

ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА

УДК 504.55.054:622 (470.6)

DOI: [10.23671/VNC.2020.1.59070](https://doi.org/10.23671/VNC.2020.1.59070)

Оригинальная статья

Управление геомеханикой массива путем оптимизации технологии разработки

В. И. Голик, О. Г. Бурдзиева, Б. В. Дзеранов

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук,
ул. Маркова, 93а, г. Владикавказ 362002, Россия, e-mail: v.i.golik@mail.ru;

Статья поступила: 12.02.2020, после рецензирования: 19.03.2020, принята к публикации: 21.03.2020

Резюме: Актуальность статьи объясняется необходимостью поиска новых ресурсов для повышения эффективности использования недр, в том числе, за счет рационального использования геомеханических особенностей скальных массивов при техногенном воздействии на них и механизма взаимодействия пород, слагающих массивы скальных месторождений. **Объектом исследования** служат структурно напряженные скальные массивы Садонского рудного узла. **Целью исследований** является оценка перспектив технологий разработки месторождений при освоении запасов в условиях техногенной ослабленности массивов. **Методы** решения основной задачи исследования образуют собой комплекс, в том числе, систематизация связанных с управлением массивом сведений, разработка критериев эффективности добычи руд и формирование концепции ресурсосберегающей технологии разработки месторождений. **Результаты и обсуждение результатов.** Сформулирована концепция технологии разработки месторождений на основе методов управления состоянием массива путем назначения оптимального уровня напряжений, формируемых совокупностью сеймотектонических воздействий и техногенной сейсмичности. Дана типизация методов расчета устойчивых пролетов выработок. Приведены примеры решения горнотехнических задач рекомендуемыми методами расчета. Предложена схема-алгоритм взаимодействия параметров управления массивом. Определено, что перспективы технологий разработки месторождений Садонской группы связаны с реализацией концепции управления массивами пород путем регулирования величины напряжений. Доказано, что учет геомеханических факторов позволяет на всех стадиях отработки месторождения корректировать параметры разработки с повышением качества добываемых руд и уменьшением опасности для работающих. В этих условиях удовлетворительные показатели могут быть обеспечены только на первой стадии разработки при выемке первичных камер. Отработка целиков во вторую стадию увеличивает напряжения до критического состояния, что сопровождается потерей запасов или снижением качества руд до убыточных пределов кондиций. Рекомендовано отработку новых запасов и доработку имеющихся запасов осуществлять по комбинированной схеме: ценные руды с закладкой технологических пустот твердеющими смесями, руды с меньшим содержанием металлов – выщелачиванием с использованием хвостов подземного выщелачивания для управления напряжениями, а выщелоченные руды выполняют искусственных целиков, перераспределяя техногенные и природные напряжения.

Ключевые слова: подземная разработка, массив пород, напряжения, выщелачивание металлов, управление состоянием массива.

Для цитирования: Голик В. И., Бурдзиева О. Г., Дзеранов Б. В., Дмитрак Ю. В. Управление геомеханикой массива путем оптимизации технологии разработки. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (1): 127-137. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59070.

DOI: [10.23671/VNC.2020.1.59070](https://doi.org/10.23671/VNC.2020.1.59070)

Original paper

Management of massif geomechanics through optimization of development technologies

V. I. Golik , O. G. Burdzieva , B. V. Dzeranov

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: v.i.golik@mail.ru;

Received: 12.02.2020, revised: 19.03.2020, accepted: 21.03.2020

Abstract: The relevance of the article is explained by the need to search for new resources to increase the efficiency of subsoil use, including due to the rational use of geomechanical features of rock massifs with anthropogenic impact on them and the mechanism of interaction of rocks composing rock massifs. **The object** of study is the structurally stressed rock massifs of the Sadon ore cluster. The aim of the research is to assess the prospects of field development technologies during the development of reserves in conditions of technogenic weakening of arrays. **Methods** for solving the main research problem form a complex, including the systematization of information related to managing the array, the development of criteria for the efficiency of ore mining and the formation of the concept of resource-saving technology for developing deposits. **Results and discussion of results.** The concept of field development technology is formulated on the basis of methods for controlling the state of an array by assigning the optimal level of stresses generated by a combination of seismotectonic impacts and technogenic seismicity. Typification of methods for calculating stable spans of workings is given. Examples of solving mining problems with the recommended calculation methods are given. An algorithm-algorithm for the interaction of array control parameters is proposed. It was determined that the prospects for the development of deposits in the Sadon Group are related to the implementation of the concept of managing rock masses by regulating stresses. It is proved that taking geomechanical factors into account allows at all stages of field development to adjust development parameters with an increase in the quality of mined ores and a decrease in the hazard for workers. Under these conditions, satisfactory performance can only be achieved at the first stage of development when the primary chambers are removed. The development of pillars in the second stage increases stresses to a critical state, which is accompanied by a loss of reserves or a decrease in the quality of ores to unprofitable limits. It was recommended that the development of new reserves and the refinement of existing reserves be carried out according to a combined scheme: valuable ores with the laying of technological voids with hardening mixtures, ores with a lower metal content – leaching using underground leaching tails to control stresses, and leached ores perform artificial pillars, redistributing technogenic and natural stresses.

