

**Расчет подземных сооружений**

УДК 504.55.054:622(470.6)

DOI: 10.22363/1815-5235-2017-6-55-67

**ПАРАМЕТРЫ ПОРОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ РУД**

Ю.И. РАЗОРЕНОВ, доктор техн. наук, профессор,  
Б.В. ДЗЕРАНОВ, канд. геол.- мин. наук, доцент,  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГТУ), Владикавказ,  
362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

*В работе обозначена концепция сохранения земной поверхности от разрушения, реализуется путем регулирования напряжений согласованием процессов выемки руды во времени и пространстве по критерию минимизации напряжений. Обоснование технологических решений, обеспечивающих сохранность массива и земной поверхности над ним за счет феномена остаточной прочности нарушенных пород, является целью статьи. Цель достигается в ходе анализа практики горных работ, установленных закономерностей поведения массивов с дискретным гравитационно тектоническим структурным полем напряжений и методов обеспечения их устойчивости путем создания условий для заклинивания пород в пределах свода естественного равновесия. Показано, что геомеханическая сбалансированность дискретных породных сред обеспечивается за счет остаточной несущей способности природно и технологически разрушенных пород. Предложено решение задачи профилактики критических напряжений и соответствующих им деформаций разделением шахтного поля на участки с плоской кровлей, в пределах которых могут быть применены минимизированные по затратам технологии. Рекомендовано дополнить критерий оптимальности погашения величиной компенсации наносимого ущерба окружающей среде. Дана типизация выработок по устойчивости и нарушенности массивов. Сформулировано условие прочности массива на различных стадиях существования условие геомеханической сбалансированности геомеханической системы. По устойчивости в зависимости от размеров структурных блоков пород в кровле выработки могут быть типизированы. Предложена новая классификация технологий погашения пустот с учетом феномена заклинивания породных блоков. За счет остаточной несущей способности природно и технологически разрушенных пород при подземной разработке месторождений возникают породные конструкции, свойства которых корректируются разделением шахтного поля на геомеханически сбалансированные участки с плоской кровлей.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** геомеханика, порода, несущая способность, напряжения, деформации, плоская кровля, технология.

**Введение**

Обеспечение потребностей человеческого общества в минеральном сырье формирует перед горным производством новые проблемы взаимосвязки технологических процессов и сохранения окружающей среды [1-4].

О масштабах воздействия горного производства можно судить по тому, что из земных недр извлекается около 200 видов полезных ископаемых, а годовой объем мировой добычи минерального сырья достигает 17-18 млрд. тонн горной массы. Наиболее проблемным подземным способом добывают две трети руд цветных и редких металлов, более 50 % руд горной химии, около 60 % угля, около 100% калийных солей.

В России на разведку и добычу полезных ископаемых расходуется до 40 % капиталовложений, треть производственных и около 20 % трудовых ресурсов. Управление горным давлением как совокупность мероприятий по предотвращению неуправляемых процессов развития напряжений и деформаций состоит

в использовании, в числе прочих, технологических решений, использующих феномен остаточной несущей способности разрушенных пород.

Одним из основных вопросов эксплуатации месторождений полезных ископаемых является выбор параметров погашения пустот, образованных выемкой сырья.

Критерием эффективности управления состоянием массива являются приведенные затраты на погашение пустот. По этому критерию из применяемых способов управления массивом предпочтительно обрушение пород. Однако, этот способ предполагает ошибку при оценке затрат, поскольку действительная стоимость отвлекаемых земель, минерального сырья и изменение экологической обстановки не могут быть оценены достоверно.

Концепция сохранения земной поверхности от разрушения реализуется путем регулирования напряжений согласованием процессов выемки руды во времени и пространстве. На этой основе разработаны природоохранные и ресурсосберегающие технологии, которые дали положительные результаты при подземной разработке сложно-структурных месторождений [5-8].

### Цель

Среди негативных форм воздействия горных работ на окружающую среду приоритетно разрушение земной поверхности, в результате чего зона разрушения вступает в контакт с зоной жизнедеятельности и обитания флоры, фауны и человека (рис. 1) [9-10].

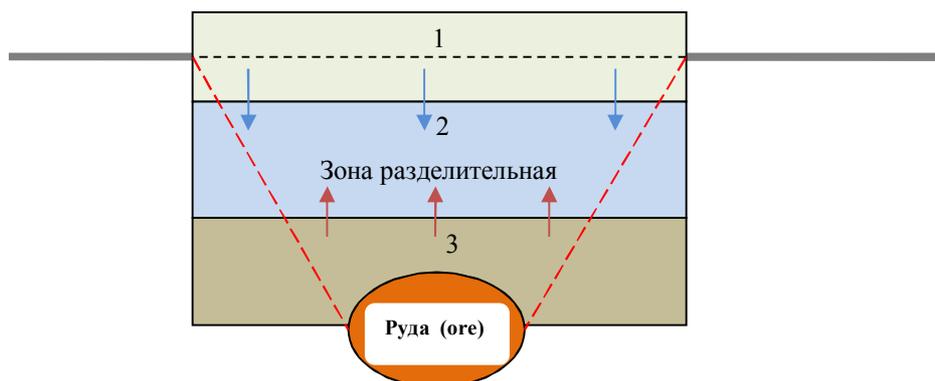


Рис. 1. Влияние горных работ на зону жизнедеятельности: 1- зона жизнедеятельности; 2- зона разделительная; 3- зона разрушения

Fig. 1. The impacts of mining operations on the area of life: 1 - area of activity; 2 - the zone of separation; 3 - zone of destruction

Геомеханическая сбалансированность напряженно - деформированных дискретных сред обеспечивается, в том числе, за счет использования остаточной несущей способности природно и технологически разрушенных пород. Разрушенный массив не всегда обрушается, используя остаточную несущую способность, которая реализуется в форме консолидации структурных отделеностей, поэтому целью управления состоянием массива разрабатываемого месторождения является выбор таких решений, которые сохраняли бы его и земную поверхность над ним от разрушения, используя феномен создания несущих породных конструкций.

