

НЕЧЕТКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ТРЕЩИН В МИНЕРАЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ

Р.К. Халкечев

НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: syrus@list.ru

Аннотация: С помощью теории автономных динамических систем разработана математическая модель, позволяющая в условиях действия внешней нагрузки описать процесс изменения концентрации трещин в минерале как текстурной составляющей полускальной породы. Использование данной теории позволило описать процесс изменения величины концентрации трещин в минерале под действием внешней нагрузки, через значение параметра состояния и оператора, определяющего эволюцию начального состояния во времени. Интерпретация фазового портрета разработанной модели позволяет сделать вывод, о том, что в соответствии с динамикой изменения концентрации трещин существует два механизма разрушения минералов в полускальных горных породах, влияющих на формирование и реализацию обвалов на том или ином горно-геологическом участке приоткосной зоны борта карьера. При первом из них разрушение минерала происходит вследствие неустойчивого роста трещин. При реализации второго механизма минерал разрушается за счет образования в его структуре пространственно распределенных микротрещин. Было установлено, что если минералы в полускальных горных породах приоткосной зоне борта карьера преимущественно разрушаются в рамках механизма неустойчивого роста трещин, то для прогнозирования обвалов лучше использовать методов дискретных элементов. В противном случае, когда в минералах полускальных пород реализуется механизм разрушения, обусловленный образованием пространственно распределенных микротрещин (в реальных условиях наполненных жидкостью), то при прогнозировании обвалов, лучше применять конечно-элементные модели.

Ключевые слова: обвалы, прогнозирование, оползневые процессы, концентрация трещин, метод конечных элементов, метод дискретных элементов, динамическая система, фазовый портрет.

Для цитирования: Халкечев Р.К. Нечеткая математическая модель изменения концентрации трещин в минерале под действием внешней нагрузки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – № 6. – С. 97–105. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-97-105.

Fuzzy mathematical model of crack density variation in mineral under external loading

R.K. Khalkechev

National University of Science and Technology «MISS», Moscow, Russia, e-mail: syrus@list.ru

Abstract: Based on the theory of autonomous dynamical systems, the developed mathematical model makes it possible to describe the external load-induced variation in crack density in a mineral as a textural component of half-rock. The theory enables describing the process of crack den-

sity variation in a mineral under external loading in terms of the parameter of state and an abstract-function of time evolution of initial state. Interpretation of the phase portrait of the developed model yields a conclusion that, in conformity with the dynamics of change in crack density, there are two mechanisms of mineral disintegration in half-rocks. These mechanisms govern initiation and occurrence of rock falls on pitwall slopes. The first mechanism is failure of minerals as a result of unstable growth of cracks. The second mechanism is mineral failure due to formation of spatially distributed microcracks in its structure. It is found that in case that minerals in half-rocks composing pitwall slopes fail by the mechanism of unstable crack growth, it is advised to predict rock falls using the discrete element method. Otherwise, when half-rock minerals fail due to formation of spatially distributed microcracks (filled with water in real conditions), prediction of rock falls should use the finite element models.

Key words: rock falls, prediction, landslide processes, crack density, finite element method, discrete element method, dynamical system, phase portrait.

For citation: Khalkechev R.K. Fuzzy mathematical model of crack density variation in mineral under external loading. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019;(6):97-105. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-06-0-97-105.

Введение

Эффективность открытых горных работ во многом зависит от оперативного прогнозирования оползневых процессов в бортах карьеров. Практика ведения горных работ показывает, что одним из наиболее трудно прогнозируемых видов оползневых процессов являются обвалы, реализуемые в приоткосных зонах бортов карьера, слагаемых полускальными горными породами.

К настоящему моменту разработано большое количество методов прогнозирования обвалов, которые можно разделить на два класса. В методах первого из них используется инструментальный подход, основанный на исследовании процессов смещения горных пород в приоткосной зоне борта карьера и установления такого предельного их местоположения, достижение которого приводит к реализации обвала. Среди научных работ, развивающих данный подход, особо следует отметить труды [1–3]. Несмотря на всю ценность такого подхода, необходимо отметить его малую степень эффективности при прогнозировании оползневых процессов в полускальных породах. Это обусловлено тем, что в таких породах процесс формирования и

реализации обвалов, как правило, происходит с очень большой скоростью, вследствие чего использование инструментальных методов не позволяет осуществить оперативный прогноз. Особенно это обстоятельство проявляется при образовании обвалов на уровне одного или двух рабочих уступов.

