



DOI 10.22363/2312-8143-2019-20-2-193-203

УДК 504.55.054:622(470.6)

Научная статья

## Использование остаточной прочности пород в несущих конструкциях при подземной добыче руд

**В.И. Голик**

Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, *Российская Федерация, 362002, Владикавказ, ул. Маркова, 93а*  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
*Российская Федерация, 362021, Владикавказ, ул. Николаева, 44*

**Ю.В. Дмитрак, О.З. Габараев**

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
*Российская Федерация, 362021, Владикавказ, ул. Николаева, 44*

**Ю.И. Разоренов**

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова,  
*Российская Федерация, 346428, Новочеркасск, ул. Просвещения, 132*

### История статьи:

Поступила в редакцию: 11 марта 2019

Доработана: 06 мая 2019

Принята к публикации: 21 мая 2019

### Ключевые слова:

массив; напряжения; прочность; порода; подземная разработка; качество; безопасность

Актуальность исследования объясняется необходимостью совершенствования технологических процессов, вызванной усложнением условий разработки рудных месторождений, увеличением глубины разработки, применением мощной техники и возрастанием напряжений в массивах рудовмещающих пород. Необходимость минимизации риска в горных разработках требует разработки и использования инструментария управления массивом. Целью настоящего исследования является систематизация теоретических и практических сведений об использовании остаточной несущей способности разрушенных пород в процессе подземной разработки месторождений для совершенствования применяемых методов управления геомеханикой рудовмещающих массивов. Комплекс исследований включает в себя аналитические, натурные, лабораторные и теоретические методы, которые применяются для выявления феномена использования остаточной несущей способности разрушенных пород. Для достижения поставленной цели систематизированы сведения об использовании несущих перекрытий из нетронутых и разрушенных руд и пород, а также других материалов. Дана краткая характеристика научного обеспечения горнотехнических задач. Охарактеризован феномен использования остаточной несущей способности нарушенных пород в составе возникающих в горном массиве конструкций. Проведен критический анализ концепций управления массивом. Рассмотрены альтернативные варианты создания конструкций с целью решения задач снижения риска для здоровья работающих и повышения качества руд. Представлена новая типизация конструкций с использованием остаточной прочности разрушенных пород. Доказано, что при подземной разработке месторождений существует возможность реализовать остаточную несущую способность разрушенных пород для создания конструкций с заданными свойствами, что способствует решению задач охраны труда и повышения качества руд.

*Голик Владимир Иванович* – главный научный сотрудник ГФИ ВНЦ РАН; профессор кафедры горного дела СКГМИ (ГТУ), доктор технических наук, профессор; v.i.golik@mail.ru

*Дмитрак Юрий Витальевич* – ректор СКГМИ (ГТУ), доктор технических наук, профессор.

*Габараев Олег Знаурович* – заведующий кафедрой горного дела СКГМИ (ГТУ), доктор технических наук, профессор.

*Разоренов Юрий Иванович* – исполняющий обязанности ректора ЮРГПУ (НПИ), доктор технических наук, профессор.

© Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Разоренов Ю.И., 2019

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0

International License

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## Введение

Безопасность горных работ и качество добываемого минерального сырья зависят от рационального использования свойств разрабатываемого рудовмещающего массива при использовании расчетов на основе геодинамической ситуации [1–3].

Устойчивость выработок горного комплекса обеспечивается регулированием состояния структурных минеральных отдельностей в зонах влияния выработанного пространства на рудовмещающий массив.

Большинство рудных месторождений локализируются в анизотропных скальных массивах сложной структуры, поэтому управление ими с использованием геомеханических факторов особенностей проявления горного давления и методов строительной механики формирует важную научную и практическую задачу.

История разработки месторождения подземным способом представляет собой управляемое создание несущих и разделяющих конструкций на основе использования остаточной несущей способности разрушенных пород.

Целью настоящего исследования является систематизация сведений о теории и практике использования остаточной несущей способности разрушенных пород в процессе подземной разработки рудных месторождений в условиях ураново-добывающих предприятий Северного Казахстана на месторождениях Восток, Маньбай, Ишимское, Заозерное.

