

УДК 622.273.131:622.838.51

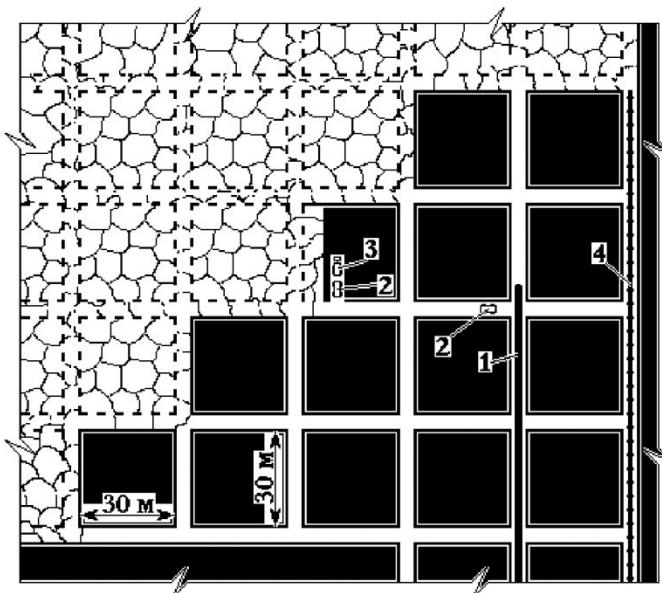
В. Н. Хомченко, В. А. Карапес, Ю. А. Масаев

## ЗАВИСИМОСТЬ РАСЧЁТНЫХ РАЗМЕРОВ ЦЕЛИКОВ ОТ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ В СИСТЕМАХ С КОРОТКИМИ ОЧИСТНЫМИ ЗАБОЯМИ

Основное назначение целиков при системах разработки короткими столбами, камерных и камерно-столбовых системах разработки – управление кровлей. Основными расчёты параметрами систем разработки с короткими очистными забоями являются ширина междукамерных и межблочных целиков, ширина камер, размеры выемочных блоков, число обрабатываемых камер.

В системе разработки короткими столбами,

длительного времени. В связи с этим срок службы целиков в камерных системах разработки может составлять от нескольких суток до нескольких лет. В некоторых случаях в камерных системах разработки периодически через несколько междукамерных целиков оставляют барьерные целики, более широкие и прочные. Они служат для управления основной кровлей и, как правило, не извлекаются.



*Рис. 1. Система разработки короткими столбами:*

*1 – ленточный конвейер; 2 – самоходный вагон; 3 – комбайн; 4 – монорельсовый транспорт.*

столбы размером 30×30 м нарезают взаимно пересекающимися выработками шириной 4-5 м. Столбы погашают обратным ходом при расположении общей линии погашения под углом 45° к оси штранка (рис.1).

Комбайны 3 в камерах при отработке столбов работают при углах падения пластов до 10°. На пластах мощностью до 5 м междукамерные целики и извлекают обратным ходом комбайна. При мощности более 5 м выемку в камерах производят в два приема. Сначала вынимают верхнюю часть камеры прямым ходом с подготовкой участков наклонными заездами, затем нижнюю часть камеры. Междукамерные целики оставляют при условии допущения их раздавливания. Крепят кровлю в камерах анкерами.

В камерных системах разработки междукамерные целики 4 (рис. 2) служат для сохранения устойчивости кровли в камерах.

В отдельных случаях они должны гарантировать охрану объектов на поверхности в течение

При камерно-столбовой системе разработки (рис. 3) управление основной кровлей обеспечивается целиками – столбами 7, а непосредственной кровлей – подзатавльными целиками, оставляемыми между заходками 2, которыми отрабатывается целик – столб. Основными расчёты параметрами камерных и камерно-столбовых систем разработки являются: ширина междукамерных и подзатавльных целиков, целиков-столбов и барьерных целиков, междуэтажных целиков, ширина камер и размеры выемочных участков, число одновременно отрабатываемых камер или заходок, условные потери полезного ископаемого.