Именно поэтому в настоящее время все большее распространение получают методы прогнозирования обвалов, основанные на оперативном применении компьютерных реализаций соответствующих математических моделей. Анализ работ [4–6] и других трудов в данной области свидетельствует, что к настоящему моменту для прогнозирования обвалов на практике наибольшее применение нашли модели, основанные на одном из двух численных методов — МКЭ (метод конечных элементов) и МДЭ (метод дискретных элементов). Несмотря на то, что МДЭ является одной из разновидностей МКЭ, границы адекватности у данных методов весьма отличаются. Так, в частности установлено, что модели, основанные на МДЭ, в отличие от МКЭ, обладают малой степенью точности при исследовании «мягких» грунтовых оползней (earth soils), в которых определяю-

щую роль в процессе формирования играют поровое давление и движение жидкости [6]. В тоже время при исследовании оползневых процессов в скальных породах степень точности моделей МДЭ на порядок выше, чем при использовании МКЭ. Однако процессы формирования и реализации оползневых процессов, реализуемых в одних и тех же полускальных породах, на разных горно-геологических участках существенно отличаются друг от друга. Так в одних случаях — они подобны грунтовым оползням, адекватно описываемых конечно-элементной средой, а в других — близки к скально-породным оползням, более адекватно моделируемых в виде совокупности взаимодействующих дискретных элементов.

В тоже время достаточно давно установлено, что одним из основных факторов, определяющих процессы образования обвалов (их скорость и величина) в полускальных породах, является трещиноватость и ее изменение в результате действия инженерно-геологических факторов [7]. При этом, так как в ходе исследования горных пород проявляется масштабный эффект [8], то исследование процессов трещинообразования в полускальных горно-геологических участках следует осуществлять на уровне минералов, обладающих малой величиной элементарного объема.

С учетом вышеизложенного исследование динамики изменения концентрации трещин в минералах, составляющих полускальные горные породы, с целью дальнейшего выбора адекватной модели прогнозирования обвалов на бортах карьеров, является актуальной научной проблемой.

Методы

Для решения поставленной задачи разработаем математическую модель изменения концентрации трещин в ми-

нерале под действием внешней нагрузки как текстурной составляющей полускальной породы.

Рассмотрим минерал, являющийся текстурной составляющей полускальной горной породы в приоткосной зоне борта карьера, исследуемой на предмет реализации оползневого процесса в виде обвала. Считается общепринятым, что при увеличении внешней нагрузки на минерал происходит изменение концентрации трещин N . Причем изменение концентрации трещин во времени $\dot{N} = dN / dt$ зависит от деформационных и прочностных свойств зерен минерала, а также от изменения величины внешней нагрузки. Поскольку нахождение такой зависимости в большинстве случаев является чрезмерно сложной задачей, то воспользуемся экспертной системой разработки математических моделей, описанной в работе [9].

В результате ее использования было установлено, что для разработки предлагаемой модели следует применить теорию автономных динамических систем [10], позволяющей в данном случае описать процесс изменения величины концентрации трещин \dot{N} в минерале под действием внешней нагрузки, через значение параметра состояния N и оператора, определяющего эволюцию начального состояния во времени. При этом данный оператор должен опосредовано учитывать влияние деформационных и прочностных свойств зерен минерала, а также изменение величины внешней нагрузки. Воспользовавшись данным обстоятельством, перейдем к дальнейшему построению модели.

Как показывают исследования, при монотонном увеличении внешней нагрузки скорость изменения концентрации трещин \dot{N} в структуре минерала, можно выразить через ее текущее значение N с помощью следующей зависимости:

$$\dot{N} = kN, \quad (1)$$

где $k > 0$ — коэффициент прироста концентрации трещин.

