

Л. М. Васильев

ДИНАМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА РАЗРУШЕНИЯ И РАЗУПРОЧНЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

Освещены способы динамического разрушения горных пород активизированным инструментом и резцом совместно с ударником, машины для разрушения негабаритов в карьерах энергомеханическими бутобоями и электрогидроимпульсным способом, вопросы разупрочнения угольного массива при импульсном нагнетании в него жидкости.

Среди многочисленных механизмов и машин, предназначенных для разрушения горных пород и крепких углей, особое место занимают машины и механизмы, работающие в импульсном (ударном или вибрационном) режиме. Эти механизмы относительно просты по устройству, достаточно надежны в работе, технологичны и безопасны. Работая в импульсном режиме, они позволили существенно увеличить эффективность разрушения горных пород механическими инструментами.

В настоящее время многими научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями интенсивно ведутся работы по созданию рабочих органов и породоразрушающих инструментов, работающих в ударном или вибрационном режиме.

В ИГТМ АН Украины проведены исследования совместного влияния статического и импульсного воздействия на эффективность разрушения горных пород различной крепости. Одним из способов динамического воздействия является активизация породоразрушающего инструмента проходческих комбайнов избирательного действия.

Результаты исследований показали, что исполнительный орган комбайна, оснащенный активизированным породоразрушающим инструментом, позволяет в 1,2—1,4 раза увеличить производительность отбойки горной породы, в 1,5—2,0 раза снизить силовые и энергетические показатели этого процесса, расширить область применения серийных комбайнов на более крепкие породы [1]. Об этом наглядно свидетельствуют экспериментальные данные, приведенные на рис. 1.

В ИГТМ также проведены исследовательские работы в области создания проходческих машин, предназначенных для нарезания разгрузочных щелей в выбросоопасных породах. Установлено, что в качестве рабочего органа для этих машин целесообразно использовать пневмоударный породоразрушающий инструмент, армированный цилиндросферическими твердосплавными элементами. Эти элементы обеспечивают эффективное разрушение крепких пород и максимальную стойкость инструмента. Эффективность их внедрения в выбросоопасную породу определяется из уравнения [2]

$$m_{\text{пр}} \frac{d^2h}{dt^2} + R \frac{dh}{dt} + \beta_0 h = F_0, \quad (1)$$

где $m_{\text{пр}}$ — приведенная к месту удара масса инструмента (инерционная масса); R — обобщенный коэффициент трения; β_0 — жесткость выбросоопасной породы; F_0 — постоянная сила прижатия инструмента к породе; t — время взаимодействия импульсной нагрузки с породой.

Жесткость β_0 , характеризующая сопротивляемость породы разрушению цилиндросферическим элементом, определяется по формуле

$$\beta_0 = 5,1 (0,15 + 0,17d) P_k \sqrt{1 - k^2},$$

где d — диаметр цилиндросферического элемента; P_k — контактная прочность породы в ненапряженном состоянии (паспортная характеристика); k —

коэффициент, учитывающий степень напряженности выбросоопасных пород, определяемый по формуле,

$$k = \frac{1}{\sqrt{2} [\sigma]} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2},$$

где $[\sigma]$ — предел прочности породы на сжатие; $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ — главные напряжения, действующие в массиве выбросоопасных пород.

Максимальная глубина внедрения h , полученная как частное решение (1), определяется по формуле

$$h_{\max} = \frac{D_1}{B} (1 - \cos \sqrt{B}t) + \frac{v}{\sqrt{B}} \sin \sqrt{B}t \quad (2)$$

при значении времени

$$t = \frac{1}{\sqrt{B}} \arctg \left(-\frac{v \sqrt{B}}{D_1} \right),$$

где $D_1 = \frac{F_0 - F_{\text{тр}}}{m_{\text{пр}}}$; $B = \frac{\beta_0}{m_{\text{пр}}}$; v — начальная скорость внедрения.

