

НОВЫЕ МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

УДК 622.23.05

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО ОРГАНА КОМБИНИРОВАННОГО УСТРОЙСТВА ПРИ СОЗДАНИИ ИНИЦИИРУЮЩИХ ЩЕЛЕЙ

П. В. Сажин

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН,
E-mail: pavel301080@mail.ru, Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Приведена схема конструкции комбинированного устройства для бурения скважины и последующего нарезания иницирующей щели с описанием принципа его работы. Рассчитаны нагрузки на режущий орган, возникающие в процессе нарезания иницирующей щели, определен рациональный режим работы устройства.

Поинтервальный гидроразрыв, комбинированное устройство, режущий орган, иницирующая щель

DOI: 10.15372/FTPRPI20180220

Зависание труднообрушающихся кровлей при отработке пологих угольных пластов — основной сдерживающий фактор ведения очистных работ механизированными комплексами, поскольку создает большие риски внезапного обрушения, связанные со значительным увеличением нагрузок на секции механизированной крепи. Кроме того, возрастает опасность выдавливания значительного объема метана из завальной части, что негативно сказывается на безопасности осуществления очистных работ. Данная проблема может возникнуть и при выходе механизированного комплекса из монтажной камеры, и при отработке выемочного столба, и при входе комплекса в монтажную камеру.

Большинство вопросов, связанных с управлением кровлей, решается путем ее контролируемого обрушения. С этой целью широко используется метод направленного гидроразрыва, в основе которого лежит известное свойство горных пород — их прочность на растяжение на порядок ниже, чем прочность на сжатие [1–5]. Эффективность такого способа подтверждена многочисленными шахтными экспериментами, в которых метод зарекомендовал себя с положительной стороны в плане безопасности и низкой стоимости работ по сравнению с другими технологиями, например буровзрывными [5, 6]. Однако наряду с преимуществами метод направленного гидроразрыва обладает некоторыми недостатками, устранение которых позволит поднять его эффективность.

Реализация данной технологии включает в себя выполнение нескольких последовательных операций — бурение скважины, замена буровой коронки на щелеобразователь, нарезание инициирующей щели, ее герметизация и проведение гидроразрыва. В некоторых случаях между бурением скважины и нарезанием инициирующей щели проходит значительное время, в течение которого буровой станок может быть демонтирован, что ведет к сложности его установки в первоначальное положение и, как следствие, к нарушению технологии. Кроме того, большинство существующих устройств обеспечивает нарезание инициирующей щели только в забойной части шпура и не позволяет совмещать процессы бурения скважин и щелеобразования. В совокупности эти недостатки приводят к увеличению материальных и временных затрат на реализацию данной технологии.

Сократить время работ по проведению направленного гидроразрыва позволяет новая конструкция щелеобразователя, которая совмещает операции по бурению скважины и нарезанию инициирующей щели в любом месте по длине скважины без демонтажа бурового става (рис. 1). Данное устройство разработано в Институте горного дела СО РАН и защищено патентом РФ [7].

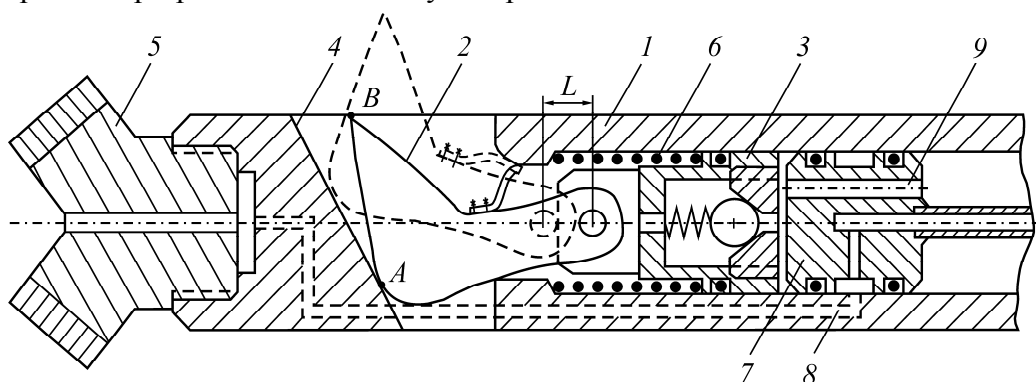


Рис. 1. Схема комбинированного устройства КУ-1: 1 — корпус; 2 — режущий орган; 3 — поршень; 4 — направляющий уклон; 5 — резец; 6 — пружина возврата; 7 — запорный поршень; 8, 9 — каналы подвода рабочей жидкости; А — точка опоры режущего органа о направляющий уклон; В — носик режущего органа