В общем случае коэффициент прироста k не является постоянной величиной, и зависит от величины концентрации трещин. В общем случае, данную зависимость можно аппроксимировать выражением:

$$k = a + bN, \quad (2)$$

где $a > 0$ — начальный параметр прироста концентрации трещин в минерале; $b > 0$ — параметр, характеризующий динамику увеличения коэффициента прироста k .

Тогда, подставляя (2) в (1), и раскрывая скобки, получим:

$$\dot{N} = bN^2 + aN. \quad (3)$$

Однако при увеличении внешней нагрузки в минерале наряду с процессами увеличения количества трещин наблюдаются и процессы их «схлопывания», т.е. у некоторых трещин наблюдается смыкание берегов. С учетом этого, уравнение (4) следует преобразовать к следующему виду:

$$\dot{N} = bN^2 + aN - g, \quad (4)$$

где g — относительная скорость поглощения трещин, определяемая как часть скорости изменения концентрации трещин, берега которых сомкнулись.

Как показывают исследования, для одного и того же вида минерала в составе горно-геологического участка, исследуемого на предмет реализации оползневого процесса в виде обвала, параметры a , b и g принимают различные значения. Это обусловлено тем, что они зависят не только от вида минерала, но и от его структуры. Несмотря на это, для каждого из рассматриваемых параметров (если они описывают один и тот же вид минерала) можно выделить ограниченную область возможных значений.

Традиционно, для определения подобных параметров исследователи при-

меняют статистический подход. Однако, как показали исследования, статистические распределения параметров a , b и g , несколько отличаются от распределений данных величин, наблюдаемых при деформировании минералов, являющихся текстурными составляющими полускальных горных пород. Это обусловлено тем, что в породах и массивах минералы структурно связаны друг с другом; поэтому изменение концентрации трещин в одном из них приводит к изменению этой величины в других минералах. Таким образом, для решения рассматриваемой задачи необходимо сначала статистическим способом определить параметры a , b и g , а потом полученные значения подвергнуть корректировке, учитывающей взаимное влияние процессов трещинообразования в минералах. В результате такой корректировки статистические распределения параметров a , b и g заменяются их нечеткими аналогами — функциями принадлежности.

С учетом вышеизложенного уравнение (4) следует преобразовать к следующему виду:

$$\dot{N} = \tilde{b}N^2 + \tilde{a}N - \tilde{g}, \quad (5)$$

где \tilde{a} , \tilde{b} и \tilde{g} — нечеткие параметры, по своему смыслу идентичные параметрам a , b и g . Здесь и далее нечеткие параметры обозначаются пометой «~».

Полученное выражение является математической моделью изменения концентрации трещин в минерале под действием внешней нагрузки как текстурной составляющей полускальной породы.

Описание материалов, приборов, оборудования

Для определения параметров \tilde{a} , \tilde{b} и \tilde{g} предлагается нижеследующая процедура. Первое действие данной процедуры заключается в составлении случайной выборки образцов минералов изготовленных из полускальных горных пород,

слагающих исследуемый участок приоткосной зоны борта карьера на предмет реализации обвала. При этом изготовленные образцы должны обладать кубовидной формой, а их размеры составлять несколько сантиметров. Далее, для каждого образца из полученной совокупности следует провести исследование на неравноосное сжатие. Данное исследование заключается в деформировании образцов минералов до полного разрушения, при этом сохраняя на двух боковых поверхностях постоянное значение давления, величина которого зависит от величины горизонтальной составляющей внешнего поля напряжений, действующей на исследуемый объект в составе приоткосной зоны. Величину данной составляющей можно определить согласно модели, представленной в работе [11].

В заключение полученные значения параметров a , b и g необходимо подвергнуть статистической обработке и преобразовать полученные плотности распределения в функции принадлежности. Данная операция может быть осуществлена в два этапа:

- каждую полученную плотность распределения аппроксимировать одной из симметричных функций принадлежности с ограниченным носителем;
- для каждой полученной функции принадлежности применить оператор контрастности нечеткого множества [12].