### Материалы и методы

Месторождения металлических руд залегают в неоднородных массивах сложной структуры, поведение которых определяет экономические, экологические и социальные последствия разработки, поэтому создание и внедрение научно – методических предпосылок управления неоднородными

скальными массивами представляет собой важную научную и практическую задачу.

При исследовании закономерностей поведения массивов используют системный подход, содержащий анализ результатов аналогичных работ, натурные исследования с помощью маркшейдерских съемок, разгрузки массива, измерений деформаций скважин; лабораторные – с помощью моделирования на эквивалентных, оптико-поляризационных и электропроводящих материалах; теоретические с использованием метода конечных элементов и др.

Закономерности поведения напряженно-деформированных горных пород при образовании в них пустот установлены работами В.Д. Слесарева (1948), С.В. Ветрова (1975), К.В. Руппенейта, Г.Л. Фисенко (1976) и др.

Методы расчета геомеханических процессов в массивах с дискретным гравитационно-тектонически-структурным полем напряжений даны в трудах А.А. Борисова, Г.Н. Кузнецова, С.В. Ветрова. Работами Н.В. Баклашова, И.М. Петухова, Л.Г. Протосени и др. обосновано использование остаточной несущей способности нарушенных пород.

Управление состоянием массивов с обеспечением их устойчивости путем заполнением пустот твердеющими закладочными смесями разработано трудами Д.М. Бронникова (1973), М.И. Цыгалова (1985), Н.Ф. Замесова (1973), Л.А. Крупника (1986), А.П. Требукова (1981) и др.

М.М. Протодяконов (1933) обосновал, что на горную выработку действует только масса пород в пределах свода с высотой значительно меньшей глубины работ. В. Д. Слесарев (1948) в качестве устойчивости выработки сопротивление разрыву горных пород в кровле; А.А. Борисов (1964) увязал теорию с устойчивостью слоя пород в кровле выработки. С.В. Ветров (1975) увязал устойчивость выработки с прочностью заклинивающихся в пределах шарнирной арки пород в пределах свода естественного равновесия [11].

#### Результаты и обсуждение

В зависимости от механизма работы напряжений и деформаций в массиве выработки в нарушенных горными работами породах ведут себя по одному из типов (табл.1).

Таблица1 [Table1]

Типизация выработок по устойчивости [Typing the workings on the stability]

Тип [Type]	Признак Sign	Устойчивость выработок Stability of openings
Первый [First]	Деформации пород не превышают предела упругости Deformation of rocks not exceed the elastic limit of the	Устойчивы всегда Sustainable always
Второй [Second]	Обеспечивается самозаклинивание структурных блоков в несущем слое кровли выработки Provided samosoglasovannye structural blocks in the bearing layer of the roof production	Средней устойчивости при условии неперевышения предельных размеров Average resistance under the condition not exceeding the size limits
Третий [Third]	Дискретные несвязанные породы без заклинивания в кровле Discrete unrelated breed without jamming in the roof	Всегда неустойчивы Always unstable

Несущая способность дискретных пород корректируется технологией разработки. Радикальным способом управления массивом является создание равнопрочных по сравнению с извлекаемыми породами искусственных массивов.

В массивах скальных месторождениях вертикальные напряжения искажаются действием тектонических сил. Горизонтальные напряжения ослабляются или разгружаются в заполняющем трещины материале. Разрушение хрупких пород в зонах ослабленности массива происходит в форме раскрытия структурных нарушений с образованием блоков, которые ведут себя как жесткие тела с упругим контактированием.

Условие прочности системы на различных стадиях существования массива описывается моделью [12]:

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

где  $\sigma_1$  - вертикальная составляющая главных напряжений;  $\sigma_{2,3}$  - горизонтальная составляющая главных напряжений, МПа;  $k$  - параметр степени искажения напряжения структурно-тектоническими условиями;  $\sigma_{сж}$  - напряжения в верхнем слое пород, МПа;  $\sigma \pm$  - напряжения в зоне влияния очистных работ, МПа;  $\sigma_{сж}^{ост}$  - остаточная прочность разупроченных пород, МПа;  $Z_0$  - пролет, при котором сохраняется плоская форма обнажения, м;  $x_1, \dots, x_n$  - характеристики материала структурных блоков;  $\sigma_{закл}$  - прочность сжатию закладочного массива, МПа;  $B$  - ширина зоны обрушения;  $H$  - высота зоны обрушения, м;  $H_C$  - высота зоны влияния очистных работ, м;  $H_S$  - высота закладки, м.