Устройство работает следующим образом. При бурении скважины рабочая жидкость поступает через канал 8 к буровой коронке 5, охлаждает ее и вымывает буровую мелочь из зоны бурения. Достигнув места планируемого нарезания инициирующей щели, давление рабочей жидкости в системе повышается и запорный поршень 7 перекрывает канал 8. Далее жидкость через канал 9 перемещает поршень 3 и режущий орган 2, который начинает выдвигаться из корпуса 1 по направляющему уклону 4 с нарезанием инициирующей щели. Пружина 6 осуществляет возврат режущего органа 2 в исходное положение, а предохранительный клапан (на рис. 1 позицией не обозначен) поршня 3 сбрасывает избыточное давление.

В [7] определена рациональная траектория движения режущего органа комбинированного устройства КУ-1, которая имеет параболический профиль: $y = 0.02x^2 + 2x + 2.5$ (x, y — координаты траектории движения точки А режущего органа).

Рассмотрим схему движения режущего органа КУ-1 в процессе нарезания инициирующей щели (рис. 2). В соответствии с этой схемой вылет режущего органа можно представить в виде

$$R = \frac{D}{2} \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0} - 1 \right), \tag{1}$$

здесь D — диаметр щелеобразователя; φ_0 — угол при вершине В в момент внедрения режущего органа в массив; φ — текущий угол.

Опыт нарезания инициирующих щелей показал, что одним из наиболее уязвимых узлов во всех щелеобразователях является режущий орган, поскольку по мере внедрения в массив в нем растет изгибающий момент $M_{изг}$ за счет увеличения R . Следовательно, необходимо обеспечить такой режим резания, чтобы в процессе работы этот момент не превышал допустимого значения:

$$M_{изг} = F_{рез} R(L) \leq [M]_{изг}. \quad (2)$$

Для определения положения режущего органа необходимо найти зависимость величины вылета режущего органа R от осевого перемещения узла его крепления L (рис. 2). Для решения такого класса задач используется параболическая траектория движения режущего органа по направляющему уклону, выполненному на внутренней поверхности инструмента, так как в этом случае исключается работа ножа в условиях заблокированного резания и, следовательно, снижается нагрузка. Связь между радиусом нарезаемой инициирующей щели и осевым перемещением L имеет вид (1).

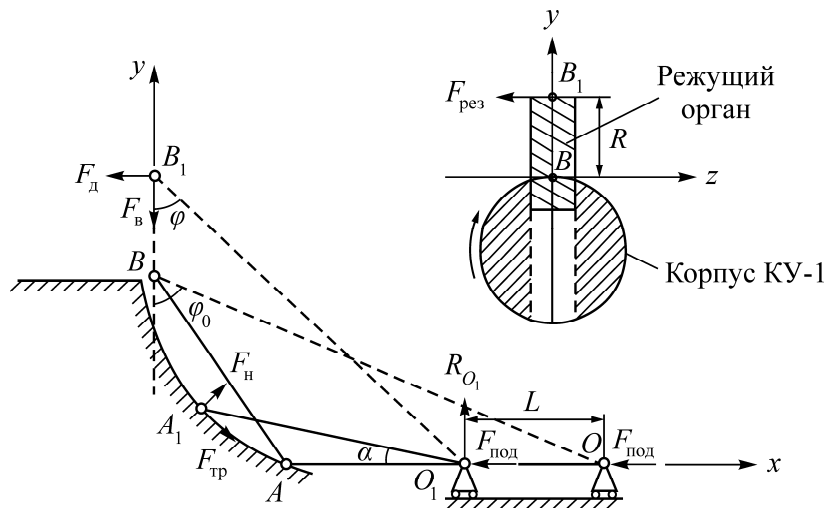


Рис. 2. Кинематическая схема движения режущего органа комбинированного устройства по криволинейному профилю: A — точка опоры ножа на направляющем уклоне в исходном положении ножа; B — носик режущего органа; F_n — реакция опоры в точке опоры режущего органа

Из теории резания [8–11] известно выражение, описывающее силу резания $F_{рез}$ через свойства породы:

$$F_{рез} = k_1 t R(L), \quad (3)$$

где k_1 — коэффициент сопротивления резанию, Н/м^2 ; t — средняя глубина внедрения ножа в массив за один оборот устройства, м.

