96 \text{ мм.}$$

$$U_1^{п} = 586,85 \text{ мм}$$

$V_1$  - средняя скорость смещения пород в зоне остаточного опорного давления, мм/мес. Принимается по рис. 55 [1] или по формуле(5.47) [2]:

$$V_1 = 115,2427 \cdot \lg \left( 2,524166 + \frac{H_p}{R_{п}} \right) - 93,5973 = 61,38 \frac{\text{мм}}{\text{мес}}$$

*Для начала выработки:*

$$U_k = 1,25 ( 1 \cdot 374,9 + 12,8 \cdot 31,8 + 1(689,96 + 689,96) ) 0,56 + 1100 \cdot 0,15 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1719,5 \text{ мм.}$$

$$U_{п} = 1,25(1 \cdot 290,6 + 10,17 \cdot 31,8 + 1(586,85 + 586,85)(1 - 0,56)) + 61,38 \cdot 20 \cdot 1,25 \cdot 1 = 2517,73 \text{ мм.}$$

*Для конца выработки:*

$$U_k = 1,25 ( 1 \cdot 374,9 + 12,8 \cdot 1 + 1(689,96 + 689,96) ) 0,56 + 1100 \cdot 0,15 \cdot 1,25 \cdot 1 = 1443,58 \text{ мм.}$$

$$U_{п} = 1,25(1 \cdot 290,6 + 10,17 \cdot 1 + 1(586,85 + 586,85)(1 - 0,56)) + 61,38 \cdot 20 \cdot 1,25 \cdot 1 = 2345,45 \text{ мм.}$$

Минимальная плотность установки основной крепи определяется следующим образом.

Расчётная нагрузка на податливую рамную крепь  $P$  со стороны кровли, кПа, определяется по формуле (45) [1]:

$$P = k_n \cdot k_{н} \cdot k_{пр} \cdot P^H \cdot B_{пр},$$

где  $k_n$  – коэффициент перегрузки,  $k_n = 1$ ;

$k_{н}$  – коэффициент надёжности, для околоствольных выработок – 1,1; для остальных выработок – 1;

$B_{пр}$  – ширина выработки в проходке,  $B_{пр} = 5,72$  м;

$k_{пр}$  – коэф. учитывающий способ проведения выработки; по табл. 24 [1]  $k_{пр} = 1$ ;

$P^H$  – нормативная нагрузка на крепь. Определяется по рисунку 5 [1] (приложение Д), в зависимости от величины смещений  $U$ .

$U$  – смещения пород кровли определяются по формуле (5.55) [2]:

$$U = U_t + U_3 + U_{кр} + U_p,$$

где  $U_t$  – смещения до установки крепи, мм:

$$U_t = U_k \cdot k_t$$

где  $U_k$  – расчётные смещения пород кровли, мм;

$k_t$  – коэффициент влияния времени установки постоянной крепи на смещение пород, когда крепь устанавливается в забое при проведении выработки, коэффициент  $k_t = 0$ , следовательно,  $U_t = 0$

$U_3$  – смещения, компенсируемые за счёт сжатия закладки, принимаются 25% от толщины забутовочного слоя. Толщина забутовки принимается 90 мм,  $U_3 = 22,5$  мм;

$U_{кр}$  – конструктивная податливость крепи, определяется по таблицам приложения А[2]  $U_{кр} = 300$  мм;

$U_p$  – резерв смещений. Для податливой крепи  $U_p = 0$ .

$$U = 0 + 22,5 + 300 + 0 = 322,5 \text{ мм. По рисунку 5 [1] } P_H = 125 \text{ кПа}$$

$$P = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 125 \cdot 5,72 = 715 \text{ кПа}$$

Плотность установки крепи определяется по формуле (47) [1]:

$$n = \frac{P}{N}, \frac{\text{рама}}{\text{м}}$$

где  $N$  – несущая способность арки. По табл. 26 [1]  $N = 370$  кН .

$$n = \frac{715}{370} = 1,93 \frac{\text{рама}}{\text{м}}$$

Принимаем  $n = 2$  рамы/м. Шаг крепи =  $1/n = 0,5$  м.

