УДК 622.235

А.П.ГОСПОДАРИКОВ, В.Н.КОВАЛЕВСКИЙ
Санкт-Петербургский государственный горный институт (*технический университет*), *Россия*

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ТРЕЩИНЫ В ПОРОДЕ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ШПУРОВОГО УДЛИНЕННОГО КУМУЛЯТИВНОГО ЗАРЯДА

Работа посвящена обоснованию применения удлиненных кумулятивных зарядов на открытых и подземных горных работах. Уточнена аналитическая зависимость длины трещины от геометрических параметров заряда, шпура и физико-механических свойств горных пород.

This article is devoted to application of the cumulative charges on the open-pit and underground minings. The analytical response of the crack length on the geometrical parameters of the charge, hole and of the properties of rocks is invented.

В настоящее время в научной литературе достаточно полно исследован процесс функционирования кумулятивных зарядов, в том числе и удлиненных кумулятивных зарядов (УКЗ) [1, 3]. Тем не менее попрежнему для исследователя представляет интерес экспериментальное и математическое моделирование явлений кумуляции для обоснованного выбора ведения открытых и подземных горных работ, базирующегося на контурном взрывании шпуровых или скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ). Применение последнего в технологии горных работ обеспечивается в основном направленным разрушением массива горных пород [1-3] за счет образования зон концентраций напряжений на поверхности шпура или скважины. Для реализации механизма направленного разрушения горных пород необходимо использование такой конструкции заряда ВВ, когда на первом этапе функционирования последних создаются концентраторы напряжений, а на втором – импульс давления взрывной (детонационной) волны в шпуре (скважине), необходимой для развития магистральной трещины. Известен также тот факт, что наиболее технологичным в производстве и эффективным при использовании различных типов зарядов является способ направленного разрушения горных пород УКЗ [2, 3]. Различные эксперименты по направленному разрушению среды УКЗ [4] показали, что при изменении геометрических параметров УКЗ, типа ВВ и формы кумулятивной выемки, можно добиться значительного увеличения кратера при внедрении кумулятивного ножа (КН) в горную породу, а это приводит к увеличению длины магистральной трещины $l_т$.

Процесс трещинообразования (расчет $l_т$) базируется на предположении, что при шпуровом методе взрывания во внутренней полости шпура образуется давление от продуктов детонации (ПД) УКЗ, длительность действия которого определяется длиной шпура, т.е. фактически временем распространения волны разгрузки в шпуре. Под действием такого давления происходит расслоение внутреннего контура шпура, и соответственно, в устье канала, созданного КН в массиве горных пород, возникают значительные напряжения, превосходящие модуль сцепления породы и являющиеся причиной развития трещин [2, 4]. В качестве начальной длины трещины принимается начальная глубина канала.

Закон роста трещин под действием ПД основывается на положениях теории разрушения хрупких сред, и при такой постановке задачи скорость распространения трещины определяется уравнением [2, 4]

$$\frac{dl_т}{dt} = \alpha c_R \sqrt{1 - \frac{K_{1C}}{K_1}}, \qquad (1)$$

где $l_т$ – длина трещины; c_R – скорость волны Рэлея; K_{1C} – модуль сцепления породы; α – коэффициент пропорциональности, $\alpha = 0{,}8 \div 1{,}0$; K_1 – коэффициент интенсивности напряжений,

$$K_1 = P(t)\sqrt{\frac{\pi l_\text{ò}}{2}}, \qquad (2)$$

$P(t)$ – закон изменения давления в полости шпура,

$$P(t) = \begin{cases} P_0, & t < \dfrac{L_0}{C_0}; \\ P_0\left(\dfrac{L_0}{C_0 t}\right)^3, & t \ge \dfrac{L_0}{C_0}. \end{cases} \qquad (3)$$

Величина P_0 определяется давлением мгновенной детонации заряда УКЗ, геометрическими параметрами УКЗ и шпура и показателями изоэнтропы и политропы ПД [2, 4]; L_0 – глубина шпура; C_0 – закон изменения скорости в ПД.

Дифференциальное уравнение (1) с учетом формул (2) и (3) и начального условия ($l_\text{ò}\big|_{t=0} = l_0$ – глубина вхождения КН в породу) достаточно просто решается численным методом (методом Рунге – Кутта). Однако, учитывая важность получения аналитического решения (при допущении, что максимальное значение интенсивности напряжений имеет место только в начальный момент времени), последнее примет вид

$$l_\text{ò} = l_0 + \alpha\frac{c_R L_0}{C_0}\sqrt{1 - \frac{K_{1C}}{P_0\sqrt{\frac{\pi l_0}{2}}}} + \alpha c_R\left\{\frac{L_0}{C_0} - \sqrt[3]{\frac{P_0\sqrt{\frac{\pi l_0}{2}}}{K_{1C}} - 1} - \frac{K_{1C}L_0}{8C_0\sqrt{\frac{\pi l_0}{2}}}\times\right.$$

$$\times\left[\left(\frac{P_0\sqrt{\frac{\pi l_0}{2}}}{K_{1C}}\right)^{\frac{4}{3}} - 1\right] - \frac{1}{28}\frac{K_{1C}^2}{l_0 P_0^2 C_0}\times$$

$$\left.\times\left[\left(\frac{P_0\sqrt{\frac{\pi l_0}{2}}}{K_{1C}}\right)^{\frac{7}{3}} - 1\right]\right\}. \qquad (4)$$

Так как эффективность использования УКЗ повышается при одновременном взрывании зарядов в смежных шпурах, длина магистральной трещины увеличивается при встречном расположении кумулятивных выемок. В этом случае на основе зависимости (4) можно определить расстояние между соседними шпурами и скважинами в ряду УКЗ заданной погонной массой [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Демидюк Г.П.* Эффективность взрыва при проведении выработок / Г.П.Демидюк, В.Ф.Ведутин. М.: Недра, 1973.

2. *Исаков Н.Л.* Расчет динамики развития направленных трещин при предварительном щелеобразовании // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1984. № 3.

3. *Ключников А.В.* Современный уровень развития, эффективность применения контурного взрывания на открытых и подземных горных работах и совершенствование проектирования и производства горных работ с применением контурного взрывания. Апатиты: Изд-во АН СССР, 1983.

4. К обоснованию применения удлиненных кумулятивных зарядов для направленного разрушения горных пород / В.В.Сычев, М.А.Нефедов, А.Н.Мурахин, В.Н.Ковалевский // Разработка и внедрение оборудования для интенсификации добычи руд. Л.: Гипроникель, 1987.