

УДК 622.023:681.3

**В.А. Дунаев, И.М. Игнатенко, А.В. Герасимов, С.Г. Кабелко**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ И ОРИЕНТИРОВКИ**  
**ОТДЕЛЬНОСТИ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД,**  
**СЛАГАЮЩИХ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ**  
**КВАРЦИТОВ**

*Изложена методика компьютерного моделирования в ГИС ГЕОМИКС (ФГУП ВИОГЕМ) формы и ориентировки отдельности метаморфических пород, слагающих месторождения железистых кварцитов, включающая формирование по результатам геолого-структурного картирования карьера базы данных станций измерения средних значений элементов залегания систем трещин и расстояний между трещинами одной системы, автоматизированное построение по запросу к базе данных ориентированной в пространстве объемной фигуры отдельности по каждой станции с отображением ее на геолого-структурном плане карьера, оценку по предложенным критериям относительной распространенности в изучаемом породном массиве отдельностей различной формы.*

*Ключевые слова: месторождение железистых кварцитов, система трещин, форма и ориентировка отдельности пород, компьютерное моделирование.*

---

**Ф**орма и ориентировка отдельности горных пород характеризуют анизотропию трещиновато-блочной структуры сложенного ими массива, которая существенно влияет на выбор геометрии ячейки сети взрывных скважин и схемы взрывания при проведении открытых горных работ [3]. Авторами разработана методика моделирования формы и ориентировки отдельности в массивах метаморфических пород, слагающих месторождения железистых кварцитов. Она основана на результатах геолого-структурного картирования карьеров, разрабатывающих Лебединское, Стойленское и Михайловское железорудные месторождения КМА, и реализована в виде компьютерной технологии на базе геолого-структурного модуля информационной системы ГЕОМИКС (ФГУП ВИОГЕМ).

Суть этой методики заключается в формировании по материалам натурального изучения породного массива в уступах карьера пространственно-координированной базы данных станций наблюдений и по запросу к базе данных построения (с отображением на геолого-структурном плане карьера) трехмерной фигуры отдельности для любой станции на выбор или в целом по всем станциям. Здесь под станцией понимается условная точка, соответствующая середине литологически и структурно однородного интервала по трассе полевого маршрута. Станция имеет номер и характеризуется индексами систем трещин, средними значениями азимута и угла падения каждой системы, расстояния между трещинами одной системы, типом горных пород.

Установлено, что делимость массивов железистых кварцитов и ассо-

цирующих с ними метаморфических пород на элементарные структурные блоки (отдельности) обусловлена тремя системами трещин, одна из которых (М) следует по границе раздела слоев пород, другая (N) – поперечная к их простираанию, а третья (K) – продольная к нему и падающая навстречу слоистости пород [1]. Двугранный угол между трещинами указанных систем близок к прямому и обычно отличается от него не более, чем на 10°. Форма образованной этими трещинами отдельности пород параллелепipedальная.

Моделирование отдельности в виде объемной пространственно ориентированной фигуры осуществляется по следующему алгоритму: рассчитываются направляющие косинусы векторов нормали к плоскостям систем трещин – определяются координаты отрезков прямых пересечения плоскостей систем трещин – координаты отрезков преобразуются на плоскость проектирования – отрезки отображаются с помощью функций операционной системы.

Процедура расчета направляющих косинусов вектора нормали к плоскости системы трещин (далее просто «системы») основана на уравнении плоскости нормального вида [2].

$$x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma - P = 0,$$

где  $\cos \alpha$ ,  $\cos \beta$ ,  $\cos \gamma$  – направляющие косинусы нормального вектора плоскости;  $P$  – расстояние от начала координат до плоскости (рис. 2).

Выразим направляющие косинусы нормального вектора через азимут ( $\psi$ ) и угол ( $\phi$ ) падения плоскости системы:

$$\cos \alpha = \sin \phi * \sin \psi,$$

$$\cos \beta = \sin \phi * \cos \psi,$$

$$\cos \gamma = \cos \phi.$$

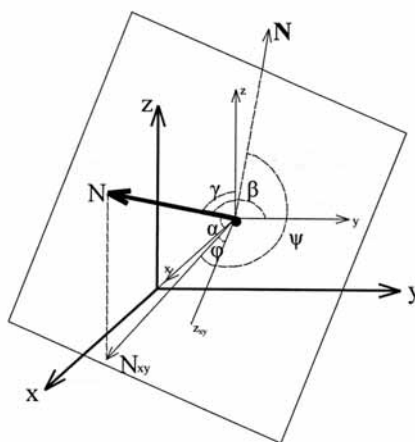
Поскольку направляющий вектор  $S$  прямой пересечения плоскостей двух

