

УДК 622.33.013.3

**КОМБИНИРОВАННОЕ УСТРОЙСТВО  
ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАПРАВЛЕННОГО ГИДРОРАЗРЫВА**

**Ю. М. Леконцев, А. В. Патутин, П. В. Сажин, О. А. Темиряева**

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

Приведена конструктивная схема комбинированного устройства направленного гидроразрыва, описан принцип его работы в режимах бурения скважин или шпуров и нарезания иницирующих щелей. Рассчитаны кинематические параметры подвижных частей устройства.

*Направленный гидроразрыв, скважина, иницирующая щель*

Наиболее сложные условия отработки угольных пластов наблюдаются при труднообрушающихся кровлях. Объясняется это тем, что такие кровли склонны к зависанию на больших площадях, что в свою очередь может привести к их внезапному обрушению и повлечь значительные динамические нагрузки на секции механизированной крепи.

В целях управления труднообрушающимися кровлями ранее широко использовались буровзрывные способы, действие которых состоит в том, что в момент взрыва в шпуре происходит резкий скачок давления от выделяемых газов, способный создавать большие растягивающие усилия в массиве горных пород [1–4]. Спектр буровзрывных способов разрушения кровли очень широк (гидромикроторпедирование, передовое торпедирование, принудительное обрушение кровли взрыванием скважинных зарядов и т. д.). Однако высокая стоимость взрывчатых веществ, а главное, высокая опасность их применения на угольных шахтах практически остановили применение данных технологий.

Одним из безвзрывных способов управления труднообрушающимися кровлями, получившим широкое распространение на угольных шахтах Кузбасса, стал направленный гидроразрыв [5–8]. Он зарекомендовал себя с положительной стороны в плане общей и экологической безопасности, а также низкой стоимости работ по сравнению с буровзрывными способами.

Технология проведения направленного гидроразрыва включает ряд последовательных операций по нарезанию иницирующей щели в требуемой плоскости развития трещины в массиве: бурение скважины; демонтаж бурового става для замены буровой коронки на щелеобразователь, повторный монтаж бурового става для досылки щелеобразователя к месту нарезания иницирующей щели, создание иницирующей щели, демонтаж всего оборудования, включая буровой станок для перехода на очередное место запланированного направленного гидроразрыва.

Таким образом, для нарезания инициирующей щели буровой став необходимо дважды смонтировать и дважды демонтировать, что значительно увеличивает трудоемкость работ и время на их проведение при осуществлении множественных гидроразрывов при дегазации угольного массива.

Повысить эффективность работ по нарезанию инициирующей щели позволяет новая конструкция комбинированного устройства КУ-1, разработанная в ИГД СО РАН. В ней заложена кинематическая схема, обеспечивающая бурение скважины и нарезание инициирующей щели за один рабочий цикл работы бурового станка. На рис. 1 представлена схема устройства КУ-1, которое состоит из корпуса 4 с уклоном Г, ножа 2, поршня 6 с вилкой 5, клапана 12, буровой коронки 1, неподвижной втулки 7 с отверстиями А и Б, аксиальной трубки 8, каналов 10, 9, пружин 11 и 3.

