УДК 622.23

С.А.ТОЛСТУНОВ, *канд. техн. наук, доцент, tsa1943@yandex.ru*
А.В.ПОЛОВИНКО, *аспирант, temb14@inbox.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

S.A.TOLSTUNOV, *PhD in eng. sc., associate professor, tsa1943@yandex.ru*
A.V.POLOVINKO, *post-graduate student, temb14@inbox.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАШИН УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД

Рассмотрены вопросы применения пневмо- и гидроударных инструментов для разрушения крепких горных пород в режиме непрерывного действия. Установлены закономерности эффективности разрушения горных пород в зависимости от формы и угла наклона исполнительного органа к поверхности забоя. Даны рекомендации к применению исполнительных органов горных машин ударного действия.

***Ключевые слова*:** массив горных пород, крепость породы, долото, угол наклона, инструмент, удар.

DETERMINATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SHOCK MACHINES FOR HARD ROCK MINING

The paper deals with the application of air and hydraulic hammer tools for the destruction of hard rock in the mode of continuous operation. The regularities of the effectiveness of demolition of rock, depending on the shape and angle of the executive body to the surface are determined. There are recommendations for use the executive bodies of shock mining machines in the article.

***Key words*:** rock mass, rock hardness, bit, angle of, tool, shock.

Существует большое количество горных пород различной крепости, добывание которых механическим способом не производится в силу их специфических свойств. К ним относятся многолетнемерзлые породы крепостью 0,3-0,5 по Протодьяконову, крепкие известняки, граниты крепостью $f > 6$ по Протодьяконову и многие другие породы. Разрушение этих пород чаще всего производят буровзрывным способом, что приводит к переизмельчению горной массы в ближней зоне взрыва и выходу негабарита в дальней зоне. Горных машин, специально предназначенных для разрушения мерзлых пород, нами не выявлено. В последние годы появилась необходимость создания машин непрерывного действия, работающих на ударном принципе разрушения горных пород. Машины, предназначенные для дробления негабарита, обладают значительной энергией единичного удара (до 20 кДж и более) На базе этих машин возможно создание специально приспособленных для целей добычи полезных ископаемых комплексов или агрегатов. Определение их производительности и формулирование требований к ним является актуальной задачей. Работы в этом направлении в Горном университете велись давно. На основе проведенных исследований были созданы образцы режуще-ска-

лывающих исполнительных органов комбайнов, которые прошли шахтные испытания на шахтах г. Воркута и показали хорошие результаты [3].

В более позднее время был создан более совершенный тип режуще-скалывающего исполнительного органа комбайна [5]. Все эти конструкции исполнительных органов предназначены для эффективного разрушения с минимальными затратами энергии горных пород крепостью до 5 по Протодъяконову с относительно низкой скоростью приложения нагрузки (до 15 м/с). Разрушение более крепких пород требует создания более высоких энергий на разрушение. Режущие и режуще-скалывающие способы отделения кусков породы от массива становятся в этих условия неэффективными и затратными. Более высокие скорости приложения нагрузок возможны при ударном воздействии на инструмент. Это обстоятельство потребовало постановки специальных исследований.

Исследования параметров разрушения крепких горных пород различными типами исполнительных инструментов производились с помощью карусельного станка. Блоки горных пород размерами 0,5×0,35×0,35 м укладывались вплотную друг к другу на станину карусельного станка, стягивались между собой металлическими стяжками, а пространство между блоками заполнялось силиконовой мастикой для исключения просыпей мелких кусков породы. Таким образом, длина пути ударника по периметру радиальной траектории составляла 1,8 м. При таких размерах блоков удавалось осуществить несколько проходов ударника в виде концентрических борозд. В связи с тем, что современные конструкции пневмоударников имеют большую массу, для правильного размещения ударника была сконструирована поддержка на роликоопорах, позволяющая устанавливать инструмент под заданными углами к поверхности испытуемого материала. Движение поддержки с установленным пневмоударником осуществлялось приводом карусельного станка. Методика исследований предусматривала отделение горной породы крупной стружкой (5-15 см) ударным инструментом, установленным под углом к поверхности и движущимся по радиальной кривой.

В качестве показателя сопротивляемости горных пород для всех процессов разрушения пород используется коэффициент крепости горных пород по Протодъяконову [4]. Коэффициент крепости горных пород является количественной характеристикой удельной объемной работы разрушения:

$$f_0 = A/\Delta V,$$

где f_0 – показатель крепости при данном виде разрушения, Дж/см^3; A – затрачиваемая на разрушение горной породы энергия, Дж; ΔV – объем разрушенной породы, см^3.

