

УДК 622.272

*В.И. Городниченко*

**НЕВЗРЫВНАЯ ОТБОЙКА КРЕПКИХ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*Рассматриваются варианты отбойки крепких горных пород с применением источников инфракрасного излучения.*

Семинар № 3

---

**Д**ля отбойки крепких горных пород от массива необходимо ввести в него определённое количество энергии и сконцентрировать его в объёме, находящемся на определённом расстоянии от свободной (или свободных) поверхностей массива. Сконцентрированная энергия является генератором развития существующих в массиве трещин и появления новых, выходящих на свободную поверхность, в результате чего происходит отделение кусков от массива. Способов невзрывной отбойки крепких горных пород существует два – механический способ с контактным вводом энергии в породу механическим инструментом и бесконтактные способы введения энергии, в том числе, посредством излучения, направляемого на породу. Производительность и энергоёмкость процесса отбойки породы определяется количеством энергии поступающей в массив от генератора трещин. При отбойке породы механическим способом энергия генератора трещин в массиве определяется энергией механической конструкции воздействующей на массив. При невзрывной отбойке крепких горных пород с бесконтактным введением энергии излучением энергия генератора трещин в массиве определяется энергетическими параметрами излучателя и физическими свойствами горной

породы. Совокупность этих параметров определяет работу генератора трещин, которую он может произвести. Работа генератора трещин расходуется на деформирование объёма горной породы, в котором сконцентрирована введенная энергия, и на совершение внешней работы, величина которой определяется энергией упругой деформации объёма занимаемого генератором трещин. Работа по деформированию породы без совершения внешней работы бесполезна для отбойки. Энергия упругой деформации объёма генератора трещин существенно зависит от некоего параметра  $P$ , являющегося нагрузкой на деформирующийся объём горной породы. В случае отбойки крепких горных пород этот параметр является технологическим. Его можно изменять, например, путём изменения расстояния от генератора трещин до свободной поверхности, изменением размера генератора трещин и изменением энергии, введённой в него. При этом эффективность отбойки может изменяться от минимальной до максимальной, то есть при  $P = 0$  производительность отбойки будет равна нулю. Но могут быть созданы условия, при которых энергия генератора трещин будет недостаточна для того, чтобы преодолеть сопротивление нагрузки  $P$ , поэтому снова отбойки породы не произойдёт, а энер-

гия генератора трещин пойдёт на деформирование его объёма. Существуют оптимальные условия для получения максимальной производительности и минимального расхода энергии. Эти условия характеризуются коэффициентом полезного действия генератора трещин. Максимальный коэффициент полезного действия ге-нератора трещин определяется соотношением  $\eta = 0,5 \beta^2 TE(C\rho)^{-1}$ , где  $\beta$  – коэффициент объёмного теплового расширения горной породы;  $T$  – средняя температура в объёме генератора трещин;  $E$  – модуль упругости породы в объёме генератора трещин;  $C$  и  $\rho$  – удельная теплоёмкость и плотность горной породы. При отбойке крепких горных пород с помощью энергии излучения коэффициент полезного действия генератора трещин составляет не более 3-4 % [1]. Генератор трещин формируется в горной породе потоком энергии поступающей от источника излучения. Среднюю температуру  $T$  в объёме  $V_0$  генератора трещин можно, ориентировочно, определить по формуле:  $T = (Nt)(C\rho V_0)^{-1}$ , где  $(Nt)$  – энергия, вводимая в горную породу.

Ориентировочно, объём генератора трещин  $V_0 = S(\pi at)^{0,5}$ , где  $S$  – площадь поверхности, через которую вводится энергия;  $a$  – температуропроводность горной породы;  $t$  – продолжительность процесса.

Физико-технические параметры процесса разрушения крепких горных пород под воздействием инфракрасного излучения являются предпосылками применения невзрывной отбойки крепких горных пород для решения разнообразных технологических задач подземных горных работ в элементах систем разработки на действующих рудниках.

Невзрывная отбойка крепких горных пород на подземных рудниках может быть самостоятельным процессом, ре-

зультатом которого является конечный продукт готовый к использованию без дополнительной обработки другими способами разрушения или подготовительным, промежуточным или вспомогательным процессом. Как самостоятельный процесс невзрывную отбойку можно рассматривать в случае применения её для отбойки пород с целью создания выработок или для раздельной отбойки полезного ископаемого и боковых горных пород.

