

Д-р техн. наук Л.М. Васильев,  
канд. техн. наук В.С. Демченко,  
инж. С.В. Демченко  
(ИГТМ НАН Украины)  
инж. И.Ф. Чугунков  
(ПАО «Краснодонуголь»)

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ ПОДАЧИ РЕЗЦА И ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ЩЕЛЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ РЕЗАНИИ ЩЕЛИ В ПОРОДАХ РАЗЛИЧНОЙ КРЕПОСТИ**

Описана конструкція свердловинного шпаринуотворювача, яка дозволяє регулювати тиск робочої рідини і тим самим змінювати зусилля подання різців при нарізуванні шпарин в породах різної фортеці. Запропонована методика визначення зусилля подання і частоти обертання різців залежно від фортеці руйнованих порід покрівлі.

### **THE DETERMINATION OF CUTTER FEED THRUST AND ROTATION FREQUENCY OF GAP MAKER IN CUTTING THE GAP IN THE ROCKS OF VARYING STRENGTH**

The construction of borehole gap maker is described, which allows to adjust the pressure of the working fluid, and thereby change the feed force of cutters when cutting gaps in the rocks of varying strength. The determination method of feed force and cutters rotation frequency is proposed, depending on the strength of destructible rocks of the upper boundary.

В настоящее время на шахтах Донбасса глубина добычи угля возросла до 1000м и более. С увеличением глубины существенно растет число труднообрушающихся кровель, состоящих из прочных песчаников, что значительно усложняет отработку угольных пластов.

В завальной части лавы труднообрушающаяся кровля зависает в виде консоли на больших площадях и существенно увеличивает напряжения в очистном забое, провоцируя внезапные выбросы угля и газа. Обрушение больших площадей кровли сопровождается, как правило, резким повышением нагрузок на призабойную часть лавы, что нередко приводит к разрушению гидропор и других составных частей механизированных крепей.

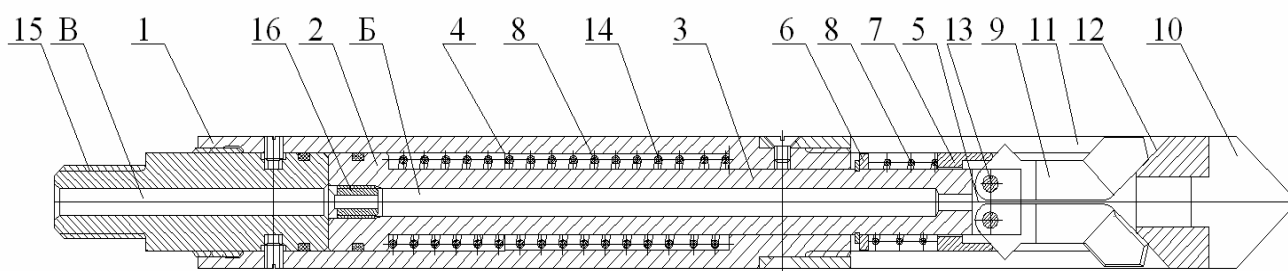
Существует несколько путей борьбы с труднообрушающимися кровлями. Это, прежде всего, создание механизированных крепей с высоким сопротивлением. Но существует большое количество пластов со слабой почвой или неустойчивыми нижними слоями кровли. В этом случае механизированные крепи не будут развивать необходимых сопротивлений, что может привести к завалам лав. Имеются такие пласты с труднообрушающейся кровлей, в которых на отдельных участках внешние активные нагрузки могут превышать  $250-300\text{T/m}^2$  [1]. Создание механизированных крепей с таким высоким сопротивлением очень сложно, и они будут дорогостоящими.

Другой путь борьбы с труднообрушающейся кровлей заключается в разупрочнении пород кровли. Известно много способов разупрочнения пород [1-4]. В одном случае производится бурение шпуров в кровлю для размещения в них

взрывчатого вещества и взрывания зарядов, в другом случае производится нагнетание воды через пробуренные скважины с целью гидроразрыва пород кровли. Существуют также комбинированные способы, включающие взрывание и гидрообработку пород [1]. Указанные способы имеют ряд существенных недостатков. При взрывании разупрочнение пород происходит крайне неравномерно – вблизи скважины породы существенно измельчаются, а на удалении породы могут быть не затронуты разрушением. При нагнетании воды гидравлический разрыв может развиваться лишь по отдельным случайно ориентированным трещинам, что также не обеспечивает равномерного разупрочнения кровли. Комбинированные способы с применением взрывания и гидроразрыва имеют похожие недостатки.

