

Д-р техн. наук Л.М. Васильев,
канд. техн. наук В.С. Демченко,
инженеры С.В. Демченко,
В.Е. Мальцева,
(ИГТМ НАН Украины)
инженеры А.А. Потапенко,
И.Ф. Чугунков
(ОАО «Краснодонуголь»)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ЩЕЛИ,
ОБРАЗУЕМОЙ СКВАЖИНЫМ ЩЕЛЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ,
ДЛЯ ГИДРОРАЗРЫВА ГОРНЫХ ПОРОД**

Розроблена методика визначення основних параметрів шпариноутворювача для направлено-го гідророзриву порід крівель, що важко обрушуються. Наведений приклад розрахунку цих параметрів.

**THE DETERMINATION OF THE MAXIMUM DIAMETER OF THE GAP
FORMED BY THE HOLE GAP CREATOR FOR HYDRAULIC
FRACTURING OF ROCKS**

The technique for determination the main parameters of gap creator for directional fracturing rocks of the hard caving ground roofs. There is the example of the calculation of these parameters.

С увеличением глубины шахт значительно растет число труднообрушающихся кровель, являющихся серьезным осложняющим фактором. При больших площадях зависания таких кровель повышается нагрузка на крепь и существенно увеличиваются напряжения в очистном забое, что может спровоцировать внезапные выбросы угля и газа. Резкое опускание основной кровли может сопровождаться поломкой крепи и оборудования, завалом лав, что приводит к снижению производительности труда и объемов добычи угля. Следовательно, разработка способов эффективного управления труднообрушающимися кровлями в очистных выработках является основной из важных задач по повышению производительности и безопасности труда.

В настоящее время для борьбы с отрицательными явлениями в лавах с труднообрушающимися кровлями применяются различные традиционные методы разупрочнения основной кровли [1-3]. Это прежде всего гидрообработка кровли, передовое торпедирование и их сочетание. Эти все мероприятия направлены на уменьшение шага посадки основной кровли в выработанном пространстве лавы.

Применение указанных выше методов сдерживается невозможностью направленно управлять процессом разупрочнения пород кровли, что приводит к неравномерному перераспределению напряжений в кровле и угольном пласте и поэтому негативно сказывается на ведении очистных работ.

При сравнении легко- и труднообрушающихся кровель можно заметить, что структурное различие между составляющих их породами заключается в том, что породы легкообрушающихся кровель имеют слоистость со сравнительно слабыми контактами между слоями. Породы труднообрушающихся кровель, наоборот, являются монолитными и лишены выраженных послойных трещин.

В этом случае напрашивается вывод, что в породах труднообрушающихся кровель необходимо искусственно создавать направленные трещины, тем самым, разделяя их на слои, изменять их обрушаемость в необходимых пределах.

В настоящее время существует новый метод, заключающийся в заблаговременном расслоении пород основной кровли направленными по напластованию длинными трещинами [4]. Для получения таких трещин, развивающихся в заданном направлении, необходимо искусственно создавать благоприятные условия для их зарождения и развития. При гидравлическом разрушении пород кровли необходимо наличие скважин с концентраторами напряжений в этих породах и подача жидкости под требуемым давлением в эту узкую зону скважины. При этом роль концентратора напряжений играет узкая поперечная щель требуемого диаметра, прорезаемая в стенках скважины. Для прорезания таких щелей авторами разработаны щелеобразователи для скважин диаметрами 45мм и 93мм.

Проведем исследования разработанной конструкции с целью определения хода поршня, при котором диаметр нарезаемой щели будет максимально возможным для данной конструкции щелеобразователя.

Изобразим схематично резец в виде треугольника OBC (рис. 1). Величины l , l_R , m , k , φ , α , β , γ , обозначенные на этом рисунке являются конструктивными параметрами щелеобразователя и резца. Конструкция резца может быть разнообразной и иметь различный угол поворота β головки державки, а именно, большим или меньшим 135° или равным ему.



Рис. 1 – Резец и его схематическое изображение

На рис. 2 схематически представлены начальное (ΔOBC) и конечное ($\Delta O_1B_1C_1$) положения резца при повернутой головке державки на угол $\beta < 135^\circ$. Во время работы щелеобразователя резец подается вперед, надвигается на упор, поворачивается и прорезают щель, диаметр которой достигнет максимального

значения, когда прямая OB станет в горизонтальное положение (прямая O_1B_1). В этом случае прямая OC займет положение (прямая O_1C_1), при котором ее угол к горизонтали будет равным углу γ .