## 1. Методы исследования

При исследовании технологий управления скальными массивами используют системный подход, включающий в себя комплекс исследований: аналитические (по литературным данным), натурные (маркшейдерские съемки, измерение напряжений и деформаций), лабораторные (моделирование на материалах) и теоретические (метод конечных элементов, термодинамический, энергетический и др.).

Учитывая уникальность каждого месторождения, приоритетом пользуются методы с экспериментальным подтверждением расчетных параметров. Применяемые технологии типизируются по признаку использования остаточной несущей способности разрушенных пород.

Диапазон исследований данного направления включает в себя расчеты строительных конструк-

ций, динамику конструкций и сооружений, аналитические и численные методы расчета конструкций, расчеты на устойчивость.

## 2. Результаты

В общем случае с увеличением глубины разработки рудных месторождений напряжения в массивах рудовмещающих пород возрастают. Недооценка горного давления приводит к разрушению массивов вплоть до выхода на дневную поверхность с катастрофическими последствиями.

Местом зарождения и развития негативных явлений являются очистные выработки, характеризующиеся большими размерами и объемами пустот. Инструментарий управления массивом включает в себя обрушение вмещающих пород, оставление пустот без заполнения и заполнение материалом чаще всего твердеющей закладочной смесью. Методы управления горным давлением сводятся к использованию прочности несущих перекрытий из нетронутых и разрушенных руд и пород.

Обрушение вмещающих пород получает приоритетное развитие вследствие высокой степени механизации и меньших затрат. Его недостатки особенно заметны при глубине работ от 500 м: трудность управления процессом обрушения, повышенные потери, разубоживание и потенциально возможное разрушение массива вплоть до дневной поверхности.

Оставление очистных выработок без заполнения материалом применяют при отработке рудных тел, не оказывающих влияния на земную поверхность.

Лучшие показатели эксплуатации недр обеспечивает заполнение пустот твердеющей закладочной смесью. Для снижения стоимости смесей и расширения диапазона их применения закладку приготавливают с заменой товарных компонентов альтернативными доступными материалами. Ограниченное применение имеют перекрытия из неминеральных материалов – дерева, металла и т.п.

Решению горнотехнических задач посвящены труды М.И. Агошкова, Д.М. Бронникова, В.Р. Именитова, В.А. Шестакова и других исследователей. Особенности поведения массивов при техногенном вмешательстве исследованы в работах В.Д. Слесарева, С.В. Ветрова, К.В. Руппштейта, С.Г. Авершина и др.

В настоящее время большинство методов решения горно-геологических задач основывается на том, что в дискретном массиве пород форми-

руется гравитационно-тектонически-структурное поле напряжений (см., например, работы А.А. Борисова, Г.Н. Кузнецова, С.В. Ветрова). Дискретность массива предполагает механическое взаимодействие структурных элементарных блоков, чем объясняется феномен остаточной несущей способности нарушенных пород [4–5]. Этот феномен ежедневно подтверждается горной практикой в виде образования в выпускных устройствах рудных кусков. Склонность к самозаклиниванию отдельностей увеличивается при увеличении их размеров.

Заклинивание соседних элементарных отдельностей происходит за счет прижатия их по боковым граням. Смещаясь вниз, соседствующие отдельности прижимаются друг к другу с раскрытием в нижней части вертикального контакта и сжатием в верхней части. В контактной зоне прижатия возникают напряжения. Если они не превышают предела прочности пород при сжатии, то возникает возможность проявления остаточной несущей способности нарушенных пород, и образовавшаяся породная конструкция обеспечивает безопасный режим работы.

В противном случае временная породная конструкция разрушается до тех пор, пока не возникают новые условия для заклинивания, поэтому при разработке таких месторождений устойчивость рудовмещающих массивов и земной поверхности над ними обеспечивается путем компенсационного заполнения технологических пустот материалами. Поскольку дискретные материалы допускают усадку, а при подработке смещаются в сторону подработки, закладка ими не гарантирует успех. Надежное сохранение безопасных условий разработки обеспечивается при заполнении пустот твердеющими закладочными смесями.