Стандартная плотность крепи составляет 2,0; 1,5; 1,25; 1,0 и 0,8 рамы на метр. При этом шаг установки крепи соответственно равен 0,5; 0,65; 0,8; 1,0 и 1,25 м.

Окончательно для вышеприведенных расчетов принимаем плотность крепи  $n = 2$  рамы/м и шаг установки  $l = 0,50$  м.

В 1991 году была введена в действие Инструкция по выбору крепи [3]. Она базируется на Указаниях ВНИМИ [1] и детализирует расчеты смещений пород на контуре выработки и применение дополнительных мероприятий по снижению этих смещений на различных этапах поддержания выработки.

Так же, как и в Указаниях ВНИМИ [1], в Инструкции [3] регламентируется выбор параметров рамной податливой крепи выработок, расположенных как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ.

Произведем расчет параметров крепи для условий, приведенных в начале работы, по методике, изложенной в Инструкции [3]. Порядок расчета параметров крепи выработки, сохраняемой для повторного использования, следующий:

- 1) выбирают основную крепь при проведении повторно используемой выработки;
- 2) выбирают средства усиления крепи впереди забоя первой лавы;
- 3) выбирают средства усиления крепи позади забоя первой лавы;
- 4) производят выбор металлической рамной крепи с учетом средств усиления.

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

$$U_{окр} = k_{\alpha} \cdot k_{ш} \cdot k_s \cdot k_B \cdot k_t \cdot U_{ткр}, \text{ мм}$$

где  $U_{ткр}$  – смещения пород кровли, определяемые по графикам рис. 2, [3].

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

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

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

где  $b = 5,2$  м – ширина выработки в проходке;

$k_{ш}= 0,2(5,2-1) = 0,84$ ;

$k_B$  – коэффициент воздействия других выработок. Для одиночной выработки  $k_B=1$ ;

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

В данном случае  $R_{с.ср} \approx 39$  МПа.  $850/39=21,8$

Максимальное время поддержания выработки вне зоны влияния очистных работ (см. расчет по методике [1]).

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

$t = 2,7$  года. По рис.3  $k_t=1$

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

Расчет нагрузки  $P$  на 1 м выработки со стороны кровли вне зоны влияния очистных работ определяется по формуле (8) [3].

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

где  $P^H$  – нормативная нагрузка, определяемая по табл. 4 [3],  $P^H = 102$  кПа;

$K_n$  – коэффициент перегрузки,  $K_n=1$ ;

$K_{пр}$  – коэффициент влияния способа проведения выработки. По табл. 6 [3]  $K_{пр} = 1$ .

$$P = 102 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,2 = 530,4 \text{ кПа}$$

Плотность установки рам металлической податливой крепи на 1 м выработки определяется по формуле (10) [2]:

$$n \geq P/N_s$$

где  $N_s$  – несущая способность одной рамы в податливом режиме. Из табл.2 Приложения 1 [3] с замками ЗСД для СВП-33,  $N_s = 310$  кН.

$$n = 530,4/310 = 1,7 \text{ рам/м.}$$

Шаг установки крепи составит:

$$l = 1/n = 1/1,7 = 0,59 \text{ м}$$

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

Средства усиления крепи впереди забоя первой лавы выбирают на основании смещений, определяемых по формуле (12) [3].

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

где  $U_1$  – смещения пород в зоне временного опорного давления. По рис. 4 [3],  $U_1 = 670 \text{ мм}$ .

