$$\frac{\sigma^{н}_{rr}}{\sigma^{o}_{rr}} = 1 - \frac{P_2 \cdot r^3}{P_1 \cdot R^3} - \frac{2P_2}{P_1} .$$

Учитывая, что размеры зоны дробления ($R_{др}$) для большинства промышленных ВВ имеют 20÷25 диаметров заряда (R), получим при $r \approx R_{др}$

$$\frac{q_o}{q_н} = \frac{\sigma^{н}_{rr}}{\sigma^{o}_{rr}} = 1 - \frac{25 P_2}{P_1} .$$

Отсюда видно, что увеличение глубины разработки и, как следствие этого, увеличение горного давления отрицательно сказываются на эффективности дробления горных пород.

Таким образом, выражение (2), оценивающее необходимый рост разрушающих радиальных напряжений в массиве, можно рассматривать как некую "компенсацию" растущей с увеличением горного давления трудности выведения отдельностей из зацепления.

Кроме того, при рассмотрении вопросов, связанных с оценкой взрываемости горных пород, необходимо учитывать их вязкость. С целью оценки вязкости в развитие подхода, сформулированного проф. В.П.Тарасенко, и с учётом известной зависимости сдвиговой прочности от величины нормального давления получено выражение для определения относительной вязкости горных пород λ :

$$\lambda = 6{,}5 - 0{,}5\left(\frac{\sigma_{сж}}{60 + \frac{P_п}{0{,}5 + \frac{P_п}{550}}} - 3\right).$$

С учётом вязкости удельный расход может быть определен следующим образом:

$$q_в = (A \cdot f)^n \left[\frac{5{,}5}{6{,}5 - 0{,}5\left(\frac{\sigma_{сж}}{60 + \frac{P_п}{0{,}5 + \frac{P_п}{550}}} - 3\right)}\right]^{3/2} e .$$

Анализ полученного выражения показывает, что оно учитывает основные физико-технические характеристики пород: крепость, трещиноватость, предел прочности пород на сжатие, сдвиг, а также изменение удельного расхода ВВ за счёт увеличения относительной вязкости пород.

Для определения вклада относительной вязкости горных пород при наличии нормального давления $P_п$ и без него оценено значе-

ние удельного расхода ВВ ($q_{В(0)}$) при отсутствии давления, т. е. при $P_п$ = 0 выражение для определения $q_{В(0)}$ имеет вид

$$q_{В(0)} = (A \cdot f)^n \left[\frac{5{,}5}{6{,}5 - 0{,}5\left(\frac{\sigma_{сж}}{60} - 3\right)}\right]^{3/2} \cdot e .$$

Изменение удельного расхода ВВ за счёт увеличения относительной вязкости пород:

$$K_в = \frac{q_в}{q_{В(0)}} = \frac{6{,}5 - 0{,}5\left(\frac{\sigma_{сж}}{60 + \frac{P_п}{0{,}5 + \frac{P_п}{550}}} - 3\right)}{6{,}6 - 0{,}5\left(\frac{\sigma_{сж}}{60} - 3\right)} ,$$

где $K_в$ - коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода ВВ за счёт изменения относительной вязкости пород.

Таким образом, увеличение глубины разработки отрицательно сказывается на эффективности дробления горных пород. Полученное выражение (2) оценивает необходимый рост разрушающих радиальных напряжений в массиве.

УДК 519.21 + 622

А.Я.Белов

О ЗАДАЧАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЁМОВ БЛОКОВ И ИХ КОЛИЧЕСТВА

Везде в статье, если не оговорено противное, предполагается, что системы трещин находятся в общем положении, т. е. никакие 4 плоскости не пересекаются в одной точке, никакие 3 не параллельны одной прямой, для плоской задачи никакие 3 трещины не пересекаются в точке. Общее положение реализуется с вероятностью I.

Рассмотрим массив, разбитый системами плоскостей /трещин/: $v_{ср}$ – средний объём монолитного блока, $\tau = v_{ср}^{-1}$ - среднее число элементарных блоков в единице объёма. Назовём блок (вообще говоря не монолитный), ограниченный соседними трещинами i -й, j -й, k -й систем i, j, k - элементарным; пусть $V_{i,j,k}$ - средний объём i, j, k – элементарного блока, $\tau_{i,j,k}$ – количество i, j, k – элементарных блоков в единице объёма, d_i – среднее расстояние между соседними трещинами i-й системы, $\vec{n}_i$ – единичный вектор нормали.

Следующая теорема сводит общую задачу вычисления среднего объёма монолитного блока к случаю трёх систем трещин:

Теорема I.

$$\tau=\sum \tau_{i,j,k}, \quad v_{cp}=\left[\sum V_{i,j,k}^{-1}\right]^{-1},$$

где $\tau_{i,j,k}=V_{i,j,k}^{-1}, \ i\neq j\neq k\neq i$.