Keywords: Underground mining, rock mass, stress, metal leaching, mass state control.

For citation: Golik V. I., Burdzieva O. G., Dzeranov B. V., Dmitrak Yu. V. Management of massif geomechanics through optimization of development technologies. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (1): 127-137. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59070.

Введение

Важным аспектом горного производства является оценка геомеханических особенностей скальных массивов при техногенном воздействии на них. Перспективы развития технологий разработки с учетом механизма взаимодействия пород, слагающих массивы скальных месторождений, представляют собой **актуальную** проблему современного горного производства.

Комплексное негативное воздействие горного производства на окружающую среду на всех этапах разработки месторождения усиливается вследствие изменения географии месторождений, сокращения государственной поддержки в условиях рынка и кризиса производства [Емельяненко, 2011; Мельков и др., 2010; Свалова и др., 2019].

В напряженных массивах гравитационные и тектонические силы зависят от петрографических и структурных неоднородностей, горизонтальные напряжения в массивах превышают вертикальные, вертикальные напряжения не всегда подчиняются геостатическому закону распределения, величина напряжений с глубиной, в общем, возрастает, но корреляции подлжит не всегда.

Наиболее перспективно направление оптимизации технологических процессов горного производства по фактору управления геомеханикой рудовмещающих массивов путем выщелачивания металлов из руд и утилизации отходов горного производства после извлечения из них полезных компонентов [Голик и др., 2015; Golik et al., 2015a; Golik, Lukyanov, 2013].

Направление включает в себя компоненты:

- минимизация количества и номенклатуры отходов добычи и переработки полезных ископаемых;
- глубокое извлечение металлов из хвостов добычи и переработки минерального сырья путем увеличения энерговооруженности процессов комбинированного химического обогащения и их механической активации.

Цель

Целью исследований является оценка перспектив технологий разработки месторождений Садонской группы при освоении активных запасов в условиях децентрации выработок и техногенной ослабленности массивов. Сверхзадачей исследования является разработка корректного механизма управления взаимодействием слагающих массивы пород путем регулирования величины напряжений в рудовмещающих массивах.

Методика

Цель достигается решением комплекса задач, в том числе, систематизация сведений о причинах потерь металлов, разработка критериев эффективности добычи руд и формирование концепции природоохранной и ресурсосберегающей технологии разработки месторождений на базе Садонского рудного пояса, а также разработка методов геофизического контроля горного производства с дифференциацией по видам технологических процессов [Дмитрак и др., 2006; Чотчаев и др., 2018; Шемпелев и др., 2017; Burdzieva et al., 2015].

Результаты и их обсуждение

Оптимизация технологии освоения скальных месторождений руд и установление закономерностей взаимодействия природных и технических систем на месторождениях Садонского рудного узла осуществляется по критерию полноты и безопасности использования недр с использованием физико-математической модели взаимодействия природных и технических систем.

Концепция природоохранной и ресурсосберегающей технологии разработки месторождений Садонского рудного пояса предусматривает управление состояни-

ем массива путем назначения оптимального уровня напряжений с не превышением критических значений, формируемых совокупностью сейсмотектонических воздействий и техногенной сейсмичности.

Оценка сейсмичности и напряженно-деформированного состояния массива осуществляются для конкретных геотехнических условий с привлечением методов численного моделирования системы целиков и очистных камер. Метод рассматривает континуум как совокупность дискретных элементов, границы которых определяются узловыми точками, что позволяет описывать реакцию континуума на внешнее воздействие движением узловых точек.