По табл. 10 [3],  $k_{кр} = 1$ ,  $k_s = 1,25$  (по табл. 11 [3]);  
 $k_k = 0,56$  (по рис. 5 [3]).

$$U_{кр} = 319 + 670 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,56 = 788 \text{ мм.}$$

Суммарная нагрузка определяется по формуле (8) [3]:

Для  $U_{кр} \approx 800 \text{ мм}$  и  $S = 5,2 \text{ м}$ ,  $P^H = 155 \text{ кПа}$ .

$$P_1 = 155 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,2 = 806 \text{ кПа,}$$

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

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

$$n_1 \geq (806 - 2 \cdot 310) / 310 = 0,6 \text{ рам/м}$$

В качестве средств усиления принимаем уплотнение основной крепи.

Т.е. плотность установки основной крепи равна  $1,6 \text{ рамы/м}$ ,  $l = 1/1,6 = 0,625 \text{ м}$ .  
 Принимаем стандартные  $l = 0,5 \text{ м}$ ,  $n = 2 \text{ рамы/м}$ . 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) [3]:

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

В этой формуле, кроме указанных ранее величин,  $m$  –  $1100 \text{ мм}$  – мощность пласта;

$k_{t1}$  – коэффициент влияния времени поддержания выработки между отработкой первого и второго очистного забоев. Принимается по табл. 15 [3]. В данном случае, для  $t_0 = 20 \text{ мес.}$  или  $1,66 \text{ года}$ ,  $k_{t1} = 0,94$ .

$$U_{кр} = 319 + (2 \cdot 670 \cdot 0,56 + 1100 \cdot 0,15 \cdot 0,94) \cdot 1 \cdot 1,25 = 1450,9 \text{ мм}$$

Для  $U = 1450 \text{ мм}$  и  $S = 5,2 \text{ м}$ ,  $P^H = 200 \text{ кПа}$ .

Суммарная нагрузка за весь срок службы выработки равна:

$$P_2 = 200 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 5,2 = 1040 \text{ кПа,}$$

Количество средств усиления  $n_1$  на 1 м выработки находят по формуле (18) [3]:

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

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.

$$n_2 \geq (1040 - 2 \cdot 310) / 300 = 1,40 \text{ рам/м}$$

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

Выбор крепи по податливости осуществляется на основании расчетных смещений пород кровли по формуле (11) [3]:

$$\Delta \geq U_{кр} \cdot k_{oc} \cdot k_{yc},$$

где  $\Delta$  - податливость крепи, мм;

$k_{oc}$  - коэффициент, учитывающий плотность установки основной крепи. Из таблицы 7 [3]  $k_{oc} = 0,61$ ;

$k_{yc}$  - коэффициент, учитывающий крепь усиления. По таблице 8 [3], при  $n_2 = 1,5$ ,  $k_{yc} = 0,63$ .

$$U_{кр} \cdot k_{oc} \cdot k_{yc} = 1450 \cdot 0,61 \cdot 0,63 = 557 \text{ мм}$$

Таким образом, КМП-А3 с  $\Delta = 300$  мм, не обеспечит безремонтное состояние выработки. Необходимо принять КМП-А5 с  $\Delta = 600$  мм из СВП-33 с  $N_s = 310$  кН.

Результаты расчетов параметров крепи по Указаниям [1] и Инструкции [3], получились одинаковыми. Но Инструкция позволяет более детально прогнозировать применение дополнительных мероприятий по снижению нагрузки на крепь, уменьшению смещений пород на контуре выработки, а следовательно, по снижению затрат на поддержание выработки.

Опыт ведущих угледобывающих стран мира показали, что на больших глубинах невозможно обеспечить эксплуатационное состояние выработок за счет увеличения несущей способности крепи, то есть за счет применения более тяжелых спецпрофилей и уменьшения шага её установки. Необходимо включать в работу горные породы, вмещающие горную выработку, то есть создавать систему «крепь-порода».

В 2004 году были введены в действие «Унифицированные типовые сечения горных выработок, закрепленных комбинированной крепью из взаимозаменяемого шахтного профиля» [4]. В этом нормативном документе предусматривается тампонаж закрепного пространства. В результате этого несущая способность системы «крепь-порода» превышает несущую способность самой крепи более, чем в 4 раза.