Доказательство. Установим взаимно-однозначное соответствие между монолитными и всеми i, j, k – элементарными блоками. Выберем направление, не перпендикулярное ни одной из линий пересечения систем трещин, назовём его "верхом".

Тогда у каждого монолитного блока определен "верхний" угол, а следовательно, и i, j, k – элементарный блок с тем же "верхним" углом. Теорема доказана.

Заметим, что $V_{i,j,k}=d_i d_j d_k\cdot|\vec{n}_i\wedge\vec{n}_j\wedge\vec{n}_k|$, где $|\vec{n}_i\wedge\vec{n}_j\wedge\vec{n}_k|$ – модуль смешанного произведения векторов $\vec{n}_i, \vec{n}_j, \vec{n}_k$.

Поэтому $\tau=\sum|\vec{n}_i\wedge\vec{n}_j\wedge\vec{n}_k|\cdot d_i^{-1}d_j^{-1}d_k^{-1}$,

$$v_{cp}=\left[\sum|\vec{n}_i\wedge\vec{n}_j\wedge\vec{n}_k|\cdot d_i^{-1}d_j^{-1}d_k^{-1}\right]^{-1}, \text{ где } i\neq j\neq k\neq i.$$

Аналогичные формулы справедливы для n-мерного пространства:

$$\tau=\sum_I \prod_{i\in I} d_i^{-1}\left|\bigwedge_{i\in I}\vec{n}_i\right|, \quad v_{cp}=\tau^{-1}, \quad \tau=\sum_I \tau_I,$$

где $I\subset\{1,\dots,k\}, \ \#I=n$.

Рассмотрим задачу определения средней площади S_{cp} блока в плоской постановке задачи, когда трещина растёт только до слияния с соседней. Пусть n – среднее число трещин в пересчёте на единицу площади. Следующая теорема позволяет предсказывать, каким будет S_{cp} после того, как трещины разрастутся.

Теорема 2. $n\cdot S_{cp}=1$.

Доказательство. Пусть $\ell=2n$ – среднее число концов трещин, q – монолитных частей, m – сегментов в единице площади /назовём сегментом участок трещины, не содержащий внутри себя конец трещины и ограниченный концами каких-нибудь трещин/.

Из того, что имеет место общее положение, следует, что к

каждому концу примыкает 3 сегмента, но так как сегмент ограничен двумя концами, $2m=3\ell$, поэтому $m=3n$.

По теореме Эйлера о графах $\ell-m+q=0$, откуда $q=n$.

Теорема следует из того, что $S_{cp}\,q=1$.

Пусть M – многогранник, R – семейство плоскостей, являющихся продолжением его граней, характеристическая функция χ_N множества N определяется равенствами: $\chi_N(x)=1$, если $x\in N$, иначе $\chi_N(x)=0$.

Теорема 3 позволяет сводить вычисление объёма к вычислению объёмов тетраэдров с гранями на R.

Теорема 3. χ_M есть линейная комбинация $\chi_M=\sum\chi_{T_i}\cdot\lambda_i$, где χ_{T_i} – характеристические функции тетраэдров, грани которых лежат на R. Объём M равен $\sum V(T_i)\cdot\lambda_i$, где $V(T_i)$ – объём тэтраэдра T_i.

Доказательство. Так как R разбивает M на выпуклые части, достаточно доказать теорему для выпуклого многогранника. Но в этом случае у M найдутся 4 грани, продолжая их, создадут тетраэдр T, содержащий M, который тем самым получается из M дополнением многогранниками M_i, чьи грани лежат на R.

Индукция по числу граней.

Следствие. В случае не общего положения χ_M порождается χ_{M_i}, где M_i – следующие многогранники с гранями на R: тетраэдры, параллелепипеды, трёхгранные призмы, пирамиды, у которых основание – параллелограмм.

В самом деле, имеется проективное преобразование, нарушающее параллельность и мало смещающее многогранник.

Для нахождения распределения блоков по объёмам для случая четырёх систем параллельных трещин достаточно определить $V(d)$ – объём пересечения единичного куба $K: 0\leq x,y,z\leq 1$ с полупространством $\Pi_j: ax+by+cz\leq d$, поскольку аффинным преобразованием, сохраняющим отношение объёмов, можно преобразовать 1,2,3 – элементарный блок в единичный куб, а объём пересечения K с полосой $d_1\leq ax+by+cz\leq d_2$ равен $V(d_2)-V(d_1)$. Выбором направлений осей и нормировкой задача сводится к случаю, когда

$$a,b,c\geq 0, \quad a^2+b^2+c^2=1.$$

Положим $H(x)=Max(x,0)$.