Таблица 2 [Table 2]

Типизация нарушенности массивов [Typing of the original arrays]

Зоны Zone	Характер деформирования The nature of deformation	Прочность массива The strength of the array
Природно- и технологически разрушенные породы Natural and technologically ruined rocks	Минимальная связь структурных отдельных частей между собой A minimal link between the structural parts of a	Минимальная прочность, неустойчивость выработок The minimum strength, the instability of mine workings
Природно- и технологически ослабленные породы Natural and technologically loosened rocks	Контактирование структурных отдельных частей между собой и образование конструкций при условии не превышения предельных размеров Contacting structural parts of each other and the formation of structures under the condition not exceeding the size limits	Средняя прочность, средняя устойчивость выработок Average strength, average resistance workings
Нетронутые породы Untouched breed	Взаимодействие структурных отдельных частей в условиях объемного сжатия The interaction of structural parts under conditions of volumetric compression	Максимальная прочность, определяемая пределом прочности при сжатии Maximum strength determined by the tensile strength under compression

Условие геомеханической сбалансированности системы "нетронутый массив - нарушенный массив – искусственный массив":

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

где  $k_{упр}$  - коэффициент упрочнения массива при объемном сжатии.

Деформирование, разрушение и перемещение массива представляет собой следствие внутреннего взаимодействия элементарных минеральных частиц, осложненного анизотропностью среды. В зависимости от деформирования пород в массиве одновременно сосуществуют несколько областей разрушения. Вблизи разлома возникает зона нарушенных пород с минимальной несущей способностью, которую сменяют зоны ослабленных, а затем нетронутых пород (табл. 2). Разрушение массива открывает пути миграции жидких и газообразных продуктов горного производства, создавая опасность для окружающей среды (рис.2) [13-14].

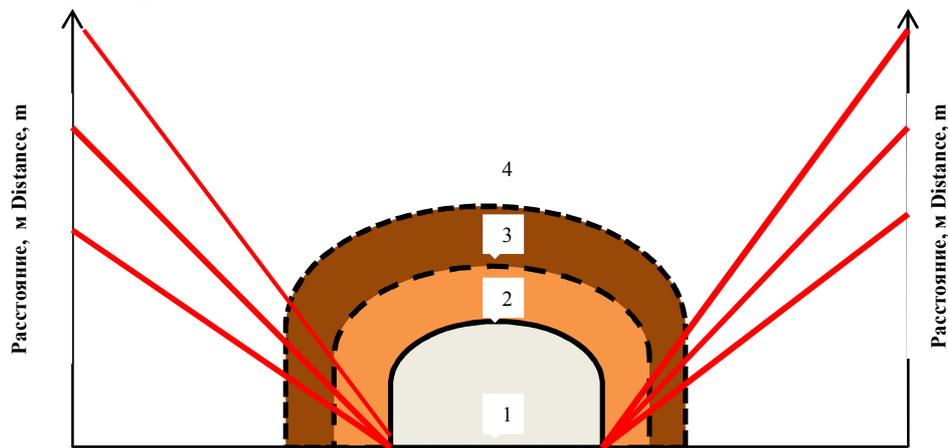


Рис. 2. Изменение напряжений в окрестностях выработки: 1 – выработка; 2 – зона максимальных напряжений; 3 – зона минимальных напряжений; 4 – зона нетронутых пород  
Fig. 2. The voltage changes in the vicinity of the production: 1 – production; 2 – zone of maximum stress; 3 – zone of minimal stress; 4 – zone of intact rocks

Максимальная сохранность массива и горных выработок обеспечивается при минимизации объемов первых двух зон и увеличении доли допредельного деформирования:

$$s_{сжм}(t) = k_t [s_{сжд} + (s_{сжм} - s_{сжд})] e^{-at},$$

где  $\sigma_{сж.м.}$  - предел мгновенной прочности при одноосном сжатии, МПа;  $\sigma_{сж.д.}$  - предел длительной прочности при одноосном сжатии, МПа;  $k_t$  - коэффициент тектонической нарушенности;  $a$  - параметр аппроксимации;  $t$  - время.

При моделировании процессов разрушения скальных массивов их состояние описывается условием [15]:

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

где  $\sigma$  - напряжения в зоне влияния выработок, МПа;  $K_s$  - коэффициент корректировки напряжений;  $l_{\max}, l_{\min}$  - пролеты обнажения пород, м;  $x_1 \dots x_n$  - технологические, физико-механические и иные характеристики;  $P$  - потери руд, доли

ед.;  $R$  – разубоживание руд породами, доли ед.;  $h_3$  – высота закладочного массива, м;  $h_n$  – высота влияния горных выработок, м.

Степень безопасности технологий по развитию критических напряжений и деформаций оценивается коэффициентом  $K_1$ :

$$K_1 = f(V_o - V_3; K_m),$$

где  $V_o$  - объем образованных в массиве пустот, м<sup>3</sup>;  $V_3$  - объем заполненных закладкой пустот, м<sup>3</sup>;  $K_m$  - коэффициент доли твердеющей закладки.

По устойчивости в зависимости от размеров структурных блоков пород в кровле выработки могут быть типизированы в рамках табл. 3.