Рассчитаем нагрузку на комбинированную крепь, состоящую из той же 3-хзвенной арочной крепи в сочетании с тампонажем закрепного пространства, без влияния очистных работ по методике [4].

Смещения пород на контуре поперечного сечения выработки за весь срок службы её, в кровле и почве определяются по одной и той же формуле (2) [4]:

$$U = k_a \cdot k_\theta \cdot k_s \cdot k_B \cdot k_t \cdot U_t, \text{ мм},$$

где  $k_a = 1,0$ ;  $k_0 = 0,35$ ;  $k_B = 1$ ;  
 $k_t$  – без влияния очистных работ

$$t = \frac{L}{V_{np}} = \frac{1300}{110} = 11,8 \text{ мес} < 1 \text{ года.}$$

По рис. 6.3 [4]  $k_t = 0,55$

$k_s = 0,2$  ( $B-1$ ) = 0,71. Здесь  $B$  – ширина выработки в свету после осадки = 4,53 м.

$U_t = 290$  мм (по рис. 6.1 [4]).

$$U = 1 \cdot 0,35 \cdot 0,71 \cdot 1 \cdot 0,55 \cdot 290 = 39,6 \text{ мм.}$$

Нагрузка на комбинированную податливую крепь определяется по формуле (6) [4]:

$$P_n = k_n \cdot k_h \cdot k_{np} \cdot P^H \cdot B_{np}, \text{ кПа.}$$

где  $k_n = 1,1$  (табл. 6.10 [4]);  $k_h = 1$ ;  $B_{np} = 4,53$  м.

$k_{np} = 1$  (табл. 6.11 [4])

По табл. 6.5 [4]  $P^H = 26,0$  кПа

$$P_n = 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 4,53 \cdot 26,0 = 129,6 \text{ кПа} \approx 130 \text{ кПа}$$

И это при плотности установки крепи 1 рама/м.

Из расчетов видно, что нагрузка на раму комбинированной крепи уменьшается по сравнению с нагрузкой на ту же крепь, но без тампонажа закрепленного пространства в  $715/130 = 5,5$  раза.

Это согласуется с утверждением [4], что несущая способность системы «крепь-порода» при применении тампонажа закрепного пространства увеличивается более, чем в 4 раза.

Из таблицы 6.2 [4] видно, что несущая способность крепи КМП-А3 с замками ЗСД из спецпрофиля СВП27 для заданного сечения выработки составляет  $P = 310$  кН/арку.

$$\text{Тогда } n = \frac{P_n}{P} \quad n = \frac{130}{310} = 0,42 \frac{\text{шт}}{\text{м}}$$

Шаг установки крепи равен:

$$l = \frac{1}{n} l = \frac{1}{0,42} = 2,38 \text{ м.}$$

Как уже указывалось, максимальный шаг установки крепи равен 1,25 м. Таким образом, применение тампонажа закрепного пространства позволяет применить более облегченные крепи вместо СВП-33.

В 2007 году введен в эксплуатацию Стандарт СОУ 10.1.00185790.011:2007 «Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони» [5].

Схема к определению прочности пород на контуре выработки по методике ДонУГИ приведена на рис.3.

Эта методика учитывает породы от середины выработки на расстояние в кровлю и почву не менее 20 м.

