

УДК 622.231.76

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ОХРАННЫХ УГОЛЬНЫХ ЦЕЛИКОВ И ДЕЙСТВУЮЩИХ В НИХ НАПРЯЖЕНИЙ

Ходырев Е. Д.

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Визначено граничні розміри вугільних ціликів і рівень діючих в них напружень в умовах часткового бурошнекового відпрацювання ділянки пласта l_1 в районі приствольного цілика шахти ім. В. І. Леніна ДП «Макіїввугілля».

Maximum sizes of coal pillars and level of stresses acting in them in conditions of partial augering of the seam l_1 near the shaft pillar (Mine V. I. Lenina belonging to the State-Owned Company Makeevugol) are determined.

На угольных шахтах из-за сложных горно-геологических условий, а также для охраны различного рода объектов оставляют угольные целики. Их запасы на каждой действующей или закрывающейся шахте в Украине достигают в среднем 500 тыс. т. При погашении отслуживших свой срок горных выработок и при закрытии шахт основная часть этих запасов теряется из-за отсутствия рентабельных и безопасных технологий их отработки.

Под целиком понимается участок оконтуренного очистными выработками угольного массива, наименьшая ширина которого не превышает $2l$, где l - ширина зоны влияния опорного давления [1]. Если указанный размер больше $2l$, то этот участок следует рассматривать как угольный массив с краевыми частями.

При выемке целиков на удароопасных пластах зафиксирован ряд проявлений горных ударов на шахтах Донецкого (в

Украине) и Кизеловского (в Российской Федерации) каменно-угольных бассейнов [2, 3].

По данным [3] на выбросоопасных пластах внезапных выбросов угля и газа при отработке целиков обычно не происходит, так как они сильно деформируются и дегазируются.

При выборе технологии выемки угля из целиков необходимо учитывать их размеры и ожидаемые значения действующих в нем напряжений.

Исследованиями ВНИМИ и УкрНИМИ [3, 4] установлено, что при конкретных горнотехнических и горно-гелогических условиях (большой глубине разработки, прочности угля, превышающей 6 МПа, наличии устойчивых пород в кровле пласта, склонных к зависанию в выработанном пространстве) целики с недостаточно большими размерами могут быть потенциально опасными по проявлению горных ударов. В этих условиях они, находясь в предельно-напряженном состоянии, способны формировать зоны повышенного горного давления (зоны ПГД) или, постепенно деформируясь, теряют свою несущую способность, раздавливаются и в дальнейшем реагируют на горное давление как бутовые полосы, т.е. становятся неопасными как к горным ударам, так и к внезапным выбросам угля и газа. Чтобы контролировать возможный переход целика в различное по степени напряженно-деформированное состояние, необходимо в каждом конкретном случае при намечаемых работах по его частичной отработке выполнять расчеты его предельных размеров и действующих в нем напряжений.

При этих расчетах, как и при определении размеров зон ПГД, учитывается ширина выработанного пространства, примыкающего к целику или к краевой части угольного массива. Следует отметить, что в нормативном документе [1] недостаточно точно определяется ширина выработанного пространства при ее значениях менее 100 м, что приводит к ошибкам при установлении размеров возникающих зон ПГД. Например, в таблице Л.3 [1] значения исходных для расчета размеров зон ПГД (d_1 и d_2) приведены для ширины выработанного пространства a с размерами от 100 до 250 м. При этом в соответствии с [1], если

$a < 100$ м, то значения d_1, d_2 принимаются как при $a = 100$ м. Если $a > 250$ м, то d_1, d_2 принимаются как при $a = 250$ м.

Исходя из установленных геомеханических закономерностей проявления горного давления в очистных выработках [1], требование принимать d_1, d_2 при $a > 250$ м как при $a = 250$ м основывается на том, что сформировавшаяся в этих условиях зона ПГД достигла максимально возможных размеров.

