

# ДОБЫЧА И ПЕРЕРАБОТКА НЕФТИ, ГАЗА И ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

---

УДК 622.322.8

**Д.И. Шишлянников, С.А. Фролов, А.Е. Суханов**

**D.I. Shishlyannikov, S.A. Frolov, A.E. Sukhanov**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

## РАЗРУШЕНИЕ ГОРНОГО МАССИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОРГАНА

### DESTRUCTION ROCK BY SEPARATION USING A COMBINED ROCK-BREAKING TOOL

Работа современных горнодобывающих предприятий направлена на снижение себестоимости изготавливаемой продукции. Одним из таких мероприятий является модернизация существующих горных комбайнов и разработка новых исполнительных органов. Выполнен анализ разрушения горного массива. Выделены основные критерии выбора рациональных параметров режущих исполнительных органов. Предложена перспективная конструкция, представляющая собой комбинированный исполнительный орган проходческо-очистного агрегата, включающий в себя баровый исполнительный орган и двусторонние гидроцилиндры-отрывники, установленные внутри балки бара. Описан принцип действия и порядок работы предлагаемого исполнительного органа.

**Ключевые слова:** разрушение горных пород, комбинированный исполнительный орган, эффективность резания, гидроотрывники.

The trend of modern mining enterprises is aimed at reducing the cost of manufactured products. One of these activities is the modernization of existing mining combines and the development of new executive bodies. The paper analyzes the destruction of the massif. The main criteria for the selection of rational parameters of cutting executive bodies are highlighted. A design is proposed which is a combined executive body of the heading-and-winning unit, which includes a bar executive and two-sided hydrocylinders-tappets installed inside the bar beam. The principle of operation and the order of work of the proposed executive body are described.

**Keywords:** rock destruction, combined executive body, cutting efficiency, hydrotractors.

Для предприятий, осуществляющих добычу твердых полезных ископаемых, проведение горно-строительных и проходческих работ подземным способом, актуальными остаются задачи повышения эффективности использова-

ния выемочных и проходческих машин механизированных комплексов, снижения удельных энергозатрат процесса разрушения забоя и уменьшения количества мелких пылевидных классов в продуктах отбойки. Решение данных задач возможно посредством совершенствования существующих и разработки новых перспективных конструкций исполнительных органов горных комбайнов, обеспечивающих разрушение массивов наименее энергоёмкими способами.

В настоящее время для механизированной проходки выработок и очистной выемки горных пород крепостью до  $f = 6$  по шкале М. М. Протодяконова наиболее часто используются горные комбайны с исполнительными органами режущего типа. Известно, что разрушение горных пород резцовым инструментом представляет собой многофакторный случайный процесс чередования фаз контактного дробления и образования последовательных элементарных сколов породы, характеризующихся случайными значениями их геометрических параметров [1–3]. Воздействие на массив одиночного резца обуславливает возникновение высоких контактных напряжений, сконцентрированных в малом объеме горного массива. По мере нарастания усилия резания напряжения достигают предельных значений, после чего в зоне контакта начинаются процессы неупругой деформации и местного дробления породы на весьма мелкие фракции с образованием ядра мелкодисперсной объёмно-сжатой породы. При дальнейшем движении резца в направлении резания в соприкосновение с передней гранью входят всё более значительные участки породы и усилия, необходимые для её деформации и дробления, растут. Нарастание сил резания не носит плавный характер, а отличается случайными спадами, обусловленными отделением от массива мелких сколов породы. Скол крупного элемента породы происходит по плоскостям наименьшего сопротивления и сопровождается развитием магистральной трещины. Усилия резания падают от максимальных значений до нуля или близких к нулю величин. При неблагоприятных условиях предельные напряжения сдвига могут раньше возникнуть (излишне большие углы резания, весьма вязкие породы) [4–7].

При выборе рациональных параметров режущих исполнительных органов комбайнов наиболее важным критерием является минимальный путь резания, отнесенный к единице объема разрушаемого массива, что обуславливает достижение наименьших значений удельной энергоёмкости процесса разрушения горных массивов, количества пылевидных классов в продуктах отбойки, износа режущего инструмента. Минимальный путь резания обеспечивается при максимальном значении толщины стружки. В то же время увеличение толщины стружки обуславливает повышение нагрузок на породоразрушающий инструмент и приводы исполнительных органов горных машин, что определяет необходимость увеличения стойкости резцов, металлоёмкости

и установленной мощности приводов исполнительных органов горных комбайнов [8, 9].

Следует также отметить, что на эффективность процесса резания оказывают влияние такие факторы, как абразивные и адгезионные свойства разрушаемых массивов. Высокая абразивность горных пород определяет ускоренный износ резов и как следствие увеличение материальных и временных затрат на замену рабочего инструмента комбайнов. Разрушение глинистых пород, характеризующихся высокими адгезионными свойствами, зачастую сопровождается заштыбовкой исполнительных органов горных машин, что обуславливает снижение их производительности и увеличение удельных затрат энергии на разрушение массивов [10–12].