Как вспомогательный, промежуточный или подготовительный процесс невзрывную отбойку можно рассматривать в случае применения её для решения таких технологических задач как:

- оборка кровли и стенок камерных выработок и оборка стенок восстающих выработок, пройденных буровзрывным способом;
- расширение скважин, предназначенных для прокладки по ним кабелей электроснабжения и линий связи, для прокладки трубопроводов и скважин другого назначения;
- придание специфической формы поперечного сечения горной выработки, с учётом направления действующих в массиве нормальных максимальных напряжений, способствующей повышению устойчивости выработки;
- создание полостей вокруг «строчек» шпуров и скважин, предназначенных для снижения напряжённого состояния в массиве, прилегающем к горным выработкам;
- создание компенсационных полостей, путем расширения скважин при производстве взрывных работ в подготовительных выработках и очистных блоках;
- создание зарядных полостей в веерных взрывных скважинах при взрывной отбойке руды.

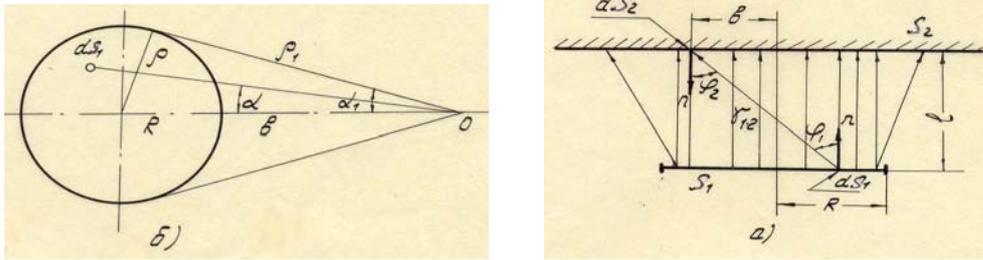


Рис. 1. Схемы к расчёту потока излучения на поверхности горной породы

Невзрывная отбойка крепких горных пород может способствовать решению проблемы создания значительного числа небольших по объёму камерных и сравнительно коротких протяжённых выработок с небольшим поперечным сечением (до 4-5 м<sup>2</sup>) среди комплекса камерных выработок руддвора, вблизи участков и других капитальных выработок, а также среди выработок, например, днища блока. Такие небольшие выработки в элементах систем подземной разработки рудных месторождений имеют, как правило, вспомогательное назначение, например, инструментальные камеры, участковые мастерские, или относятся к категории подготовительно-нарезных выработок.

Несмотря на большую и всё возрастающую потребность различных отраслей промышленного производства в высокоценных металлах, редких элементах, которые залегают, как правило, в рудах жильных месторождений, ранее работавшие на этих месторождениях рудники оказываются неконкурентоспособными. Одной из причин нерентабельности разработки тонких рудных жильных месторождений являются значительные затраты в связи с валовой буровзрывной отбойкой рудных тел с боковыми горными породами, что приводит к непроизводительным затратам по

доставке, транспортировке и переработке горной массы.

Закономерности распространения инфракрасного излучения, позволяют управлять параметрами невзрывной отбойки, изменять физические и геометрические параметры источника излучения для того, чтобы добиться необходимого технологического эффекта отбойки, например, создать специфическую форму поперечного сечения выработки, произвести отбойку породы по проектному контуру, добиться отдельности отбойки полезного ископаемого и боковых горных пород, получить заданный гранулометрический состав отбиваемой горной массы и др.

На основе физических закономерностей распространения энергии от источника излучения [2] уравнение для потока энергии  $dF_i$ , поступающего к поверхности горной породы (рис. 1), можно представить в виде:

$$dF_i = 0,5\eta NS^{-1} \{1 - (\ell^2 - R^2 + b^2) \times$$

$$\times [(\ell^2 + R^2 + b^2)^2 - 4b^2 R^2]^{-0.5}\}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – коэффициент, учитывающий потери энергии;  $N$  и  $S$  – соответственно, мощность и площадь поверхности источника излучения;  $\ell$ ,  $b$ ,  $R$  – геометрические параметры согласно рис. 1.