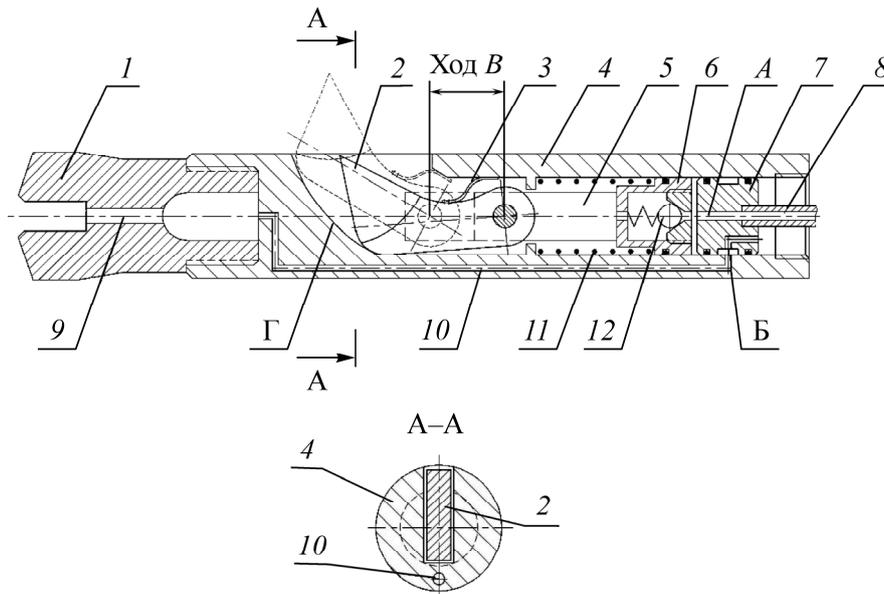


Рис. 1. Схема комбинированного устройства (КУ-1) по нарезанию инициирующей щели (пояснения в тексте)

Во время бурения скважины промывочная жидкость подается по внутреннему отверстию бурового става станка (условно не показан), далее проходит через отверстия Б, 10 и 9 и поступает в забойную часть скважины, охлаждая буровую коронку и вымывая продукты бурения. При этом нож 2 находится внутри корпуса 4 (исходное положение) и удерживается пружинами 11 и 3.

Нарезание инициирующей щели проводится после остановки осевой подачи бурового става и переключения насоса на нагнетание воды по аксиальной трубке 8. Под давлением поступающей жидкости поршень 6 перемещается от исходного положения в сторону буровой коронки 1, сжимая пружину 11. При этом нож, шарнирно закрепленный на вилке 5, тыльной стороной скользит по уклону Г и выдвигается из корпуса 4, а за счет вращения бурового става без осевой подачи обеспечивает нарезание инициирующей щели в форме плоского диска. Жидкость, проходящая через клапан 3, поступает в область нарезаемой полости, вымывая продукты резания. Сила, действующая на нож при выдвигении, регулируется перенастройкой давления открытия клапана 3. После образования инициирующей щели в стенке скважины аксиальную трубку 8 соединяют со сливом и нож 2 под действием пружин 11 и 3 совместно с вилкой 5 задвигается внутрь корпуса 4, после чего устройство снова готово к бурению скважины.

Лабораторные эксперименты по исследованию режимов работы ножа [9] показали, что для исключения заблокированного режима резания нож должен выдвигаться из корпуса прямолинейно по нормали к оси корпуса. Для решения поставленной задачи рассмотрена кинематическая схема движения ножа (рис. 2).

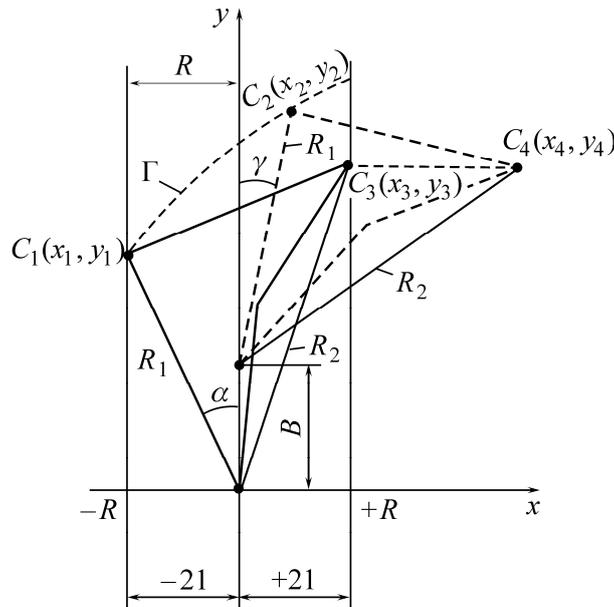


Рис. 2. Кинематическая схема движения ножа КУ-1

Видно, что в процессе перемещения основания ножа вдоль оси корпуса на величину  $B$  точка  $C_3(x_3, y_3)$  должна перейти в точку  $C_4(x_4, y_4)$ , точка  $C_1(x_1, y_1)$  описывает кривую  $\Gamma$ , способствующую этому перемещению, параметры которой необходимо определить. Запишем начальные координаты точек  $C_1(x_1, y_1)$  и  $C_3(x_3, y_3)$ :

$$y_1 = \sqrt{R_1^2 - R^2}, \quad x_1 = -R, \quad (1)$$

$$y_3 = \sqrt{R_2^2 - R^2}, \quad x_3 = R,$$

где  $R_1$  — расстояние от шарнира до тыльной стороны ножа;  $R_2$  — расстояние от шарнира до лезвия ножа;  $R$  — радиус корпуса.