Проблема разрушения природных ландшафтов в зоне деятельности горного производства становится все более актуальной, особенно для горных ландшафтов Северного Кавказа с воронками провалов и отвалами отходов переработки руд на террасных участках и в долинах горных рек.

При разработке рабочей документации параметры управления нередко массивом завышают в сторону увеличения безопасности, что увеличивает потери в целиках и разубоживание руды породами. Это происходит еще и потому, что расчеты не учитывают влияния динамических напряжений техногенного характера.

Извлечение руды из недр происходит в условиях недостаточной изученности состояния массива, подверженного суммарному воздействию природных (тектоника, гравитация, магматизм, сейсмичность) и техногенных (горные выработки, технологические взрывы, вибрации) полей напряжений.

Увеличение глубины горных работ и объемов выемки минералов в сейсмически активных районах усиливают статическое и динамическое воздействие на геомеханические системы, что объясняет необходимость учета сейсмической составляющей, в том числе техногенного характера.

Сейсмичность разрабатываемого участка обусловлена уровнем геодинамической активности территории и литологическими и тектоническими условиями формирования массивов и происходящих в них процессов. Руды Садонских месторождений залегают в неоднородных скальных массивах, что позволяет выделить их в группу сложноструктурных. Особенностью месторождений, определяющей состояние их массивов, является применение систем разработки с открытым выработанным пространством.

При разработке месторождений разубоживание руд породами достигало 60%, а потери руд были не менее 20%. При добыче в целиках теряли до 40% запасов руды, а при обогащении ее – до 30% металлов. Воронки обрушения достигали земной поверхности.

Для разработки месторождений характерны общие закономерности:

- нарушение природного равновесия с деконцентрацией выемочных работ;
- увеличение потерь и разубоживания руд при интенсификации работ;
- выборочная выемка разнорудных руд при изменении кондиций на руду;
- активизация разрушения массива с увеличением глубины разработок.

Поля напряжений и деформаций в массивах пород являются результатом сложного взаимодействия полей, формирующихся под влиянием техногенных и природных факторов.

Результаты инструментальных исследований массивов сводятся к следующему:

- показатели технологии добычи руд зависят от величины напряжений;
- применение дискретных материалов не обеспечивает необходимого уровня управления напряжениями;

– эффективное управление напряжениями осуществляется технологиями с заполнением пустот монолитными твердеющими смесями.

Условие сохранения рудовмещающего массива и поверхности над ним:

$$H' > H_C,$$

где H' – фактическая глубина верхней границы пустоты от границы выветрелых пород; H_C – зона влияния пустот, м;

Это условие обеспечивается разделением месторождений рудными или искусственными целиками. Оптимальна модель, при которой массив разделяется на участки, где условие удовлетворяется.

Условие прочности массива на различных стадиях разработки описывается моделью:

$$\sigma_1 \pm k\sigma_{2,3} \leq \sigma_{сж} = \begin{cases} \sigma_{сж}^0 = \int_0^{Z_0^{\max}} f(x)(dx_1, dx_2, \dots, dx_n) \rightarrow \begin{cases} \sigma_{закл} = \int_0^{Z_0^{\max}} f(x)(dH_S) \\ \sigma_{закл} = \int_0^{Z_0^{\max}} f(x)(dH_S + dH_C) \end{cases} \\ \sigma_{сж}^{\text{ост}} \text{ при } H_C = H \rightarrow \sigma_{закл} = \int_0^B f(x)(dH) \end{cases}$$

где σ_1 – вертикальная составляющая главных напряжений; $\sigma_{2,3}$ – горизонтальная результирующая составляющая, МПа; k – коэффициент искажения напряжения структурно-тектоническими условиями; $\sigma_{сж}$ – напряжения в верхнем слое разупроченных отделенностей массива, МПа; σ_{\pm} – напряжения в зоне влияния работ, МПа; $\sigma_{сж}^{\text{ост}}$ – остаточная прочность пород, МПа; Z_0 – пролет плоской формы выработки, м; x_1, \dots, x_n – свойства пород; $\sigma_{закл}$ – прочность закладочного массива при сжатии, МПа; B – ширина зоны обрушения; H – высота зоны обрушения, м; H_C – высота зоны влияния работ, м; H_S – высота закладочного массива, м.