Как видно из выражения (2), величина $h_{\max}$ существенно зависит от степени напряженности породы и изменяется по нелинейному закону. С ростом K от 0 до 0,7 незначительно, всего на 30 %, увеличивается $h_{\max}$. Когда же естественные напряжения породы достигают величины более 70 % предела ее прочности, будет происходить интенсивное увеличение глубины внедрения инструмента в породу и, следовательно, резкое снижение силовых параметров разрушения. Однако следует отметить, что активные инструменты при всех их достоинствах страдают серьезным недостатком — значительными динамическими нагрузками. Уменьшить эти нагрузки позволяет комбинированный способ разрушения, в котором функции нанесения удара и резания выполняются резцом и бойком (рис. 2). Удар наносится в предрезцовую зону перед производством реза. Исследования эффективности этого способа проводились нами по следующей методике [3]. Материалом для исследований служил силикатный кирпич. На определенном расстоянии от края кирпича с помощью гравитационного копра долотчатый бойком с углом заточки 120° и длиной лезвия 30 мм в заранее намеченном месте наносились единичные удары с разной энергией. Подвергнутые ударному воздействию образцы прорезались до образования единичного скола, резцом, ширина которого была равна 16 мм, угол резания — 80° . В процессе проведения экспериментов изменялось соотношение между величинами L и h . Для экспериментов подбирались кирпичи с коэффициентом крепости по Протоdjяконову $f = 3$. Работа резания вычислялась по формуле $A_p = \frac{zl}{2}$, где z — сила резания, при которой произошел скол; l — величина перемещения резца при единичном сколе.

Работа удара определялась по потенциальной энергии падающего ударного устройства с бойком. Общая работа разрушения при скалывании находилась суммированием работы удара и работы резания.

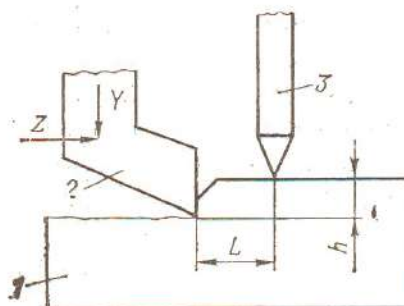
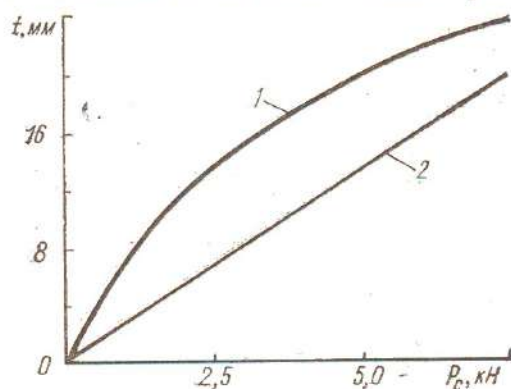


Рис. 1. Зависимости глубины разрушения от усилия резания: 1 — статического; 2 — импульсного

Рис. 2. Схема воздействия резцом и бойком на образец: 1 — образец породы; 2 — резец; 3 — боек

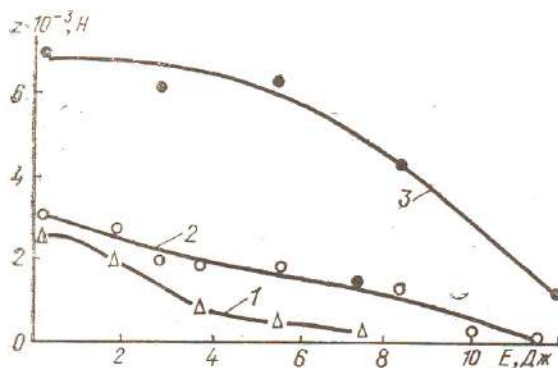


Рис. 3. Зависимость силы резания, необходимой для образования единичного скола, от энергии предварительно нанесенного удара: 1 — $L = 1$ см, $h = 1$ см; 2 — $L = 2$ см, $h = 1$ см; 3 — $L = 2$ см, $h = 2$ см

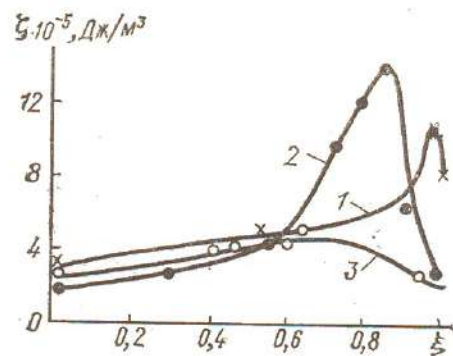


Рис. 4. Зависимость энергоемкости разрушения от коэффициента ξ : 1 — $L = 1$ см, $h = 1$ см; 2 — $L = 2$ см, $h = 1$ см; 3 — $L = 2$ см, $h = 2$ см

Из графиков (рис. 3) следует, что за счет ударного нагружения образцов бойком можно уменьшить практически до нуля силу резания, а следовательно, и долю работы резания к общей работе разрушения. Кроме того, энергия удара и работа резания, необходимые для единичного скола, увеличиваются с ростом расстояния L и толщины стружки h .

