

**Н.А. Годовников, В.А. Дунаев**

## **ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ УСТУПОВ КАРЬЕРА В МАССИВАХ СКАЛЬНЫХ ПОРОД**

*Изложен вероятностный метод прогнозирования азимутально-угловых параметров трещин, ограничивающих потенциальные призмы обрушения уступов карьера, планируемых к постановке на предельный контур.*

*Ключевые слова: массив скальных пород, карьер, уступ, устойчивость, компьютерная технология, вероятностный прогноз.*

**А**вторами на базе программного модуля StabModeling в составе ГИС Устойчивость [1] разработан в виде компьютерной технологии вероятностный метод прогноза азимутально-угловых параметров трещин, ограничивающих потенциальные призмы обрушения уступов карьера в массиве скальных пород. Реализация этой технологии осуществляется по следующему алгоритму (рис. 1, а).

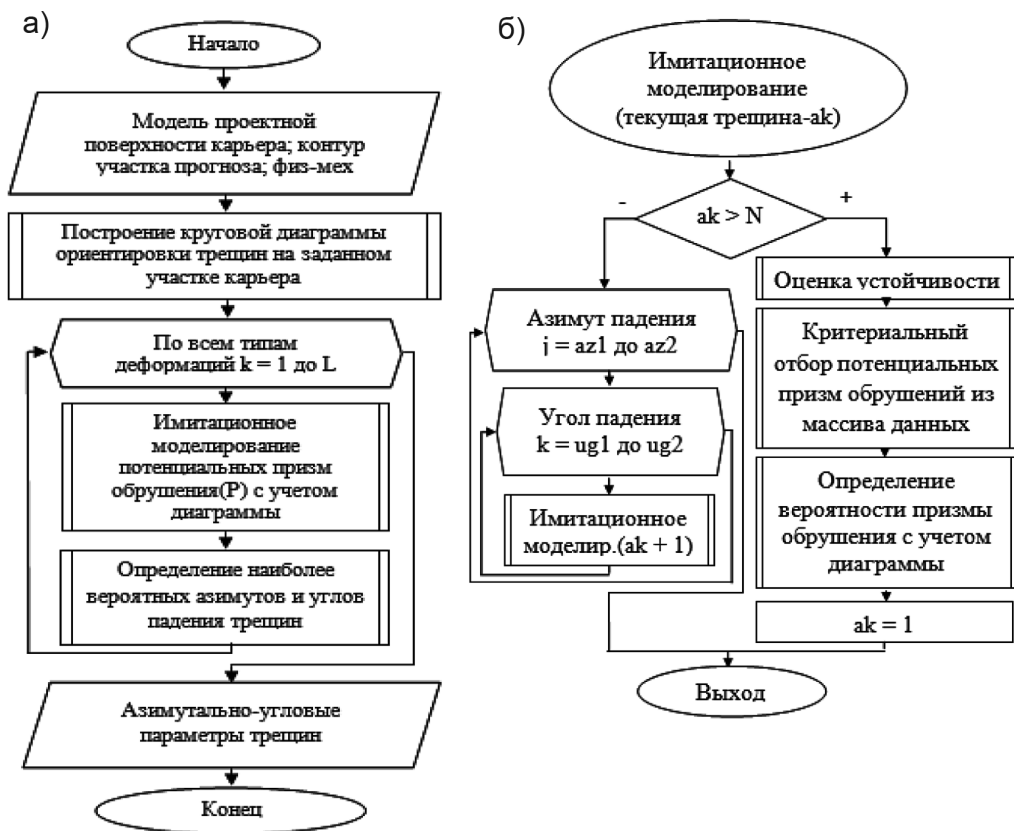
Сначала по геометрическому запросу к базе данных элементов залегания трещин получаем круговую диаграмму их ориентировки на заданном участке карьера. После этого путем имитационного моделирования [2] по алгоритму (см. рис. 1, б) устанавливаем диапазон значений элементов залегания трещин, в котором формируются потенциальные призмы обрушения уступов, и оцениваем вероятность появления на диаграмме полюса каждой трещины, участвующей в формировании этих призм. В данном случае круговая диаграмма используется как гистограмма случайной функции двух переменных  $F(\alpha, \beta)$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно азимут и угол падения трещины. Поскольку позиция и элементы залегания трещин, формирующих такие призмы, независимы друг от друга, указанная вероятность ( $P$ ) будет равна

произведению ( $\Pi$ ) вероятностей ( $p$ ) по каждой такой трещине:

$$P = \prod_{i=1}^N p_i$$

где  $p_i$  – вероятность появления  $i$ -трещины;  $N$  – число трещин, ограничивающих потенциальную призму обрушения (плоскую – 1, клиновую – 2, комбинированную – 3).

