

УДК 551.24:622.83

В.А. Дунаев, И.М. Игнатенко, С.Г. Кабелко, Е.Б. Яницкий
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ТРАССИРОВАНИЯ
СЛЕДА ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ТРЕЩИНЫ С ПОВЕРХНОСТЬЮ
КАРЬЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ
ЗАДАЧ

Предложен алгоритм и разработана в ГИС ГЕОМИКС компьютерная технология трассирования следа пересечения трещины с поверхностью карьера для правильной и быстрой увязки на его плане элементов разрывной структуры разрабатываемого месторождения, установленных в процессе геолого-структурного картирования карьерного поля, и прогнозирования потенциальных призм обрушения уступов, планируемых к постановке на предельный контур.

Ключевые слова: поверхность карьера, трещина, геолого-структурный план, алгоритм, компьютерная технология.

Необходимость разработки указанной технологии возникла в связи с процедурой построения сводного геолого-структурного плана карьера по данным геологической документации откосов уступов. Увязка вручную на плане крупных трещин и разрывных нарушений (для краткости эти структурные элементы будем называть просто трещинами) по их подсечениям геологическими маршрутами на смежных уступах карьера является чрезвычайно трудоемкой. При этом нет гарантии, что она будет выполнена правильно.

По своей геометрической сути поставленная задача сводится к нахождению линии пересечения плоскости трещины с поверхностью карьера. Технология создания цифровой модели поверхности карьера реализована в ГИС ГЕОМИКС (ФГУП ВИО-ГЕМ) [2]. В процессе построения этой модели с использованием триангуляции Делоне [1] все точки маркшейдерской съемки верхних и нижних бровок уступов, а также высотные

отметки преобразуются в вершины непересекающихся друг с другом треугольников. При этом каждый отрезок верхней или нижней бровок должен быть ребром треугольника.

Плоскость трещины в пространстве можно задать точкой позиционирования $P(x_1, y_1, z_1)$ и элементами ориентации (азимутом α и углом β падения). Указанные параметры трещины устанавливаются в процессе геологической документации уступов карьера. С алгоритмической точки зрения более удобно ориентацию плоскости задать вектором нормали $N(Ax, Ay, Az)$ (рис. 1), координаты которого вычисляются по формулам:

$Ax = \sin\beta \cdot \sin\alpha$, $Ay = \sin\beta \cdot \cos\alpha$, $Az = -\cos\beta$. Уравнение плоскости, заданной точкой позиционирования P и вектором нормали N имеет вид [1]:

$Ax(x-x_1) + Ay(y-y_1) + Az(z-z_1) = 0$ или $Ax \cdot x + Ay \cdot y + Az \cdot z + D = 0$,

где $D = Ax \cdot x_1 + Ay \cdot y_1 + Az \cdot z_1$

Для определения линии пересечения плоскости трещины с поверхно-

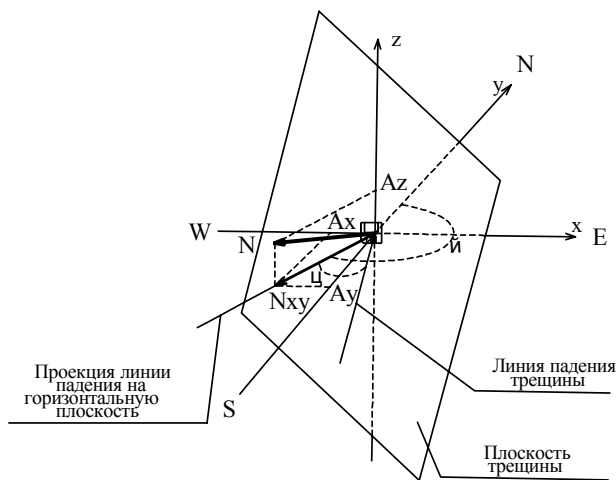


Рис. 1. Схема задания плоскости трещины в пространстве

стью карьера необходимо найти отрезки пересечения этой плоскости с треугольниками цифровой модели поверхности карьера, а затем найденные отрезки объединить в непрерывную ломаную линию (рис. 2).