Энергия образования единичного скола равна сумме работ сил резания, поэтому для всестороннего описания процесса разрушения введем коэффициент

$$\xi = \frac{E}{A} = \frac{E}{E + A_p},$$

где E — энергия удара; A — работа разрушения; A_p — работа резания.

Коэффициент ξ показывает, какую часть от общей работы составляет работа удара.

Установлено уменьшение длины скола с увеличением энергии удара (коэффициента ξ). Объясняем этот факт влиянием сети «трещин, образующихся под бойком при ударе, на направление развития трещин, образующихся в результате нагружения образца резцом.

Зависимость энергоемкости разрушения от коэффициента ξ показана на рис. 4. Как следует из графиков, с ростом энергии удара энергоемкость разрушения возрастает и при определенном значении ξ имеет максимальную величину, причем с увеличением параметров L и h максимумы кривых смещаются влево. С увеличением толщины стружки и расстояния L энергоемкость комбинированного разрушения уменьшается.

Отметим, что этот способ может быть реализован при создании проходческих машин для крепких пород, так как он позволяет существенно увеличить энергию воздействия, подводимую к единичному элементу разрушения.

В последние годы на зарубежных горно-рудных предприятиях для разрушения негабаритов широко применяется оборудование с рабочими породоразрушающими органами ударного действия (бутобой). Разработаны бутобой трех видов: пневматические, гидравлические и разрушающие негабариты под действием падающего груза. Пневматические и гидравлические бутобой приводят за счет отдачи к появлению высоких нагрузок на стрелу и ходовую часть экскаватора, вследствие чего последние быстро выходят из строя.

Принцип устройств, разрушающих негабариты под действием падающего груза, заключается в падении груза (например, шара), подвешенного на тросе, и нанесении им ударов по разрушаемому объекту. Серьезный недостаток этого типа оборудования — невозможность точного нанесения удара и кратковременное действие разрушающей нагрузки. Заманчивыми являются простота конструкции, а главное — отсутствие реактивной отдачи на несущие конструкции экскаватора.

Для реализации этого способа ИГТМ АН Украины совместно с Винницким политехническим институтом разработана конструкция энергомеханического бутобоя, выполненного в виде направляющей трубы, в которой перемещается цилиндрический ударник, армированный бойком из твердой стали. В верхней торцовой части корпуса породоразрушающего инструмента имеется разьбовое гнездо для установки хвостовика, взаимодействующего с механизмом подъемного устройства. Необходимо отметить, что конический боек при соударении с разрушаемым негабаритом выполняет не только функцию породоразрушающего инструмента, но и излучателя волн напряжения, направляющего ударную волну в глубь разрушаемого негабарита, что способствует процессу распространения трещины по глубине и положительно сказывается на эффективности разрушения породы.

В 1988—1989 гг. проведены промышленные испытания экспериментального образца энергомеханического бутобоя описанной выше конструкции в условиях Запорожского карьероуправления. Разрушению подвергались негабариты гранита объемом до 2 м^3 и более с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова $f = 10 \div 14$.

Недостатком этого эффективного устройства является необходимость укладки негабаритов так, чтобы верхняя поверхность имела незначительный угол наклона к горизонту. Кроме того, имеется определенное ограничение по крепости горных пород. В меньшей мере этими недостатками характеризуются созданные в ИГТМ АН Украины для разрушения негабаритов электрогидравлические установки, основанные на эффекте Юткина, — электрическом разряде в воде, обеспечивающем превращение электрической энергии, запасенной в конденсаторах, в механическую энергию разрушения горных пород.

Технологически это происходит следующим образом: в негабарите бурится шпур, в который помещается рабочий орган — электрогидроимпульсный (ЭГИ) шпуровой взрыватель с электродной системой на конце. В шпур заливается рабочая жидкость и одновременно происходит зарядка конденсаторной батареи. При достижении требуемого напряжения происходит пробой межэлектродного промежутка в шпуре, образуется парогазовая полость, которая, расширяясь, сжимает жидкость до давления свыше 100 МПа . Это давление воздействует на стенки шпура и происходит раскол негабарита на несколько кусков.