Обоснованию параметров такой технологии посвящены труды Д.М. Бронникова, М.И. Цыганова, Л.А. Крупника, А.П. Требукова и др. Стремление обеспечить надежное управление горным давлением, кроме проблемы повысить безопасность труда, объясняется желанием уменьшить объем при매шивания к руде пустых пород. Поэтому целью управления состоянием массива является уменьшение высоты свода естественного равновесия.

М.М. Протоdjаконов доказал, что в соответствующих условиях в выработку обрушиться могут только породы, заключенные в пределах свода, то есть оптимальным является сохранение плоской формы кровли.

Последующие исследования уточняли возможности достижения плоской кровли при самозаклинивании структурных блоков. Предлагаемые теории различались представлениями о сущности кровли.

В.Д. Слесарев представлял породную конструкцию как балку, А.А. Борисов – как слой пород, а С.В. Ветров – как нижний ряд заклинившихся отдельностей. От позиционирования объекта исследования зависит выбор метода определения геомеханических параметров (табл. 1).

Общим для всех методов является определение безопасности выработки как равенства между механической прочностью нижнего ряда элементов перекрытия и нагрузкой породами в ее пределах.

Сохранение рудовмещающих массивов обеспечивается регулированием уровня технологических напряжений на участках месторождения, увязкой процессов выемки руды во времени и пространстве и степени ее подготовленности к добыче, учетом геодинамических условий. В скальных породах на контуре горных выработок ослабленность пород уменьшается. В зоне нарушенных пород коэффициент ослабления снижается 0,25 до 0,04. Мощность зоны ослабления вокруг выработок составляет от 0,5 до 10 м. Внутри зон выделяется приконтурная зона, в пределах которой прочность уменьшается в 1,5–6,0 раз. Вокруг пустот формируется зона неупругих деформаций, в которых протекают пластические деформации и разрушение пород. Эти характеристики определяют поведение массивов при разработке месторождений.

Анализ научно-практического опыта погашения пустот при разработке рудных месторождений позволяет резюмировать, что [6–8]:

- условием эффективности управления горными массивами является геомеханическая сбалансированность напряженно-деформированных дискретных сред;

- перспективные способы управления массивами связаны с использованием остаточной несущей способности структурных отдельностей.

Устойчивость выработок обеспечивается, если в породах кровли возникает трехшарнирная арка (рис. 1).

Арка устойчива, если кровля не нарушена поперечными разломами и трещинами. Устойчивость выработок зависит от соотношения горизонтальных и вертикальных размеров структурных блоков. Потеря несущей способности несущего слоя пород наступает при скалывании боковых граней структурных блоков.

Методы расчета геомеханических параметров  
 [Table 1. Methods for calculating geomechanical parameters]

Характеристика массива [Array characteristic]	Методы [Methods]		
	Геомеханические (классическая механика) [Geomechanical (classical mechanics)]	Инженерные (строительная механика, сопротивление материалов и т.п.) [Engineering (building mechanics, resistance of materials, etc.)]	
		Несущий элемент [Carrier element]	Научные гипотезы [Scientific hypotheses]
Квазисплошной с гравитационным полем напряжений [Quasi-continuous with a gravitational stress field]	Механика сплошной среды, вероятностно-статистические методы [Continuum mechanics, probabilistic statistical methods]	Несущая способность материала кровли [The bearing capacity of the roofing material]	Своды давления (В.Д. Слесарев), своды обрушения (М.М. Протодьяконов, И.М. Цимбаревич, Н.М. Покровский и др.) [Pressure vaults (V.D. Slesarev), mordias vaults (M.M. Protodyakonov, I.M. Tsimbarevich, N.M. Pokrovsky et al.)]
Квазисплошной с гравитационно-тектоническо-структурным полем [Quasi-continuous with a gravitational-tectonic-structural field]		Плита или балка в кровле [Slab or beam in the roof]	
		Несущая способность тектонически нарушенных пород [The bearing capacity of tectonically disturbed rocks]	
Дискретный с гравитационно-тектоническо-структурным полем [Discrete with a gravitational-tectonic-structural field]	Механика дискретной среды, вероятностно-статистические методы [Discrete medium mechanics, probabilistic-statistical methods]	Плита или балка с трещиной [Slab or beam with crack]	Зоны обрушений (А.А. Борисов), свободные консоли (Г.Н. Кузнецов) [Collapse zones (A.A. Borisov), free consoles (G.N. Kuznetsov)]
		Плита или балка [Slab or beam]	
		Трехшарнирная арка с блочной структурой [Three-hinged arch with block structure]	Свод равновесия (С.В. Ветров) [Balance of equilibrium (S.V. Vetrov)]