В ИГД СО РАН разработан способ искусственного разупрочнения труднообрушающихся кровель – метод направленного гидроразрыва (НГР) [5-7]. Идея способа заключается в создании на стенках шпуров инициирующих щелей с их последующей герметизацией и развитием под действием давления нагнетаемой рабочей жидкости в сеть искусственно ориентированных трещин, расслаивающих породы кровли.

Для образования инициирующих щелей авторами статьи разработан скважинный щелеобразователь (рис. 1).



- 1 - корпус; 2 - поршень; 3 - шток; 4 - уступ; 5 - сквозной паз; 6 - опора;  
 7 - втулка; 8 - поддерживающая пружина; 9 - резец; 10 - упор; 11 - прорези;  
 12 - уклоны; 13 - ось; 14 -возвратная пружина; 15 штуцер; 16 – диафрагма;  
 Б - канал; В – канал

Рис. 1 - Скважинный щелеобразователь

Скважинный щелеобразователь состоит из корпуса 1, в котором расположен поршень 2 со штоком 3 и возвратная пружина 14. В корпусе имеется уступ 4. Шток 3 на торце имеет сквозной паз 5, в котором на осях 13 закреплены резцы 9. На шток 3 надеты втулка 7 и поддерживающая пружина 8, которые упираются в опору 6 и удерживают резцы 9 в исходном состоянии. На корпус 1 накручен упор 10. В упоре 10 образованы на противоположных сторонах прорези 11, торцы которых имеют уклоны 12. На другой конец корпуса 1 навинчен штуцер 15, который имеет резьбу для соединения с буровыми штангами и канал В для подачи рабочей жидкости. Поршень 2 и шток 3 имеют канал Б для подачи промывочной жидкости. В канале В установлена диафрагма 16, в которой

выполнено отверстие для получения требуемого перепада давления.

Щелеобразователь работает следующим образом. На буровой став накручивают через штуцер 15 щелеобразователь и подают в скважину на требуемую глубину, сообщают ему буровым станком вращательное движение, а под поршень 2 через канал *B* подают жидкость под давлением. При этом поршень 2 со штоком 3 начинают поступательно двигаться в корпусе 1, сжимая возвратную пружину 14. Резцы 9 надвигаются на уклоны 12, скользят по ним, при этом поворачиваются и выходят из упора 10 через прорези 11, внедряются в породу и начинают ее разрушать. По мере вращения и выдвигения резцов 9 образуется щель, величина диаметра которой зависит от высоты резцов 9 и длины хода поршня 2, которая ограничена уступом 4 в корпусе 1, чтобы избежать заклинивания резцов. При выдвигении резцы 9 поворачиваются и через втулку 7 сжимают поддерживающую пружину 8.

Рабочая жидкость через канал *B* в поршне 2 со штоком 3 поступает под резцы 9, охлаждает их и выносит штыб в зазор между корпусом щелеобразователя и скважиной.

Щелеобразователь вращают до полного прорезания зародышевой щели. В этом случае поршень 2 дойдет до уступа 4 в корпусе 1 и остановится. Вращение выключают и снимают избыточное давление жидкости. Тогда пружина 14 возвращает поршень 2 со штоком 3 в исходное положение, при этом поддерживающая пружина 8 через втулку 7 воздействует на резцы 9, и они задвигаются через прорези 11 внутрь упора 10.

Давление рабочей жидкости может регулироваться сечением отверстия в диафрагме, что позволяет изменять усилие подачи резцов при нарезании щелей в породах различной крепости. Это дает возможность получать такие усилия резания на резцах, которые не превышают допустимых, а значит, не приведут к их поломке. Определим эти усилия.

Очевидно, что нарезание щелей может производиться в породах с различными физико-механическими свойствами, которые невозможно учесть при корректировании режимов разрушения. О.Д. Алимов и Л.Т. Дворников [8] ввели понятие минимально необходимого осевого усилия подачи  $P_o$ , при котором начинается эффективное разрушение горных пород. Эта величина должна удовлетворять условию

$$P_o \geq P_{ш} \cdot F_T, \text{ кг}, \quad (1)$$

где  $P_{ш}$  - твердость горной породы на вдавливание штампа, кг/мм<sup>2</sup>;  $F_T$  - площадки притупления резца, мм<sup>2</sup>.