В ИГТМ АН Украины совместно с 477 Комбинатом нерудодобываемых разработана, изготовлена и испытана установка механизации бурения и разрушения негабаритов (УМБР). Установка смонтирована на базе автомобиля БелАЗ-548 и оснащена двумя, работающими независимо одна от другой, стрелами манипуляторов телескопического типа, на концах которых расположены пневматические перфораторы и ЭГИ-шпуровые взрыватели. Электропитание установка может получать как от внешней электросети 380 В , так и от собственного дизель-генератора. Трансформация и преобразование переменного напряжения 380 В в постоянное до 20 кВ обеспечиваются зарядным трансформатором и выпрямителем. В качестве исполнительных органов при разрушении негабаритов использовались шпуровые взрыватели с различными коаксиальными электродными системами со свободным формированием канала разряда.

На установке предусмотрена возможность использования в качестве рабочей жидкости не обычной технической воды, а химических водных растворов, которые в условиях электроразряда вступают в высокоскоростные экзотермические реакции и обеспечивают дополнительное энерговыделение в разрядном промежутке.

Испытания установки проводили в условиях гранитного карьера 477 Комбината нерудодобываемых при разрушении негабаритов объемом до 3 м^3 с коэффициентом крепости по шкале Протодяконова $f = 16$. В результате испытаний установлено, что производительность работы установки составляет $50 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Управление установкой полностью механизировано и осуществляется из кабины водителем и оператором. Применение установки позволяет механи-

зировать процесс вторичного дробления негабаритов крепких горных пород и производить эту операцию без вывода техники и людей из карьера, так как осколки при разрушении не разлетаются. Применение установки позволяет также повысить безопасность труда, устранить вибровоздействие на человека при бурении шпуров, ликвидировать тяжелый ручной труд, а также исключить загрязнение окружающей среды от применения взрывчатых веществ.

Один из способов, снижающих прочность горного массива, — предварительное увлажнение путем нагнетания в него жидкости. Это особенно важно при добыче угля отбойными молотками и струговыми установками. Кроме того, предварительное увлажнение за счет искусственного трещинообразования и пластификации является эффективным средством дегазации пластов и борьбы с внезапными выбросами, и пылью.

Разумеется, для достижения наибольшего эффекта этого способа воздействия на угольный массив как средства снижения прочности, так и борьбы с вредными явлениями должно быть обеспечено его равномерное увлажнение. Преимущественная естественная густота и длина трещин по напластованию массива порождают прочностную и фильтрационную анизотропию угольного пласта. Основной поток жидкости при ее нагнетании идет по направлению напластования угля, так как в этом направлении коэффициент проницаемости в 50—100 и более раз превышает таковой в других направлениях.

Для повышения равномерности увлажнения необходимо искусственное развитие трещин, наклонных к пластованию, так как это повышает равнопрочность массива и его эквивалентный коэффициент фильтрации. С целью расчета углов наклона искусственных трещин представим угольный пласт в виде плиты, на два основания которой действуют внешние сжимающие нагрузки (горное давление, равное $\gamma_m H$) при наличии контактного трения, на четыре остальных — боковые плоскости — равные сжимающие (горизонтальные) нагрузки без трения. Трещина в массиве имеет произвольное направление, и по ее берегам приложено гидравлическое давление $P_{ж}$. Отношение вертикальной нагрузки к горизонтальной обозначим через η , а угол наклона, находящийся в предельном состоянии трещины относительно вертикальной нагрузки, — через θ . В качестве критерия разрушения примем критерий максимальных эффективных касательных напряжений [4]

$$\lim_{r \rightarrow 0} \{V \bar{r} \tau_{эф}(r, \beta)\} = \frac{L_c}{\pi},$$

где r и β — полярные координаты с началом в вершине трещины и полярной осью, совпадающей с касательной к берегам трещины; L_c — модуль сцепления на сдвиг, равный $L_c = \frac{V \pi E \gamma}{2} (\sqrt{1 + \mu^2} + \mu)$; E — модуль упругости; γ — удельная поверхностная энергия; μ — коэффициент внутреннего трения материала (угля).