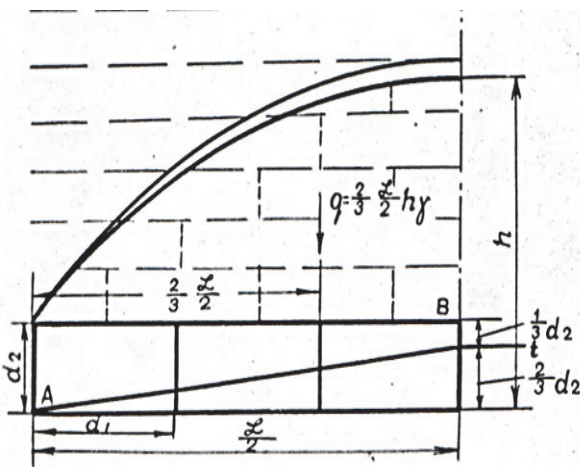


Рис. 1. Схема образования жесткой шарнирной арки:  
 $d_1$  и  $d_2$  – горизонтальный и вертикальный размеры  
 структурных блоков

[Figure 1. Scheme of formation of a rigid articulated arch:  
 $d_1$  and  $d_2$  – horizontal and vertical dimensions of structural blocks]

Устойчивость конструкций заклинившихся пород в кровле выработок определяется величиной их эквивалентных пролетов. Критерием устойчивости плоской кровли является условие:

$$L_{\phi} \leq L_{\pi},$$

где  $L_{\phi}$  – фактической эквивалентный пролет кровли выработки, м;  $L_{\pi}$  – предельно допустимый эквивалентный пролет обнажения плоской кровли, м.

Если по условию устойчивости кровли отработка рудного тела сплошным забоем затруднительна, оно делится на отдельные участки, размеры каждого из которых удовлетворяют условию.

Критерием безопасности погашения выработанного пространства является область его опасного влияния – часть массива пород, где над выработками возможно развитие опасных напряжений и деформаций. Если в зону опасного влияния попадают поверхностные сооружения, эксплуатируемые горные выработки и подлежащие отработке рудные тела, выработанное пространство погашается закладкой.

При увеличении ширины горной выработки с плоской кровлей до предельного значения породы кровли обрушаются. Над выработкой образуется параболический свод – свод естественного равновесия, дальше которого обрушение не развивается. Пролет бесконечной длины вы-

работки, высота свода естественного равновесия и инженерно-геологические характеристики массива взаимосвязаны:

$$\left( \frac{2 R_{сж} k_o d_1 h_{св}}{\gamma g (2H - h_{св})} \right)^2 = h_{св}^2 \left( \frac{l}{2} \right)^2 + \left( \frac{l}{2} \right)^4,$$

где  $d_1$  – горизонтальный размер структурного блока, м;  $R_{сж}$  – прочность горных пород на сжатие, Па;  $k_o$  – коэффициент структурного ослабления пород;  $h_{св}$  – высота свода естественного равновесия, м;  $\gamma$  – плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения;  $H$  – глубина залегания выработки, м;  $l$  – пролет выработки бесконечной длины, м.