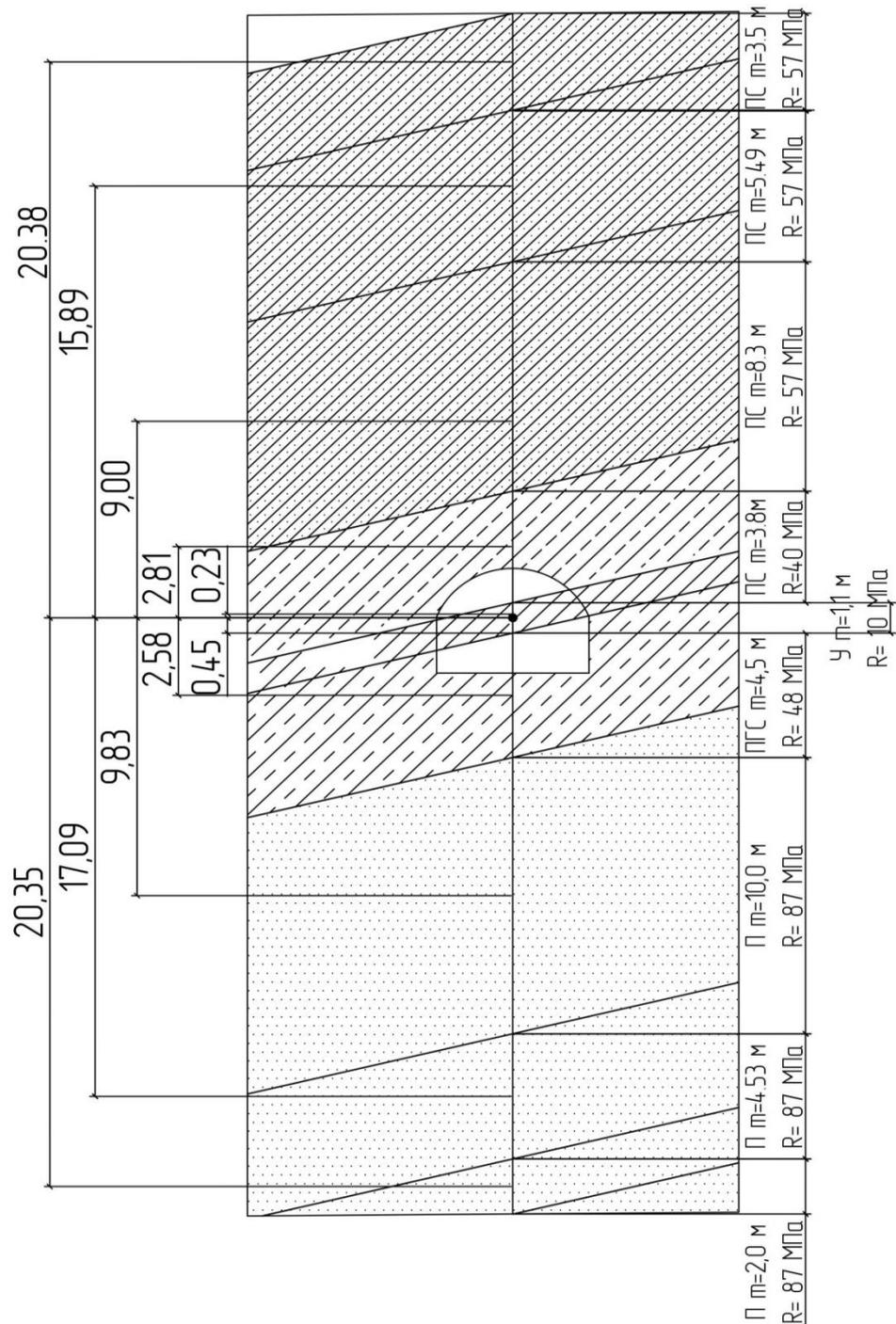
Приведем расчеты для ранее указанных условий. Так как мощности основной кровли и почвы не хватает до указанных размеров, то увеличиваем их мощность.