При выдвигании кончика ножа точка  $C_4(x_4, y_4)$  движется по прямой, поэтому ее координаты могут быть записаны в виде  $y_4 = y_3 = b$ , а  $x_4$  вычисляется из следующего уравнения:

$$x_3^2 + y_3^2 = x_4^2 + (y_4 - B)^2. \quad (2)$$

После подстановки в (2) определенных ранее величин получим

$$R^2 = x_4^2 - 2y_4B + B^2, \quad (3)$$

откуда  $x_4 = \sqrt{R^2 + 2B\sqrt{R_2^2 - R^2} - B^2}$ , где  $B$  — перемещение основания ножа вдоль оси корпуса.

Для нахождения уравнения, описывающего кривую, по которой должна двигаться точка  $C_1(x_1, y_1)$  при условии перемещения точки  $C_3(x_3, y_3)$  по прямой, перпендикулярной к оси корпуса, рассмотрим равенство  $C_1C_3 = C_2C_4$ , которое показывает, что при выдвигении ножа из корпуса его геометрия не изменяется и расстояния между точками остаются прежними. Это равенство может быть записано в виде

$$(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 = (x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2. \quad (4)$$

Используя выражения (1) и подставляя их в (4), находим

$$4R^2 + (b - \sqrt{R_1^2 - R^2})^2 = (x_4 - x_2)^2 + (b - y_2)^2. \quad (5)$$

Подставляя  $y_2 = \sqrt{R_1^2 - x_2^2} + B$  в (5), получим квадратное уравнение относительно  $x_2$ :

$$kx_2^2 + lx_2 + m = 0, \tag{6}$$

где  $k = 4x_4^2 + (2B - 2b)$ ;  $l = 4x_4N$ ;  $m = N^2 - R_1^2(2B - 2b)^2$ ;

$$N = 2Bb - 2B\sqrt{R_2^2 - R^2} - 2b\sqrt{R_1^2 - R^2} + 2R^2.$$

Решение уравнения (6) позволяет определить положение точки  $C_2(x_2, y_2)$  в зависимости от геометрии уклона  $\Gamma$  и перемещения основания ножа  $B$ , что необходимо для построения искомой кривой. Исходя из технологических особенностей фрезерования деталей и нарезки инициирующей щели, выбраны наиболее предпочтительные диапазоны  $R_1 = 65, 70, 75$  мм и  $R_2$  в пределах от 60 до 80 мм; максимальный фиксированный выход ножа составляет 35 мм. Соответствующее перемещение основания ножа на величину  $B$  от значений  $R_1$  и  $R_2$  приведено в таблице.

Перемещение основания ножа при заданных параметрах его геометрии, мм

$R_1$	$R_2$	$B$
65	60	35
	65	29
	70	25
	75	22
70	60	35
	65	29
	70	25
	75	22
75	80	20
	65	29
	70	25
	75	22
	80	20

Анализ данных показывает, что для обеспечения  $\min B$  необходимо, чтобы при  $R_1 = 65$  мм  $R_2 = 75$  мм, при  $R_1 = 70$  мм  $R_2 = 80$  мм, а при  $R_1 = 75$  мм  $R_2 = 80$  мм. Таким образом, исходя из особенностей конструкции комбинированного устройства, выбираем  $R_1 = 70$  мм,  $R_2 = 70; 75; 80$  мм.