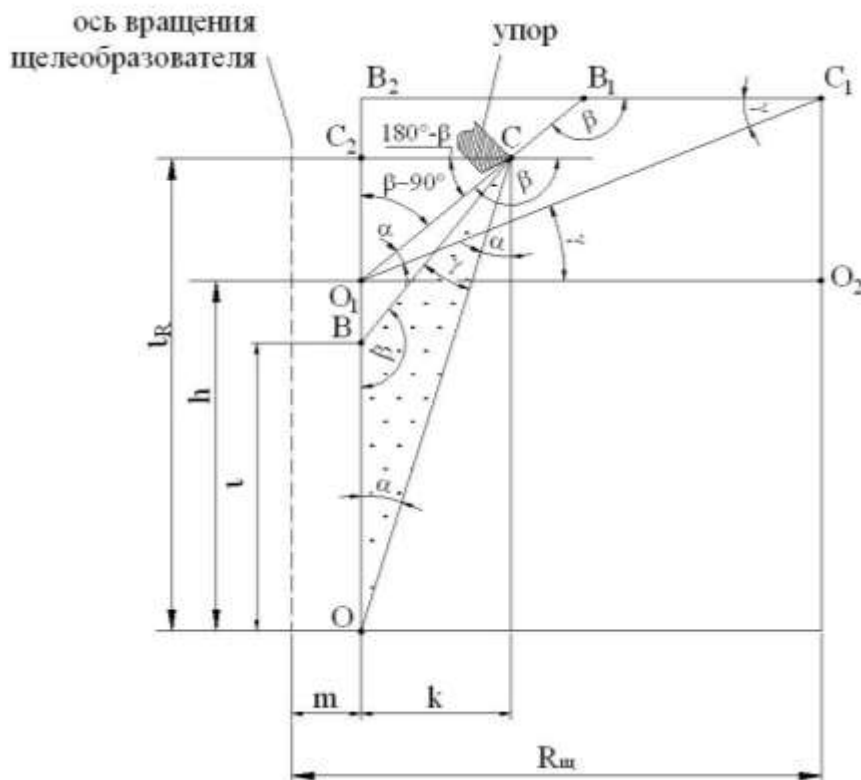


Рис. 2 – Схема начального ($\triangle OBC$) и конечного ($\triangle O_1B_1C_1$) положения резца при угле поворота державки $\beta > 135^\circ$

Диаметр щели, исходя из схемы (рисунок 2), определим по следующему выражению:

$$D_{щ} = 2R_{щ} = 2(m + B_1C_1 + B_1B_2), \quad (1)$$

где $B_1C_1 = BC = \frac{C_2C}{\sin \angle O_1BC} = \frac{k}{\sin \beta}$; $B_1B_2 = O_1B_1 \cdot \sin \angle B_2O_1B_1 = l \cdot \cos \beta$,

$O_1B_1 = OB = l = OO_1 - O_1B$, а размер прямой O_1B определяется из косоугольного треугольника O_1BC по формуле из литературы [5]:

$$O_1B = \frac{O_1C \sin \angle O_1CB}{\sin \angle O_1CB} = -2k \cdot \operatorname{ctg} 2\beta; \quad OO_1 = h,$$

$$\angle O_1CB = \beta - (90 + \gamma + \alpha) = 2\beta - 270;$$

$$\angle O_1CB = 180 - \beta, \text{ тогда } B_1B_2 = -(h + 2k \cdot \operatorname{ctg} 2\beta) \cdot \cos \beta.$$

Подставив в формулу (1) найденные значения составляющих, получим:

$$D_{щ} = 2\left[m + \frac{k}{\sin \beta} - (h + 2k \cdot \operatorname{ctg} 2\beta) \cdot \cos \beta\right] \quad (2)$$

где h – ход поршня щелеобразователя, при котором диаметр нарезаемой щели достигает максимального значения.

Ход поршня может быть определен, согласно схемы, по выражению

$$h = OC_2 - C_2O_1 = l_R + k \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (3)$$

Проанализируем схему (рис. 3), в которой угол поворота головки державки $\beta < 135^\circ$. Согласно этой схеме отрезок C_1B_3 может быть определен несколькими способами.