Все современные методы расчёта целиков основаны на расчёте по допускаемым напряжениям. Сущность его состоит в том, что напряжения, развивающиеся в целике внешними нагрузками (давлением поддерживаемых пород), сравниваются с предельно допустимыми для материала целика, которые устанавливаются в соответствии с какой-либо теорией прочности.

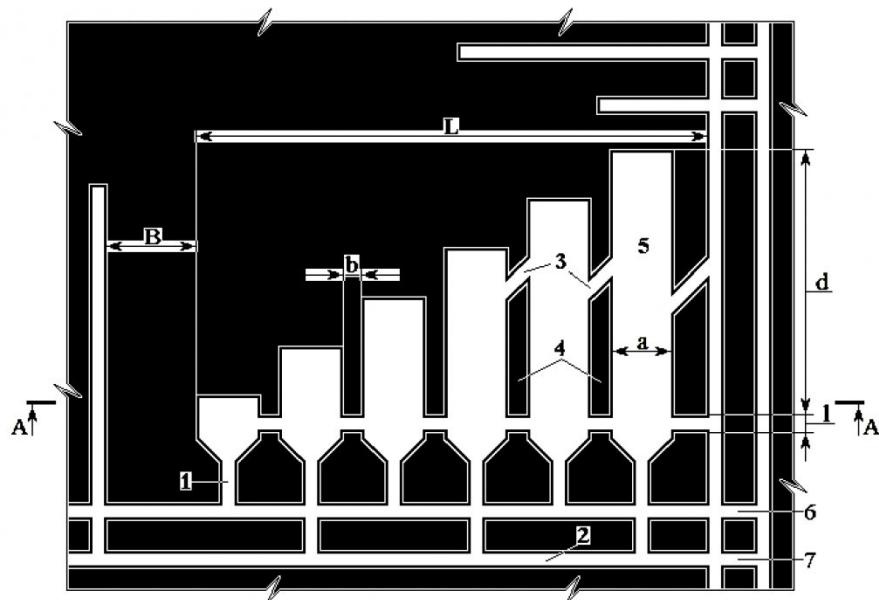


Рис. 2. Камерная система разработки:

1 – горловина камеры; 2 – главный штrek; 3 – междукамерные вентиляционные сбойки; 4 – междукамерный целик; 5 – камера;  $b$  – ширина междукамерных целиков, м;  $B$  – ширина межблокового целика, м;  $L$  – ширина блока, м.

Отношение этих напряжений характеризует запас прочности целика при заданных его размерах, и наоборот, размеры целика при заданном коэффициенте запаса прочности характеризуют отношение напряжений в целиках.

Определение действующих нагрузок и напряжений производится на основе той или иной гипотезы горного давления на целики, в частности, гипотез полного веса столба пород, сплошной

среды, балок и плит и др.

В качестве допускаемых напряжений в теории целиков принимают предел прочности пород при одноосном сжатии. В общем виде условие равновесия имеет вид