Алгоритм пересечения горизонтальной плоскости с треугольником известен [1]. Чтобы применить его для решения поставленной задачи необходимо найти матрицу перехода из системы координат карьера в систему координат плоскости трещины, приведенной в горизонтальное положение. Данное преобразование осуществляется сначала поворотом вектора нормали N на угол α против часовой стрелке относительно вертикальной оси, а затем поворотом вектора нормали на угол β по часовой стрелке относительно оси X (см. рис. 1). Если плоскость задана выражением $Ax \cdot x + Ay \cdot y + Az \cdot z + D = 0$, то матрица преобразования в этом случае примет вид:

$$M = \begin{pmatrix} Ax \cdot Az/q & Ay \cdot Az/q & -q & 0 \\ -Ay/q & Ax/q & 0 & 0 \\ Ax & Ay & Az & D \end{pmatrix},$$

где $q = \sqrt{1 - D^2}$.

Координаты вершин каждого треугольника в системе координат плоскости трещины $p'(x, y, z)$ вычисляются по формуле: $p' = (x, y, z) = p(x, y, z) \cdot M$, где $p(x, y, z)$ – координаты указанных вершин в системе координат карьера.

Далее по известному алгоритму [1] находим координаты концов отрезков пересечения каждого треугольника цифровой модели карьера с горизонтальной плоскостью трещины. Найденные координаты преобразуем в систему координат карьера по формуле:

$p(x, y, z) = p'(x, y, z) \cdot M'$, где

$$M' = \begin{pmatrix} Ax \cdot Az/q & -Ay/q & Ax & -Ax \cdot D \\ Ay \cdot Az/q & Ax/q & Ay & -Ay \cdot D \\ -q & 0 & Az & -Az \cdot D \end{pmatrix}$$

Соседние отрезки, у которых одинаковые координаты одного из концов, объединяются в ломаную линию. Предложенный алгоритм реализован в ГИС ГЕОМИКС. Формирование исходных данных осуществляется посредством диалогового окна (рис.3).

Разработаны программные инструменты для автоматизированного ввода/редактирования верхних и нижних бровок уступов при формировании маркшейдерской модели карьера. Цифровая модель поверхности карьера формируется автоматически из маркшейдерской модели, либо путём загрузки ранее построенной модели из файла. Плоскость трещины задаётся азимутом и углом падения в соответствующих окошках. Для позиционирования плоскости трещины необходимо сформировать цифровую модель поверхности карьера, затем

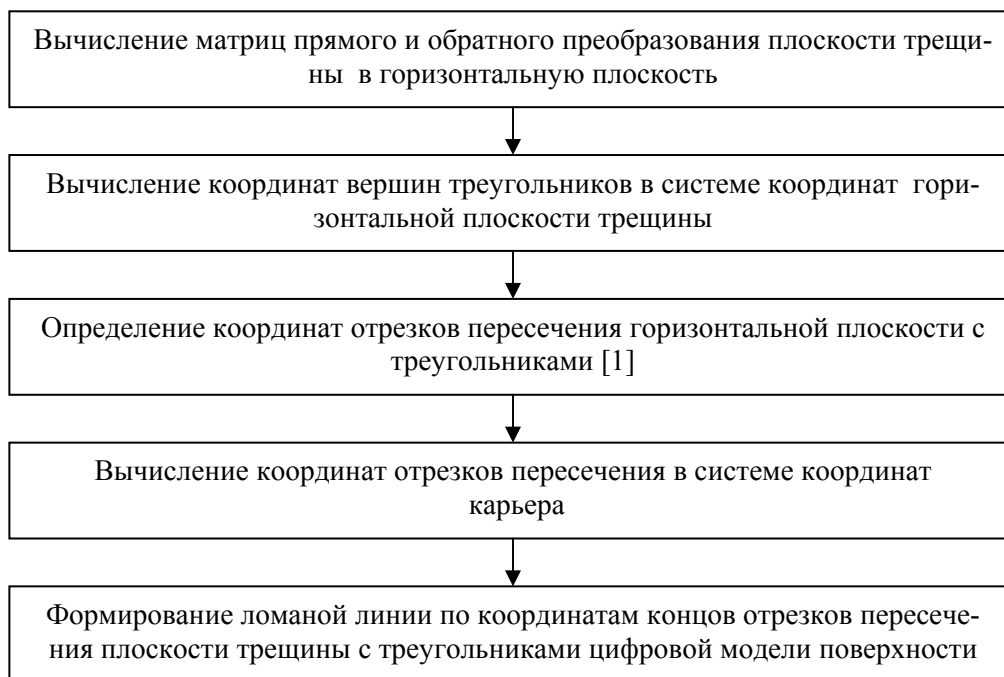


Рис. 2. Блок-схема алгоритма пересечения трещины с поверхностью карьера

выбрать режим «Ввести начал. точку» и левой кнопкой мыши указать точку на экране. Отметка z указанной точки находится автоматически по цифровой модели поверхности карьера. Запуск алгоритма осуществляется нажатием на кнопку «Трассировать». Алгоритм программно реализован на языке программирования Delphi в от-