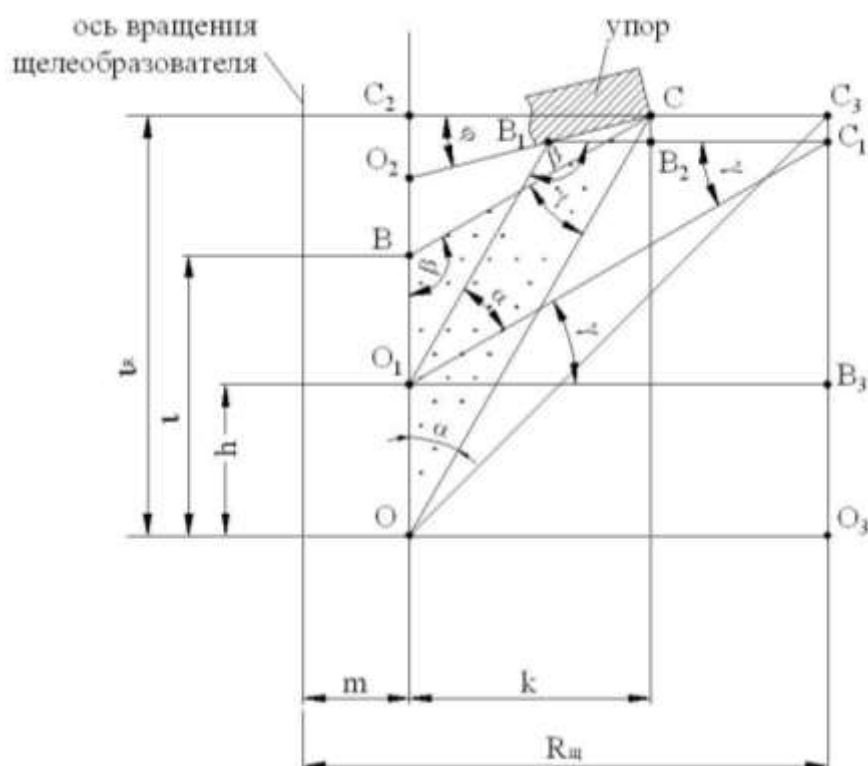


Рис. 3 – Схема начального (ΔOBC) и конечного ($\Delta O_1B_1C_1$) положения резца при угле поворота державки $\beta < 135^\circ$

В одном случае $C_1B_3 = O_1B_1 \cdot \sin(\alpha + \gamma) = l \cdot \sin \beta$, где $O_1B_1 = l$, $\alpha + \gamma = 180 - \beta$.

Во втором случае $C_1B_3 = O_1B_3 \cdot \operatorname{tg} \gamma = (R_{щ} - m) \operatorname{tg} \gamma$.

Приравняем правые стороны этих выражений:

$$(R_{щ} - m) \operatorname{tg} \gamma = l \cdot \sin \beta.$$

Из этого выражения находим, что максимальный диаметр щели определится по формуле:

$$D_{uz} = 2R_{uz} = \frac{2(m \cdot \operatorname{tg} \gamma + l \cdot \sin \beta)}{\operatorname{tg} \gamma} \quad (4)$$

Величину хода поршня щелеобразователя, согласно схемы, можно определить по выражению:

$$h = OC_2 - (B_3C_1 + C_1C_3), \quad (5)$$

где $C_1C_3 = CB_2 = B_1B_2 \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (6)$

B_1B_2 определим по следующему выражению:

$$B_1B_2 = B_1C_1 - B_2C_1$$

где $B_1C_1 = \frac{C_2C}{\sin \angle C_2BC} = \frac{k}{\sin \beta}$; $B_2C_1 = R_{uz} - (m + k)$,

тогда $B_1B_2 = \frac{k}{\sin \beta} - R_{uz} + m + k = \frac{k - R_{uz} \cdot \sin \beta + m \cdot \sin \beta + k \sin \beta}{\sin \beta}.$

Подставим значение B_1B_2 в формулу (6) и получим

$$C_1C_3 = \frac{(k - R_{uz} \cdot \sin \beta + m \cdot \sin \beta + k \sin \beta) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \beta}.$$

Теперь получим выражение для определения величины хода поршня. Для этого подставим в формулу (5) найденные выражения составляющих

$$h = l_R - \left[\frac{(k - R_{uz} \cdot \sin \beta + m \cdot \sin \beta + k \sin \beta) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\sin \beta} + l \cdot \sin \beta \right] \quad (7)$$

Третья схема представлена для анализа работы щелеобразователя с углом поворота головки державки $\beta = 135^\circ$. По построению схемы на рисунке 4 видно, что величина хода поршня совпадает с размером l . Ход поршня совпадает с размером от оси поворота до точки перегиба державки резца, т.е.