$$R = \frac{k \cdot 100 \cdot \sigma_{\text{сж}}}{n}, \quad (1)$$

где  $R$  – общая внешняя нагрузка на целик, прихо-

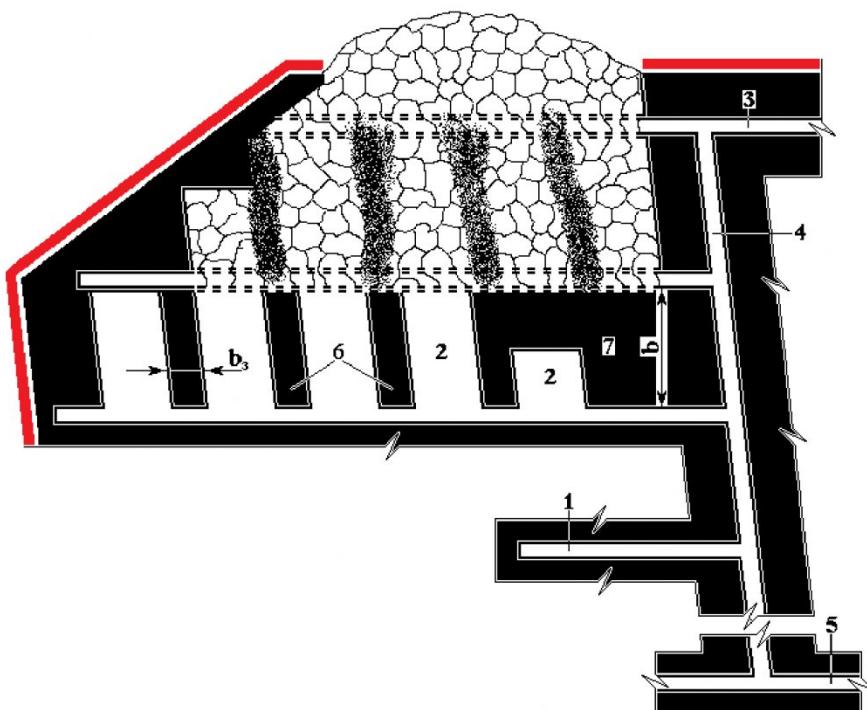


Рис. 3. Камерно-столовая система разработки:

1 – камеры; 2 – заходка; 3 – вентиляционный штrek; 4 – бремсберг; 5 – откаточный штrek; 6 – подзавальный целик; 7 – целик–столб;  $b$  – ширина целика–столба;  $b_3$  – ширина подзавального целика.

дящаяся на единицу его площади, МПа;  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние различных факторов на несущую способность целика;  $\sigma_{cж}$  – предел прочности целика при одноосном сжатии, МПа;  $n$  – коэффициент запаса прочности.

Коэффициент  $k$  зависит от многих факторов: формы и размера целиков, трещиноватостью, неоднородностью пород, условиями контакта с вмещающими породами, технологией выемки камер, наличием крепи или закладки в камерах и т.д. Влияние некоторых из них весьма существенны и учитываются специально вводимыми коэффициентами. Влияние других факторов учитывается суммарно коэффициентом запаса прочности целиков.

По форме и размерам целики классифицируются следующим образом: длинные стены ( $d/b > 3$ ); короткие стены ( $1 < d/b < 3$ ); столбы ( $d/b \leq 1$ ); низкие ( $1 \leq b/h_0 \leq 4$ ); высокие ( $0,25 \leq b/h_0 \leq 1$ ), где  $d$  – длина целика, м;  $b$  – ширина целика, м;  $h_0$  – высота целика, м.

Метод, впервые предложенный Турнером, затем был развит в трудах Л. Д. Шевякова, Ля Гупиера, Стаматиу и др. Основные положения и допущения этой группы методов: наибольшая нагрузка на целики создаётся весом всей толщи пород до поверхности в пределах участка, поддерживаемого целиками; вертикальные напряжения в горизонтальных сечениях целика считаются равномерно распределёнными; допускаемыми напряжениями считается предел прочности пород целика одноосному сжатию, в него вводятся поправки или коэффициенты, полученные лабораторным путём и характеризующие несущую способность целика; расположение целиков в форме столбов или длинных стен и камер предполагается регулярным.