Рассчитываем прочность пород кровли и почвы по формуле (4.5) [5]:

$$R = \frac{\Sigma(R_i m_i k_i)}{\Sigma(m_i k_i)}, \text{ МПа}$$

где  $R_i$  – прочность  $i$ -того слоя породы, МПа;  
 $l_i$  – мощность данного слоя породы, м;  
 $k$  – коэффициент влияния слоя породы на определяемую мощность, определяется по формуле(4.6) [5]:

$$K = \exp \left[ -\alpha \left( l_i - \frac{h}{2} \right) \right]$$



**Рис.3** - Схема к определению прочности пород на контуре выработки по методике ДонУГИ

где  $\alpha$  – эмпирический коэффициент, определяется по табл. 4.1 [5],  $\alpha=0,13$ ;

$l_i$  - расстояние от середины выработки в проходке до середины  $i$ -того слоя породы,

м;

$h$  – высота выработки в проходке, м.

Для пород кровли:

$$K_1 = \exp \left[ -0,13 \left( 0,23 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp 0,217 = 1,$$

$$K_2 = \exp \left[ -0,13 \left( 0,81 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-0,118) = 0,88$$

$$K_3 = \exp \left[ -0,13 \left( 9,00 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-0,92) = 0,39$$

$$K_4 = \exp \left[ -0,13 \left( 15,89 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-1,818) = 0,16$$

$$K_5 = \exp \left[ -0,13 \left( 20,38 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-2,4) = 0,09$$

Для пород почвы:

$$K_1 = \exp \left[ -0,13 \left( 0,33 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp 0,23 = 1,25$$

$$K_2 = \exp \left[ -0,13 \left( 2,58 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-0,102) = 0,90$$

$$K_3 = \exp \left[ -0,13 \left( 9,83 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-1,189) = 0,30$$

$$K_4 = \exp \left[ -0,13 \left( 17,09 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-2,278) = 0,102$$

$$K_5 = \exp \left[ -0,13 \left( 20,35 - \frac{3,8}{2} \right) \right] = \exp (-2,767) = 0,06$$

$$R_{кр} = \frac{10 \cdot 1,1 \cdot 1,24 + 40 \cdot 3,8 \cdot 0,88 + 57 \cdot 8,3 \cdot 0,39 + 57 \cdot 5,49 \cdot 0,16 + 57 \cdot 3,5 \cdot 0,09}{0,23 \cdot 1,24 + 3,8 \cdot 0,88 + 0,39 \cdot 8,3 + 5,49 \cdot 0,16 + 3,5 \cdot 0,09} =$$

$$= \frac{399,93}{8,05} = 49,7 \text{ МПа}$$

$$R_{п} = \frac{10 \cdot 1,1 \cdot 1,25 + 48 \cdot 4,5 \cdot 0,9 + 87 \cdot 10 \cdot 0,3 + 87 \cdot 4,53 \cdot 0,102 + 87 \cdot 2 \cdot 0,06}{0,23 \cdot 1,24 + 3,8 \cdot 0,88 + 0,39 \cdot 8,3 + 5,49 \cdot 0,16 + 3,5 \cdot 0,09} = \frac{519,79}{9,005} =$$

$$= 57,7 \text{ МПа}$$

$$R_{ср} = \frac{R_{кр} + R_{п}}{2} = 53,7 \text{ МПа}$$

Суммарные смещения пород в выработках рассчитывается по формуле (6.16) [5]:

$$U_{пор2} = U_{пр} + U_1 + U_{1л} + U_2$$

где  $U_{пр}$  – смещения пород в выработках, поддерживаемых при проведении в массиве угля или вне зоны влияния очистных работ, мм; рассчитывается по формуле (6.8) [5]:

$$U_{\text{пр}} = 1,5 \cdot H \cdot K_s \cdot K_y$$

где  $H$  – глубина залегания выработки от поверхности,  $H=850\text{м.}$ ;

$K_s$  - Коэффициент влияния геометрических размеров выработки на выбор крепи,  
По формуле (4) [5]:  $K_s = 0,2 (B_{\text{пр}}-1)$ .