При моделировании процессов разрушения скальных массивов их состояние описывается условием:

$$\sigma \cdot K_3 = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f(x)(dx_1, dx_2, \dots, dx_n) \rightarrow \Pi, R = \int_{l_{\min}}^{l_{\max}} f \cdot x(dh_3 + dh_n)$$

где σ – напряжения в зоне влияния выработок, МПа; K_3 – коэффициент корректировки напряжений; l_{\max}, l_{\min} – пролеты обнажения пород, м; x_1, \dots, x_n – технологические, физико-механические и иные характеристики; Π – потери руд, доли ед.; R – разубоживание руд породами, доли ед.; h_3 – высота закладочного массива, м; h_n – высота влияния горных выработок, м.

При разработке ценных руд размеры целиков минимизируют, запас прочности увеличивают креплением и подпором закладочным материалом.

Для эффективности разработки важно, чтобы кровля выработок сохраняла плоскую форму, т.е. растягивающие и сжимающие напряжения не были критическими. Структурные блоки смещаются в выработанное пространство, а кровля принимает форму свода, если не принять мер управляющего воздействия (табл. 1).

Сохранность земной поверхности определяется высотой свода Ветрова:

$$h_c = a' / v,$$

где a' – полупролет свода; v – коэффициент устойчивости трещиноватых пород:

$$V = 2 \frac{d_r R''_{сж}}{d_1 R'_{сж}},$$

где d_r, d_1 – вертикальный и горизонтальный размер структурных блоков; $R''_{сж}$, $R'_{сж}$ – отношение сопротивления пород сжатию в направлении распора свода и в направлении действия массы пород.

Условие сохранности земной поверхности по ВНИМИ:

$$H' > H_p = \kappa_1 \ell_{э\text{кв}},$$

Таблица 1 / Table 1

**Методы расчета устойчивых пролетов обнажений кровли. /
Methods for calculating stable spans of roof exposures**

Характеристики массива / Massif specifications		Методы / Methods			Основные показатели / Basic indicators
		Механические / Mechanical	Инженерные / Engineering		
			несущий элемент / carrier element	гипотеза горного давления / rock pressure hypothesis	
Квази-сплошной с гравитационным полем / Quasi-continuous with a gravitational field	Изотропный / Isotropic	Механика сплошной среды; вероятностно-статистические методы / Continuum mechanics; probabilistic and statistical methods	Несущая способность материала кровли / Bearing capacity of roofing material	Гипотезы сводов: давления и обрушения / Hypotheses of arches: pressures and collapses	Механо-физические свойства пород, углы анизотропии структурного ослабления для анизотропных сред, мощность слоя, балки, плиты / Mechanical and physical properties of rocks, anisotropy angles, structural attenuation for anisotropic media, layer thickness, beams, plates
	Анизотропный / Anisotropic		Плита или балка в кровле / Plate or beam in the roof		
Квази-сплошной, гравитационно-тектоническим полем / Quasi-continuous with a gravitational-tectonic field	Изотропный / Isotropic		Несущая способность материала, нарушенного трещинами / Bearing capacity of a material broken by cracks		
	Анизотропный / Anisotropic		Плита или балка с трещиной / Plate or beam with crack		
			Столбы с трещиной / Pillars with a crack		
Дискретный с гравитационно-тектоническим полем / Discrete with a gravitational tectonic field	Изотропный или анизотропный / Isotropic or anisotropic		Механика дискретной среды; вероятностно-статистические методы / Mechanics of a discrete medium; probabilistic-statistical methods		
		Система столбов для ромбоидов / Pillar system for rhomboids			
		Трехшарнирная арка / Three-hinged arch		Своды равновесия / Vaults of equilibrium	

где H – глубина верхней границы выработанного пространства от выветренных пород и рыхлых отложений, м; H_p – расчетная глубина выработанного пространства от выветренных пород м; κ_1 – коэффициент, учитывающий свойства горных пород в зависимости от свойств покрывающих пород.

Метод поясняется примерами:

Пример 1. Рудное тело мощностью 6 м обрабатывается камерной системой разработки с закладкой пустот твердеющей месью. Массив находится под защитой заклинившихся блоков нижнего слоя пород.

Нормативная прочность смеси находится по прямой 1. При максимальной высоте камеры прочность закладки должна быть 1,2 МПа для интервалов по глубине 48-60 м; 0,7-1,0 МПа – для интервалов 35-48 м и 0,4-0,7 МПа – для интервалов 23-35 м. Интервал 0-23 м может быть заложен закладкой любой прочности.