Расчётное изменение удельной мощности излучения  $g/g_0$ , где  $g_0 = N/S$ , на поверхности горной породы, согласно (1), при изменении некоторых парамет-

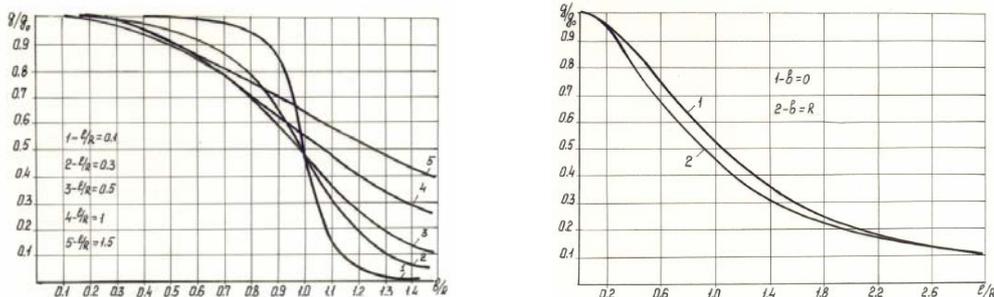


Рис. 2. Расчётное изменение удельной мощности излучения на поверхности горной пород

ров, влияющих на показатели отбойки горной породы, приведено на рис. 2.

Из решения уравнения теплопроводности при граничных условиях второго рода [3] температура поверхности горной породы определяется выражением:

$$T(0, \tau) = T_0 + 2g(\alpha\tau)^{0.5} \lambda^{-1} \pi^{-0.5}, \quad (2)$$

где  $T_0$  – начальная температура поверхности горной породы;  $g$  – удельная мощность излучения, попадающего на рассматриваемую площадку согласно (1);  $\alpha$  и  $\lambda$  – соответственно, температуропроводность и коэффициент теплопроводности горной породы;  $\tau$  – время, в течение которого температура поверхности горной породы изменяется от  $T_0$  до  $T_n$ , где  $T_n$  – температура, при которой происходит разрушение горной породы. Согласно [3]:

$$T_n = 2K(1 - \nu)\sigma_r(\beta E)^{-1}, \quad (3)$$

где  $K$ ;  $\nu$ ;  $\beta$ ;  $E$  – коэффициент пластичности и коэффициент Пуассона, коэффициент линейного теплового расширения и модуль упругости горной породы.

Температура поверхности горной породы достигнет величины  $T_n$  и произойдёт разрушение горной породы, если удельная мощность излучения, по-

ступающего на поверхность породы, будет равна

$$g_r = 0,5(T_n - T_0)\lambda(\alpha\tau)^{-0.5} \pi^{0.5}. \quad (4)$$

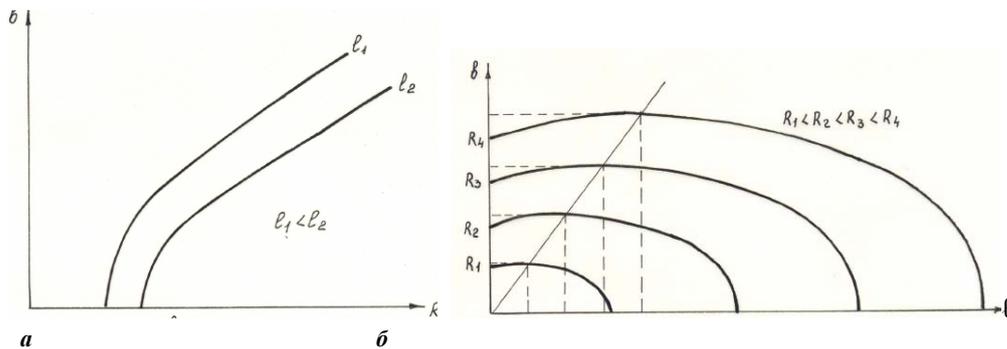
Добиваясь величины  $g_r$ , согласно (4), на определённых участках поверхности массива горных пород, можно управлять отбойкой и осуществлять выемку породы только в пределах этих участков, то есть решать такие технологические задачи, как создание выработок с необходимой формой поперечного сечения и вести раздельную выемку содержащих полезные компоненты горных пород и пустых пород.

Изменение размеров площади, на которой будет происходить отбойка горной породы, в зависимости от некоторых параметров, приведено на рис. 3.

При определённом соотношении между технологическим параметром ( $l$ ) параметрами излучателей ( $R, g_0$ ) и свойствами горной породы отбойки от массива может не происходить. То есть,  $v = 0$ , когда  $R = l[g_0 g_r^{-1} - 1]^{-0.5}$ , а также, когда

$$l = R(g_0 - g_r)[g_r(g_0 - g_r)]^{-0.5}.$$

Наибольшее значение площади отбойки будет достигаться при обеспечении в процессе отбойки величины  $l = 0,5R(g_0 - 2g_r)[g_r(g_0 - g_r)]^{-0.5}$ .