Существенным недостатком способа разрушения горных массивов резанием является то, что при осуществлении этого процесса зарождение и развитие магистральных трещин, отделяющих от массива элементарные сколы, происходит преимущественно под действием сжимающих нагрузок. Вместе с тем известно, что предел прочности на сжатие твердых горных пород, как правило, на порядок выше величины предела прочности на растяжение [13, 14]. Таким образом, наименее энергозатратным способом разрушения горных пород является способ, предусматривающий разрушение горных массивов преимущественно растягивающими нагрузками, то есть отрывом.

Авторами предложена конструкция, представляющая собой исполнительный орган проходческо-очистного агрегата, включающий в себя баровый исполнительный орган и двусторонние гидроцилиндры-отрывники, установленные внутри балки бара [15]. Исполнительный орган монтируется на каретке, которая крепится на оголовке универсального силового манипулятора, который в свою очередь монтируется на ходовой части проходческо-очистного агрегата. Баровый исполнительный орган разрушает горный массив резанием, внедряясь в него торцевой частью на всю его полезную длину. После заглубления бара в массив двусторонние гидроцилиндры-отрывники воздействуют на боковые поверхности прорезанной баром щели, осуществляя тем самым отделение от массива объема горной породы (подрезанного целика) путём отрыва в сторону свободной поверхности.

Предлагаемый исполнительный орган агрегата для проходческо-очистных работ (рис. 1) состоит из плоского режущего бара 1 с резами 2, установленными на режущей цепи 3. Режущий бар 1 смонтирован на каретке 4 универсального силового манипулятора 5. Податчик 6 каретки 4 обеспечивает внедрение режущего бара 1 своей торцевой частью в массив и прорезание в массиве щели размером  $B \times L \times H$ . Вращающий момент на приводную звездочку бара 1 передаётся от привода 7. Фиксация исполнительного органа проходческо-очистного агрегата относительно плоскости забоя осуществляется посредством силового манипулятора 5 и распорных гидроцилиндров 8, пики 9 которых внедряются в массив при зарубке бара 1 и выводятся из контакта с забоем

при отрыве целика. Внутри корпуса *10* исполнительного органа установлен ряд цилиндрических гидроотрывников *11*.

Цилиндрические гидроотрывники предназначены для воздействия на боковые поверхности щелей, прорезаемых баром, с целью отделения от массива подрезанного целика горной породы посредством отрыва.

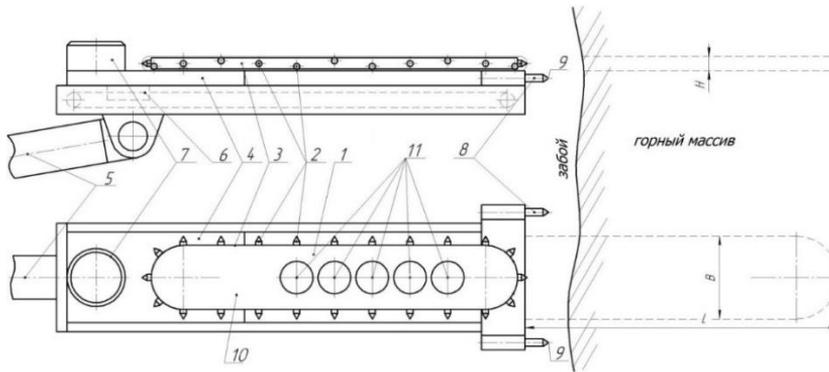


Рис. 1. Схема исполнительного органа агрегата для проходческо-очистных работ:  
*1* – плоский режущий бар; *2* – резцы; *3* – режущая цепь бара; *4* – каретка; *5* – силовой манипулятор; *6* – податчик каретки; *7* – приводной двигатель бара; *8* – распорные гидроцилиндры; *9* – пики распорных гидроцилиндров; *10* – корпус режущего бара; *11* – цилиндрические гидроотрывники

Цилиндрические гидроотрывники (рис. 2) содержат корпус *1* с каналами *2*, поршневую полость *3*, поршень *4*, перемещение которого ограничено упором *5*. При подаче рабочей жидкости по каналам *2*, выполненным в корпусе *1*, в поршневой полости *3* цилиндра создаётся избыточное давление, под действием которого перемещаются поршни *4*. Величина перемещения поршней ограничивается упорами *5*. Пружины *6* обеспечивают возврат поршней в исходное положение при подключении каналов *2* к сливным трубопроводам (не показаны на рисунке).