Если заклинивания пород не происходит, напряжения в массиве закладки создаются массой пород внутри свода естественного равновесия и закладки. Нормативная прочность находится по прямой 3. При высоте камеры 60 м, интервал глубин 20-60 м должен иметь прочность от 1,0 до 3,0 МПа соответственно. Малопрочную закладку можно применять для погашения интервала 0-20 м.

Пример 2. В случае заклинивания пород толщина слоя находится пересечением значений прочности с линией 1 и проекцией на шкалу справа. При отсутствии трехшарнирной арки толщина слоя находится пересечением с линией 3 и проекцией на ту же шкалу.

Минимальная прочность оценена, по данным практики, величиной 0,2 МПа, максимальное значение при высоте этажа 60 м составляет 1,2 МПа.

Перспективы освоения месторождений предусматривают создание единого проекта добычи запасов открытыми, подземными и специальными способами до-

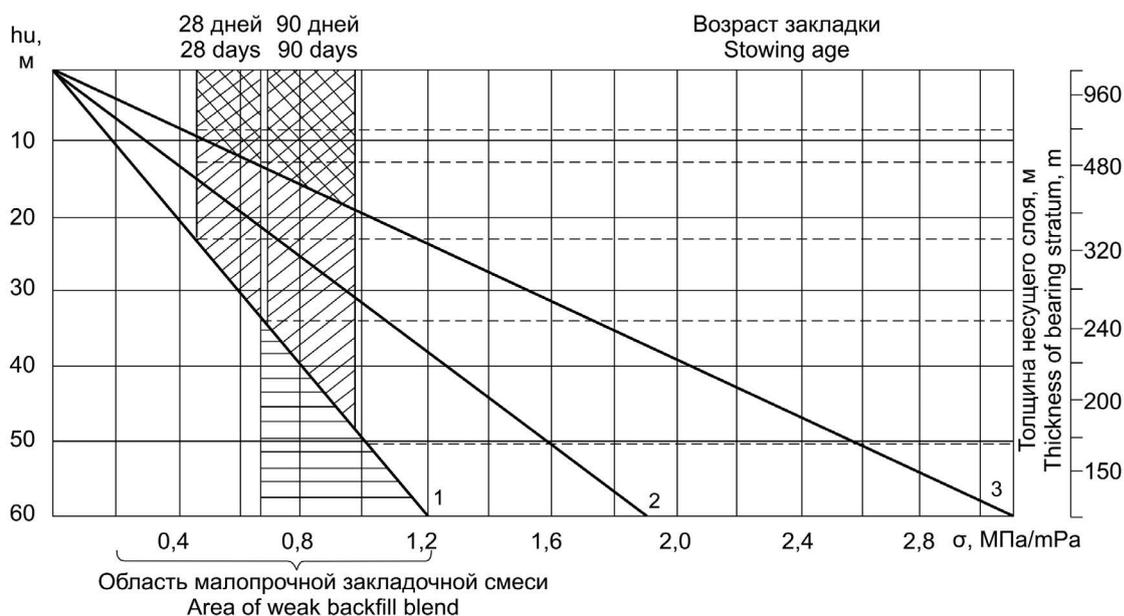


Рис. 1. Номограмма выбора прочности твердеющих закладочных смесей: 1, 2, 3 – соответственно, напряжения от собственной массы, от пригрузки пород и результирующие (заштрихована область разнопрочной закладки). /

Fig. 1. Nomogram of the strength choice of hardening filling mixtures: 1, 2, 3 – respectively, stresses from own weight, from rock loading and resulting (the area of multi-strength stowing is shaded).