По данным Г.Н. Покровского [9] даже новые резцы диаметром 42 мм уже имеют площадку притупления  $F_T \approx 5 \text{ мм}^2$ . Поскольку такие резцы имеют два пера, то для одного пера  $F_T \approx 2,5 \text{ мм}^2$ . Из литературы [8]  $P_{ш} = 7,0 f$ , тогда по формуле (1)

$$P_o = 7fF_T \approx 17,5f, \text{ кг}. \quad (2)$$

Рассмотрим теперь схему распределения сил на резце (см. рис. 2)

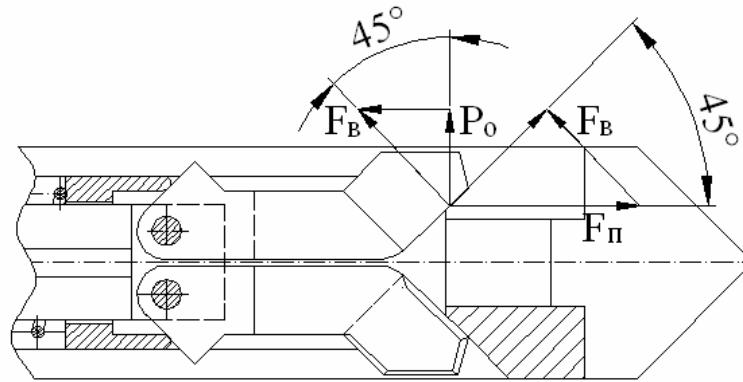


Рис. 2 - Схема распределения сил на резце.

Согласно схеме сил усилие подачи двух резцов по породам с различной крепостью определится по формуле

$$F_{2П} = \frac{2P_0}{\cos \alpha \cdot \sin \beta}, \text{ кг}, \quad (3)$$

В этом случае, давление в поршневой полости для получения необходимого усилия подачи двух резцов, определим по формуле

$$P_{\sigma} = \frac{F_{2П}}{10 \cdot S_{П}}, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где  $S_{П}$  - площадь поршня,  $\text{см}^2$ ,

$$S_{П} = \pi R^2, \text{ см}^2, \quad (5)$$

где  $R$  - радиус поршня, см.

Преобразуем формулу усилия подачи (4), используя формулы (2), (3), (5), и получим

$$F_{\sigma} = \frac{35f}{10 \cdot \pi R^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta}, \text{ МПа}, \quad (6)$$

где в данной схеме (рис. 2)  $\alpha = \beta = 45^\circ$ .

При подстановке известных составляющих в формулу (6).  $P_{\sigma} \approx 12$  МПа при  $f = 12$ .

Найдём теперь потери гидравлического давления в отверстии  $B$ . Их определяем по формуле из таблицы 19 литературы [12]

$$\Delta P_1 = \lambda \cdot \gamma \cdot \frac{l}{d_6} \cdot \frac{V^2}{2}, \text{ Па}, \quad (7)$$

где  $\lambda$  - коэффициент сопротивления;  $\gamma$  - объемный вес жидкости, кг/м<sup>3</sup> (для воды  $\gamma = 1000$  кг/м<sup>3</sup>);  $l=0,212$  м - длина отверстия Б;  $d_6=0,005$  м - диаметр отверстия Б.

Скорость движения жидкости (воды) в отверстии Б определим по формуле:

$$V = \frac{Q}{S}, \text{ м/с}, \quad (8)$$

где  $Q$  - производительность промывочного насоса, м<sup>3</sup>/с. Для насосной установки УНР, с регулируемой производительностью при давлении 12 МПа,  $Q=5,3 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с;  $S = \frac{\pi \cdot d_6^2}{4} = 0,19625 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup> - площадь отверстия Б.

Подставив в формулу (8) известные значения составляющих, получим  $V=27,18$  м/с.

Чтобы определить коэффициент сопротивления  $\lambda$ , необходимо знать режим движения жидкости в отверстии Б. Для этого подсчитаем число Рейнольдса по формуле:

$$Re = \frac{1,274 \cdot Q}{d_6 \cdot \nu}, \quad (9)$$

где  $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с (для воды  $\nu=1,01 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с).

Подставив в формулу (9) известные значения составляющих, получим  $Re=1,34 \cdot 10^5$ .

Так как число Рейнольдса больше 2200, то режим движения жидкости в отверстии Б является турбулентным и коэффициент сопротивления  $\lambda$  определится по формуле Конакова [10]:

$$\lambda = \frac{1}{(1,81/g Re - 1,5)^2} = 0,0165.$$

Известные значения составляющих подставим в формулу (7) и узнаем, что потери давления  $\Delta P_{от}$  в отверстии Б составят 0,26 МПа.