систем перпендикулярен векторам их нормали, следовательно:

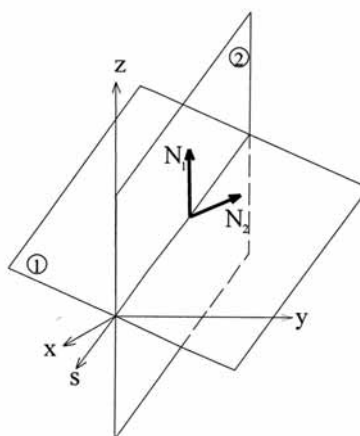
$$S[N_1 N_2] = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \cos \alpha_1 & \cos \beta_1 & \cos \gamma_1 \\ \cos \alpha_2 & \cos \beta_2 & \cos \gamma_2 \end{vmatrix} \quad (1)$$

где  $N_1[\cos \alpha_1 \cos \beta_1 \cos \gamma_1]$ ,

$N_2[\cos \alpha_2 \cos \beta_2 \cos \gamma_2]$  – векторы нормали к плоскостям систем (рис. 3).



**Рис. 2. Схема задания плоскости трещины в пространстве:**  $N$  – вектор нормали,  $N_{xy}$  – проекция вектора нормали на плоскость,  $Z_{xy}$  – проекция вертикальной оси  $Z$  на плоскость,  $N$  – направление на север,  $\psi$  – азимут падения,  $\phi$  – угол падения.



**Рис. 3. Пространственные взаимоотношения вектора  $S$  с векторами  $N_1$ ,  $N_2$**

Направление вектора  $S$  определяем решением векторного произведения (1):

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \cos \beta_1 \cos \gamma_2 - \cos \gamma_1 \cos \beta_2 \\ \cos \beta &= \cos \gamma_1 \cos \alpha_2 - \cos \alpha_1 \cos \gamma_2 \\ \cos \gamma &= \cos \alpha_1 \cos \beta_2 - \cos \beta_1 \cos \alpha_2 \end{aligned} \quad (2)$$

Аналогично по формуле (2) рассчитываем направление векторов пересечения плоскостей систем  $S_1, S_2, S_3$ . Длина этих векторов задается средним значением расстояния между соседними трещинами каждой системы. Затем обрисовываем отрезки прямых  $S_1, S_2, S_3$  выходящих из начальной точки  $P_0$  (станции) и имеющих длину соответственно  $R_3, R_1, R_2$ . Координаты этих отрезков определяются следующим образом (рис.4):

$$\text{для } S_1 [P_0, P_1]:$$

$$P_{1x} = P_{0x} + \cos \alpha_1 * R_3$$

$$P_{1y} = P_{0y} + \cos \beta_1 * R_1$$

$$P_{1z} = P_{0z} + \cos \gamma_1 * R_2;$$

$$\text{для } S_2 [P_0, P_2]:$$

$$P_{2x} = P_{0x} + \cos \alpha_2 * R_3$$

$$P_{2y} = P_{0y} + \cos \beta_2 * R_1$$

$$P_{2z} = P_{0z} + \cos \gamma_2 * R_2;$$

$$\text{для } S_3 [P_0, P_3]:$$

$$P_{3x} = P_{0x} + \cos \alpha_3 * R_3$$

$$P_{3y} = P_{0y} + \cos \beta_3 * R_1$$

$$P_{3z} = P_{0z} + \cos \gamma_3 * R_2.$$

Задача пространственного отображения отрезков на плоскости решается методом наглядного проектирования в прямоугольной изометрии с учетом условия:

$$\cos \alpha = \cos \beta = \cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

Тогда координаты точки  $P(x, y, z)$  на плоскости примут вид:

$$\begin{aligned} y^1 &= -\frac{\sqrt{3}x}{2} + \frac{\sqrt{3}y}{2} \\ z^1 &= -\frac{1}{2}x - \frac{1}{2}y + z \end{aligned} \quad (3)$$