Таблица 3 [Table 3]

Типизация выработок по устойчивости [Typing the workings on the stability]

Масштаб структурных геологических нарушений The scale of the structural faults	Размеры и характер взаимодействия пород The size and nature of the interaction of rocks	Устойчивость горных выработок The stability of mine workings
Крупные и средние разломы Large and medium faults	Блоки превышают размеры выработки, заклинивание пород вне выработки Units exceed the sizes of the opening, jamming rocks production	Максимальная независимо от технологических процессов Maximum independently of the technological processes
Мелкие разломы и крупные трещины Small cracks and large cracks	Блоки соизмеримы с размерами выработки, заклинивание пород в кровле выработки The units commensurate with the sizes of the opening, jamming of rocks in the roof of the mine working	Средняя с зависимостью от технологических процессов The average dependence of technological processes
Средние и мелкие трещины Medium and small cracks	Мелкие блоки без заклинивания между собой Small blocks without locking with each other	Минимальная всегда Minimum always

Устойчивость массива обеспечивается назначением параметров, при которых напряжения в элементах системы не превышают критических и не сопровождаются критическими деформациями. Эта задача решается разделением шахтного поля на геомеханически сбалансированные участки, в пределах которых могут быть применены минимизированные по затратам технологии [16].

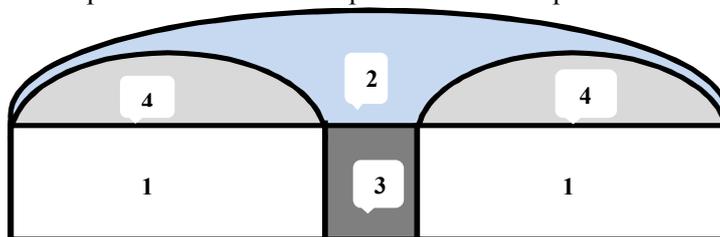


Рис. 3. Уменьшение высоты свода обрушения разделением массива: 1-выработка; 2- первичный свод естественного равновесия; 3- разделяющий массив; 4- вторичный свод естественного равновесия

Fig. 3. Reducing height of the arch collapse of the separation of the array: 1-development; 2- the primary set of natural balance; 3 - divide the array; 4 - secondary arch natural equilibrium

Методы определения устойчивости пролетов кровли различаются в зависимости от представления о строении пород (табл.4).

Методы расчета устойчивых пролетов обнажений кровли  
Methods of calculating spans of sustainable outcrops of the roof

Характеристики массива Features of array		Методы Methods			Основные показатели Main indicators
		На основе классической механики On the basis of classical mechanics	На основе прикладной механики On the basis of applied mechanics		
			несущий элемент кровли bearing roof element	гипотеза горного давления hypothesis of mining pressure	
Квазисплошной в гравитационном поле Quasispace in a gravitational field	Изотропный isotropic	Механика сплошной среды Continuum mechanics	Плита или балка Plate or beam	Свод давления В.Д. Слесарев, Свод обрушения М.М.Протодаьяконов, И.М. Цимбаревич, Н.М. Покровский, и др. The pressure arch V. D. Slesarev, Arch collapse M. M. Protodyakonov, I. M. Tsybarevich, N. M. Pokrovsky, etc.	Свойства пород, анизотропия, структурное ослабление, мощность несущего элемента Properties of rocks, anisotropy, structural weakening, the power of the carrier element
	анизотропный anisotropic				
Сплошной нарушенный в грави-тектоструктурном поле Solid violated in gravity-tekto-structural field	Изотропный isotropic		Плита или балка с трещинами Plate or beam with cracks	Система столбов с трещиной Posts system with crack	
	Анизотропный anisotropic				
Дискретный с грави-тектоструктурным полем With discrete gravity-tekto-structural field	изотропный или анизотропный isotropic or anisotropic	Механика дискретной среды Mechanics of discrete environment	Плита или балка Plate or beam	Зоны обрушений А.А. Борисов, Свободные консоли Г.Н. Кузнецов Zone of collapses A.A. Borisov, Free console G.N. Kuznetsov	Структурное ослабление, размеры отдельностей, прочность Structural weakening, sizes, strength

Состояние окружающей среды в районе подземных работ корректируется целенаправленным использованием природных и технологических условий эксплуатации месторождений. Затраты на сохранение земной поверхности сокращают рациональным использованием свойств пород и закономерностей системы природно- техногенной среды [17-18].

Если в ранней истории горного дела обрушение земной поверхности при добыче минерального сырья считалось неизбежным, то в новое время развитие природоохранных тенденций породило технологии с закладкой пустот сухой, гидравлической, глиняной и, наконец твердеющей смесью.

Погашение пустот твердеющей закладочной смесью характеризуется высокой стоимостью, доходящей до 2/3 себестоимости добычи, поэтому стараются применять менее затратные варианты управления массивом: обрушением вмещающих пород; изоляцией пустот; закладкой твердеющей закладочной смесью меньшей прочности и др.

Погашение обрушением вмещающих пород является исторически первым способом. Значительные потери и разубоживание, а также опасность разрушения поверхности ограничивают возможность его применения при разработке месторождений, особенно ценных руд.

Погашение изоляцией пустот перемычками без заполнения материалом применяют при отработке рудных тел, не оказывающей существенного влияния на земную поверхность. Минимальные потери и разубоживание, доступность для контроля и возможность корректировки параметров процессов делают его предпочтительным при отработке рудных тел малой и средней мощности.

Погашение твердеющей закладочной смесью применяют при разработке мощных крутопадающих рудных тел, при одновременной отработке открытым и подземным способом, а также по экологическим соображениям. В условиях трехстороннего объемного сжатия прочность закладки увеличивается, сокращая расход дефицитных компонентов при оптимальном соотношении вертикальной нагрузки и бокового подпора.