Для определения геометрии уклона  $\Gamma$  проведены аналогичные расчеты с определенными величинами  $R_1$  и  $R_2$  для диапазона выхода ножа от 0 до 50 мм. По результатам этих расчетов построены диаграммы зависимостей выхода кончика ножа в радиальном направлении от перемещения его основания при значениях  $R_1 = 70$  мм,  $R_2 = 70; 75; 80$  мм.

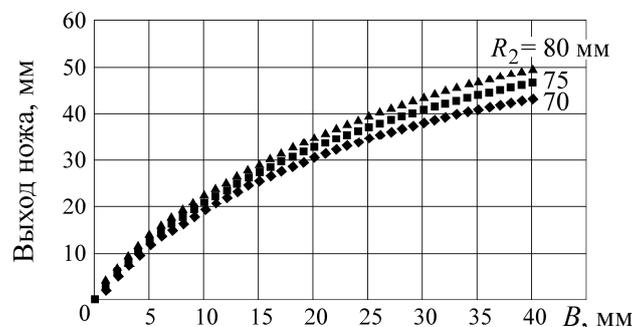


Рис. 3. Зависимости выхода кончика ножа в радиальном направлении от осевого перемещения  $B$  его основания

Аппроксимируя кривые, находим общее уравнение траектории движения точки  $C_1$  по направляющей при  $R_2 = 75$  мм:

$$y = -0.02x^2 + 2x + 2.65, \quad R^2 = 1. \quad (7)$$

Анализ полученных зависимостей показал, что при выборе основных параметров режущего инструмента  $R_1$  и  $R_2$  для наиболее эффективного использования внутреннего пространства корпуса необходимо выполнение условия  $R_2 \geq R_1 + 10$ . Это дополнительно позволяет получить следующие положительные характеристики разрабатываемой конструкции:

— сокращение осевого хода основания ножа для максимального выхода его режущего инструмента из корпуса устройства;

— достижение более рациональной формы кривой, по которой скользит тыльная сторона ножа, практически исключая заблокированный режим работы его лезвия.

### ВЫВОДЫ

Применение комбинированного устройства КУ-1, способного работать последовательно в режимах бурения скважин и нарезания на их стенках иницирующей щели, позволит сократить количество вспомогательных технологических операций, их трудоемкость и время на проведение работ по направленному гидроразрыву.

Проведенные математические расчеты позволили определить, что рациональные значения перемещения кончика ножа обеспечиваются при  $R_1 = 70$  мм,  $R_2 = 75$  мм. Моделирование процесса выдвигания ножа показало, что наиболее рациональным профилем направляющего уклона является параболическая кривая.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Исаков А. Л.** О направленном разрушении горных пород взрывом // ФТПРПИ. — 1983. — № 6. — С. 41 – 52.
2. **Дубынин Н. Г., Володарская Ш. Г., Яновская Н. Б., Яновский Б. Г.** Исследование влияния формы шпура на эффективность взрывания шпуровых зарядов // ФТПРПИ. — 1974. — № 6. — С. 68 – 73.
3. **Langefors U., Kihlstrom B.** The modern technique of rock blasting, langefors, Wiley, 1963. — 134 p.
4. **Barker D. B., Fournery W. L., Dally J. W.** Fracture control in tunnel blasting, Transportation Research Record, 1978, No. 648. — P. 97 – 103.
5. **Леконцев Ю. М., Сажин П. В., Ушаков С. Ю.** Применение метода поинтервального гидроразрыва для разупрочнения породного прослойка в угольном пласте // ФТПРПИ. — 2012. — № 3. — С. 135 – 144.
6. **Чернов О. И.** Гидродинамическая стратификация монолитных прочных пород в качестве способа управления труднообрушающейся кровлей // ФТПРПИ. — 1982. — № 2. — С. 18 – 23.
7. **Леконцев Ю. М., Сажин П. В.** Применение метода направленного гидроразрыва на шахте “Березовская” // ФТПРПИ. — 2008. — № 3. — С. 34 – 40.
8. **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.
9. **Сажин П. В.** Исследование траектории движения режущего органа щелеобразователя // Горняцкая смена. — 2008. — Т. 1. — С. 8 – 14.

*Поступила в редакцию 20/III 2016*