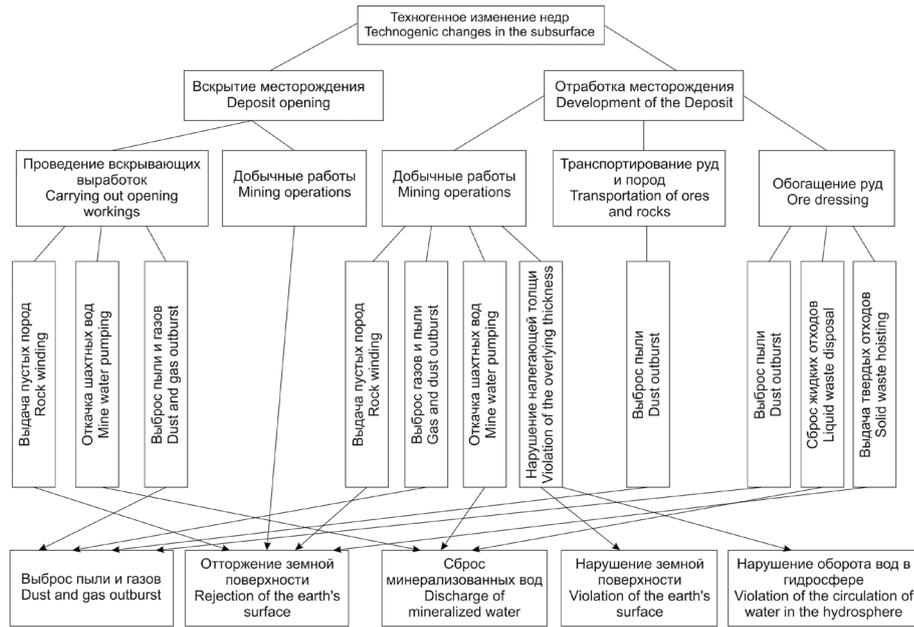


Рис. 2. Факторы управления развитием горных работ. /
 Fig. 2. Factors of mining development management.

бычи, взаимоувязанными и оптимизированными по эколого-экономическим критериям (рис. 2).

Целью проекта становится не эффективное извлечение запасов месторождения одним из традиционных способов, а создание благоприятных условий для применения и альтернативных технологий, чтобы совокупный доход от освоения месторождения был максимальным [Burdzieva et al., 2015; Golik et al., 2015b].

Профилактика разрушающих напряжений и сопровождающих их деформаций обеспечивается технологически посредством ограничения концентрации напря-

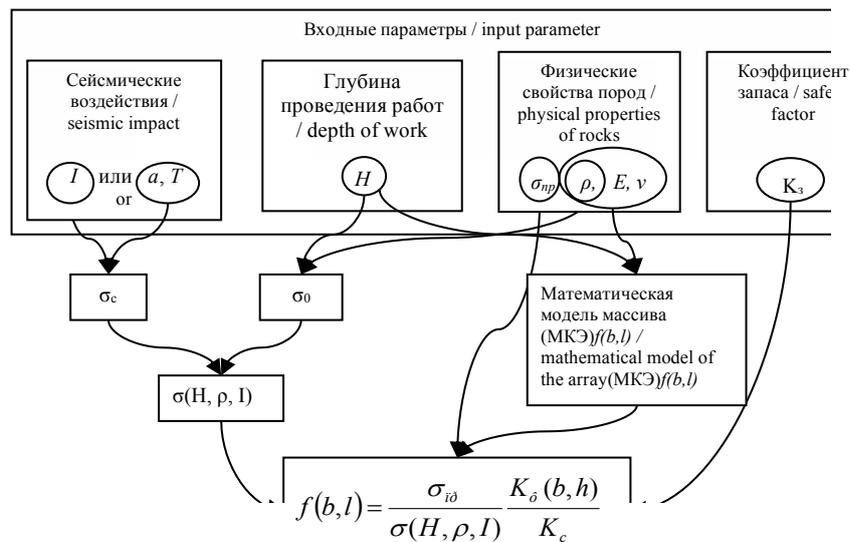


Рис. 3. Геомеханическая модель управления массивом. /
 Fig. 3. Geomechanical massif control model.

жений: опережающей отработкой, исключением целиков, проходкой выработок и взрывами и др. технологическими мерами.

Взаимодействие параметров управления массивом описывается схемой (рис. 3):

Решение основных задач оптимизации процессов разработки сопряжено с исследованиями соседствующих процессов, в частности, при обеспечении сырья для приготовления закладочных смесей [Дмитрак, 2000; Дмитрак, Вержанский, 2000; Дмитрак и др., 2007].

Результаты исследования согласуются с результатами, полученными в аналогичных условиях российскими и зарубежными исследователями [Протосеня, Куранов, 2015; Ben-Awuah et al., 2016; Bonsu et al., 2017; Doifode, Matani, 2015; Woodward, Wesseloo, 2015; Jarvie-Eggart, 2015].

Заключение

Перспективы технологий разработки месторождений Садонской группы связаны с разработкой корректного механизма управления взаимодействием слагающих массивы пород путем регулирования величины напряжений в рудовмещающих массивах.