Результаты

Поскольку функции принадлежности полученных нечетких параметров \tilde{a} , \tilde{b} и \tilde{g} имеют симметричный вид, то для их описания можно использовать L-R представления [12]. В итоге получим:

$$\begin{aligned} \tilde{a} &= (m_a, \alpha_a, \beta_a), \quad \tilde{b} = (m_b, \alpha_b, \beta_b), \\ \tilde{g} &= (m_g, \alpha_g, \beta_g), \end{aligned} \quad (6)$$

где m_a , m_b , m_g — модальные значения соответствующих нечетких параметров;

α_a , α_b , α_g , β_a , β_b , β_g — левые и правые коэффициенты нечеткости соответствующих нечетких параметров.

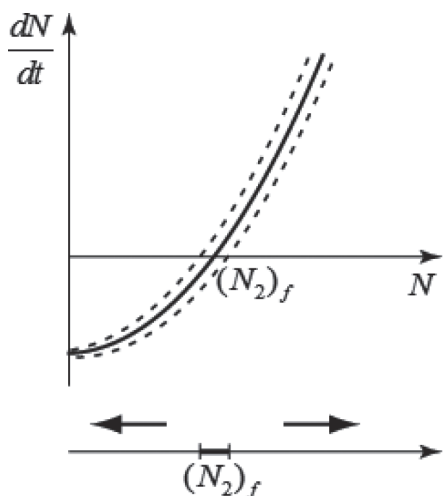
Проанализируем фазовый портрет динамической системы, описываемой полученным нелинейным уравнением (5). Приравняв данное уравнение к нулю, и разрешив его относительно N получим два нечетких состояния равновесия:

$$\begin{aligned} \tilde{N}_1 &= \frac{-\tilde{a} - \sqrt{\tilde{a}^2 + 4\tilde{b}\tilde{g}}}{2\tilde{a}}, \\ \tilde{N}_2 &= \frac{-\tilde{a} + \sqrt{\tilde{a}^2 + 4\tilde{b}\tilde{g}}}{2\tilde{a}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Однако первое нечеткое состояние равновесия физически нереализуемо, поскольку $N = \tilde{N}_1$ при любых допустимых значениях \tilde{a} , \tilde{b} и \tilde{g} — всегда меньше нуля. Исходя из этого, фазовый портрет рассматриваемой динамической системы, изображенный на рисунке, будет включать одно нечеткое состояние равновесия $N = \tilde{N}_2 = (m_{N_2}, \alpha_{N_2}, \beta_{N_2})$.

Как видно из представленного рисунка, эволюция рассматриваемой динамической системы описывается семейством фазовых кривых, заключенным в некоторой области (на рисунке данная область представлена пунктирной линией вокруг фазовой траектории, построенной для случая с наиболее возможными значениями параметров \tilde{a} , \tilde{b} и \tilde{g}). В свою очередь нечеткое состояние равновесия на фазовом портрете представляется в виде особого интервала, в котором каждое значение N взвешено некоторой степенью принадлежности.

Анализ представленного фазового портрета показывает, что нечеткое состояние равновесия представляет собой репеллер, т.е. фазовая точка при $N_0 < m_{N_2} - \alpha_{N_2}$ с течением времени будет удаляться в сторону нулевого значения концентрации трещин, а при $N_0 \geq m_{N_2} + \beta_{N_2}$ — совершать движение в сторону увеличения концентрации.



Фазовый портрет динамической системы, описываемой уравнением (5)

Phase portrait of a dynamical system described by equation (5)

Обсуждение результатов

Интерпретация фазового портрета полученной математической модели позволяет сделать вывод, о том, что в соответствии с динамикой изменения концентрации трещин существует два механизма разрушения минералов как текстурных составляющих полускальных горных пород. При первом из них, когда фазовая точка с течением времени (соответствующего увеличению внешней нагрузки) движется к нулевому значению концентрации, разрушение происходит в основном за счет неустойчивого роста трещин в минерале. В свою очередь второй механизм разрушения реализуется в условиях, когда фазовая точка осуществляет неограниченное движение в сторону увеличения значения концентрации трещин. При реализации данного механизма минерал разрушается преимущественно за счет образования в его структуре пространственно распределенных микротрещин.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что если приоткосную зону борта карьера составляют полускаль-

ные горные породы, преимущественно слагаемые минералами разрушаемые в рамках механизма неустойчивого роста трещин, то для исследования оползневых процессов в виде обвала лучше использовать модели МДЭ. В противном случае, когда в минералах полускальных пород реализуется механизм разрушения, обусловленный образованием пространственно распределенных микротрещин (в реальных условиях наполняемых жидкостью), то при прогнозировании обвалов будет более точным использовать модели МКЭ, учитывающие поровое давление и движение жидкости.