$$h = l. \quad (8)$$

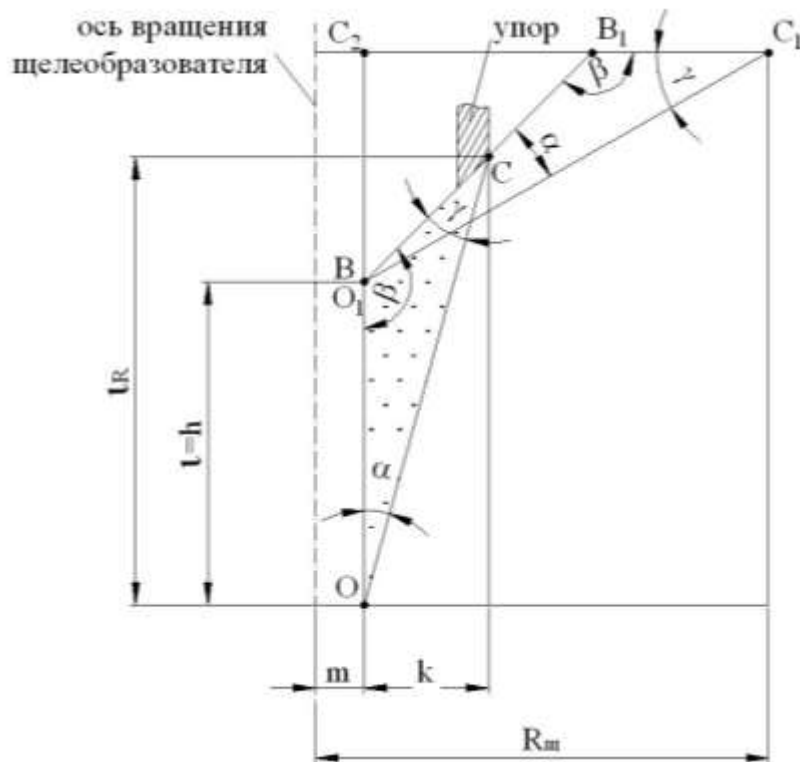


Рис. 4 – Схема начального ($\triangle OBC$) и конечного ($\triangle O_1B_1C_1$) положения резца при угле поворота державки $\beta=135^\circ$

Остается определить максимальный диаметр щели, обусловленный этим ходом

$$D_{щ} = 2R_{щ} = 2(m + C_1C_2),$$

где $C_1C_2 = O_1C_1 \cdot \cos \gamma$, а $O_1C_1 = \frac{k}{\sin \alpha}$.

Тогда

$$D_{щ} = 2 \left(m + \frac{k \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha} \right), \quad (9)$$

В качестве примера для проверки достоверности полученных выше выражений проведем реальный расчет по разработанным чертежам щелеобразователя для скважины диаметром 45мм.

Из разработанных чертежей выявляем требуемые для расчета конструктивные размеры (рисунок 1):

$k=14$ мм – размер от оси поворота резца до края твердосплавной пластины;

$m=5,5$ мм – размер от оси поворота резца до оси вращения корпуса щелеобразователя;

$l_R=50,2$ – размер от оси поворота резца до вершины твердосплавной пластины;

$l=36,2$ – размер от оси поворота резца до точки перегиба державки резца;

$\beta=135^\circ$ - угол поворота головки державки резца;

α – угол, образованный продольной осью резца и прямой OC .

γ – угол, образованный наклонной прямой BC и прямой OC ;

$\varphi=45^\circ$ - угол, образованный опорной плоскостью и горизонталью.

Из разработанной технической документации на щелеобразователь ОЩ-45 выясняем, что угол поворота державки $\beta=135^\circ$. Поэтому используем методику расчета параметров щелеобразователя по третьей схеме (рисунок 4).

Угол α определим из соотношения $\frac{C_2C}{C_2O} = \operatorname{tg} \alpha$ (рис. 1)

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{C_2C}{C_2O} = \operatorname{arctg} \frac{k}{l_R} = \operatorname{arctg} \frac{14}{50,2} = 15,6^\circ,$$

тогда из $\triangle OBC$ $\gamma=180-(\beta+\alpha)=180-(135+15,593)=29,4^\circ$.

По этой схеме ход поршня $l=h=36,2$ мм, а максимальный диаметр щели вычисляется по формуле:

$$D_{щ} = 2 \left(m + \frac{k \cdot \cos \gamma}{\sin \alpha} \right) = 2 \left(5,5 \frac{14 \cdot \cos 29,4}{\sin 15,6} \right) = 101,7 \text{ мм.}$$

Вычисленные результаты хода поршня и диаметра щели полностью совпадают с соответствующими техническими показателями, полученными графическим путем при прочерчивании конструкции разработанного авторами щелеобразователя ОЩ-45.