Условие равновесия целиков, если пренебречь собственным весом целика, имеет вид в соответ-

стве с (1)

$$\frac{k_h \cdot k_\alpha \cdot \gamma H(a+b)(l+d)}{b+d} = \frac{k \cdot 100 \cdot \sigma_{cж}}{n}, \quad (2)$$

где  $k_i$  – коэффициент, учитывающий размер участка, примем равным единице, так как выемочные участки небольшого размера;  $H$  – глубина от поверхности до камер, м;  $k_\alpha$  – коэффициент, учитывающий угол падения пласта

$$k_\alpha = \cos^2 \alpha + \lambda \cdot \cos^2 \alpha, \quad (3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент бокового давления, равен 0,25; на пологих пластах  $k_\alpha = 1,2$ ;  $\gamma$  – средний объёмный вес породной толщи до поверхности, т/м<sup>3</sup>;  $a$  и  $l$  – ширина примыкающих к целику камер и выработок, м;  $k$  – коэффициент, учитывающий изменение прочности целика по сравнению с пределом прочности пород при одноосном сжатии,  $k=1$ ;  $n = 1,0\text{--}4,0$  – коэффициент запаса прочности,

Следовательно, ширина целика будет определяться по выражению, полученному из (2):

$$b = \frac{a}{\frac{k}{n \cdot k_h k_\alpha} \cdot \frac{100 \sigma_{cж} d}{\gamma H(l+d)} - 1}, \quad (4)$$

В системе разработки короткими столбами (рис. 1) ширина междукамерных целиков при условии допущения их раздавливания (т. е. при  $n = 1$  и  $d = 30$  м) будет равна

$$b = \frac{a}{\frac{k}{k_h k_\alpha} \cdot \frac{100 \sigma_{cж} d}{\gamma H(l+d)} - 1}, \quad (5)$$

Используем (5) для определения допустимой ширины междукамерных целиков в зависимости от глубины отработки пласта системой короткими столбами. Для этого необходимо все другие параметры, входящие в формулу, привести к постоянным средним: ширину выработок, подготавлива-

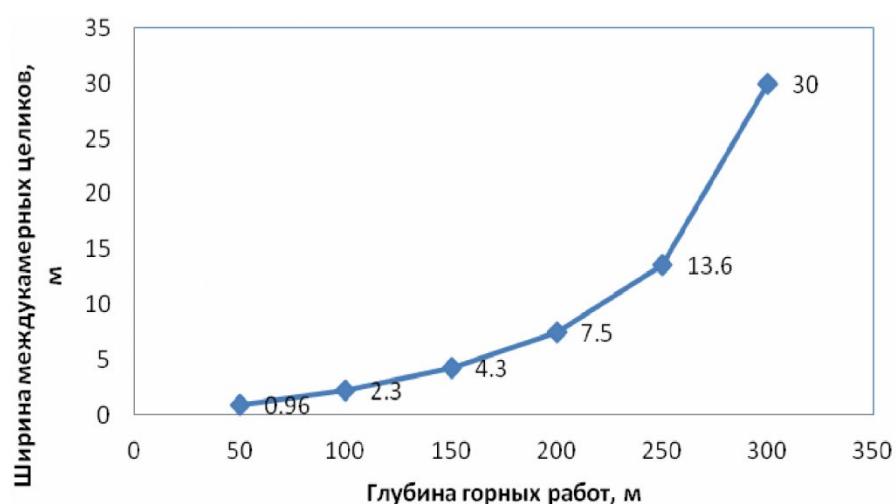


Рис. 4. Зависимость расчетной ширины междукамерных целиков в системе разработки короткими столбами от глубины работ

ющих выемочные столбы к отработки, принимаем равными 6 м; коэффициент, учитывающий размеры участка равен единице; угол падения пласта принимаем до  $10^\circ$ ; предел прочности угольного целика при одноосном сжатии принимаем равным 13 МПа; средний объёмный вес пород толщи до поверхности  $2,5 \text{ т}/\text{м}^3$ . Изменение глубины отработки принимаем от 50 до 300 м, с периодичностью в 50 м.

В результате расчётов по предлагаемой методике получена следующая зависимость допустимой ширины междукамерных целиков от глубины отработки пласта в системе разработки короткими столбами (рис. 4).