Однако на практике этот коэффициент не получил применения, хотя, исходя из законов физики, он представляется более обоснованным. Для определения коэффициента крепости горной породы прибегают к испытаниям образцов в лабораторных условиях, а затем вычисляют коэффициент крепости по формуле

$$f = \sigma_{сж}/100,$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности горной породы на сжатие.

На основе современных представлений рассмотрим энергетическое выражение прочности горной породы. Работа, затрачиваемая в процессе разрушения твердого тела,

$$A = CS_b + q,$$

где C – поверхностная энергия единицы поверхности тела; S_b – вновь образовавшаяся поверхность тела; q – работа упругих и пластических деформаций, $q = k\Delta V$; k – коэффициент пропорциональности; ΔV – деформированный объем.

Если $q > CS_b$, то уравнение отражает закон Кирпичева – Кика о пропорциональности работы объему разрушения материала; при достаточно высокой дисперсности разрушаемых частиц оно плавно переходит в закон Риттингера. Поэтому при малом объеме упругих и пластических деформаций в общей работе разрушения тела использование ударного скола становится нецелесообразным.

М.М.Протодъяконов исходил из условия прямой пропорциональности между работой разрушения и разрушенным объемом, что согласуется с энергетическим законом разрушения Кирпичева – Кика. Справедливость данного положения подтверждается испытаниями горных пород в лабораторных условиях на копре О.В.Тимофеевым и рядом других авторов [1,2,5]. Исследовались пики долотчатой, пирамидальной и призматической формы. Пики пирамидальной формы дают прекрасные результаты при установке их на ручные ударные инструменты (отбойные молотки). Попытка их применения на крепких породах дала отрицательные результаты. В силу наличия отрицательных боковых углов скоса пика интенсивно отжималась от одной из боковых сторон после первого крупного скола. Поэтому в дальнейших испытаниях пики пирамидальной формы не использовались. Испытания пик долотчатой и ромбической форм показали, что при создании полублокированного режима работы инструмента они практически равноценны, а при блокированном режиме пика ромбической формы давала более высокую производительность. Если принять работу пики долотчатой формы при блокированном режиме за единицу, то в тех же условиях пика ромбической формы дает 1,2-1,3.

Общий характер разрушения горных пород крупным сколом исследовался многими учеными. В целом ряде исследований механического разрушения горной породы установлено, что в зоне контакта ударного инструмента с породой формируется уплотненное ядро [1], которое при движении инструмента развивается и формирует условия для появления внутренних напряжений сдвига или отрыва. Эти напряжения в дальнейшем приводят к отделению от массива кусков породы определенных размеров. Основная роль ударного инструмента состоит в формировании уплотненного ядра, состоящего из раздробленного и вновь уплотненного материала.

Из теории удара следует, что затраты энергии на разрушение горной породы пропорциональны вновь образуемой при ударе поверхности, которая возрастает особенно быстро при высокой степени дробления материала (частицы менее 0,5 мм) [1,6]. Поэтому наибольшее количество расходуемой энергии поглощается на создание уплотненного ядра и очень небольшое – на отделение кусков от массива. Соответственно поиск оптимальных параметров разрушения горных пород в конечном счете сводится к поиску условий, при которых размеры уплотненного ядра будут наименьшими.

Процесс скола горной породы ударным инструментом, наклоненным к плоскости забоя, аналогичен процессу резания-скалывания. В процессе разрушения трещиноватых пород режущим инструментом перед трещинами выкалываются значительные по величине куски породы. После выкола резец движется свободно, затем снова встречается с породой. В момент соприкосновения происходит удар, сопровождающийся мгновенным скачком нагрузки на резец (около 900-1500 кН). Однако при ударном сколе появляется возможность получения значительных кратковременных усилий на инструменте (около 300-500 кН и более), что позволяет отделять от массива крупную стружку (толщиной 5-20 см) при относительно низких усилиях подачи инструмента на забой и вдоль забоя (до 100 кН).

Направление удара к плоскости забоя играет существенную роль при совершении работы скола. Наименее эффективно процесс скола горной породы происходит при объемном напряженном состоянии разрушаемой породы. Наличие двух и особенно трех обнаженных поверхностей обеспечивают наилучшие условия для скола породы. Наиболее сложным случаем является нанесение удара перпендикулярно плоскости забоя, при котором затрудняется создание второй обнаженной поверхности для каждого последующего удара и исключается непрерывное отделение стружки от поверхности забоя.