$$K_s = 0,2 \cdot 5,12 = 1,024;$$

$K_y$ - коэффициент влияния прочности горных пород на выбор крепи, рассчитывается по формуле (4.3)[5]:

$$K_y = 1,64 - 0,016R.$$

$$K_y = 1,64 - 0,016 \cdot 53,7 = 0,79;$$

$$U_{\text{пр}} = 1,5 \cdot 850 \cdot 1,024 \cdot 0,79 = 1031,42 \text{ мм}$$

$U_1$ - смещения пород в выработках, проводимых в массиве угля или пород и поддерживаемых впереди первого очистного забоя, определяется по формуле (6.10)[5]:

$$U_1 = 2,4 \cdot H \cdot K_s \cdot K_y$$

$$U_1 = 2,4 \cdot 850 \cdot 1,024 \cdot 0,79 = 1650,27 \text{ мм}$$

$U_{1л}$ – смещения пород в выработках за первым очистным забоем, рассчитывается по формуле (6.12)[5]:

$$U_{1л} = 2 \cdot H \cdot m \cdot K_s \cdot K_y \cdot K_o$$

где  $m$  – вынимаемая мощность пласта, м;

$K_o$  – коэффициент влияния способов охраны подготовительных выработок на их прочность, определяется по табл. 5.2 [5],  $K_o=1$ .

$$U_{1л} = 2 \cdot 850 \cdot 1,1 \cdot 1,024 \cdot 0,79 \cdot 1 = 1512,76 \text{ мм}$$

$U_2$ – смещения пород в выработках, проводимых в массиве угля или пород и поддерживаемых впереди второго очистного забоя, определяется по формуле (6.17)[5]:

$$U_{\text{пр}} = 2 \cdot H \cdot K_s \cdot K_y$$

$$U_{\text{пр}} = 2 \cdot 850 \cdot 1,024 \cdot 0,79 = 1375,2 \text{ мм}$$

$$U_{\text{пор}2} = 1031,42 + 1650,27 + 1512,76 + 1375,2 = 5569,65 \text{ мм}$$

Смещения пород кровли определяется по формуле:

$$U_{\text{кр}} = U_{\text{пор}2} \cdot K_{\text{кр}}$$

где  $K_{\text{кр}}$  – коэффициент, характеризующий долю смещений кровли в общих смещениях кровли и почвы, рассчитывают по формуле(6.2)[5]:

$$K_{\text{кр}} = R_{\text{п}} K_{\text{н}} / (R_{\text{кр}} + R_{\text{п}})$$

где  $R_{кр}$ ,  $R_{п}$  – прочности кровли и почвы, МПа;

$K_H$  – коэффициент влияния глубины разработки  $H$ , м, который зависит от способа поддержания выработок:

Для выработок, проводимых в массиве угля или пород, около угольных целиков, по выработанному пространству, в предварительно надработанной толще пород, а также тех, которые поддерживают у угольных целиков и в выработанном пространстве:

$$K_H = 1,2 - 0,0004H = 0,86$$

$$K_{кр} = 57,7 \cdot 0,86 / (48,9 + 57,7) = 0,46$$

$$U_{кр} = 5569,65 \cdot 0,46 = 2562,04 \text{ мм}$$

$$U_H = 5,57 - 2,56 = 3,01 \text{ м.}$$

Расчет высоты свода расслоенных пород  $h_c$ , м производится по формуле (8.1) [5]:

$$h_c = \frac{U_{кр}}{\alpha} h_c = \frac{2562,04}{0,13} = 19708 \text{ мм} = 19,7 \text{ м}$$

Расчет веса пород, которые формируют нагрузку на крепь 1 м подготовительной выработки, кН, производится по формуле (8.4) [5]:

$$P = \frac{2}{3} B_{пр} \gamma h_c \quad P = \frac{2}{3} 6,12 \cdot 25 \cdot 19,7 = 2009,4 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

где  $\gamma$  – объемный вес пород,  $\gamma = 25 \text{ кН/м}^3$

Расчет необходимого количества рам на 1 м выработки производится по формуле (8.5) [5]:

$$n = \frac{P}{P_{кр}} \quad n = \frac{2009,4}{310} = 6,48 \frac{\text{рам}}{\text{м}}$$