При камерной системе разработки (рис. 2) ширина междукамерных целиков в форме длинных стен рассчитывается по формуле (4) с условием, что  $n = 2$ ,  $l = 0$  м. Тогда

$$b = \frac{a}{\frac{k}{n \cdot k_h \cdot k_\alpha} \cdot \frac{100\sigma_{\text{сж}}}{\gamma H} - 1}, \text{ м.} \quad (6)$$

При сохранении выше перечисленных постоянных параметров, получена зависимость допу-

стимых размеров междукамерных целиков в камерной системе от глубины отработки (рис. 5).

Ширина межблоковых целиков  $B$  (рис. 2) в соответствии с методикой, предложенной Ю. А. Модестовым, которая предусматривает наличие пород основной кровли в виде моста. В результате возможен эффект разгрузки междукамерных целиков за счёт периодического оставления более широких межблоковых целиков. В результате междукамерные целики воспринимают нагрузку от веса пород только непосредственной кровли.

Ширина межблокового целика

$$B = \frac{\gamma_h [h(2H-h)\tan\delta + L_1(H-h)]k_h}{k \cdot 100\sigma_{\text{сж}} - H \cdot k_h}, \text{ м,} \quad (7)$$

где  $\gamma_h$  - средний объёмный вес непосредственной кровли,  $\text{т}/\text{м}^3$ ;  $h$  - мощность непосредственной кровли, м;  $\delta$  - угол обрушения пород непосредственной кровли, ( $55-85^\circ$ );  $L_1$  - допустимый пролёт основной кровли в выемочном блоке

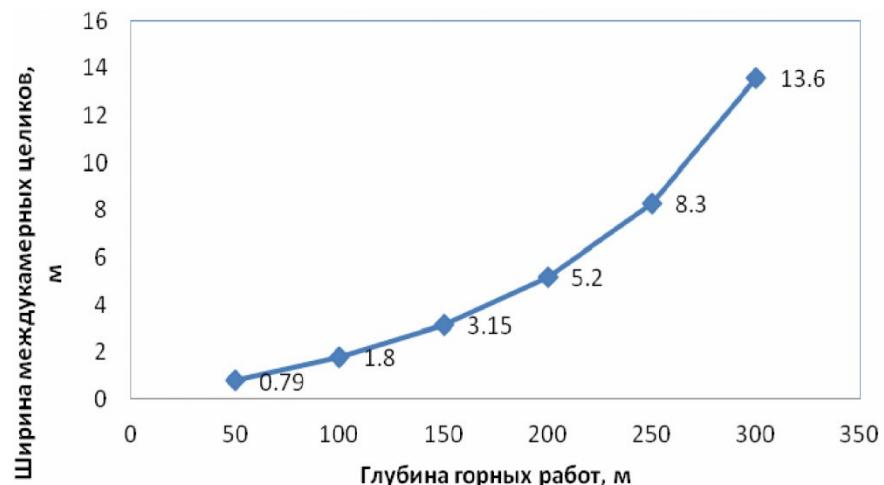


Рис. 5. Зависимость расчетной ширины междукамерных целиков в камерной системе разработки от глубины работ



Рис. 6. Зависимость расчетной ширины межблоковых целиков в камерной системе разработки от глубины работ

$$L_1 = 1,73 \sqrt{\frac{\sigma_p \cdot h_1^2}{q}}, \text{ м} \quad (8)$$

где  $\sigma_p$  – предел прочности пород кровли на рас-tяжение основной кровли, МПа;  $h_1$  – мощность основной кровли, м;  $q$  – нагрузка на основную кровлю, кН.

$$q = \gamma_i (H - h - h_1), \text{ кН} \quad (9)$$

где  $\gamma_i$  – плотность пород от основной кровли до поверхности, т/м<sup>3</sup>.