Таким образом, воспользовавшись одним из экспериментальных методов определения величины N_0 в натуральных условиях и вычислив $\tilde{N}_2 = (m_{N_2}, \alpha_{N_2}, \beta_{N_2})$ для различных минералов полускальных пород можно произвести процедуру районирования прибортовых участков породных массивов на предмет установления какой из численных методов (МКЭ или МДЭ) необходимо использовать для прогнозирования обвалов.

Ограничения исследования

Наиболее интересным случаем поведения рассматриваемой динамической системы является ситуация, когда начальные условия уравнения (5) приведут к тому, что фазовая точка попадет внутрь особого интервала, т.е. при $N_0 \in [m_{N_2} - \alpha_{N_2}, m_{N_2} + \beta_{N_2}]$. В таком случае для определения механизма разрушения минерала, как составной части полускальной горной породы в приоткосной зоне борта карьера, необходимы дополнительные исследования динамики изменения концентрации трещин.

Предложения по направлению будущих исследований

Приведенные исследования показывают, что будущие исследования по прогнозированию обвалов в полускальных

породах должны быть направлены на разработку новых численных методов, позволяющих в отличие от МКЭ и МДЭ одновременно учитывать структуру и текстуру исследуемых объектов, их трещиноватость, поровое давление, движение жидкости и другие факторы.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что процессы формирования и схода обвалов, реализуемых в одних и тех же полускальных породах на разных горно-геологических участках, существенно отличаются друг от друга. Так, в одних случаях они подобны «мягким» грунтовым оползням (earth soils), в которых определяющую роль в процессе формирования играют поровое давление и движение жидкости, а в других — идентичны оползневым процессам в скальных породах. В тоже время является общепризнанным, что для прогнозирования оползней в «мягких» грунтах наибольшую степень точности дают математические модели, разработанные в рамках МКЭ, а в случае исследования скально-породных оползней — модели, полученные с помощью МДЭ. В итоге была разработана нечеткая математическая модель, позволяющая исследовать динамику из-

менения трещиноватости минералов в полускальных горных породах, и тем самым определить, применение какого из численных методов (МКЭ или МДЭ) позволит осуществить наиболее точный прогноз обвала. При этом для определения величин параметров данной модели используется нечеткое преобразование статистических результатов разрушения образцов минералов при неравноосном сжатии. В результате анализа разработанной нечеткой модели было установлено два механизма разрушения минералов. При первом из них разрушение минерала как текстурной составляющей полускальной горной породы обусловлено неустойчивым ростом трещин, а во втором — вследствие образования пространственно распределенных микротрещин, которые в реальных условиях наполнены жидкостью. Таким образом, на тех участках приоткосной зоны борта карьера, в которых полускальные горные породы преимущественно слагаются минералами, разрушаемые в рамках механизма неустойчивого распространения трещин, для прогнозирования обвалов лучше использовать модели, разрабатываемые в рамках МДЭ. В противном случае — конечно-элементные модели прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Миртова И. А., Швецов Д. В. Использование методов дистанционного зондирования для целей локального мониторинга опасных экзогенных процессов // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2016. — № 4. — С. 84—89.
2. Сергеев К. С., Рыжков В. И., Белоусов А. В., Бобачев А. А. Из опыта изучения развития обвальных и карстовых процессов методами инженерной геофизики // Инженерные изыскания. — 2016. — № 12. — С. 26—33.
3. Frukacz M., Wieser A. On the impact of rockfall catch fences on ground-based radar interferometry // Landslides, 2017, Vol. 14, Issue 4, pp. 1431—1440. DOI 10.1007/s10346-017-0795-x.
4. Scholtès L., Donzé F. V. A DEM analysis of step-path failure in jointed rock slopes // Comptes Rendus Mécanique, 2015, Vol. 343, Issue 2, pp. 155—165. DOI 10.1016/j.crme.2014.11.002.
5. Bonilla-Sierra V., Scholtès L., Donzé F. V., Elmoultie M. K. Rock slope stability analysis using photogrammetric data and DFN-DEM modeling // Acta Geotechnica, 2015, Vol. 10, Issue 4, pp. 497—511. DOI 10.1007/s11440-015-0374-z.
6. Shroder J. F., Davies T. Landslide Hazards, Risks, and Disasters. Amsterdam-Oxford-Waltham: Elsevier, 2015. 492 p.
7. Певзнер М. Е. Деформации горных пород на карьерах. — М.: Недра, 1992. — 235 с.