Движение режущего органа по параболической траектории обеспечивает прямолинейное выдвигание его лезвия [9]. Таким образом, отрезок AB перемещается в положение A_1B_1 (рис. 2). Примем допущение, что сила трения $F_{тр}$, действующая по касательной к траектории движения режущего органа в точке A_1 , незначительно влияет на режим работы режущего органа и в расчетах не учитывается. Кроме того, исключим из расчетов силу F_d , которая возникает в точке B_1 по мере ее движения в массиве, так как определенная ранее траектория движе-

ния режущего органа и его форма значительно снижают влияние на его прочность указанной силы. Исходя из этого, связь между усилием внедрения режущего органа в массив $F_{\text{в}}$ и усилием осевой подачи $F_{\text{под}}$ можно найти, используя принцип возможных перемещений:

$$F_{\text{в}} = F_{\text{под}} \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

здесь $\varphi = \arcsin(\sin \varphi_0 - 2L/D \cdot \cos \varphi_0)$.

Глубину внедрения режущего органа в массив определим через усилие внедрения по выражению [10]:

$$t = \frac{F_{\text{в}}}{k_2}, \quad (5)$$

где k_2 — коэффициент сопротивления внедрению, Н/м.

Подставив в (3) выражение (5), с учетом (4) и (1) получим

$$F_{\text{рез}} = \frac{k_1 F_{\text{под}} \operatorname{tg} \varphi D \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0} - 1 \right)}{2k_2}. \quad (6)$$

Усилие подачи $F_{\text{под}}$ передается на режущий орган через поршень 3 (рис. 1) и может быть определено через давление рабочей жидкости $P_{\text{н}}$ (МПа), действующей на поршень площадью $S_{\text{п}}$ (м²): $F_{\text{под}} = P_{\text{н}} S_{\text{п}}$. Тогда уравнение (6) примет вид

$$F_{\text{рез}} = \frac{k_1 P_{\text{н}} S_{\text{п}} \operatorname{tg} \varphi D \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0} - 1 \right)}{2k_2}. \quad (7)$$

Таким образом, учитывая (7), уравнение (2) может быть записано как

$$M_{\text{изг}} = \frac{k_1 P_{\text{н}} S_{\text{п}} \operatorname{tg} \varphi D \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0} - 1 \right)}{2k_2}. \quad (8)$$

Из условия прочности $\sigma = M_{\text{изг}} / W_x \leq [\sigma]$ с учетом (8) определена необходимая минимальная толщина режущего органа:

$$b \geq \sqrt{\frac{6M_{\text{изг}}}{h[\sigma]}},$$

где h , b — соответственно ширина режущего органа по оси x при максимальном вылете и ширина поперечного сечения режущего органа, м.

На рис. 3 представлены зависимости, полученные при различных значениях давления рабочей жидкости, действующей на режущий орган 2 и передаваемой через поршень 3 (рис. 1).

При проведении расчетов максимальное значение L — ход режущего органа — принимался равным 30 мм исходя из конструкционных ограничений устройства, а $M_{\text{изг}}^{\text{max}} = 64$ Н·м, $M_{\text{изг}}^{\text{min}} = 40$ Н·м — из условия прочности сечения режущего органа на изгиб соответственно в начальный и конечный момент нарезания инициирующей щели.