Исследованиями установлено, что массивы Садонских месторождений характеризуются крайне непостоянным размещением запасов в пределах рудных полей и склонностью вмещающих пород перераспределять напряжения, в том числе, в геодинамическом режиме.

При разработке сложноструктурных месторождений величина и знак напряжений во времени и пространстве может быть прогнозирована с достаточной для оперативного управления детализацией.

Учет геомеханических факторов при отработке таких участков позволяет корректировать параметры разработки с повышением качества добываемых руд и уменьшением опасности для работающих.

Литература

1. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Страданченко С.Г., Хашева З.М. Принципы и экономическая эффективность комбинирования технологий добычи руд. // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326. №7. – С. 6-14.
2. Дмитрак Ю.В. Теория движения мелющей загрузки и повышение эффективности оборудования для тонкого измельчения горных пород. // Автореферат дис. доктора технических наук / Московский гос. горный ун-т. – М. – 2000.
3. Дмитрак Ю.В., Вержанский А.П. Тенденции применения оборудования для тонкого измельчения горных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2000. – №6. – С. 184-188.
4. Дмитрак Ю.В., Логачева В.М., Подколзин А.А. Геофизическое прогнозирование нарушенности и обводненности массива горных пород. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2006. – №11. – С. 35-36.
5. Дмитрак Ю.В., Зиновьева Т.А., Сычѳв Н.Н. Использование системы msc. Nastran для оптимизации силовой конструкции вибрационной мельницы. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – №4. – С. 295-299.
6. Емельяненко Е.А. Исследование технологических свойств техногенных объектов медно-колчеданных месторождений [Текст]. / М.В. Рыльникова, Е.А. Горбатова, Е.А. Емельяненко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №6. – С. 148-156
7. Мельков Д.А., Дзеранов Б.В., Кануков А.С., Заалишвили В.Б. Оценка сейсмической опасности урбанизированной территории на основе современных методов сейсми-

ческого микрорайонирования (на примере г. Владикавказа). // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки Сборник работ молодых ученых. – Владикавказ. – 2010. – С. 348-351.

8. Протосеня А. Г., Куранов А. Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Коашвинского месторождения. // Горный журнал. – 2015. – №1. – С. 67-71.

9. Свалова В. Б., Заалишвили В. Б., Ганапати Г. П., Николаев А. В., Мельков Д. А. Оползневый риск в горных районах. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – №2. – С. 109-126.

10. Чотчаев Х. О., Колесникова А. М., Майсурадзе М. В., Шепелев В. Д. Физические поля как производные деформации горного массива и технология их мониторинга. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №4. – С. 179-190.

11. Шепелев А. Г., Кухмазов С. У., Компаниец М. А., Харебов К. С., Чотчаев Х. О., Шамановская С. П. Строение земной коры по геофизическим данным вдоль чегемского профиля (Северный Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №7. – С. 116-120.

12. Ben-Auwah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – Vol. 26. Iss. 6. – Pp. 1065-1071.

13. Bonsu J., van Dyk W, Franzidis J.-P., Petersen F., Isafiade A. A systemic study of mining accident causality: an analysis of 91 mining accidents from a platinum mine in South Africa. // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2017. – Vol. 117. No. 1. – Pp. 59-66.

14. Burdzieva O., Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – T. 7. No. 8. – Pp. 540-543.

15. Doifode S. K., Matani A. G. Effective Industrial Waste Utilization Technologies towards Cleaner Environment. // International Journal of Chemical and Physical Sciences. – 2015. – Vol. 4. Special Issue. NCSC. – Pp. 536-540.

16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015a. – T. 7. No. 4. – Pp. 321-324.

17. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V., Zaalishvili V. B. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. // Metallurgical and Mining Industry. – 2015b. – T. 7. No. 4. – Pp. 325-329.

18. Golik V. I., Lukyanov V. G. Optimization of filling mixture strength considering rock intensity // Голик В. И., Полухин О. Н. Природоохранные геотехнологии в горном деле. – Белгород. – 2013. – 195 с.

19. Woodward K., Wesseloo J. Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2015. – Vol. 115. No 11. – Pp. 1044-1056.

20. Jarvie-Eggart M. E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. – Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. – 804 p.