При $a < 100$ м, мы имеем еще не полностью сформированную зону ПГД, которая, возникнув первоначально при некоторой минимальной ширине выработанного пространства, по мере увеличения значений a последовательно увеличивает свои размеры d_1, d_2 до достижения ее максимальных значений при $a = 250$ м.

В случаях же управления кровлей в очистном забое с использованием закладки выработанного пространства, в последнем, при недостаточной эффективной мощности угольного пласта, может появиться зона восстановления исходного горного давления. В этом случае принимаемая к расчетам значений d_1, d_2 ширина выработки может не соответствовать ширине пролета подработанных пород над целиком, формирующим зону ПГД. Отсутствие учета этого фактора снижает точность определения предельных размеров целиком и действующих в них и краевых частях угольного пласта напряжений, а также не позволяет устанавливать фактические границы влияния зон ПГД на соседние сближенные пласты. Поэтому в расчетах следует принимать расстояние от движущегося забоя или от кромки пласта до зоны восстановления исходного горного давления за ширину a , от величины которой, по существу, зависят размеры зон ПГД и уровень напряжений в пласте. Согласно [1], восстановление исходного горного давления возможно лишь при условии смыкания пород кровли и почвы за счет их упругого расширения после выемки угля, а также опускания пород кровли при достигнутой определенной ширине выработанного пространства и недостаточной эффективной мощности разрабатываемого на данной глубине пласта.

Для расчета ожидаемых в целиком напряжений используются, разработанные ВНИМИ [4], аналитические, базирующиеся на экспериментальных исследованиях в шахтных условиях, методы

определения предельной ширины целиков угля. Также использованы при этом результаты выполненных на шахтах Центрального района Донбасса экспериментальных исследований деформаций угольных целиков [3] с обобщением опыта ведения горных работ на участках соседних пластов, расположенных под или над вышеуказанными целиками угля. Сущность этих методов расчета предельных размеров угольных целиков и действующих в них напряжений заключается в следующем.

Согласно [4], предельную ширину целиков L_n определяют по формуле:

$$L_n = \varepsilon \cdot X_0, \quad (1)$$

где X_0 – пролет горных пород, располагающихся в кровле угольного пласта и оказывающих давление на угольный целик. Определяется он суммарной шириной прилегающих выработок S_1 и S_2 и целика L , то есть $X_0 = S_1 + L + S_2$ (рис.1);

ε – множитель, значение которого устанавливают по графику (рис. 2) в функции от показателей:

D – безразмерного, установленного экспериментальным путем [4], показателя устойчивости целика к горному давлению;

τ – соотношения размеров выработок около целика.

Значения D и τ находят из выражений:

$$D = \frac{K_* \cdot X_0}{\sigma_y \cdot m}, \quad (2)$$

$$\tau = -(1 - \varepsilon) \cdot \frac{S_2 - S_1}{S_2 + S_1}, \quad (3)$$

где K_* – среднее касательное напряжение с учетом влияния контактных условий угольного пласта и боковых пород, МПа. Определяется он, согласно [4], по формуле $K_* = 1,3\sigma_c$, где σ_c – прочность угля на одноосное сжатие, МПа;

m – мощность угольного пласта, м;

σ_y – напряжения, действующие по нормали к напластованию на уровне разрабатываемого пласта, МПа, определяются по формуле:

$$\sigma = -\gamma \cdot H(\lambda \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha), \quad (4)$$

где γ – средний объемный вес горных пород, который для условий Донбасса равен $2,5 \text{ т/м}^3$;

H – глубина разработки пласта, м;

λ – коэффициент бокового распора (при отсутствии данных $\lambda \sim 0,65 - 0,7$);

α – угол падения пласта, градус;

S_1, S_2 – ширина примыкающих к угольному целику горных выработок, м.