где,  $P_{кр}$  – рабочее сопротивление крепи, кН. По Приложению Г [5],  $P_{кр} = 310 \text{ кН}$

Шаг установки крепи равен:

$$l = \frac{1}{n} l = \frac{1}{6,48} = 0,15 \text{ м}$$

В стандарте ДонУГИ, в примере В.4 (с. 71-73), высота свода (вывалообразования) - расслоения горных пород, рассчитывается исходя из  $U_2$  – смещения пород в выработках, проводимых в массиве угля или пород и поддерживаемых впереди второго очистного забоя (с.20).

Если исходить из  $U_2$ , то:  $U_{2к} = U_2 \cdot K_{кр} = 1,37 \cdot 0,46 = 0,63 \text{ м}$

$$h_c = \frac{U_{кр}}{\alpha} = \frac{0,63}{0,13} = 4,85 \text{ м}$$

$$P = \frac{2}{3} B_{пр} \gamma h_c \quad P = \frac{2}{3} 6,12 \cdot 25 \cdot 4,85 = 494,7 \frac{\text{кН}}{\text{м}}$$

$$n = \frac{P}{P_{кр}} \quad n = \frac{494,7}{310} = 1,6 \frac{\text{рам}}{\text{м}}$$

Т.е. стандартная плотность установки крепи составляет 2 рамы/метр. При этом не учитываются смещения:

- $U_{пр}$  – смещения в массиве при проведении,
- $U_1$  – смещения в массиве впереди первой лавы,
- $U_{1л}$  – смещения позади первой лавы.

Это не верно. Т.к. при больших глубинах ( $H=850$  м) в слабых породах ( $R_{с.ср} \approx 39$  МПа) будет иметь место III тип напряженно-деформированного состояния пород, вмещающих выработку. Сразу после взятия заходки впереди и вокруг сечения выработки, происходит разрушение (растрескивание) вмещающих пород, формируется зона неупругих деформаций (ЗНД), со временем размеры этой зоны увеличиваются и достигают 9, в отдельных случаях 15 м. Чем больше размер ЗНД, тем больше нагрузка на крепь и, в итоге, затраты на её поддержание.

Нагрузка на крепь по методике ДонУГИ рассчитывается исходя из «гипотезы свода». Еще в конце 60-х годов XX столетия, Ю.З. Заславский доказал, что пользовался ею для глубоких шахт Донбасса нельзя. Недостатки методики ДонУГИ подробно рассмотрены в работе [6].

Из выше приведенных расчетов вытекает, что при выборе параметров рамных податливых крепей необходимо пользоваться Указаниями ВНИМИ [1] и Инструкцией ВНИМИ [3]. Для обеспечения эксплуатационного состояния выработки, необходимо создавать систему «крепь-порода» путем тампонажа закрепного пространства.

#### Библиографический список

1. Указания по рациональному расположению, охране и поддержанию горных выработок на угольных шахтах СССР. – Л.: ВНИМИ, 1986, - 222 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. Инструкция по выбору рамных податливых крепей горных выработок (Издание второе, переработанное и дополненное). – Л.:ВНИМИ, 1991.- 128 с.
4. Уніфіковані типові перетини гірничих виробок, закріплених комбінованим марочним кріпленням з взаємозамінюемого шахтного профілю. Альбом УТП 101.00174131.002-2004. Міністерство палива та енергетики України – Київ: НДІОМШБ, 2004, 169 с.
5. Стандарт Мінвуглепрому України «Підготовчі виробки на пологих пластах. Вибір кріплення, способів і засобів охорони» СОУ 10.1.00185790.011: 2007. Київ, 2007, - 113 с.
6. Самойлов В.Л. , Подкопаев С.В., Нефёдов В.Е. О расчете смещений в горных выработках по методике ДонУГИ / Вести Донецкого горного института № 1-2, 2012. – с.492-494