Состояние напряжений и деформаций в массиве горных пород оценивается методами разгрузки, электрометрического, гамма и акустического каротажа и др. Смещения и параметры разрушения пород измеряют визуально, маркшейдерскими и геофизическими методами.

В результате развития напряженно-деформированного состояния массива горных пород вокруг образованных пустот возникают зоны трещиноватости или нарушенности пород, характеризующихся резким снижением прочности.

В зоне нарушенных скальных пород коэффициент ослабления снижается от 0,250,35 до 0,04...0,15. Мощность зоны ослабления вокруг выработок составляет от 0,5...2,0 м до 5...10 м. Внутри зон приконтурная зона имеет величину от 0,04...1,10 до 0,10...0,15, что по сравнению с ненарушенным массивом означает уменьшение прочности от 1,5...2,5 до 2,5...6,0 раз. Вокруг пустот формируется зона неупругих деформаций, в которых протекают пластические деформации и разрушение пород, определяющие поведение массивов.

Для безопасности труда и качества добываемых руд важно, чтобы кровля выработок сохраняла плоскую форму, т. е. растягивающие и сжимающие напряжения не были критическими. Плоская форма пролета определяется способностью структурных блоков к заклиниванию в нижнем слое:

$$L_{\text{пред}} = 2d_2 \sqrt{\frac{10R_{\text{см}}}{K_2 \gamma d_1}},$$

где  $d_1$  и  $d_2$  – соответственно, горизонтальный и вертикальный размеры структурных блоков, м;  $K_2$  – коэффициент запаса.

Эта формула отличается отсутствием параметра глубины разработок:

$$L_{\text{пред}} / 2 = d_1 \left( \frac{10R_{\text{сж}}}{K \gamma H} - 1 \right),$$

где  $K$  – коэффициент запаса устойчивости свода:

$$K = \frac{20R_{\text{сж}} d_1}{(L_{\phi} + 2d_1)H},$$

где  $L_{\phi}$  – фактический пролет выработок.

При обрушении с образованием свода земная поверхность не разрушается при условии:  $H' > h_a = h_c$ , где  $H'$  – фактическая глубина верхней границы пустот от границы выветренных пород и рыхлых отложений, м.

При несоблюдении условия земная поверхность может быть сохранена закладкой пустот так, чтобы при уменьшенной высоте выработанного пространства условие обеспечивалось.

При малых размерах структурных блоков высота обрушения определяется коэффициентом разрыхления пород:

$$h_{oc} = \frac{\kappa' V'}{(K_p - 1) S_{nl}},$$

где  $h_{oc}$  – высота зоны опасных сдвижений, м;  $V'$  – объем пустот, м<sup>3</sup>;  $S_{nl}$  – площадь выработанного пространства в плане, м<sup>2</sup>;  $K_p$  – коэффициент разрыхления пород;  $\kappa'$  – коэффициент, равный 1,5.

Таблица 5 [Table 5]

Классификация способов погашения пустот [Classification of repayment options voids]

Тип [Type]	Вариант [Option]	Геомеханические условия [Geomechanical conditions]
Изоляция пустот сооружениями с предотвращением движения людей и воздушных потоков [Insulation cavities of buildings to prevent the movement of people and air flow]	Изолирующими перемычками из дерева, бетона, железо – бетона и т.п. Insulating bridges made of wood, concrete, iron – concrete, etc.	Создание плоской кровли из самозаклинившихся пород Creating a flat roof from rocks
	Породными завалами, образованными взрыванием кровли и боковых пород сокружаемыми из насыпного материала Rock rubble formed by blasting roof and sides of rocks were constructed from bulk material	
Обрушение пород The collapse of the rocks	Принудительное обрушение буровзрывными работами вместе с рудой или впоследствии на открытую камеру Forced collapse of Buro-explosive works together with the ore or subsequently, open chamber	Способность пород обрушаться без самозаклинивания
	Управляемое обрушение вместе с рудой или впоследствии на открытую камеру [Controlled collapse together with the ore or subsequently, open chamber]	
С закладкой With bookmark	Твердеющими смесями послойно или в обнаженную камеру [Hardening mixtures in layers or in naked camera]	Твердые руды и породы без ограничений Hard ores and rocks without restrictions
	Сыпучими материалами в обнаженную камеру сухими или гидравлическими Hardening of the mixture on the layers or the bare camera	
Комбинированные способы, сочетающие различные процессы Combined methods, combined processes	Перепуск пород извне вместе с рудой или на открытую камеру [Bypass rocks from outside along with the ore or the open chamber]	Выбор варианта для твердых руд и пород по преобладающему количеству признаков без ограничений The choice of option for hard ores and rocks in the prevailing number of features without restrictions
	Хвостами подземного выщелачивания без разделения или с разделением на этажи, с разделением искусственными массивами Tails leaching without separation or division into floors, with the division of artificial arrays	
	Сочетание способов изоляции и закладки твердеющими смесями: пустоты в массивах или искусственные массивы в пустотах The combination of methods of isolation and bookmarks hardening mixtures: the void in arrays or arrays in artificial cavities	
	Сочетание способов с закладкой и хвостами ПВ без разделения по восстанию, с разделением искусственными массивами The combination of modes with the tab and tails of PV without separation by rebellion, division artificial arrays	

Анализ практики погашения пустот показывает:

- погашение обрушением пород утрачивает свои позиции в связи с развитием природо-сберегающих тенденций;
- погашение изоляцией применяют в качестве вспомогательного способа в качестве субъекта комбинирования технологий;
- область применения погашения закладкой твердеющими смесями ограничивается дефицитом вяжущих и качественных заполнителей;
- степень оптимальности технологий погашения определяется полнотой знаний о закономерностях управления массивами на геомеханической основе.