Подсчитываем гидравлическое давление, требуемое на сжатие двух пружин щелеобразователя (величина сопротивления  $F_{пр}=13$  кг) по формуле:

$$\Delta P_{пр} = \frac{F_{пр}}{10 \cdot S_{п}} = 0,184 \text{ МПа}.$$

Учтем теперь потери давления, которые будут происходить в штангах, соединенных ниппелями с проходным отверстием 9 мм. Так как скважины бурятся в основном глубиной до 10 м [6], то потери давления в штангах на такой длине составят  $P_T = 0,095$  МПа [11]. Тогда необходимое давление в поршневой полости щелеобразователя в зависимости от коэффициента крепости пород кровли, определим по формуле:

$$P_n = \frac{35f}{10 \cdot \pi R^2 \cdot \cos \alpha \cdot \sin \beta} + \Delta P_{OT} + \Delta P_{PP} + P_T, \text{ МПа.} \quad (10)$$

Для определения номинальной частоты вращения щелеобразователя в зависимости от коэффициента крепости горных пород воспользуемся зависимостью О.Д. Алимова и Л.Т. Дворникова [8]:

$$n_p = \frac{700 - 50f}{60}, \text{ с}^{-1}. \quad (11)$$

Площадь отверстия в диаграмме, для получения требуемого перепада давления, высчитаем по формуле из справочника В.Ф. Ковалевского [10]

$$S = \frac{Q \cdot 10^{-2}}{\mu \cdot \sqrt{\frac{20\Delta P \cdot g}{\rho}}}, \text{ м}^2, \quad (12)$$

где  $\mu = 0,625$  – коэффициент расхода;  $\Delta P$  – перепад давления, МПа;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  $Q$  – расход жидкости через отверстие,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\rho$  – плотность жидкости,  $\text{кг/м}^3$ .

По известной площади круглого отверстия высчитаем его диаметр по формуле

$$d = 2\sqrt{\frac{f}{\pi}}, \text{ м} \quad (13)$$

Подставив в формулы (10), (11), (12) и (13) найденные значения составляющих и коэффициент крепости пород кровли от  $f = 3$  до  $f = 12$  получим результаты, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты расчета давления в гидросистеме и частоты вращения щелеобразователя в зависимости от коэффициента крепости породы

| Расчетные величины                          | Коэффициент крепости $f$ по М.М. Протодяконову |     |     |     |     |     |     |      |      |      |
|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|   | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10   | 11   | 12   |
| Давление в гидросистеме, МПа                | 3,5  | 4,5 | 5,5 | 6,5 | 7,5 | 8,5 | 9,5 | 10,5 | 11,5 | 12,5 |
| Частота вращения щелеобразователя, $c^{-1}$ | 9,2  | 8,3 | 7,5 | 6,7 | 5,8 | 5   | 4,2 | 3,3  | 2,5  | 1,7  |
| Диаметр отверстия в диафрагме, мм           | 4,4  | 4,0 | 3,8 | 3,6 | 3,4 | 3,2 | 3,0 | 2,9  | 2,7  | 2,6  |

Предполагается для работ по направленному гидроразрыву кровли, с целью ее разупрочнения применять насосную установку УНР-02 с регулируемой производительностью. В этом случае расход воды для выноса продуктов разрушения при резании щели составит  $5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$  (30 л/мин) [11].

В результате полученных теоретических исследований можем сделать такие выводы:

1. При нарезании инициирующих щелей в породах кровли крепостью  $f=3 \div 12$  по М.М. Протодяконову насосная установка должна развивать давление в пределах 3,5÷12,5 МПа, при этом усилие подачи будет соответственно в пределах 210-420 кг.