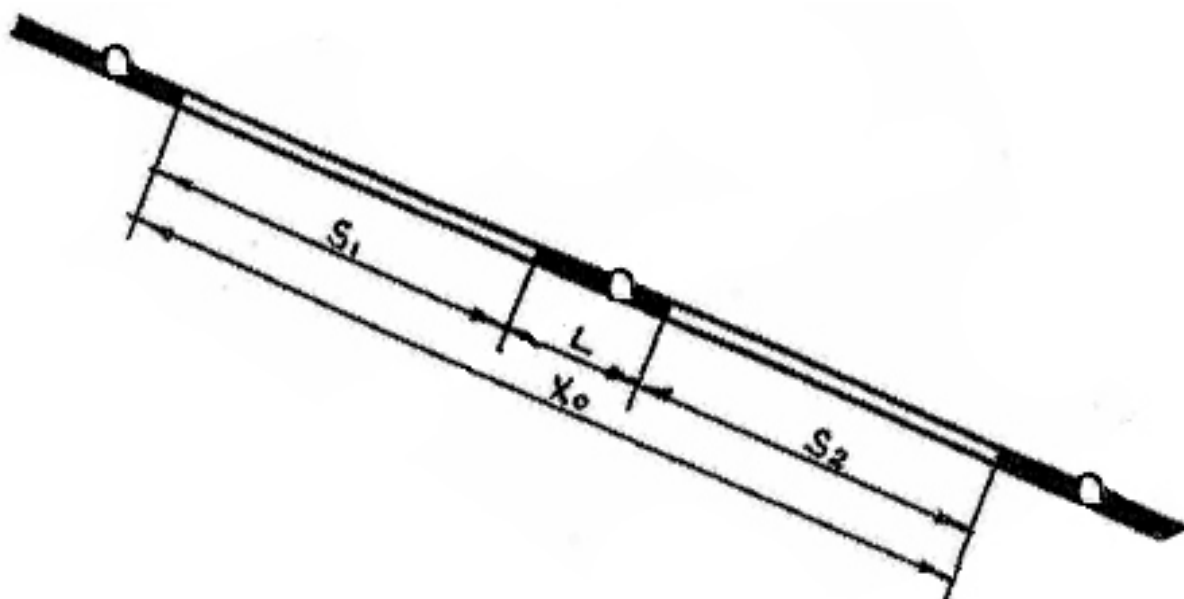


Рис. 1. Расчетная схема по определению общего пролета (x_0) зависших над угольным целиком пород кровли

Расчет осуществляется методом последовательного приближения. Сначала в формуле (3) принимают $\varepsilon = 0$ и по графику (см. рис. 2) находят первоначальное значение ε , которое на втором шаге используют для вычисления τ . Затем, с учетом полученного значения τ , определяют по графику рис.2 новое, уточненное значение ε . Расчеты выполняют практически до совпадения двух последних полученных значений ε .

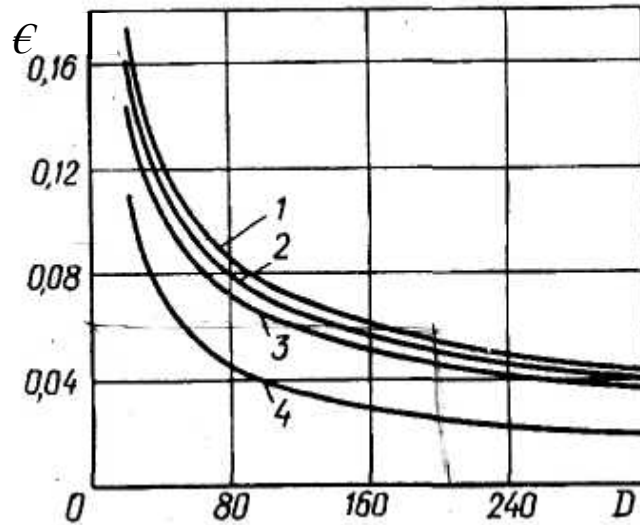


Рис. 2. Определение значений множителя ϵ в зависимости от показателей D и τ , вычисленных по формулам (2 и 3): кривые 1, 2, 3 и 4 – τ , равные, соответственно, -0 , $-0,5$, $-0,7$ и $-1,0$.