Дополнительно введём постоянные параметры для расчёта межблочных целиков: мощность непосредственной кровли,  $h = 10$  м; мощность основной кровли,  $h_1 = 15$  м; предел прочности пород основной кровли на растяжение,  $\sigma_p = 5$  МПа; плотность пород от основной кровли до поверхности,  $\gamma_i = 2,5$  т/м<sup>3</sup>.

В результате расчётов получена следующая зависимость ширины межблочных целиков от глубины разработки (рис. 6).

Ширина блока  $L$  определяется по формуле

$$L = L_1 + 2h \cdot \operatorname{tg}\delta + B, \text{ м.} \quad (10)$$

Число камер в блоке  $n_k$  будет составлять

$$n_k = \frac{L - B - b}{b + a} \quad (11)$$

Условные потери полезного ископаемого  $\Pi$  будут равны:

$$\Pi = \frac{(n_k - 1) \cdot b + B}{(n_k - 1) \cdot b + n_k a + B} \cdot 100, \%, \quad (12)$$

В камерно-столбовых системах разработки (рис. 3) основными параметрами являются: ширина вынимаемого целика-столба  $b$  и ширина подзavalьных целиков  $b_3$  (рис. 3). В этом случае ширина  $b_3$  будет определяться по формуле (6).

$$b_3 = \frac{a}{k \cdot \frac{100 \sigma_{\text{сж}}}{n \cdot k_h \cdot k_\alpha \cdot \gamma H} - 1}, \text{ м.} \quad (13)$$

Ширина целика-столба  $b$  определяется из (5)

при известной ширине подзavalьных целиков  $b_3$

$$b = \frac{l}{k \cdot \frac{100 \cdot \sigma_{\text{сж}} b_3}{k_h k_\alpha \gamma H (l + b_3)} - 1}, \text{ м} \quad (14)$$

В камерно-столбовой системе разработки в результате расчётов свыше принятыми параметрами ширина вынимаемого целика-столба (рис. 3) не зависит от глубины разработки камерно-столбовой системой и равна 13,3 м. Это объясняется тем, что при увеличении глубины отработки адекватно увеличивается ширина междукамерных целиков.

В результате теоретических исследований выше приведённых формул выявлено, что с увеличением глубины отработки пологих угольных пластов системами разработки с короткими очистными забоями допустимая ширина междукамерных и барьерных целиков увеличивается (рис. 4,5,6).

Опыт отработки пласта 7-7<sup>a</sup> на шахте «Распадская» показал следующее. Участок пласта отрабатывался камерно-столбовой системой разработки с использованием импортного оборудования фирмы «Джой». В состав оборудования входили: проходческо-очистной комбайн 12СМ18-10В и самоходный вагон на пневмо-колёсном ходу типа 10СС32-36VG-4. Выемочный столб был подготовлен тремя выработками: внизу конвейерным и воздухоподающим штреками, вверху вентиляционным штреком. Выемочный столб был разделён на блоки по простирианию длиной до 80 м. Между блоками оставляли барьерный целик шириной 10 м. По формуле (7) расчёты показали, что равен 11,4 м. Ширина целика-столба для отработки его заходками составляла 6 м.. Расчёты по формуле (14) показали 13,6 м. Подзavalьные целики по расчётом должны быть 1,8 м. Фактически оставляли 1,7 м. Следовательно, наблюдается сходимость расчётных результатов с практической работой на шахте.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проскуряков, Н. В. Механика горных пород : учеб. пособие / Н. М. Проскуряков, С. Н. Суглобов. – РТП ЛГИ, 1077. – 96 с.

Авторы статьи

Хомченко Валерий Николаевич

к.т.н., доцент каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом

КузГТУ, тел. 9050793460

Карасев Вячеслав Анатолиевич

к.т.н., доцент каф. разработки месторождений полезных ископаемых подземным способом

КузГТУ, тел. 9089558462

Масаев Юрий Алексеевич

к.т.н., профессор каф. строительства подземных сооружений и шахт КузГТУ. Тел. раб. 39-63-78