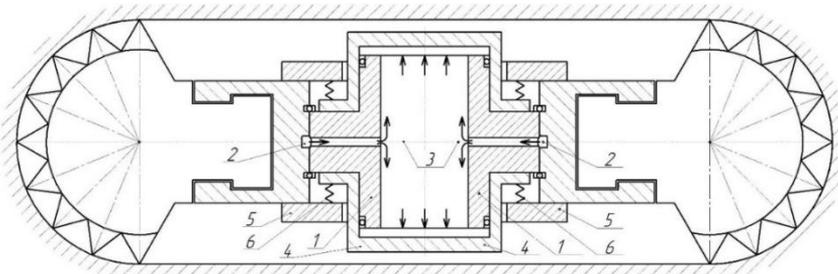


Рис. 2. Поперечный разрез гидроотрывника исполнительного органа:  
*1* – корпус гидроотрывника; *2* – каналы; *3* – поршневая полость;  
*4* – поршень; *5* – упор; *6* – пружина

На рис. 3 представлен общий вид предлагаемого агрегата для проходческих и очистных работ. Каретка 1 исполнительного органа монтируется на универсальный силовой манипулятор 2, который в свою очередь устанавливается на ходовой части 3 агрегата. В зависимости от условий работы ходовая часть может быть выполнена на колесно-рельсовом, пневмоколесном или гусеничном ходу. Универсальный силовой манипулятор 2 обеспечивает ориентирование исполнительного органа (перемещение в вертикальной и горизонтальной плоскости, поворот вокруг оси симметрии на  $360^\circ$ ), а также жесткую фиксацию устройства по всему сечению проходческого или очистного забоя 4.

Работа устройства осуществляется следующим образом. После установки и фиксации ходовой части перед забоем исполнительный орган с помощью универсального силового манипулятора подводят к поверхности забоя и с помощью распорных гидроцилиндров фиксируют относительно поверхности забоя. После этого включают привод плоского режущего бара. С помощью датчика режущий бар торцевой частью подают в горный массив, прорезая в нем щель размерами  $H \times B \times L$ , которые определяются конструктивными параметрами устройства.

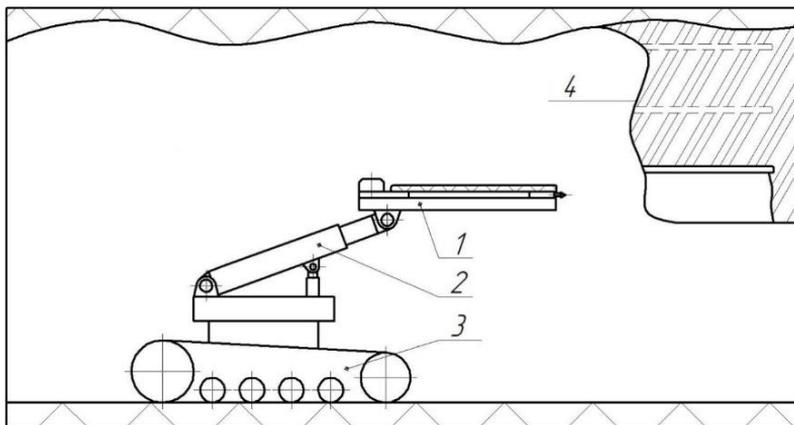


Рис. 3. Общий вид агрегата для проходческо-очистных работ (вид сбоку):

- 1 – каретка; 2 – универсальный силовой манипулятор;  
3 – ходовая часть агрегата; 4 – забой

С целью образования свободных поверхностей щели внутри массива прорезают по различным схемам (рис. 4). Посредством скалывания объемов породы между соседними щелями формируются так называемые первоначальные врубы 1. Расстояние между боковыми поверхностями первоначальных врубов составляет не менее  $2H$ .

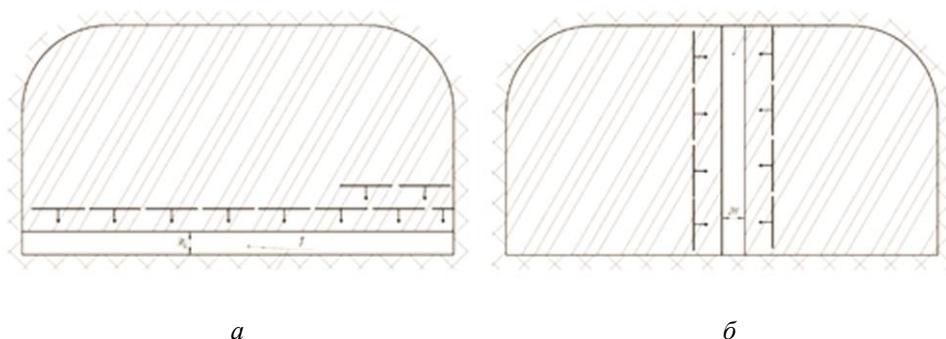


Рис. 4. Схемы врубов, реализуемых исполнительным органом:  
*а* – отрыв объемов горной породы в сторону свободной поверхности (первоначального вруба) внизу забоя; *б* – отрыв объемов горной породы в сторону вертикального первоначального вруба; *1* – расположение первоначального вруба

После прорезания первоначальных врубов по заданной схеме осуществляют разрушение остального массива за счет последовательных операций прорезания щели баром и дальнейшего отрыва большого объема породы подрезанного целика от массива с помощью цилиндрических гидроотрывников.

