Ю.А.Боровков, К.В.Шаров
Московская геолого-разведочная академия

УДК 622.8

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАПРАВЛЕННОГО НЕВЗРЫВНОГО МЕТОДА РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД НА ОСНОВЕ РАСШИРЯЮЩЕЙСЯ ЦЕМЕНТНОЙ СМЕСИ

Эффективность метода направленного раскола гипсовых пород с использованием невзрывной разрушающейся смеси на цементной основе (НРС) можно повысить за счет разработанной конструкции концентраторов напряжений в виде двух параллельных металлических пластин. Приведены расчетные формулы и графики развития направленной трещины между шпурами во времени.

The question of increase of efficiency of a method of the directed split of plaster breeds with use of a not explosive collapsing mix on the basis of cement (HPC) at the expense of the developed design of concentrators of pressure as two parallel metal plates is considered in the article. The settlement formulas and diagrams of development of the directed crack between chinks in time are given.

Разрушение массива горной породы буровзрывным способом является причиной больших потерь минерального сырья, негативно влияет на устойчивость законтурного массива горных пород и геоэкологию.

Одним из перспективных способов, обеспечивающих защиту окружающей среды от вредных воздействий взрывных газов и рациональное использование природных ресурсов, снижение себестоимости добычи руды и энергоемкости горных работ и повышение безопасности их ведения, является использование невзрывчатой разрушающей смеси на основе расширяющегося цемента (НРС). Поэтому совершенствование способа направленного разрушения горных пород для раскола массива с применением НРС является важной научно-практической задачей. Одним из методов повышения эффективности направленного раскола горных пород с использованием НРС является использование в шпурах концентраторов напряжения. Конструкция концентраторов напряжения должна позволять направленно формировать и концентрировать поля напряжения на контуре шпура в плоскости предполагаемого раскола, приводящие, в конечном счете, к расколу в заданном направлении.

Процесс направленного раскола можно разделить на несколько стадий: концентрация напряжений в отдельных точках на контуре шпура; возникновение в нагруженном горном массиве зародышевых микротрещин на контуре шпура; переход к более крупной магистральной трещине между смежными шпурами. Известно, что при нагружении материала вблизи вставок возникает концентрация напряжений, величина которых зависит от формы и размеров этих вставок. Механизм направленного раскола массива горных пород при статическом нагружении с использованием концентраторов напряжений и процесс формирования магистральных трещин до настоящего времени изучен недостаточно.

В задачу наших исследований входило получение дополнительных данных о процессе трещинообразования при направленном расколе гипсовых пород. Процесс трещинообразования первоначально исследовался на моделях из гипсового материала, а затем в производственных условиях Новомосковского гипсового комбината. На многих гипсовых месторождениях в связи с наличием водоносных горизонтов повышены требования к охране окружающей среды. Снижению нарушенности законтурного массива может способствовать внедрение безвзрывной технологии проведения подготовительных и очистных выработок, основанной на комбинации механических спосо-

бов и использования НРС. С этой целью следует исследовать механизм разрушения массива горных пород с помощью НРС, обосновать расстояние между шпурами с концентраторами напряжений, а также разработать метод расчета основных параметров способа направленного раскола горных пород с помощью НРС.

Существующие методики расчета расстояния между смежными шпурами при применении способа направленного раскола с помощью НРС не учитывают напряженного состояния массива горных пород, прочностных свойств раскалываемых пород, количество и форму концентраторов напряжений на контуре шпура, длительность воздействия квазистатической нагрузки на контуре шпура, развиваемой НРС, которые влияют на раскрываемость трещин между шпурами.

Для совершенствования способа направленного раскола горных пород квазистатическими нагрузками рекомендуется концентрировать эти нагрузки на контуре шпура по линии предполагаемого раскола пород. В частности, предлагается создавать шпуры эллиптического сечения (удлиненные по одной оси) или устанавливать в шпуры направляющие вставки, что обеспечило бы неравномерное давление НРС по периметру шпура, т.е. создавало бы области повышенных концентраций напряжений. Наиболее перспективным является способ установки концентратора напряжения на контуре шпура в местах предполагаемой плоскости раскола между соседними шпурами.

При анализе опыта применения концентраторов напряжений в виде одной металлической вставки был выявлен их общий недостаток – трудность точной установки в центре шпуров. Кроме того, несмотря на наличие концентраторов напряжений, кроме магистральной трещины, на стенках шпуров обычно появляются радиальные трещины. Поэтому была разработана новая конструкция концентратора напряжений, состоящего из двух параллельных пластин (вставок). При установке вставок в шпур его рабочее сечение превращается из круглого в эллиптическое, что способствует формированию магистральной трещины на контуре шпура за счет увеличения давления в шпуре, вызываемого расширением НРС во времени. Уменьшается и расход НРС, так как ею заполняется только пространство между вставками.