Связь между максимально допустимым пролетом плоской кровли бесконечной длины выработки, высотой соответствующего этой выработке свода естественного равновесия и инженерно-геологическими характеристиками пород описывается выражением

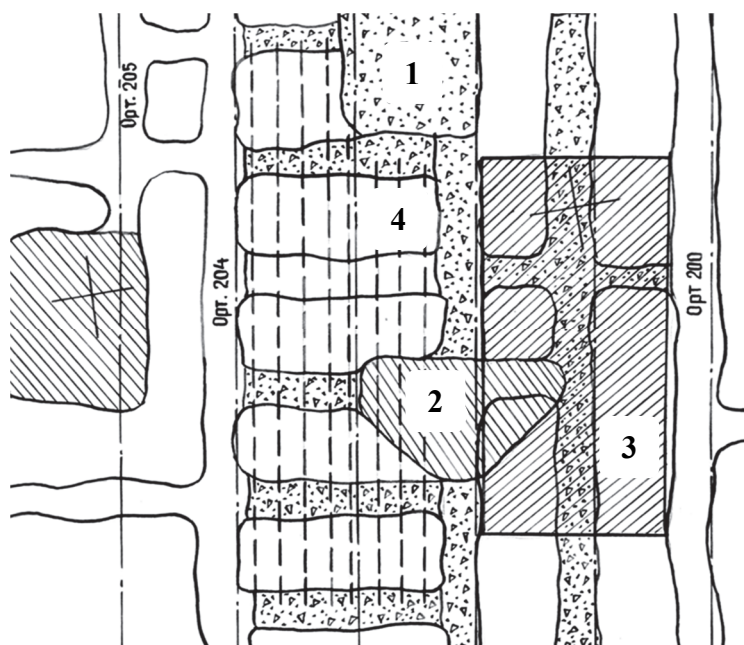
$$\left( \frac{3 R_{сж} k_o d_2^2}{2 k_3 \gamma h_{св} g} \right)^2 = d_2^2 \left( \frac{L^o}{2} \right)^2 + \left( \frac{L^o}{2} \right)^4,$$

где  $R_{сж}$  – прочность горных пород на сжатие, Па;  $k_o$  – коэффициент структурного ослабления пород;  $d_2^2$  – вертикальный размер структурного блока, м;  $\gamma$  – плотность горных пород, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h_{св}$  – высота свода естественного равновесия, м;  $L^o$  – предельно допустимый пролет плоской кровли.

Оценка технологий с точки зрения учета геомеханической ситуации позволяет как сократить расходы на содержание выработок, так и минимизировать риск эксплуатации ответственных объектов, к которым относятся транспортные тоннели.

Одним из направлений повышения качества добываемого минерального сырья и снижения опасности подземных горных работ является использование искусственных потолочин, создаваемых в процессах инъецирования пород, строительства сплошной несущей и «облегченной» потолочины, а также упрочнения замагазинированной руды цементным раствором [9–12] (рис. 2).

Сплошная несущая потолочина сооружается в ходе выемки руд системой горизонтальных слоев с закладкой твердеющими смесями. Нагрузка пород на нее составляет около 80 % – на участке активного сдвижения, 60 % – на участке пассивного сдвижения, а высота зон сдвижения не превышает 30 м.



**Рис. 2.** Искусственная потолочина:

1 – твердеющие смеси; 2 – инъецированные породы;

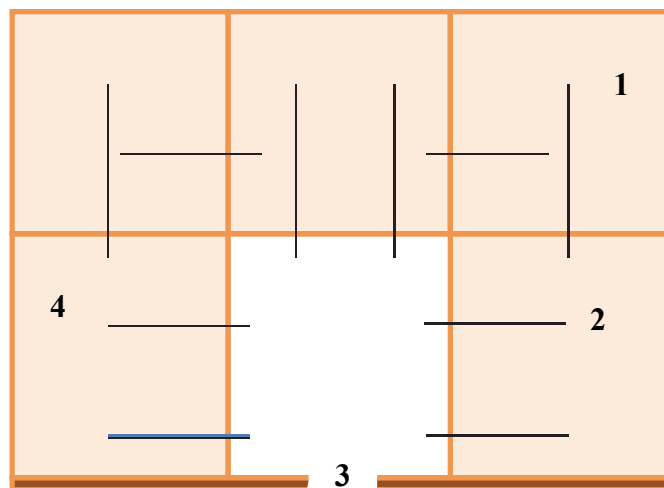
3 – сплошная железобетонная потолочина; 4 – облегченная потолочина с железобетонными штангами