References

1. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Stradanchenko S. G., Khasheva Z. M. Principles and cost-effectiveness of combining ore mining technologies. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering. 2015. Vol. 326. No. 7. pp. 6-14. (In Russ.)

2. Dmitrak Yu. V. The theory of the movement of grinding feed and increasing the efficiency of equipment for fine grinding of rocks. Abstract of doctoral thesis (technical sciences). Moscow State Mountain University. Moscow. 2000. (In Russ.)

3. Dmitrak Yu. V., Verzhanskii A. P. Trends in the use of equipment for fine grinding of rocks. Mountain Information and Analytical Bulletin. 2000. No. 6. pp. 184-188. (In Russ.)

4. Dmitrak Yu. V., Logacheva V. M., Podkolzin A. A. Geophysical prediction of disturbance and watering of the rock massif. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2006. No. 11. pp. 35-36. (In Russ.)
 5. Dmitrak Yu. V., Zinov'eva T. A., Sychev N. N. Using the msc. Nastran system to optimize the power structure of the vibratory mill. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2007. No. 4. pp. 295-299. (In Russ.)
 6. M. V. Rylnikova, E. A. Gorbatova, E. A. Emelianenko Research of technological properties of technogenic objects of copper-pyrite deposits. *Mountain Information and Analytical Bulletin*. 2011. No. 6. pp. 148-156 (In Russ.)
 7. Melkov D. A., Dzeranov B. V., Kanukov A. S., Zaalishvili V. B. Assessment of the seismic hazard of an urbanized territory based on the modern methods of seismic microzonation (case study: the city of Vladikavkaz). In: *Proceedings «Molodye uchenye v reshenii aktual'nykh problem nauki»*. Vladikavkaz. 2010. pp. 348-351. (In Russ.)
 8. Protosenya A. G., Kuranov A. D. The methodology for predicting the stress-strain state of a rock massif during the combined development of the Koashvinsk field. *Gornyi Zhurnal*. 2015. No. 1. pp. 67-71. (In Russ.)
 9. Svalova V. B., Zaalishvili V. B., Ganapati G. P., Nikolaev A. V., Melkov D. A. Landslide risk in mountainous areas. *Geology and geophysics of Russian South*. 2019. No. 2. pp. 109-126. (In Russ.)
 10. Chotchaev Kh. O., Kolesnikova A. M., Maisuradze M. V., Shepelev V. D. Physical fields as derivatives of rock mass deformation and technology for their monitoring. *Geology and geophysics of Russian South*. 2018. No. 4. pp. 179-190. (In Russ.)
 11. Shempelev A. G., Kukhmazov S. U., Kompaniets M. A., Kharebov K. S., Chotchaev Kh. O., Shamanovskaya S. P. The structure of the earth's crust according to geophysical data along the Chegem profile (North Caucasus). *Geology and geophysics of Russian South*. 2017. No. 7. pp. 116-120. (In Russ.)
 12. Ben-Awua E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2016. Vol. 26. Issue 6. pp. 1065-1071.
 13. Bonsu J., van Dyk W, Franzidis J.-P., Petersen F., Isafiade A. A systemic study of mining accident causality: an analysis of 91 mining accidents from a platinum mine in South Africa. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017. Vol. 117. No. 1. pp. 59-66.
 14. Burdzieva O., Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Modelling of rock massifs tension at underground ore mining. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015. Vol. 7. No. 8. pp. 540-543.
 15. Doifode S. K., Matani A. G. Effective Industrial Waste Utilization Technologies towards Cleaner Environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. – 2015. – Vol. 4. Special Issue. NCSC. – Pp. 536-540.
 16. Golik V., Komashchenko V., Morkun V. Geomechanical terms of use of the mill tailings for preparation. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015a. Vol. 7. No. 4. – pp. 321-324.
 17. Golik V. I., Komashchenko V. I., Morkun V., Zaalishvili V. B. Enhancement of lost ore production efficiency by usage of canopies. *Metallurgical and Mining Industry*. 2015b. Vol. 7. No. 4. pp. 325-329.
 18. Golik V. I., Lukyanov V. G. Optimization of filling mixture strength considering rock intensity: In: *Environmental geotechnologies in mining*. – Belgorod. 2013. 195 p. (In Russ.)
 19. Woodward K., Wesseloo J. Observed spatial and temporal behaviour of seismic rock mass response to blasting. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115. No 11. pp. 1044-1056.
- Jarvie-Eggart M. E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. – 804 p.