Заключительной операцией является оценка наиболее вероятных значений азимута и угла падения трещин, ограничивающих потенциальные призмы обрушения уступов. Для этого необходимо из массива трещин исследуемого участка карьера установить те из них, которые сами по себе или в сочетании друг с другом с наибольшей вероятностью обуславливают деформации уступов на указанном участке. Ниже дано решение этой задачи применительно к двум наиболее распространенным типам деформаций уступов карьеров: клиновому и плоскому. Сначала по аналогии с имитационным моделированием призм обрушения уступов [2] формируем группы ( $A_i$ ) потенциальных призм с определенным шагом ( $1-2^\circ$ ) значений угла между азимутами простирания, а также угла падения трещин, ограничивающих клиновые деформации, и угла па-



**Блок-схемы: алгоритма вероятностного прогноза азимутально-угловых параметров трещин, ограничивающих потенциальные деформации уступов карьера (а); рекурсивного алгоритма имитационного моделирования потенциальных призм обрушения (б)**

дения трещины, с которой связана плоская деформация уступов. Затем определяем вероятность реализации сформированных групп ( $P_{A_i}$ ) как сумму вероятностей входящих в них потенциальных призм обрушения. Далее отбираем группы ( $A_j$ ) с максимальной вероятностью указанной реализации ( $P_{A_j}^{\max}$ ) и в каждой из этих групп устанавливаем клиновые и плоские призмы обрушения с максимальным значением вероятности ( $P_{\max}$ ) их реализации в уступах карьера, а так же находим наиболее вероятные азимутально-угловые параметры трещин, ограничивающих эти призмы.

Для оценки работоспособности предлагаемого метода проведено сравнение прогнозных и фактических значений элементов залегания трещин, ограничивающих свершившиеся деформации клинового и плоского типов в уступах карьера рудника «Железный» (ОАО «Ковдорский ГОК») на его юго-восточном участке, где зафиксировано 7 клиновых деформаций и одна крупная, захватывающая несколько уступов, плоская деформация. Разница фактических и прогнозных средних значений азимутально-угловых параметров трещин, ограничивающих клиновые призмы обрушения сос-

твляает всего 2–3°, а в расчетный доверительный интервал этих значений попадает 86% фактических деформаций. Элементы залегания трещины, обусловившей плоскую деформацию (аз. пад. 325°/43°), находятся в диапазоне наиболее вероятных значений этих элементов (аз. пад. 320–330°/30–45°), причем расчетный угол падения

самой неустойчивой призмы обрушения (43°) совпадает с фактическим. Хорошая сходимость прогнозных и фактических данных убедительно свидетельствует о целесообразности использования предлагаемого метода для прогнозирования потенциальных деформаций уступов карьера в массивах скальных пород.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014619048 Специализированная геоинформационная система Устойчивость (ГИС Устойчивость). 8.09.2014 г.

2. Годовников Н.А., Дунаев В.А. Имитационное моделирование призм обрушения уступов карьеров // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. – 2014. – № 17(188), вып. 28. – С. 148–153. **ПЛАБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Годовников Николай Алексеевич – аспирант, НИУ «БелГУ»,  
e-mail: godovnikov.nikolay@gmail.com,

Дунаев Владимир Александрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом геологии и геоинформатики, ОАО «ВИОГЕМ», e-mail: lggt@mail.ru.

---

UDC 550.8.055:519.688:519.216.3

## A PROBABILISTIC METHOD OF PREDICTING POTENTIAL DEFORMATIONS OF THE LEDGES IN SOLID ROCK

Godovnikov N.A., Graduate Student, Belgorod National Research University, 308015, Belgorod, Russia, e-mail: godovnikov.nikolay@gmail.com,  
Dunaev V.A., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Department of Geology and Geoinformatics, VIAGEM, 308007, Belgorod, Russia, e-mail: lggt@mail.ru.

---

*This article describes the probabilistic method for predicting the azimuthal-angles parameters of cracks that limit the potential sliding wedge bench, which are planned to be staged at limiting circuit.*

*Key words: rock massif, open pit, berm, stability, computer technology, probabilistic forecast.*

## REFERENCES

1. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii programmy dlya EVM № 2014619048 Spetsializirovannaya geoinformatsionnaya sistema Ustoichivost' (GIS Ustoichivost') (Computer program state registration certificate № 2014619048. Dedicated Geoinformation System Stability (GIS Stability)).

2. Godovnikov N.A., Dunaev V.A. *Nauchnye ведомosti BelGU. Seriya Estestvennye nauki.* 2014, no 17(188), issue 28, pp. 148–153.