Практика отработки угольных целиков на шахтах Донбасса показала, что наиболее безопасным способом выемки угля из целиков является его выбуривание с помощью бурошнекового агрегата АВШ - 1, имеющего проектную производительность от 1,5 до 2,5 т/мин. В процессе выбуривания угля целик подвергается гораздо меньшим динамическим воздействиям, чем при выемке буровзрывными работами или отбойными молотками. Это способствует обеспечению лучшей сохранности остающейся части обрабатываемых целиков.

УкрНИМИ совместно с руководством ГП «Макеевуголь» и шахты им. В. И. Ленина был выбран на этой шахте для отработки с применением бурошнековой установки АВШ-1 экспериментальный участок пласта l_1 шириной 100 м, длиной - 240 м., примыкающий к охранному целику под стволы №№ 1-4 и промплощадку, а с противоположной стороны - к Западному парному штреку. Ниже этого штрека оставлен целик угля шириной от 50 до 80 м. Глубина разработки экспериментального участка – 615 м.

Выше пласта l_1 на расстоянии 50 м залегает пласт l_2^{le} , а ниже, на расстоянии 40 м, пласт k_6^{ln} , которые здесь не отработаны.

Поэтому вышеназванный участок пласта l_1 не подвергается влияниям горных работ соседних пластов.

Определение исходных данных для расчетов действующих напряжений перед началом ведения выемочных работ с помощью бурошнековой установки при сложившемся соотношении горных работ осуществляется по методике [4]. При этом учитываются: мощность пласта $m = 1,3$ м; глубина разработки $H = 615$ м; угол падения пласта $\alpha = 3^\circ$; коэффициент бокового распора $\lambda = 0,65$; первоначальные напряжения в нетронутом массиве, вычисленные по формуле (4), $\delta_y = 15$ МПа, прочность угля на одноосное сжатие, составляющая, по результатам экспериментального определения, $\sigma_c = 15$ МПа; действующие напряжения на краю обнажения пласта, которые, как установлено экспериментально, практически не превышают прочность угля на одноосное сжатие $\sigma_c = \sigma_k = 15$ МПа; предельное сопротивление угля сдвигу с учетом контактных условий между пластом и боковыми породами $K_* = 1,3\sigma_c = 19,5$ МПа. Ширина штрека составляет $S_1 = 4$ м. Ширина выработанного пространства лав, оконтуривающих целик с противоположной стороны, превышает 250 м и поэтому, согласно номограммы рис. Л. 4 [1], в расчетах необходимо принимать $S_2 = 150$ м. Наименьшая ширина рассматриваемого целика $L_{ц} = 50$ м. Ширина зоны опорного давления $l = 50$ м. Общий пролет пород кровли, зависший над штреком, угольным целиком и выработанным пространством 1-ой Западной лавы, составляет

$$X_0 = S_1 + L_{ц} + S_2 = 4 + 50 + 150 = 204 \text{ м.}$$

Предельный размер целика определяется формулой (1), т.е. $L_{ц} = \varepsilon X_0$.

Значение ε устанавливаются по графику рис. 2 в соответствии с показателями, определяемыми по формулам (2) и (3):

$$D = \frac{19,5 \cdot 204}{15 \cdot 1,3} = 204 \text{ и } \tau = -(1 - \varepsilon) \cdot \frac{(150 - 4)}{(150 + 4)} \tau = 0,95.$$

По номограмме рис. 2 значение $\varepsilon = 0,025$. Предельный размер целика, примыкающего к Западному парному штреку, составит $L_{ц} = 0,025 \cdot 204 = 5$ м.