Эффективные касательные напряжения определяются из выражения

$$\tau_{эф} = \tau_{r,\beta} + \mu \sigma_\beta.$$

Используя известные выражения для компонентов напряжений в вершине трещины [5], после соответствующих преобразований для угла наклона развивающейся трещины и минимального значения давления жидкости, при котором начинает развиваться трещина, имеем

$$\theta_{ж} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{1 - \mu f - \eta}{\mu + f - \mu \eta}, \quad (3)$$

$$P_{ж} = \frac{V \sqrt{2} \gamma E (1 + \mu + \mu^2)}{2 \mu \sqrt{\pi l}} - \frac{\gamma_n H [V (f + \mu - \mu \eta)^2 + (1 - \mu f - \eta)] - f + \mu + \mu \eta}{2 \mu},$$

где f — коэффициент контактного трения.

Коэффициент бокового распора принимается согласно формуле (8) из [6].

На рис. 5 приведены результаты расчета давления гидроразрыва пласта в зависимости от коэффициентов внешнего и внутреннего трения угольного пласта. Давление гидроразрыва имеет тенденцию к снижению при уменьшении коэффициентов трения. Отсюда следует, что путем их снижения можно

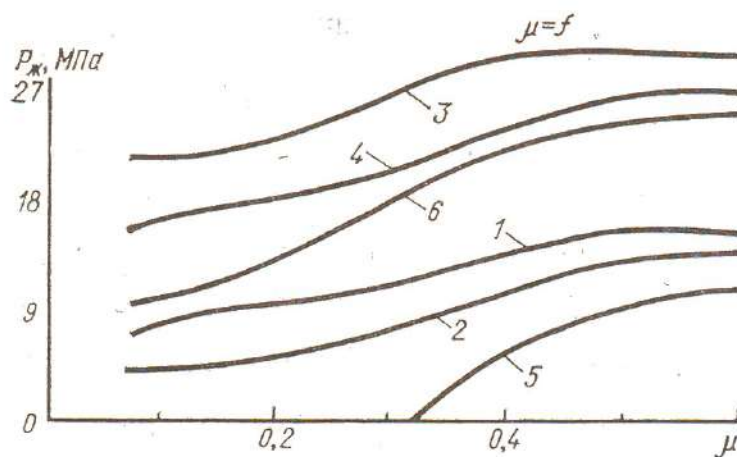


Рис. 5. Зависимости критического давления нагнетания жидкости от коэффициентов трения при $H = 500$ м: 1 — $K = 1$; 2 — 2; 3 — 3; при $H = 1000$ м: 4 — $K = 1$; 5 — 2; 6 — 3

интенсифицировать процесс трещинообразования. Известно, что трение в сыпучих средах снижается под действием вибрационной нагрузки. Авторами [7]

доказано, что под действием импульсной нагрузки снижается трение и в горных породах, с увеличением скорости деформации ϵ существенно уменьшается коэффициент (угол) внутреннего трения μ , а сопротивляемость сдвигу k увеличивается. Следовательно, давление нагнетания также существенно зависит от глубины залегания обрабатываемых увлажненных угольных массивов и сопротивляемости угля на сдвиг. Повышение сопротивляемости угля на сдвиг при импульсном нагружении также способствует процессу трещинообразования (кривые 5 и 6), т. е. из этого вытекает, что следует ожидать более высокой эффективности гидроимпульсного нагнетания жидкости в крепкие угли, чем в слабые. Надо сказать, что это экспериментально установлено Ю. В. Кузнецовым [8]. Здесь отметим, что как при статическом, так и при импульсном нагнетании жидкости возможно развитие сдвиговых трещин. Эффектом развития сдвиговых трещин мы объясняем наличие нижнего предела гидрорасчленения пласта, равного $0,012 \ll 0,025 H$ — давления гидроразрыва пласта по Н. В. Ножкину [9]. В подтверждение этого приведем наблюдения авторов за процессом гидрорыхления сейсмоакустическим способом контроля [10]. Результаты шахтных экспериментальных работ по наблюдению за реакцией пласта на внедрение в него воды под статическим давлением, оцениваемой активностью акустической эмиссии, показали, что при давлении жидкости (8 МПа), равном приблизительно половине максимального давления (18 МПа), уже начинался процесс развития трещин и интенсивность его возрастала по мере повышения давления и темпа нагнетания. Существенное отличие значения гидравлического давления нагнетания начала развития трещин от максимального давления свидетельствует о сдвиговом характере трещин. В случае же отрывного механизма разница между давлением начала развития трещин и максимальным давлением нагнетания, ввиду малой сопротивляемости угля растяжению, была бы незначительной. Если при статическом нагнетании могут развиваться трещины в небольшом количестве, то при импульсном за счет уменьшения внутреннего и контактного трения или трения пласта с боковыми породами происходит массовое развитие сдвиговых трещин, причем раствор спектра углов их наклона относительно вертикали согласно формуле (3) с уменьшением коэффициентов трения при импульсном нагнетании стремится от 0 к $\pm \pi/4$.