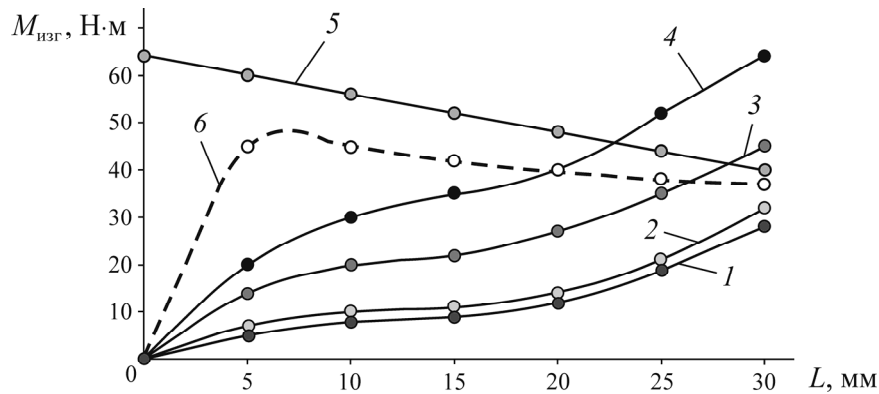


Рис. 3. Зависимость изменения изгибающего момента от величины выхода режущего органа при разных давлениях рабочей жидкости, МПа: 1 — 1; 2 — 2; 3 — 3; 4 — 4; 5 — предельный изгибающий момент; 6 — кривая рационального нагружения режущего органа

Такого режима работы можно достичь за счет пружины возврата 6 (рис. 1), которая дает возможность регулировать усилие подачи $F_{\text{под}}$ согласно уравнению

$$F_{\text{под}} = P_{\text{н}} S_{\text{п}} - c(A + L),$$

где A — величина предварительного сжатия пружины, м; c — коэффициент жесткости пружины, Н/м.

Таким образом, вид нагружения режущего органа будет соответствовать кривой 6 (рис. 3), которая записывается следующим образом:

$$M_{\text{изг}} = \frac{k_1 (P_{\text{н}} S_{\text{п}} - c(A + L)) \text{tg} \varphi D \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_0} - 1 \right)}{2k_2}. \quad (9)$$

Нагружение режущего органа 2 в соответствии с выражением (9) позволяет обеспечить благоприятный режим его работы.

ВЫВОДЫ

Определены геометрические параметры режущего органа комбинированного устройства с учетом кинематики движения по направляющему уклону и прочностных свойств горных пород.

По результатам теоретических исследований установлен рациональный режим нарезания инициирующей щели, при котором нагрузка на режущий орган комбинированного устройства снижается в процессе формирования щели на 15–20 % за счет применения направляющего уклона параболического профиля и регулирования усилия подачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клишин В. И., Курленя М. В., Писаренко М. В. Совершенствование геотехнологий и способов управления состоянием массива горных пород на основе гидроразрыва // ГИАБ. — 2013. — № 6. — С. 23–35.
2. Чернов О. И., Абрамова О.А. Теоретическое изучение разрушения горной породы растяжением при различных схемах нагружения щели в массиве // ФТПРПИ. — 1994. — № 2. — С. 60–66.

3. Пат. 2472941 РФ. Способ гидроразрыва угольных пластов / В. И. Клишин, Д. И. Кокоулин // Оpubл. в БИ. — 2013. — № 2.
4. Леконцев Ю. М., Сажин П. В. Технология направленного гидроразрыва пород для управления труднообрушающимися кровлями в очистных забоях и дегазации угольных пластов // ФТПРПИ. — 2014. — № 5. — С. 137–142.
5. Леконцев Ю. М., Сажин П. В., Салихов А. Ф., Исамбетов В. Ф. Расширение области применения метода направленного гидроразрыва // Уголь. — 2014. — № 4. — С. 18–21.
6. Дубынин Н. Г., Володарская Ш. Г., Яновская Н. Б., Яновский Б. Г. Исследование влияния формы шнура на эффективность взрывания шпуровых зарядов // ФТПРПИ. — 1974. — № 6. — С. 104–106.
7. Леконцев Ю. М., Патутин А. В., Сажин П. В., Темиряева О. А. Комбинированное устройство для проведения направленного гидроразрыва // ФТПРПИ. — 2016. — № 3. — С. 90–94.
8. Протасов Ю. И. Разрушение горных пород. — М.: МГГУ, 2009. — 453 с.
9. Нескромных В. В., Борисов К. И. Аналитическое исследование процесса резания–скалывания горной породы // Изв. ТПУ. — 2013. — Т. 323. — № 1. — С. 191–195.
10. Борисов К. И. Динамика работы резцов в процессе разрушения горных пород инструментами режуще-скалывающего действия типа PDC // Изв. ТПУ. — 2010. — Т. 317. — № 1. — С. 161–164.
11. Рубцов В. Л., Борисов К. И. Экспериментальное исследование силовых характеристик процесса резания – скалывания горных пород резцами PDC // Инженер-нефтяник. — 2014. — № 2. — С. 9–11.

Поступила в редакцию 11/XII 2017