С целью обоснования механизма возникновения и прорастания трещины на контуре шпура при применении конструкции концентраторов напряжений в виде двух параллельных пластин необходимо исследовать напряженно-деформированное состояние (НДС) массива горных пород вокруг шпура при действии двух видов нагрузок: от гравитационного поля и напряжений, развиваемых расширением НРС. Для этого применимы методы теории упругости, достаточно хорошо разработанные Н.И.Мусхелишвили, которые основаны на использовании функции комплексного переменного и позволяют исследовать НДС массива горных пород, окружающих шпур с сечением различной формы. Обозначим $P(t)$ нагрузку от расширяющейся смеси, приложенную к стенкам шпура, (статически изменяющаяся нагрузка), а другой вид нагрузки, создаваемой сжимающей гравитационной составляющей природного поля напряжений, – $P_1 = \gamma H$, где γ – удельный вес пород, мН/м^3; H – глубина ведения работ, м.

Для обоснования зависимости относительного квазистатического давления на контуре шпура под действием нагрузки $P(t)$ от продолжительности воздействия нагрузки были проведены лабораторные эксперименты на стенде при нагружении гипсовых блоков при температуре 15-20 °С. Для гипсовых пород была получена регрессионная зависимость нарастания относительного давления НРС в шпуре (коэффициент корреляции 0,98):

$$P(t) = \frac{P(t)}{\gamma H} = 1{,}54 + 26{,}07 \lg t.$$

Теоретическое рассмотрение процесса зарождения и развития направленных трещин при статической нагрузке, имеет два аспекта. Первый связан с изучением условий зарождения направленных трещин, при которых исключаются побочные разрушения

законтурной зоны шпура, второй – с описанием динамики роста возникших радиальных трещин, а также с определением их конечных размеров при различных формах нагружения. Второй аспект является наиболее трудоемким из-за недостаточно развитой техники измерения процессов развития трещин. В основном, он анализируется в предположении действия увеличивающейся статической нагрузки, превышающей прочностные свойства породы, окружающей шпур. Поэтому наибольший интерес представляет процесс зарождения направленных трещин. Основной целью изучения этой стадии процесса является определение допустимого диапазона начального давления НРС в зарядной полости, гарантирующего зарождение направленных трещин без возникновения побочных разрушений в контурной зоне шпура.

С целью обоснования предлагаемой конструкции устройства рассмотрим распределение напряжения вокруг контура шпура эллиптического сечения от совместного воздействия нагрузок P_1 и $P(t)$, допуская, что вставки обладают жестокостью, в 4-10 раз превышающей жесткость массива пород, окружающих шпур (рис.1). В случае, когда в шпуре располагаются две металлические прямоугольные пластины, упирающиеся своими концами в стенки шпура с двух сторон и располагающиеся параллельно друг другу, образуется новое по форме рабочее сечение шпура, напоминающее эллипс. Это сечение зависит от соотношения полуосей, при этом длину образующейся трещины на контуре шпура l и ее прорастание в глубь массива горных пород со временем с учетом превышения предела прочности пород от совместного действия нагрузок гравитационного поля и НРС можно определить по формуле

$$l = R_0 \left[\sqrt{\frac{1 + P(t) \dfrac{2\eta}{\eta + \sqrt{\eta^2 - 1}} \left(\dfrac{R_0}{r_0} \right)^{\frac{2\eta}{1+\eta}}}{\bar{\sigma}_p \quad 1}} - 1 \right]$$

где $\eta = d/l_1$, d и l_1 – соответственно диаметр шпура и ширина пластины; r_0 – расстояние от центра шпура до пластины (малая полуось эллипса), м; R_0 – радиус шпура (большая полуось эллипса), м; $\bar{\sigma} = \sigma_p / (\gamma H)$; σ_p – предел прочности пород на растяжение, МПа.