Поскольку при использовании предлагаемого устройства отделение от массива существенных объемов горной породы будет производиться путем отрыва, большая часть горного массива будет разрушаться наименее энергоемким способом, обеспечивающим высокую производительность и наименьший удельный расход резцов. Отсутствие излишнего дробления горной породы при отделении ее от массива позволит существенно снизить количество мелких пылевидных классов в отделяемой горной массе.

Использование универсального силового манипулятора обеспечивает перемещение исполнительного органа с кареткой вдоль плоскости забоя, надежную фиксацию каретки в неподвижном состоянии при заглублинии торцевой части бара в массив, что позволяет проходить горные выработки различных конфигураций и сечений.

### Список литературы

1. Позин Е.З., Меламед В.З., Тон В.В. Разрушение углей выемочными машинами. – М.: Недра, 1984. – 288 с.
2. Старков Л.И., Харламова Н.А. Исследование схемы перекрестного резания // Горный журнал. Изв. ВУЗов. – 1997. – №7–8. – С. 121–123.
3. Харламова Н.А. Исследование механизма разрушения соляных горных пород резцовым инструментом. дис. ... канд. техн. наук. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 1998. – 173 с.

4. Laskowski J.S. From amine molecules adsorption to amine precipitate transport by bubbles: a potash ore flotation mechanism // *Minerals Engineering*. – 2013. – Vol. 45. – P. 170–179.

5. Mechanical specific energy versus depth of cut in rock cutting and drilling / Yaneng Zhou, Wu Zhang, Isaac Gamwo, Jeen-Shang Lin // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2017. – Vol. 100. – P. 287–297.

6. Cutting forces during turning with variable depth of cut / M. Sadílek, J. Dubský, Z. Sadílková, Z. Poruba // *Perspectives in Science*. – 2016. – Vol. 7. – P. 357–363.

7. Комбайны проходческо-очистные для добычи калийных руд. Выбор показателей назначения и расчет параметров разрушения горных пород. Отраслевая методика / ВНИИГ. – Л., 1986. – 54 с.

8. Режимы работы комбайнов для добычи калийных руд / В.А. Бреннер, И.С. Зильберт, В.А. Зыков, Д.М. Любоцинский. – М.: Недра, 1978. – 216 с.

9. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. – М.: Недра, 1982. – 350 с.

10. Лавренко С.А., Труфанова И.С. Экспериментальные исследования процесса разрушения кембрийских глин режущим инструментом // *Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. журн.)*. – 2015. – № 5. – С. 113–119.

11. Исследование нагруженности и возможности прогнозирования энергоресурса приводов исполнительных органов комбайна «Урал-20Р» / Г.Д. Трифанов, А.А. Князев, Н.В. Чекмасов, Д.И. Шишлянников // *Горное оборудование и электромеханика*. – 2013. – № 2. – С. 41–44.

12. Чекмасов Н.В., Шишлянников Д.И., Трифанов М.Г. Оценка эффективности процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов комбайнов «Урал-20Р» // *Изв. высш. учеб. завед. Горный журнал*. – 2013. – № 6. – С. 103–107.

13. Проскуряков Н.М., Пермьяков Р.С., Черников А.К. Физико-механические свойства соляных пород. – Л.: Недра, 1973. – 271 с.

14. Позин Е.З., Меламед В.З., Азовцева С.М. Измельчение углей при резании. – М.: Наука, 1977. – 139 с.

15. Пат. 2652778 Рос. Федерация: Исполнительный орган агрегата для проходческо-очистных работ / Л.И. Старков, Д.И. Шишлянников, А.Б. Максимов, С.А. Лавренко. № 2017113633; заявл. 19.04.2017; опублик. 28.04.2018. Бюл. №13. – 10 с.

Получено 14.02.2020

**Фролов Сергей Алексеевич** – аспирант, кафедра горной электромеханики, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.

**Суханов Андрей Евгеньевич** – студент, кафедра горной электромеханики, горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: andy1997sae@gmail.com.

Научный руководитель **Шишлянников Дмитрий Игоревич** – кандидат технических наук, доцент кафедры горной электромеханики, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: dish844@gmail.com.