Если в качестве критерия эффективности погашения принимать себестоимость погашения в расчете на 1 м<sup>3</sup> погашенных пустот, наиболее выгодным представляется обрушение пород с разрушением земной поверхности. Обрушение связано с разрушением массива и земной поверхности, потерей и снижением качества сырья. Действительная ценность отвлекаемых у сельского хозяйства земель не адекватна стоимости, которая выплачивается в качестве компенсации. Стоимость металлов изменяется с конъюнктурой, особенно стратегических, энергетических и редкоземельных.

Поэтому в качестве критерия оптимальности погашения ранее существовавший показатель целесообразно дополнить величиной наносимого горными работами ущерба окружающей среде и затрат на реабилитацию живого вещества в зоне влияния горных предприятий.

Способы управления массивом погашением типизированы нами по принципу состояния выработанного пространства после погашения, что отличает предложенную классификацию от известных классификаций систем разработок по состоянию во время очистной выемки (табл. 5).

Перспективы освоения рудных месторождений состоят в создании единого проекта добычи запасов открытыми, подземными и специальными способами добычи, взаимосвязанными во времени и пространстве и оптимизированными по эколого-экономическим критериям. Целью такого проекта становится не только прибыль от извлечения запасов месторождения, но и применения таких технологий управления массивом, чтобы совокупный доход от освоения месторождения был максимальным.

Технико-экономическая и эколого-социальная эффективность технологий определяется успехом регулирования уровня напряжений и вовлечения в производство новых материалов для приготовления закладочных смесей [19-20].

Проблемы эффективной разработки месторождений полезных включают в себя повышение полноты освоения недр и рациональное использование подземного пространства. Прирост добычи минералов не должен увеличивать объемов извлекаемой на поверхность горнорудной массы, поэтому наиболее перспективны способы выщелачивания металлов из руд в подземных условиях.

### **Выводы**

1. Геомеханическая сбалансированность дискретных породных сред обеспечивается за счет остаточной несущей способности природно и технологически разрушенных пород и корректируется технологией разработки.

2. Задача профилактики критических напряжений и соответствующих им деформаций решается разделением шахтного поля на геомеханически сбалансированные участки с плоской кровлей, в пределах которых могут быть применены минимизированные по затратам технологии.

3. Критерий оптимальности погашения целесообразно дополнить величиной компенсации наносимого горными работами ущерба окружающей среде.

© Разоренов Ю.И., Дзеранов Б.В. 2017

## Список литературы

1. Шестаков В.А., Разоренов Ю.И., Габараев О.З. Управление качеством продукции на горных предприятиях. – Рекомендовано УМО по горному образованию Минобрнауки РФ в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 090200 / Новочеркасск, 2001, 262 с.
2. Шестаков В.А., Белодедов А.А., Шаляпин В.Н., Твердохлебов В.Д., Разоренов Ю.И. Способ разработки крутопадающих рудных залежей малой и средней мощности системой поэтажного обрушения с гибкими разделяющими перекрытиями. – Патент на изобретение RUS 2301334 28.12.2004.
3. Голик В.И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. – Москва, ИНФРА – М, 2014. Сер. Высшее образование: Бакалавриат, 192 с.
4. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology // Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2012. P. 77—83.
5. Воробьев А.Е., Разоренов Ю.И., Игнатов В.Н., Джимиева Р.Б. Инновационные геотехнологии разработки месторождений горючего сланца и высоковязкой нефти: Учебное пособие для магистрантов, обучающихся по горно-геологическим и нефтяным специальностям. – Новочеркасск, 2008, 214 с.
6. Разоренов Ю.И., Голик В.И., Куликов М.М. Экономика и менеджмент горной промышленности: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по горно-геологическим специальностям; Минобрнауки РФ, Южно-Российский гос. технический ун-т (Новочеркасский политехнический ин-т). Новочеркасск, 2010, 251 с.
7. Вагин В.С., Голик В.И. Проблемы использования природных ресурсов южного федерального округа: Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки 650100 "Приклад. геология", Владикавказ, 2005, 192 с.
8. Каплунов Д.Р., Рьельникова М.В. Развитие теории проектирования и реализация идей комплексного освоения недр// Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 4. С. 20—41.
9. Голик В.И. Специальные способы разработки месторождений. – Москва, 2014. Сер. Высшее образование: Бакалавриат, 132 с.
10. Ляшенко В.И. Научно-технические предпосылки повышения экологической безопасности в горнодобывающем регионе// ОАО «Черметинформация». Черная металлургия. 2015. № 1. С. 21—30.
11. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. . – М., Наука, 1975.
12. Пагиев К.Х., Голик В.И., Габараев О.З. Научное пособие по технологии добычи и переработки руд. – Владикавказ: Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), 1998, 571 с.
13. Голик В.И., Полухин О.Н., Петин А.Н., Комащенко В.И. Экологические проблемы разработки рудных месторождений КМА// Горный журнал. 2013. № 4. С. 91—94.
14. Parker H.M. Reconciliation principles for the mining industry // Mining Techn. – 2012. –Vol. 121(3). P. 160—176.
15. Ляшенко В.И., Голик В.И. Научные основы геомеханического мониторинга состояния горного массива при подземной разработке месторождений сложной структуры // Цветная металлургия. 2004. № 10. С. 2.
16. Исмаилов Т.Т., Голик В.И., Дольников Е.Б. Специальные способы разработки месторождений полезных ископаемых: Уч. для студентов и аспирантов вузов, обучающихся по горно-геологическим специальностям по направлению подготовки "Технологии геологической разведки". – М., 2006. Сер. Высшее горное образование, 331 с.
17. Маслобоев В.А., Селезнев С.Г., Макаров Д.В., Светлов А.В. Оценка экологической опасности хранения отходов добычи и переработки медно-никелевых руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 4. С. 138—153.
18. Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологиям подземной разработки месторождений КМА - надежную сырьевую основу// Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101—114.
19. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgaty L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // The Social Sciences. 2015. Vol. 10. No 6. P. 750—754.

20. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development // Metallurgical and Mining Industry. 2015. Vol. 7. No 5. P. 401—405.

Поступила в редакцию 2 мая 2017 г. Прошла рецензирование 11 июля 2017 г.  
Принята к публикации 29 августа 2017 г.

**Об авторах:**

РАЗОРЕНОВ ЮРИЙ ИВАНОВИЧ, доктор технических наук, профессор, ректор, Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГТИ). Научные интересы: разработка месторождений полезных ископаемых, экономико-математические модели, оценка эффективности, проектирование, добыча, способы разработки, Владикавказ, 362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, info@skgti-gti.ru

ДЗЕРАНОВ БОРИС ВИТАЛИЕВИЧ, кандидат геолого-минералогических наук, ассистент кафедры «Прикладная геология», Северо-Кавказский горно-металлургический институт (СКГТИ). Научные интересы: геотектоника, оценка сейсмической опасности, детальное сейсмическое районирование, Владикавказ, 362021, Россия, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44, dzboris@gmail.com

**Для цитирования:** Разоренов Ю.И., Дзеранов Б.В. Параметры породных конструкций при подземной добыче руд // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – № 6. – С. 55—67. Doi: 10.22363/1815-5235-2017-6-55-67.

References

1. Shestakov, V.A., Razorenov, Yu.I., Gabaraev, O.Z. (2001). *Upravlenie kachestvom produktsii na gornyyh predpriyatiyah [Management of the Quality of Products at Mining Enterprises]*. Novocherkassk. 262 p. (In Russ.)
2. Shestakov, V.A., Belodedov, A.A., Shalyapin, V.N., Tverdohlebov, V.D., Razorenov, Yu.I. (2004). *Sposob razrabotki krutopadayushchih rudnyh zalezhej maloj i srednej moshchnosti sistemoy podehtazhnogo obrusheniya s gibkimi razdelyayushchimi perekrytiyami [Method for the Development of Steeply Falling Ore Deposits of Low and Medium Power By a Sub-Floor Collapse System With Flexible Separation Overlaps]*. Patent na izobretenie RUS 2301334 28.12.2004.
3. Golik, V.I. (2014). *Prirodoohrannyye tekhnologii razrabotki rudnyh mestorozhdenij [Environmental Technologies For the Development of Ore Deposits]*. Moskva, INFRA. 192 p. (In Russ.)
4. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye (2012). *Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology. Advances in Computer Science and Engineering*. AISC 141. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg. P. 77—83.
5. Vorob'ev, A.E., Razorenov, Yu.I., Ignatov, V.N., Dzhimieva, R.B. (2008). *Innovacionnyye geotekhnologii razrabotki mestorozhdenij goryuchego slanca i vysokovyazkoj nefiti [Innovative Geotechnologies For the Development of Oil Shale and High-Viscosity Oil Fields]*. 214 p. (In Russ.)
6. Razorenov, Yu.I., Golik, V.I., Kulikov, M.M. (2010). *Ekonomika i menedzhment gornoj promyshlennosti [Economy and Management of Mining Industry]*. Yuzhno-Rossiyskiy gos. tekhnicheskij un-t (Novocherkasskiy politekhnicheskij in-t). Novocherkassk. 251 p. (In Russ.)
7. Vagin, V.S., Golik, V.I. (2005). *Problemy ispol'zovaniya prirodnyh resursov yuzhnogo federal'nogo okruga [Problems in the Use of Natural Resources of the Southern Federal District]*. Vladikavkaz. 192 p. (In Russ.)
8. Kaplunov, D.R., Ryl'nikova, M.V. (2008). *Razvitie teorii proektirovaniya i realizatsiya idej kompleksnogo osvoeniya nedr [Development of the Theory of Design and Implementation of Ideas for the Integrated Development of Mineral Resources]*. *Gorniy Informtziionno-Analitcheskij Bulletin*. No 4. P. 20—41. (In Russ.)
9. Golik, V.I. (2014). *Special'nye sposoby razrabotki mestorozhdenij [Special Methods for Development of Mineral Deposits]*. Moscow, 132 p. (In Russ.)
10. Lyashenko, V.I. (2015). *Scientific and Technical Prerequisites for Improving Environmental Safety in the Mining Region. OAO «Chermetinformatsiya». Chernaya metallurgiya*, No 1. P. 21—30. (In Russ.)
11. Vetrov, S.V. (1975). *Dopustimyye razmery obnazhenij gornyyh porod pri podzemnoj razrabotke rud [Allowable Sizes of Outcrops of Rocks in Underground Mining of Ores]*. Moscow: Nauka. (In Russ.)
12. Pagiev, K.H., Golik, V.I., Gabaraev, O.Z. (1998). *Naukoemkie tekhnologii dobychi i pererabotki rud [High-tech technologies for production and processing of ores]*. Vladikavkaz: Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut (Gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet). 571 p. (In Russ.)
13. Golik, V.I., Poluhin, O.N., Petin, A.N., Komashchenko, V.I. (2013). *Ecological problems of development of ore deposits of KMA. Gornyy Zhurnal*. No 4. P. 91—94. (In Russ.)
14. Parker, H.M. (2012). *Reconciliation principles for the mining industry. Mining Techn.*, Vol. 121(3). P. 160—176.