О снижении прочности угля при импульсном воздействии за счет периодически срывной кавитации свидетельствуют и лабораторные данные изменения пределов прочности при растяжении и сжатии, модуля упругости и величины эффективной поверхностной энергии.

Экспериментально установлено, что пределы прочности на растяжение и сжатие угля за 10^4 с гидроимпульсной его обработки снижаются в 1,5—2,0 раза, а величина удельной поверхностной энергии — в 2,5—2,8 раза (рис. 6). Изменение модуля упругости в процессе гидрообработки незначительное. Повышения влажности испытываемых образцов не обнаружено.

А в целом для всех прочностных показателей угля отмечается общая закономерность — наиболее существенное изменение их значений происходит в первые секунды обработки угля. Следует отметить, что гидроимпульсная обработка образцов в камере приводит к появлению на поверхности

угольных образцов густой системы трещин.

На основании полученных результатов следует ожидать существенного снижения прочности угольного пласта вследствие гидроимпульсной его обработки.

В целях реализации импульсного воздействия на пласт нами использовано явление периодически срывной кавитации в сужающе-расширяющемся канале типа кавитирующей трубки Вентури (КВТ). Предложены способ и устройство увлажнения угольных пластов, сущность которых заключается в подаче нагнетаемой жидкости в шпур или скважину в режиме периодически срывной кавитации. На основе трубки Вентури разработан погружной кавитационный генератор импульсов давления (ГИД). Основные преимущества ГИД — небольшие габариты и возможность размещения его в скважине.

В ИГТМ АН Украины проведены лабораторные и шахтные испытания работы генераторов импульсов давления. Шахтные испытания проводились в шахтах ПО «Стахановуголь» и «Ростовуголь», результаты их были положительными и идентичными. Пласты увлажнялись 3—6-метровыми шпурами диаметром 42 мм при давлениях 15—30 МПа. Жидкость подавалась в пласт через герметизатор и установленный в скважине генератор импульсов давления.

В период промышленных испытаний установлены отличия характера импульсного нагнетания от статического. Интенсивность «тряски» при импульсном нагнетании, как правило, значительно ниже, чем при статическом, объем отделенного угля значительно больше, а рыхление угля по всей увлажняемой части массива гораздо эффективнее, о чем свидетельствует многократный прирост метана.

Снизилась сила резания угля, например средняя сила резания составила: сухого угля 1,05 кН; увлажненного статическим способом 0,9 кН; увлажненного импульсным способом 0,54 кН. Полученные результаты явились основанием для серийного освоения импульсных насосных установок УНИ с генераторами импульсов давления на Теплогорском заводе гидрооборудования в 1993 г.

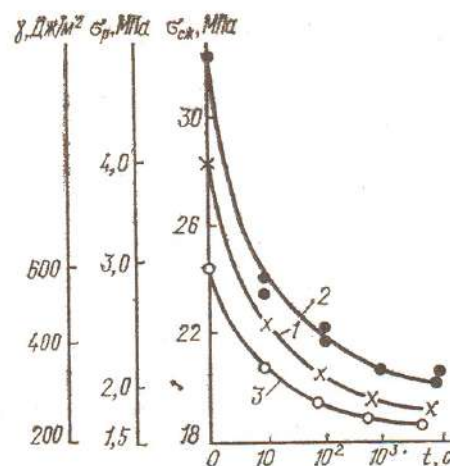


Рис. 6. Зависимости прочности на сжатие (1), растяжение (2), удельной поверхностной энергии (3) от продолжительности гидроимпульсной обработки

1. Козырев О. И., Шлома В. М. Результаты исследования эффективности наложения упругих колебаний на резцовый породоразрушающий инструмент. — Рук. деп. в ВИНТИ 26.05.87, № 3794—В87. Деп. — 8 с.