Конструктивное исполнение щелеобразователя, при котором он может работать и образовывать щель максимального диаметра, во многом зависит от диаметра буримой скважины для нарезания щели. В частности, для предложенной авторами конструкции щелеобразователя, в зависимости от диаметра буримой скважины будет меняться величина угла поворота головки державки β и, соответственно, зависимый от него угол поворота резца. Рассчитаем по полученным выше формулам некоторые параметры щелеобразователя в зависимости от величины угла поворота головки державки и запишем их в таблицу 1.

Таблица 1 – Расчетные значения некоторых параметров щелеобразователя в зависимости от величины поворота головки державки β

β , град	h , мм	$D_{щ}$, мм	k , мм	m , мм	$d_{скв.}$, мм	Расчетные формулы
120	15,1	87,1	17,2	9	60	(4), (7)
125	19,1	92,1	16,2	9	56	(4), (7)
130	27,3	97,15	15,2	9	54	(4), (7)
135	36,2	101,7	14	5,5	45	(8), (9)
140	40,7	106,1	12,7	5,5	40	(2), (3)
145	44,5	110	11,4	5,5	36	(2), (3)
150	47,6	113,5	9,9	5,5	33	(2), (3)

Анализ представленной таблицы и конструктивные проработки показали,

что с уменьшением диаметра скважины для нарезания щели $d_{скв.}$ угол β может увеличиваться до 150° , а при увеличении диаметра скважины может уменьшаться до 120° . Причем, с увеличением угла β , диаметр прорезаемой щели и ход поршня, подающего резец, увеличиваются. Кроме того, из таблицы видно, что формулы (2), (3) могут применяться для расчета параметров щелеобразователя, когда угол поворота головки державки β составляет величину в пределах $135-150^\circ$, а формулы (4), (7) могут применяться для расчета, когда угол β составляет величину в пределах $120-135^\circ$.

В результате теоретических исследований можно сделать следующие выводы:

1. В зависимости от величины угла поворота державки резца β может быть применена одна из трех предложенных методик : а) при $\beta > 135^\circ$; б) при $\beta < 135^\circ$; в) при $\beta = 135^\circ$.

2. Достоверность расчетов по формулам, полученным в результате теоретических исследований составляет 100% и подтверждена практическими расчетами, проведенными по разработанной технической документации на щелеобразователи для скважины диаметрами 45 и 93мм и прочерчиванием разработанной конструкции щелеобразователя. Выше приведен пример расчета некоторых технических показателей щелеобразователя ОЩ-45.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов, Ю.А. Управление труднообрушаемыми кровлями методом передового торпедирования / Ю.А. Семенов, М.М. Мукушев // Экспресс-информ. – ЦНИЭИуголь. – М., 1980г.
2. Кочетов, Г.Н. Гидрообработка породного массива / Г.Н. Кочетов А.Н. Осипов // Новые методы разупрочнения труднообрушаемых кровель на угольных шахтах. – М.: Недра, 1979г. – 204с.
3. Гидромикроторпедирование основной кровли / Л.М. Гусельников, В.П. Шишкин [и др.] – М.: Недра, 1979г. – 204с.
4. Леконцев, Ю.М. Применение метода направленного гидроразрыва на шахте «Березовская» / Ю.М. Леконцев, П.В. Сажин // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2008. - №3. – С. 34-40.
5. Черных, С.С. Справочник по машиностроению / С.С. Черных. - Т 1. – М.: Машгиз, 1963г. – 734с.

УДК 552.12.08:622.013.3

Д-р геол. наук В.А. Баранов
(ИГТМ НАН Украины)

РЕГРЕССИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Представлены результаты исследований процессов гипергенеза в метаморфических породах Криворожского железорудного бассейна. Показано закономерное изменение пористости и прочности пород с глубиной. Установлено, что изменение условий залегания пород приводит к изменению их свойств и состояния.

REGRESSIVE PROCESSES IN MOUNTAIN BREEDS

The results of researches of processes of hypergenesis in the metamorphical breeds of the Kryvoj Rog iron-ore pool are represented. The appropriate change of porosity and durability of breeds with a depth is shown. It is set that the change of terms of bedding of breeds causes change of their properties and state.

Вторая половина XX-го века ознаменовалась значительными объемами геологических и горных работ, а также глубокого бурения в разных странах и в разных породах. Ресурсы любой страны определяют ее промышленный потен-