Согласно [4], расчеты действующих в пласте напряжений в обрабатываемом целике осуществляются в определенной последовательности. Сначала вычисляют расстояние от края пласта до точки максимума опорного давления по формуле:

$$X_1 = 0,96 \left(\frac{0,5m}{K_*} \cdot |K_1| \right)^{2/3} \cdot f(p), \quad (5)$$

где: K_1 – коэффициент интенсивности напряжений для схемы, соответствующей сложившейся геометрии выработки в конкретных условиях. В данной ситуации геометрия выработки соответствует схеме 9 таблицы 1 [4]. Поэтому показатель K_1 определяется выражением:

$$K_1 = -\gamma H \sqrt{0,5x_0} \cdot \varphi_1. \quad (6)$$

Значение φ_1 находится по таблице 3 [4] в функции от S_1 / X_0 и $\dot{L}_{\text{ц}} / X_0$. В данном случае $S_1 / X_0 = 4 / 204 = 0,02$ и $\dot{L}_{\text{ц}} / X_0 = 50 / 204 = 0,25$, $\varphi_1 = 0,310$. Отсюда $K_1 = -15 \sqrt{102} \cdot 0,310 = 47$ МПа.

Показатель условий распределения напряжений (p) в краевой части пласта с учетом его мощности, сил сцепления с боковыми породами и прочности угля определяется выражением:

$$p = 0,57 \cdot \frac{|\sigma_k|^3}{k_1^2} \cdot \frac{0,5m}{k_*}. \quad (7)$$

$$\text{Для рассматриваемых условий } p = 0,57 \cdot \frac{15^3}{47^2} \cdot \frac{0,65}{19,5} = 3 \cdot 10^{-2}.$$

По таблице 5 [4] $f(p) = 0,652$. В соответствии с формулой (5)

$$X_1 = 0,96 \left(\frac{0,65 \cdot 47}{19,5} \right)^{2/3} \cdot 0,652 = 0,8 \text{ м.}$$

Максимальные напряжения в стенках Западного парного штрека определяют, согласно [4], по формуле:

$$\delta_m = -\delta_k - \frac{K_*}{0,5m} \cdot x_1. \quad (8)$$

$$\text{Отсюда } \delta_m = -15 - \left(\frac{19,5}{0,65}\right) \cdot 0,8 = 39 \text{ МПа.}$$

Коэффициент концентрации напряжений составляет $K = \delta_m / \delta_y = 39 / 15 = 2,6$.

Результаты приведенных расчетов показывают, что при фактической ширине $\dot{L}_{ц} = 50$ м целик в вышеуказанных условиях не находится в предельно-напряженном состоянии. При этом отработываемый с помощью бурошнековой установки экспериментальный участок пласта l_1 шириной 100 м и длиной 240 м, прилегающий с одной стороны к охранному целику под стволы № 1-4 и промплощадку шахты, а с противоположной стороны к Западному парному штреку, тоже не будет находиться в предельно-напряженном состоянии. Следовательно, ожидать проявления горного удара на этом участке целика при его частичной выемке нет оснований.

Определим значение возникающих в результате работы бурошнековой установки максимальных напряжений в оставляемых межкамерных целиках угля при работе АВШ-1. Существует, разработанная ВНИМИ, упрощенная методика расчета напряжений в пласте угля на участках пластов возле подготовительной выработки в сторону неотработанного угольного массива [4].

Расстояние до точки максимума опорного давления, согласно [4], определяется по формуле:

$$X_1 = \delta \cdot 0,5S_1, \quad (9)$$

где δ – безразмерная величина, значение которой устанавливается, в соответствии с [4], по графикам рисунка 3 в функции от отношения $\sigma_k / \gamma H$ и параметра $D = \frac{K_* \cdot X_0}{\sigma_y \cdot m}$;

где σ_k – напряжения на обнажении пласта, МПа;

γH – напряжения в нетронутом массиве, МПа.

На рассматриваемом участке ширина камер $S_1 = 2,0$ м; ширина целиков между ними $\dot{L}_{ц} = 2,0$ м. $X_0 = 6$ м. Соотношение $\sigma_k / \gamma H = 15 / 15 = 1,0$. Согласно формуле (2) показатель D составляет

величину $D = \frac{K_* \cdot X_0}{\sigma_y \cdot m} = \frac{19,5 \cdot 6}{15 \cdot 1,3} = 6$. В соответствии с графиком рис. 3 множитель δ равен 0,3. По формуле (9) $X_1 = 0,3 \cdot 1 = 0,3$ м.