2. Полуянский С. А., Страшко В. А., Шматовский Л. Д. и др. Исследование процесса разрушения напряженных горных пород при ударе // Проблемы разрушения горных пород. — Киев : Наук. думка, 1979. — С. 7—14.

3. Родин А. В., Кожемяка И. И. Основные параметры ударно-режущего способа разрушения горных пород. — Рук. деп. в ВИНТИ 9.11.87, № 7824—87. Деп. — 13 с.

4. Васильев Л. М., Кононыхина А. В., Родин А. В. и др. Расчет давления нагнетания при различных режимах внедрения жидкости в угольный пласт // Геомеханика управления состоянием напряженного газонасыщенного массива. — Киев : Наук. думка, 1985. — С. 105—108.

5. Панасюк Е. В. Предельное равновесие хрупких тел с трещинами. — Киев : Наук. думка, 1968. — 246 с.

6. Васильев Л. М. Расчет коэффициента бокового распора при его предразрушении / Повышение эффективности разрушения горных пород. — Киев : Наук. думка, 1991. — С. 131—135.

7. Мохначев М. П., Пристаиш В. В. Динамическая прочность горных пород. — М. : Наука, 1982. — 142 с.

8. Кузнецов Ю. В. Исследование импульсно-волнового способа нагнетания воды в пласт: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новочеркасск, 1968. — 23 с.

9. Ножкин Н. В. Заблаговременная дегазация угольных месторождений. — М. : Недра, 1979. — 272 с.

УДК 622.271.002.5

М. С. Четверик

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТКРЫТОЙ ДОБЫЧИ РУД

Повышения эффективности и снижения экологической опасности открытой разработки месторождений можно достичь при совершенствовании теории проектирования карьеров, применения прогрессивных технологий горных работ. Изложена циклично-поточная технология с гравитационным транспортом в рабочей зоне карьера. Применение внутрикарьерного перегрузочного пункта со складом вертикального типа позволяет снизить расстояния автоперевозок. Изложены прогрессивные технологии добычи руд.

Переход от планового распределения к рыночным отношениям, самостоятельности предприятий, повышение экологических требований затрудняют прогнозирование объемов производства и тем самым повышаются требования к определению главных направлений научно-технического прогресса. Для железорудной отрасли, которая достигла большого развития в результате применения открытого способа разработки, основные направления технического прогресса, по-видимому, будут определяться этим же способом добычи руд. Несмотря на большой вред, наносимый окружающей среде при открытом способе разработки, осуществить в ближайший период переориентацию или добычу сырья другим методом затруднительно.

Снижение экологической опасности открытой разработки рудных месторождений, повышение эффективности производства могут быть достигнуты путем применения прогрессивных процессов и технологий горных работ, эффективного оборудования, совершенствования теории проектирования карьеров.

1. Совершенствование теории проектирования карьеров. Принято считать, что после отработки запасов крутопадающего месторождения открытым способом добычу руды прекращают, отвалы рекультивируют, а предприятия ликвидируют или переориентируют на подземный способ разработки. С экологических позиций такая трактовка открытых горных работ является неприемлемой. Карьеры глубиной 500—700 м, длиной в несколько километров, отвалы высотой до 100 м, шламохранилища будут являться постоянным источником загрязнения и истощения окружающей среды. Большие объемы скальных вскрышных пород, вынутые с глубоких горизонтов карьера и поднятые на высоту до 100 м над уровнем земной поверхности, повышают естественный радиационный фон. Поэтому открытую разработку месторождения можно считать законченной не после выемки полезного ископаемого, а после засыпки карьера вскрышными породами и шламами, а также восстановления нарушенных земель. Для решения этой проблемы необходимо разработать технологию и создать комплекс машин по разборке отвалов, уборке шламохранилищ, засыпке карьера вскрышными породами и шламами.

Кроме того, при проектировании отработки месторождения необходимо определить вид объекта, который будет расположен на месте отработанного карьера. Как следует из исследований, в случае полного использования вскрышных пород и шламов для засыпки карьера все же остается определенная достаточно глубокая выемка. Она имеет различные параметры, зависящие от технологии засыпки карьера. Систематизированы виды объектов,