2. Буровой станок для нарезания щелей в породах различной крепости ( $f=3 \div 12$ ) должен иметь скорость вращения патрона в пределах 1,7-9,2  $c^{-1}$  (100-550 об/мин).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Временная инструкция по выбору способа и параметров разупрочнения труднообрушаемой кровли на выемочных участках. - Л: Изд. ВНИМИ. - 1976.
2. Катков, Г.А. Практика разработки пластов с труднообрушающимися кровлями с передовым торпедированием / Г.А. Катков, В.Н. Остапенко // Уголь. - 1979. - № 11.
3. Способ управления труднообрушимой кровлей. - Авт. свид. № 519542. - 1974.
4. Способ управления труднообрушаемыми кровлями при разработке пластовых месторождений. - Авт. свид. № 615730. - 1975.
5. Чернов, О.И. О флюидоразрыве породных массивов / О.И. Чернов, Н.Г. Кю // ФТТТРПИ. - 1988. - № 6.
6. Чернов, О.И. Результаты экспериментов по гидродинамической стратификации монолитного породного массива с целью его разупрочнения / О.И. Чернов, Б.А. Фролов, С.Я. Красников, Л.Н. Шепелев // ФТПРПИ. - 1985. - № 6.
7. Чернов, О.И. Гидродинамическая стратификация монолитных пород в качестве способа управления труднообрушаемой кровлей / О.И. Чернов / ФТПРПИ. - 1982. - № 2.
8. Алимов, О.Д. Бурильные машины / О.Д. Алимов, Л.Т. Дворников. - М.: Машиностроение, 1976. – 295 с.
9. Покровский, Г.Н. Основные закономерности при вращательном бурении шпуров с постоянным усилием подачи / Г.Н. Покровский // Труды ЗСФ АН СССР. - Новосибирск. - 1966. - № 19. - С. 219-258.
10. Ковалевский, В.Ф. Справочник по гидроприводам горных машин / В.Ф. Ковалевский, Н.Т. Железняков, Ю.Р. Баблин. - М.: Недра, 1973. – 502 с.
11. Демченко, В.С. Исследование пропускной способности става станков для бурения длинных скважин малого диаметра / В.С. Демченко / Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск. - 2006. - № 64. С. 99-105.

Кандидаты техн. наук Г.Д. Пчелкин,  
В.В. Кустов  
(ГВУЗ «НГУ»)  
инженер А.В. Кустов  
(ЧАО «ДФДК»)

## **УПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТЬЮ ОТВАЛОВ ПОСРЕДСТВОМ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕГРЕГАЦИИ СКАЛЬНОЙ ВСКРЫШИ НА ОТКОСЕ**

Розглянуто проблему впливу сегрегації гірничих порід у процесі формування техногенних родовищ та відвалоутворення на якісні показники потенційних корисних копалин та стійкості укосів відвалів. Запропоновано методика розрахунку стійкості укосу з урахуванням викривлення його поверхні та утворення контрфорсу із крупних фракцій вихідного матеріалу. Приведено загальну оцінку ефективності застосування нової методики розрахунку стійкості укосів для умов кар'єру «Центральний» ПрАТ «ДФДК»

## **DUMP STABILITY CONTROL THROUGH EFFECTIVE SEGREGATION OF ROCK STRIPPING ON THE SLOPE**

The authors consider problem of the rock segregation impact on the quality indices of potential mineral resources and dump slope stability in the process of formation of man-made deposits and dumps. A new methodology is proposed for calculating slope stability with taking into account slope surface curvature and counterforce formed by the coarse fractions of output materials. Effectiveness of the new methodology for calculating the slope steadiness was estimated in the «Tsentralnyi» quarry of the PJSC «Dokuchaevsk Fluxing-Dolomite Industrial Complex».

На пути повышения эффективности и безопасности открытых горных работ требуется постоянно решать задачу по обеспечению устойчивости откосов отвалов. Центральным вопросом устойчивости является определение коэффициента запаса устойчивости массива, который определяется целым комплексом природных и техногенных факторов, в т. ч. структурной неоднородностью последнего.

Для обеспечения надежности откосов отвалов углы их наклона должны быть достаточно пологими. Экономика же требует, чтобы территория, занимаемая внешними отвалами вскрышных пород, была минимальной. Поэтому для увязки требования надежности с экономичностью необходимы точный расчет, строгое соблюдение условий обеспечения устойчивости откосов в процессе развития отвала и направленное воздействие на состояние массива.

Основы управления состоянием массива горных пород при открытой разработке месторождений полезных ископаемых заложены академиками В.В. Ржевским и Н.В. Мельниковым. Значительный вклад в теорию и практику развития научного направления по управлению устойчивостью откосов отвалов внесли Н.П. Панюков, Г.Л. Фисенко, И.И. Попов, Э.Л. Галустьян, А.И. Ильин, Н.Н. Куваев, В.Н. Попов, М.А. Ревазов, М.С. Четверик, А.Г. Шапарь и др.

Несмотря на множественные достижения, проблема обеспечения устойчивости откосов отвалов исходя из своей сложности и разнообразности горно-геологических и гидрогеологических особенностей вскрышных пород, остается актуальной. Практика показывает, что почти все отвалы сопровождаются