15. Lyashenko, V.I., Golik, V.I. (2004). Scientific Bases of Geomechanical Monitoring of the State of the Rock Mass in Underground Deposits of Complex Structure. *Cvetnaya metallurgiya*, No 10. P. 2. (In Russ.)
16. Ismailov, T.T., Golik, V.I., Dol'nikov, E.B. (2006). *Special'nye sposoby razrabotki mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh [Special Methods of Field Development]*. Moscow, Ser. Vyshee gornoe obrazovanie, 331 p. (In Russ.)
17. Masloboev, V.A., Seleznev S.G., Makarov D.V., Svetlov A.V. (2014). Assessment of Environmental Hazard from Storage of Production and Processing Wastes of Copper-Nickel Ores. *Fiziko-tekhicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. No 4. P. 138—153. (In Russ.)
18. Komashchenko, V.I., Vasil'ev, P.V., Maslennikov, S.A. (2016). The Reliable Raw Material Base to the Technology of Underground Mining of KMA Deposits. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. No 2. P. 101—114. (In Russ.)
19. Golik, V.I., Khasheva, Z.M., Shulgatyi, L.P. (2015). Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste. *The Social Sciences (Pakistan)*, Vol. 10. No 6. P. 750—754.
20. Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V., Khasheva, Z. (2015). The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*, Vol. 7. No 5. P. 401—405.

## PARAMETERS OF ROCK STRUCTURES FOR UNDERGROUND ORE MINING

YU.I. RAZORENOV, B.V. DZERANOV

*North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (STU), Vladikavkaz, Russia*

The concept of preservation of the earth's surface from destruction is realized in the present work through regulating the stresses by coordinating the processes of excavating the ore in time and space according to the criterion of stress minimization. Justification of technological solutions that ensure the preservation of the massif and the earth's surface above it due to the phenomenon of residual strength of disturbed rocks is the purpose of the article. The goal is achieved through analysis of mining practices, established behavior patterns of massifs with a discrete gravity-tectonic structural stress field and methods to ensure their stability by creating conditions for locking rocks within the dome of natural equilibrium. It is shown that the geomechanical balance of discrete rock structure is provided due to the residual bearing capacity of naturally and technologically depleted rocks. A solution is proposed for the prevention of critical stresses and their corresponding deformations by dividing the mine field into areas with a flat roofing, within which cost-minimized technologies can be applied. It is recommended to supplement the criterion of repayment optimality with the amount of compensation for damage to the environment. The typification of the mines depending on stability and disturbance of massifs is given. The condition of the solidity of the massif at various stages of existence is formulated - the condition of the geomechanical balance of the geomechanical system. The workings can be typified according to the stability, depending on the size of the structural blocks of rocks in the roof. The new classification of backfilling technologies with taking into account the phenomenon of rock blocks locking is proposed. Due to the residual bearing capacity of naturally and technologically depleted rocks, under underground mining of deposits there are rock constructions whose properties are corrected by dividing the mine field into geomechanically balanced sections with flat roofing.

**KEYWORDS:** Geomechanics, rock, bearing capacity, stresses, deformations, flat roofing, technology of underground ore mining.

**Article history:** Received: May 2, 2017. Revised: July 11, 2017. Accepted: August 29, 2017.

### **About the authors:**

*RAZORENOV YURIY IVANOVITICH, doctor of technical sciences, professor, rector, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (STU). Scientific interests: development of mineral deposits, economic and mathematical models, efficiency evaluation, design, mining, development methods, Vladikavkaz, 362021, Russia, Vladikavkaz, Nikolaeva str. 44, info@skgmi-gtu.ru*

*DZERANOV BORIS VITALIEVITICH, candidate of geological and mineralogical sciences, associate professor, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (STU). Scientific interests: geotectonics, seismic hazard assessment, detailed seismic zoning, Vladikavkaz, 362021, Russia, Vladikavkaz, Nikolaeva str. 44, dzboris@gmail.com*

### **For citation:**

Razorenov Yu.I., Dzeranov B.V. (2017) Parameters of Rock Structures for Underground Ore Mining // *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. No 6. 55—67.  
Doi: 10.22363/1815-5235-2017-6-55-67. (In Russ.)