Теорема 4.

$$V(d)=\frac{1}{6abc}\cdot\left[H(d)^3-H(d-a)^3-H(d-b)^3-H(d-c)^3+\right.$$

$$\left.+H(d-a-b)^3+H(d-b-c)^3+H(d-a-c)^3-H(d-a-b-c^3)\right].$$

Доказательство. Объём пересечения Π_d со сдвигом положительного октанта на вектор (x,y,z) равен

$$\frac{1}{6abc}\cdot H(d-ax-by-cz)^3.$$

Теорема следует из соображений включения-исключения.

Для пространства R^n справедлива аналогичная формула:

$$V(d)=\left[n!\,\Pi a_i\right]^{-1}\sum_I(-1)^{\#I}H\left(d-\sum_{i\in I}a_i\right)^n,$$

где $\# I$ - число элементов множества I, $i=1,\dots,n$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. КЕНДАЛЛ М., МОРАН П. Геометрические вероятности.-М.: Наука, 1972.
2. САНТАЛЛО Л. Интегральная геометрия и геометрические вероятности. - М.: Наука, 1983.
3. Goodman, Shi Gen Hua. Block theory and some it's applications to rock mechanics. Prentice Hall, Inc, Englewood cliffs, New Jersey, 1985.

УДК 662.6

В.М.Варийчук, Л.М.Скоробогатова, В.Д.Христолюбов

РАСЧЁТ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ УГЛЕЙ, СОДЕРЖАЩИХ МИНЕРАЛЬНЫЕ ДОБАВКИ

Все расчёты выполнены на основании элементного состава и технического анализа твердого топлива и минералогического состава добавок; в рассматриваемом случае - известняк.

Теплота сгорания твёрдого топлива с добавкой известняка ($Q^r_{i\,общ.}$) будет состоять из теплоты сгорания угля (Q^r_{iy}) с учётом его долевого участия (α_y) в смеси и дополнительной

суммы тепловых эффектов $\left(\sum_{j=1}^{n}Q_{j\,эфф}\right)$ от взаимодействия продуктов при горении.

$$Q^r_{i\,общ}=\alpha_y Q^r_{iy}+\sum_{j=1}^{n}Q_{j\,эфф}. \qquad (1)$$

Дополнительные тепловые эффекты при горении образуются от разложения продуктов и образования новых фаз в результате следующих реакций:

1. $CaCO_3=CaO+CO_2+q_1$ (-1780 кДж/кг $CaCO_3$)
2. $4FeS_2+11O_2=2Fe_2O_3+8SO_2+q_2$ (+6847 кДж/кг FeS_2)
3. $CaO+SO_2+0{,}5O_2=CaSO_4+q_3$ (+8945 кДж/кг CaO)
4. $MgCO_3=MgO+CO_2+q_4$ (-1409 кДж/кг $MgCO_3$)
5. $MgO+SO_2+0{,}5O_2=MgSO_4+q_5$ (+9500 кДж/кг MgO)

где q_n - тепловой эффект n реакции (n = 1 ÷ 5).

Для примера, при расчёте учитываются приведенные выше реакции:

$$Q_{эфф}=\sum_{j=1}^{n}Q_{j\,эфф}=Q_1^{CaCO_3}+Q_2^{FeS_2}+Q_3^{CaSO_4}+Q_4^{MgCO_3}+Q_5^{MgSO_4} \qquad (2)$$

После подстановки тепловых эффектов формула (2) примет вид

$$Q_{эфф}=P_{изв}\left[\alpha_{CaCO_3}(-1780+5009K^{CaO})+\alpha_{MgCO_3}\right. \qquad (3)$$

$$\left.(-1409+4560K^{MgO})\right]+128S^2_n,\ кДж/кг,$$

где $P_{изв}$ - вес добавляемого известняка, кг;

$\alpha_{CaCO_3}, \alpha_{MgCO_3}$ - содержание $CaCO_3$ и $MgCO_3$ в известняке, д.е.;

K^{CaO} и K^{MgO} - коэффициенты связывания SO_2 оксидами Ca и Mg, определяемые из условий избытка или недостатка серы горючей смеси;

S^2_n - содержание серы пиритной в смеси.

Необходимый минимум воздуха для сжигания 1 кг смеси:

$$P_{возд}=\alpha_y P^0_{возд}+\sum_{i=1}^{n}P_{возд.доп.i},\ кг, \qquad (4)$$

Государственный комитет СССР по народному образованию
Московский ордена Трудового Красного Знамени
горный институт

ПРОБЛЕМЫ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Сборник научных трудов

Москва 1988