**Рис. 3.** Изменение радиуса площади отбойки горной породы на массиве в зависимости от размера  $R$  излучателя и от расстояния  $\ell$  между излучателем и поверхностью массива пород

Эти зависимости позволяют определять параметры отбойки в естественном массиве пород, например, при проведении подготовительных выработок и очистной выемке полезного ископаемого, и на трещиноватом массиве, например, при оборке кровли и стенок горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок, пройденных буровзрывным способом.

Отбойка горной породы в рассматриваемых условиях осуществляется при наличии одной свободной поверхности, на которую поступает поток энергии излучения и по которой происходит разрушение горной породы. Отделяющиеся от массива куски породы в виде пластин могут отбрасываться от поверхности или задерживаться на ней в зависимости от количества энергии упругой деформации сохранившейся после отделения куска породы. Количество энергии упругой деформации уменьшается при увеличении трещиноватости массива горных пород [4]. Это оказывает влияние на скорость разрушения и на энергоёмкость процесса отбойки. Скорость разрушения породы или скорость продвижения забоя при отбойке зависит от физических свойств горной породы и от плотности потока излучения. Максимальная скорость продвижения забоя

теоретически [1] равна  $v_{\max} = 2\beta g E (3\sigma_{\text{ср}})^{-1}$ . При уменьшении плотности потока излучения  $g$  толщина отделяющихся кусков породы увеличивается и при некотором минимальном значении отбойка породы прекращается. Без учёта технологических параметров это происходит когда  $g_{\min} = 2\sigma_{\text{ср}}(\pi a)^{0.5}(\beta E t^{0.5})^{-1}$ . Энергоёмкость отбойки  $q$  зависит от производительности  $\Pi = Vt^{-1}$ , то есть  $q = NtV^{-1}$  или  $q = gStV^{-1}$ , где  $V$  – объём отбиваемой горной массы. Производительность по объёму отбиваемой горной массы определяется площадью обрабатываемого забоя  $S$  и скоростью продвижения  $v$   $\Pi_V = Sv$ , поэтому при постоянной подводимой мощности  $N$  увеличение площади обрабатываемого забоя приводит к снижению энергоёмкости отбойки. При увеличении площади обрабатываемого забоя с непропорциональным увеличением сторон поперечного сечения, например, при отбойке руды на тонких жилах, происходит увеличение удельного периметра, поэтому в этих условиях энергоёмкость отбойки возрастает.

Для отбойки крепких горных пород в выработках вспомогательного назначения применимы источники инфракрасного излучения по размерам удобные для производства монтажно-

демонтажных работ без применения специальных грузоподъемных машин и механизмов, а также удобные для технологического обслуживания.

Небольшие источники инфракрасного излучения можно быстро собирать в панели для обработки забоев площадью 0,3-5,0 м<sup>2</sup> с плотностью излучения 2,0-10 Вт/см<sup>2</sup>. При этом скорость продвижения забоя в монолитных породах составляет до 0,3-0,4 м/час.

Для проведения коротких восстающих выработок вспомогательного назначения эффективна технология проходки снизу вверх с подачей породоразрушающего исполнительного органа вслед за продвижением забоя с помощью секционной штанги. Проведение восстающих длиной до 20-30 м начинается с предварительного бурения одной двух скважин между горизонтами, которые используются для подъема проходче-

ского исполнительного органа вслед за продвижением забоя с помощью лебедок.

Исполнительные органы невзрывной отбойки крепких горных пород с помощью инфракрасного излучения являются хорошей основой для механизации оборки кровли и стенок горных выработок, пройденных буровзрывным способом. При этом наиболее высокий экономический эффект возможен в случае оборки блоковых грузовых восстающих длиной по 50-70 м.

Применяя невзрывную отбойку крепких горных пород с помощью инфракрасного излучения в скважинах и шпурах возможно определять степень удароопасности массива пород по местоположению, по размерам, форме и ориентации образуемых полостей [5], а также снижать степень удароопасности массива.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород. – М.: Издательство Московского государственного горного университета. 1995.
2. Сэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. Пер. с англ. – Л.: Энергия. 1971.
3. Дмитриев А.П., Гончаров С.А. Термодинамические процессы в горных породах. М.: Недра. 1983. 342 с.
4. Городниченко В.И. Влияние трещиноватости пород на эффективность электротермического разрушения. Изв. вузов «Горный журнал». №9, 1979, с. 40-42.
5. Протасов Ю.И., Городниченко В.И., Трушкин А.Н. Технология снижения удароопасности массивов горных пород электротермическим способом. Изв.вузов «Горный журнал», №3, 1992, с. 19-22. **ГИАБ**

#### Коротко об авторе

Городниченко В.И. – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры физики горных пород и процессов, Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 3 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Л. Шкуратник.