8. Халкечев Р. К., Халкечев К. В. Математическое моделирование неоднородного упругого поля напряжений породного массива кристаллической блочной структуры // Горный журнал. — 2016. — № 3. — С. 200–205. DOI 10.17580/gzh.2016.03.05.

9. Халкечев Р. К. Экспертная система разработка математических моделей геомеханических процессов в породных массивах // Горный журнал. — 2016. — № 7. — С. 96–98. DOI 10.17580/gzh.2016.07.21.

10. Анищенко В. С. Знакомство с нелинейной динамикой. — М.: URSS, 2018. — 224 с.

11. Халкечев Р. К., Халкечев К. В. Разработка автоматизированной системы определения внешнего поля напряжений, действующего на породный массив // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 11. — С. 220–226. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-220-226.

12. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Heidelberg: Physica, 2001. 728 p. **ИДБ**

REFERENCES

1. Mirtova I. A., Shvetsov D. V. Using remote sensing methods to monitor hazardous exogenous processes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka*. 2016, no 4, pp. 84–89. [In Russ].

2. Sergeev K. S., Ryzhkov V. I., Belousov A. V., Bobachev A. A. On experience of studying development of landfall and karst processes by engineering geophysical methods. *Inzhenerye izskaniya*. 2016, no 12, pp. 26–33. [In Russ].

3. Frukacz M., Wieser A. On the impact of rockfall catch fences on ground-based radar interferometry. *Landslides*, 2017, Vol. 14, Issue 4, pp. 1431–1440. DOI 10.1007/s10346-017-0795-x.

4. Scholtès L., Donzé F. V. A DEM analysis of step-path failure in jointed rock slopes. *Comptes Rendus Mécanique*, 2015, Vol. 343, Issue 2, pp. 155–165. DOI 10.1016/j.crme.2014.11.002.

5. Bonilla-Sierra V., Scholtès L., Donzé F. V., Elmoultie M. K. Rock slope stability analysis using photogrammetric data and DFN-DEM modeling. *Acta Geotechnica*, 2015, Vol. 10, Issue 4, pp. 497–511. DOI 10.1007/s11440-015-0374-z.

6. Shroder J. F., Davies T. *Landslide hazards, risks, and disasters*. Amsterdam-Oxford-Waltham: Elsevier, 2015. 492 p.

7. Pevzner M. E. *Deformatsii gornyykh porod na kar''erakh* [Deformation of rocks in open pits], Moscow, Nedra, 1992, 235 p.

8. Khalkechev R. K., Khalkechev K. V. Mathematical modeling of nonuniform elastic stress field in rock mass of crystal structure. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 3, pp. 200–205. DOI 10.17580/gzh.2016.03.05. [In Russ].

9. Khalkechev R. K. Expert system for mathematical modeling of geomechanical processes in rock mass. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 7, pp. 96–98. DOI 10.17580/gzh.2016.07.21. [In Russ].

10. Anishchenko V. S. *Znakomstvo s nelineynoy dinamikoy* [Introduction to nonlinear dynamics], Moscow, URSS, 2018, 224 p.

11. Khalkechev R. K., Khalkechev K. V. Development of an automated system for determining the external stress field acting on a rock massif. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 11, pp. 220–226. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-11-0-220-226. [In Russ].

12. Piegat A. *Fuzzy Modeling and Control*. Heidelberg: Physica, 2001. 728 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Халкечев Руслан Кемалович — канд. физ.-мат. наук, доцент,
e-mail: syrus@list.ru, НИТУ «МИСиС».

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

R. K. Khalkechev, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), Assistant Professor,
National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: syrus@list.ru.