дельном модуле с подключением графических и математических библиотек. Результаты трассирования следов пересечения трещин с поверхностью карьера в виде ломаных интегрируются в соответствующий картографический слой цифровой модели сводного геолого-структурного плана карьера.

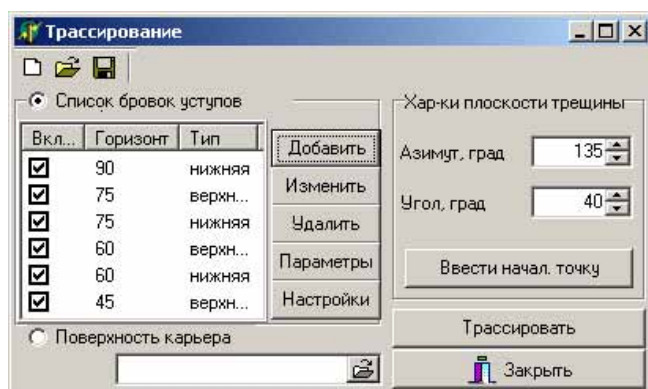


Рис. 3. Диалоговое окно

Разработанная технология обеспечивает быструю и правильную трассировку на плане карьера трещин и тем самым получение объективной картины разрывной структуры месторождения на данном уровне его открытой разработки. Эта технология позволяет также по известной позиции и ориентировке диагональных трещин, падающих в сторону карьерной выемки и навстречу друг дру-

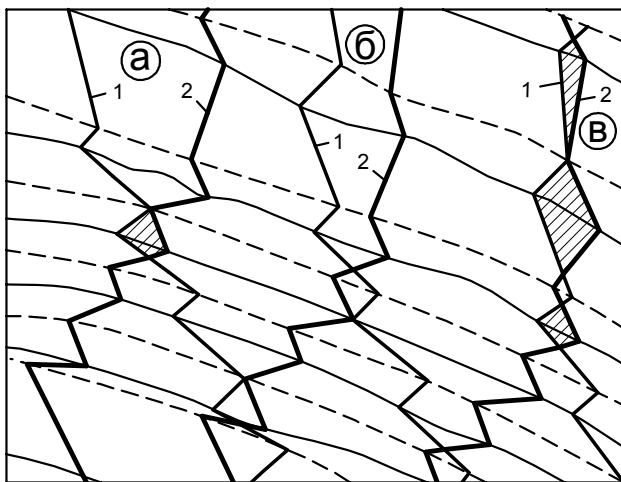


Рис. 4. Фрагмент плана карьера, иллюстрирующий различные варианты (а, б, в) пространственных взаимоотношений пары диагональных трещин (1 – аз.пад.244L52П; 2 – аз.пад.135L 40П) между собой и поверхностью карьера, в том числе с образованием одной (а) или нескольких (в) потенциальных клиновых призм обрушения (заштрихованы)

гу, установить потенциальные клиновые призмы обрушения в нижележащих, планируемых к постановке на предельный контур, уступах карьера (рис. 4).

Частным случаем решения указанной задачи является оценка по позиции

и ориентировке двух диагональных трещин, ограничивающих фактически произошедшие клиновое обрушение, вероятности проявления подобного обрушения, обусловленного этими же трещинами, на более глубоких горизонтах приконтурной зоны карьера.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов В.В., Дремуха А.С., Трость В.М., Зуй В.Н., Бедрина Г.П. Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ, М.: «Недра».- 1990.

2. Серый С.С., Дунаев В.А., Герасимов А.В. Геолого-маркшейдерская ГИС ГЕОМИКС: структура, функциональные возможности, опыт внедрения. – «Маркшейдерский вестник».-2006, №4. **ГИАБ**

Коротко об авторах

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