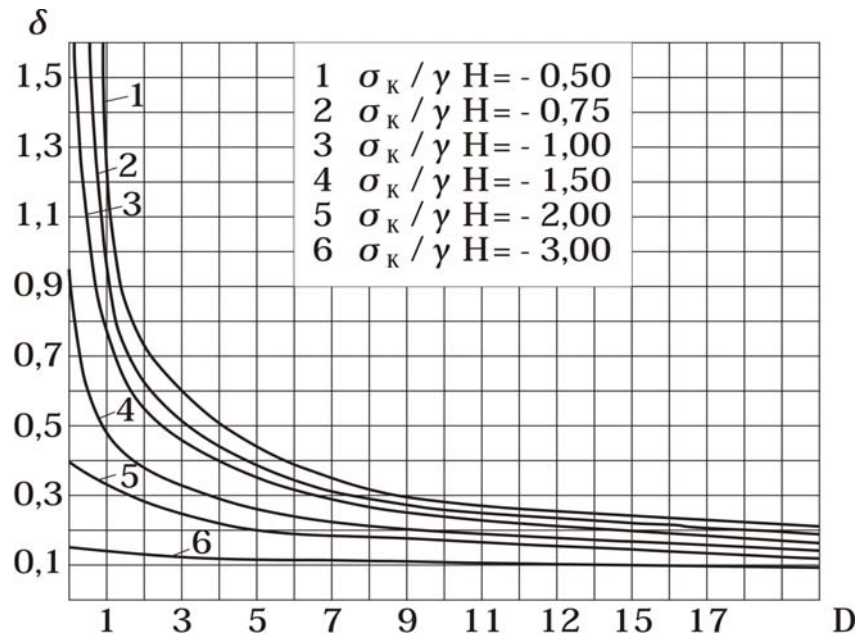


Рис. 3. Определение значения δ при расчетах напряжений в пласте угля вблизи подготовительной выработки

Максимальные напряжения, согласно (8), равняются $\delta_m = -15 - \frac{19,5}{0,65} \cdot 0,3 = -24$ МПа. Коэффициент концентрации напряжений равен $K = \delta_m / \delta_y = 24 / 15 = 1,6$.

Исследованиями УкрНИМИ и ВНИМИ [3, 4] установлено, что горные удары происходят при коэффициентах концентрации напряжений, превышающих в 2 и более раза прочность угля на одноосное сжатие. В рассматриваемых условиях шахты им. В. И. Ленина пласт l_1 не относится к удароопасным. Поэтому межкамерные целики шириной 2,0 м не представляют опасности по проявлению горных ударов.

ВЫВОДЫ

На основе разработанных ВНИМИ и скорректированных по отдельным аспектам УкрНИМИ методических положений по расчету и экспериментальной оценке напряжений в целиках и краевых частях пласта угля, определены предельные размеры

угольных целиков и уровень действующих в них напряжений в условиях частичной бурошнековой отработки участка пласта l_1 в районе околоствольного целика шахты им. В. И. Ленина ГП «Макеевуголь».

Расчеты показали, что выбранный для частичной бурошнековой отработки околоствольный охранный целик по пласту l_1 не находится в предельно-напряженном состоянии и не опасен по проявлению динамических явлений. При отработке участка в оставляемых межкамерных целиках, шириной не менее 2 м, не создается критических напряжений, и они не представляют опасности по проявлению горных ударов.

СПИСОК ССЫЛОК

1. СОУ 10.1.00174088.011-2005 Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ: Затв. Наказом Мінвуглепрому України від 30 грудня 2005 року № 145. – Київ: Изд. МакНИИ, 2005, - 225 с.
2. Каталог горных ударов на шахтах СССР – Л.: ВНИМИ, 1981. – 82 с.
3. Петухов И.М. Горные удары на угольных шахтах. – М: Недра, 1972. – 222 с.
4. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля. – Л. ВНИМИ, 1973. – 130 с.