На основании этой формулы были построены графики изменения длины трещины со временем для шпуров диаметром 42 мм при одном концентраторе напряжений в виде металлической вставки (рис.2, кривая 1) и двух параллельных концентраторах, установленных на расстоянии от цен-

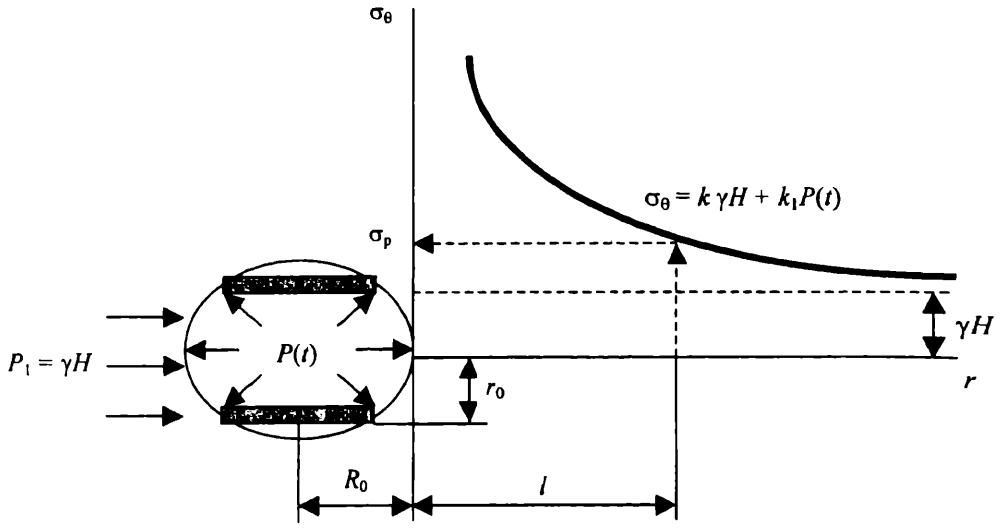


Рис. 1 Схема размещения вставок и график распределения тангенциальных напряжений в массиве горных пород, окружающих шпур, от совместного воздействия нагрузок гравитационной составляющей природного поля напряжений P_1 и квазистатической изменяющейся нагрузки $P(t)$

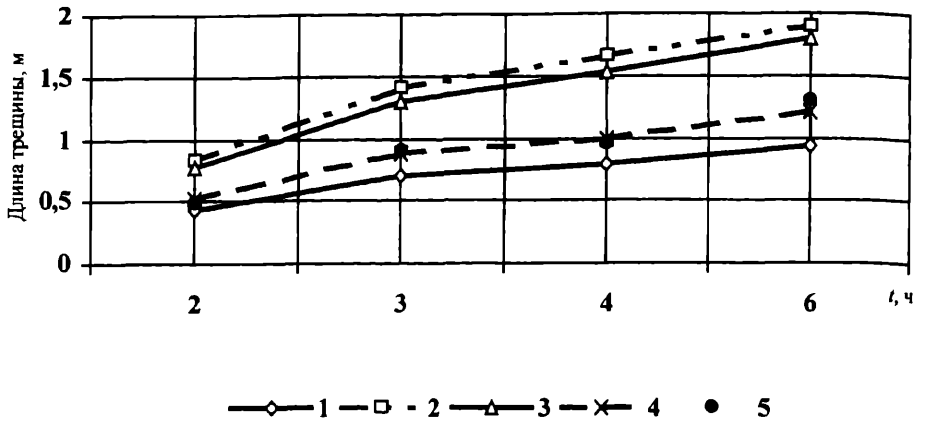


Рис.2. Зависимость длины трещины *l* от времени ее образования и развития *t* для шпура диаметром 42 мм с одной вставкой и с двумя параллельными вставками

1-4 – расчетные кривые; 5 – экспериментальные данные, полученные в производственных условиях

тра шпура в 7, 11 и 15 мм (рис.2, кривые 2, 3 и 4 соответственно). Из графиков видно, что с увеличением времени нарастания нагрузки на контуре шпура от действия НРС длина прорастания трещины при установке в шпур двух параллельных концентраторов напряжений в 1,1-2 раза больше, чем при одном концентраторе. Для исследования процесса прорастания трещины были проведены эксперименты в промышленных условиях (в камере на гипсовом руднике). Данные хорошо сходятся с расчетными. Коэффициент корреляции 0,96.

Исследования эффективности применения концентраторов напряжения при использовании НРС проводились в лаборатории «Перспективные технологии» Научно-учебного центра «Минеральные ресурсы» при Московской геолого-разведочной академии. В опытах использовались металлические вставки различной конфигурации и размеров. В качестве невзрывчатого разрушающего вещества применяли НРС-1. В журнале наблюдений фиксировались дата и время заливки рабочей смеси НРС в отверстие диаметром 30 мм, а также время появления видимых трещин вокруг отверстия. Температура воздуха во время проведения опытов 15-20 °С. Расчеты и лабораторные исследования на моделях показали, что образование направленных трещин зависит от формы и количества концентраторов напряжений. В результате исследований был получен экономический эффект в сумме более 200 тыс.руб. на одну очистную камеру.