Аналогично по формулам (3) преобразуются координаты отрезков прямых

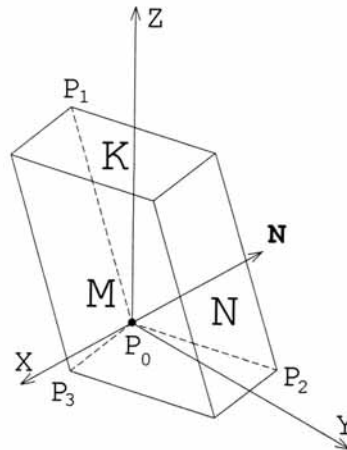
$$S_1 [P_0, P_1], S_2 [P_0, P_2],$$

$$S_3 [P_0, P_3].$$

В результате получаем проекции отрезков на плоскость  $YZ$ , а затем обрисовываем их с помощью функций операционной системы (рис. 4).

Модификация формы параллелепипеда с длинами ребер  $x > y > z$  определяется отношениями  $z/y$  (степенью уплощения по  $z$ ) и  $y/x$  (степенью удлинения по  $x$ ) (рис.5).

Применительно к месторождениям железистых кварцитов было выделено шесть разновидностей



**Рис. 4. Визуализация модели формы и ориентировки отдельности пород единичной станции наблюдения ( $P_0$ ):  $M, N, K$  - плоскости систем трещин,  $N$  - направление на север**

**Критериальные значения отношений  $z/y$  и  $y/x$  для различных модификаций параллелепедальной отдельности**

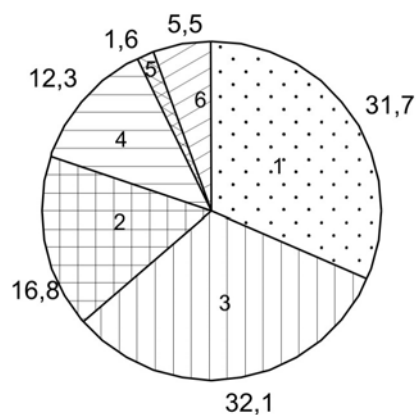
Форма отдельности	Отношение длин ребер отдельности	
	$z/y$	$y/x$
Кубообразная	0.7-1.0	0.7-1.0
Столбчатая	0.7-1.0	<0.7
Плитчатая	0.3-0.7	0.7-1.0
Удлиненно-плитчатая	0.3-0.7	<0.7
Пластинчатая	<0.3	0.7-1.0
Удлиненно-пластинчатая	<0.3	<0.7

формы отдельности, характеризующихся различными критериальными значениями  $z/y$  и  $y/x$  (таблица).

Если обозначить длину ребер по системам трещин М, К, N соответственно  $l_m, l_k, l_n$ , то на указанных месторождениях  $l_m < l_k, l_n$  и часто, но не всегда,  $l_k > l_n$ , т.е. уплощение параллелепедальной отдельности идет по ребру системы М, а ее удлинение по ребру системы К, реже системы N.

Разработанная программа позволяет с учетом указанных в таблице критериев произвести сортировку станций по форме представляющих их отдельностей и оценить относительную распространенность (в %) на

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, государственный контракт ПЗ6 от 30 марта 2010 г.



**Рис. 6. Диаграмма распространенности отдельностей кубообразной (1), столбчатой (2), плитчатой (3), удлиненно-плитчатой (4), пластинчатой (5), удлиненно-пластинчатой (6) формы на Стойленском месторождении железистых кварцитов (количество станций наблюдений 989)**

изучаемом месторождении отдельностей определенной формы (рис. 6).

На визуализированном геолого-структурном плане карьера с указанием формы отдельности в каждой станции карьерное поле интерактивно геометризуется по этой характеристике разрабатываемого породного массива.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Дунаев В.А., Серый С.С. Трещиноватость метаморфитов курской серии в бассейне КМА. – Изв. вузов. Геология и разведка. – 2003, №2. С.54-59.
2. Ершов В.В., Дремуха А.С., Трость В.М., Зуй В.Н., Бедрин Г.П. Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ. – М.: Недра – 1990.-347 с.
3. Ефремов Э.И., Петренко В.Д., Рева Н, Кратковский И.Л. Механика взрывного разрушения пород различной структуры. – Киев: Наукова Думка, 1984.-192 с. **ИДБ**

**Коротко об авторах**

Дунаев В.А. – доктор геолого-минералогических наук, профессор, mail@geomix.ru  
Игнатенко И.М., И.М., Герасимов Кабелко С.Г. – кандидаты технических наук, ФГУП ВИОГЕМ, viogem@mail.belgorod.ru