**УСТАНОВЛЕНИЕ ИСТИННЫХ ПАРАМЕТРОВ РУДОСПУСКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
СТАБИЛИЗИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РУДНИЧНОГО СМЕСИТЕЛЯ**

(2019, СВ 2, 16 с.)

*Туртыгина Наталья Александровна*¹ — канд. техн. наук, доцент, e-mail: natyrtigina@mail.ru,
Охрименко Александр Владимирович — инженер горного планирования, рудник «Комсомольский»,
*Циллиакус Константин Сергеевич*¹ — аспирант,
*Волков Никита Александрович*¹ — аспирант,
¹ Норильский государственный индустриальный институт.

Работа выполнена на основании актуальной для горных предприятий ПАО «ГМК «Норильский никель» тематики исследований с учетом ухудшения в перспективе минерально-сырьевой базы. Исследования показали, что в Талнахско-Октябрьском месторождении имеют место существенно высокие значения геологической изменчивости показателей качества руд, что является первопричиной дестабилизации состава добычи. С целью выявления стабилизирующей способности отдельных звеньев технологической цепочки на руднике были проведены аналитические исследования и наблюдения. Результаты промышленной оценки стабилизирующей способности схемы рудника «Комсомольский» показывают на возможное наличие в ней явления гранулометрической сегрегации качества рудной массы. Были выполнены маркшейдерские съемки участкового рудоспуска с применением лазерной сканирующей системы Optech, применяемой для выявления отклонения от проектных параметров, для контроля за состоянием выработки, мест повреждений и определении объема рудоспуска, а также профиля, размеров и формы поперечного сечения рудоспуска. Установлено, что участковый рудоспуск не соответствует проектным параметрам. Возникнет необходимость в разработке специальных технологических и организационно-технических мероприятий для проектирования, реконструкции и эксплуатации подземных рудников, позволяющих существенно повысить стабильность состава добываемых руд на базе стохастического моделирования выпуска руды из рудоспуска. Талнахско-Октябрьском месторождении медно-никелевых руд можно рассматривать как аналог будущей минерально-сырьевой базы Норильска, что позволит обеспечить экономическую эффективность всего горно-металлургического комплекса.

Ключевые слова: рудник, качество, стабильность, рудоспуск, руда, показатели, содержание, технология, схема, съемка.

**SEARCH FOR OPTIMAL PARAMETERS OF ORE DISPOSAL TO DETERMINE
THE STABILIZING ABILITY OF A MINE MIXER**

*N.A. Turtygina*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, e-mail: natyrtigina@mail.ru,
A.V. Okhrimenko, Engineer mine planning of the mine «Komsomolskaya»,
*K.S. Tsilliakus*¹, Graduate Student,
*N.A. Volkov*¹, Graduate Student,
¹ Norilsk State Industrial Institute, 663310, Norilsk, Russia.

The work was carried out on the basis of research topics relevant for mining enterprises of PJSC «MMC «Norilsk Nickel», due to the deterioration in the future of mineral resource base. As a result of the research, it was found that in the Talnakh-Oktyabrskiy deposit, there are essentially high values of geological variability of ore quality indicators, what is the root cause of destabilization of composition ore mass. Analytical studies and observations were conducted at the mine to identify the stabilizing ability of individual links in the process chain. The results of the industrial assessment of the stabilizing capacity of the Komsomolsky mine scheme show the possible presence of a granulometric segregation of ore mass quality. In this regard, surveys of precinct ore passes were carried out using an Optech laser scanning system, to identify deviations from design parameters. The purpose of surveying ore passes is to monitor state of production, damage sites and determine amount of ore passes, as well as the profile, size and shape of cross section. As a result of survey, it was determined that the mine has no design parameters. There will be a need to develop special technological and organizational measures for the design, reconstruction and operation of underground mines, which allows to increase the stability of composition of mined ores on basis of stochastic modeling of ore release from ore passes. Talnakh-Oktyabrskiy deposit of copper-nickel ores, be considered as an analogue of future mineral resource of Norilsk base, that will ensure economic efficiency of entire mining and metallurgical complex.

Key words: mine, quality, stability, ore passes, ore, indicators, grade of ore, technology, scheme, survey.