Создание условий для непрерывного отделения стружки от забоя возможно при установке инструмента под углом к плоскости забоя. Поставленный под углом к плоскости забоя инструмент обеспечивает до-

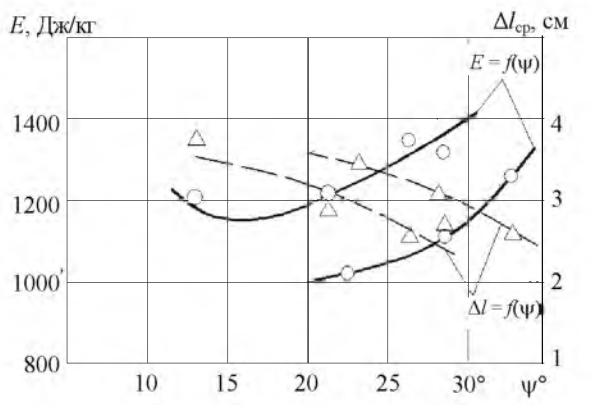
полнительно компенсацию мгновенных отжимающих усилий, возникающих при ударе инструмента о породу. Возникновение таких отжимающих усилий имеет сложную физическую природу. Их величина зависит от многих факторов: упругих свойств породы, угла установки инструмента, параметров инструмента и др. Изучение характера действия отжимающих усилий является предметом специальных исследований.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при разрушении известняка крепостью $f = 5$ ударным инструментом, установленным под углом к поверхности 15°, происходило постепенное выклинивание пики. При углах более 35° глубина стружки быстро увеличивалась и инструмент зарывался в забой. Поэтому оптимальными углами установки для известняка следует считать углы 25-30°. При разрушении гранита с $f = 12$ по Протодъяконову оптимальные углы наклона лежат в пределах 30-35°. Поэтому угол наклона инструмента в 30° к плоскости забоя для этих типов пород следует считать оптимальным. На рисунке показано влияние угла наклона ударного инструмента на эффективность скола известняка крепостью 5,2.

На основании вышеизложенного представляется возможным определить теоретическую производительность машины ударного действия, оборудованной одним исполнительным органом. Теоретическая часовая производительность ударника, установленного под углом к отбиваемой поверхности,

$$Q_{\text{тех}} = \frac{TAK_{\text{и}}N_{\text{инстр}}K_{\text{ф}}\cos\varphi}{ft_{\text{ск}}},$$

где $Q_{\text{тех}}$ – теоретическая производительность ударного инструмента, м^3; A – энергия единичного удара, Дж/кг; T – время работы инструмента, с; $K_{\text{и}}$ – коэффициент использования инструмента; $N_{\text{инстр}}$ – число перестановок инструмента в минуту; $K_{\text{ф}}$ – коэффициент формы инструмента; f – показатель крепости при ударном виде разрушения, Дж/см^3; φ – угол наклона инструмента к плоскости забоя, град; $t_{\text{ск}}$ – время скола единичного куска породы, с.



Зависимость необходимой энергии удара E (сплошные кривые) и размера скалываемого куска $\Delta l_{\text{ср}}$ (штриховые) от угла наклона ударного инструмента ψ

Техническая и эксплуатационная производительность может быть определена при исследовании работы конкретных образцов машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Борисов А.А.* Разрушение углей и горных пород ударной нагрузкой // Расчеты, проектирование и испытание горных машин. М., 1955. Т.2.

2. *Меликидзе И.Г.* Лабораторный метод определения буримости горных пород / И.Г.Меликидзе, С.М.Сенюк, И.А.Хецуриани // Сопротивляемость горных пород разрушению при добывании. М., 1962.

3. *Модестов Ю.А.* Новый исполнительный орган СШО угольного комбайна / Ю.А.Модестов, В.С.Морозов // Уголь Украины. 1980. № 2.

4. *Протодяконов М.М.* Материалы для урочного положения горных работ. М., 1926. Ч.1.

5. *Толстунов С.А.* Повышение эффективности и безопасности горных работ при отбойке угля крупным сколом / С.А.Толстунов, С.П.Мозер // Записки Горного института. СПб, 2007. Т.172.

6. *Шрейнер Л.А.* Физические основы механики горных пород. М., 1950.

REFERENCES

1. *Borisov A.A.* Destruction of coals and rocks of the impact load. Science digest Calculations, design and testing of mining machines. Moscow, 1955. Vol.2.

2. *Melikidze I.G., Senyuk S.M., Khetsuriani I.A.* Laboratory method for determining drillability of rocks // Resist the rock fracture at procuring. Moscow, 1962.

3. *Modestov Y.A., Morozov V.S.* A new executive body SSHO coal miner // Coal of Ukraine. 1980. N 2.

4. *Protodyakonov M.M.* Materials for determination performance standards for mining operations. Moscow, 1926. Part 1.

5. *Tolstunov S.A., Moser S.P.* Improving the efficiency and safety of mining coal at breaking big cleavage // Proceedings of the Mining Institute. Saint Petersburg, 2007. Vol.172.

6. *Schreiner L.A.* Physical basis of rock mechanics. Moscow, 1950.