[Figure 2. Artificial ceiling:

1 – hardening mixtures; 2 – injected rocks; 3 – solid reinforced concrete ceiling; 4 – lightweight ceiling with reinforced concrete rods]

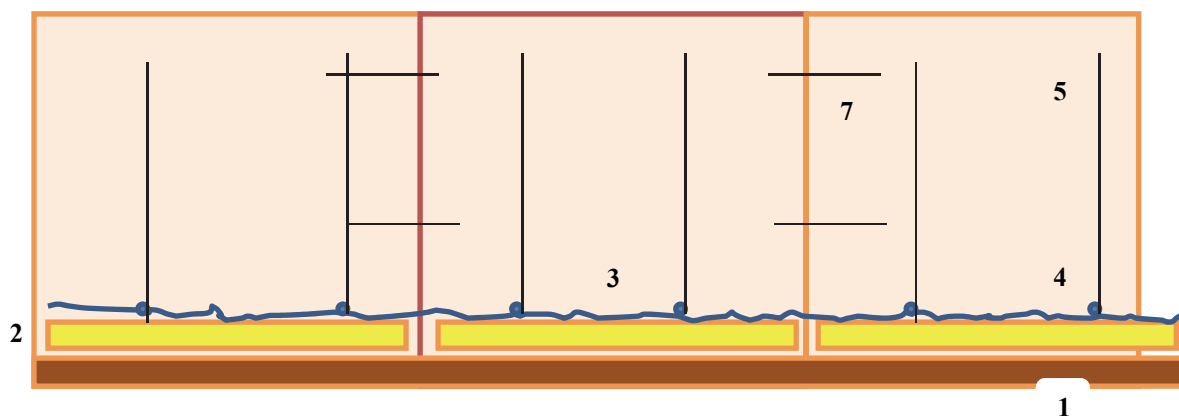
Искусственная потолочина представляет собой плиту, жестко защемленную во вмещающих породах и предельно нагруженную возле опор и в середине пролета.

Породно-бетонная потолочина создается путем инъектирования пород цементным раствором по скважинам (рис. 3). Потолочина с арматурой усиливает несущие функции за счет арматуры (рис. 4).



**Рис. 3.** Конструкция искусственной потолочины без армирования:  
1 – вертикально расположенные анкеры; 2 – горизонтально расположенные анкеры;  
3 – породная подушка; 4 – заложённая очистная выработка

**[Figure 3.** Construction of an artificial ceiling without reinforcement:  
1 – vertically arranged anchors; 2 – horizontal anchors; 3 – pedal pillow; 4 – pledged clearing generation]



**Рис. 4.** Искусственная потолочина с несущей арматурой:  
1 – породная подушка; 2 – лежень; 3 – сетка; 4 – горизонтальные анкеры; 5 – вертикальные анкеры; 7 – железобетонные анкеры

**[Figure 4.** Artificial ceiling with supporting fittings:  
1 – rock pillow; 2 – bed; 3 – grid; 4 – horizontal anchors; 5 – vertical anchors; 7 – reinforced anchors]

При варианте подачи твердеющих смесей на отбитую руду конструкция создается секциями длиной до 12 м. Сначала подается порция закладки с повышенным содержанием цемента ( $300 \text{ кг/км}^3$ ) и минимальным количеством воды для образования на поверхности замагнированной руды цементной корки, препятствующей проникновению цементного раствора в руду. Затем в потолочину ук-

ладывается основной объем твердеющей смеси. Работы под искусственной потолочиной начинают после набора бетоном прочности 6,0 МПа.

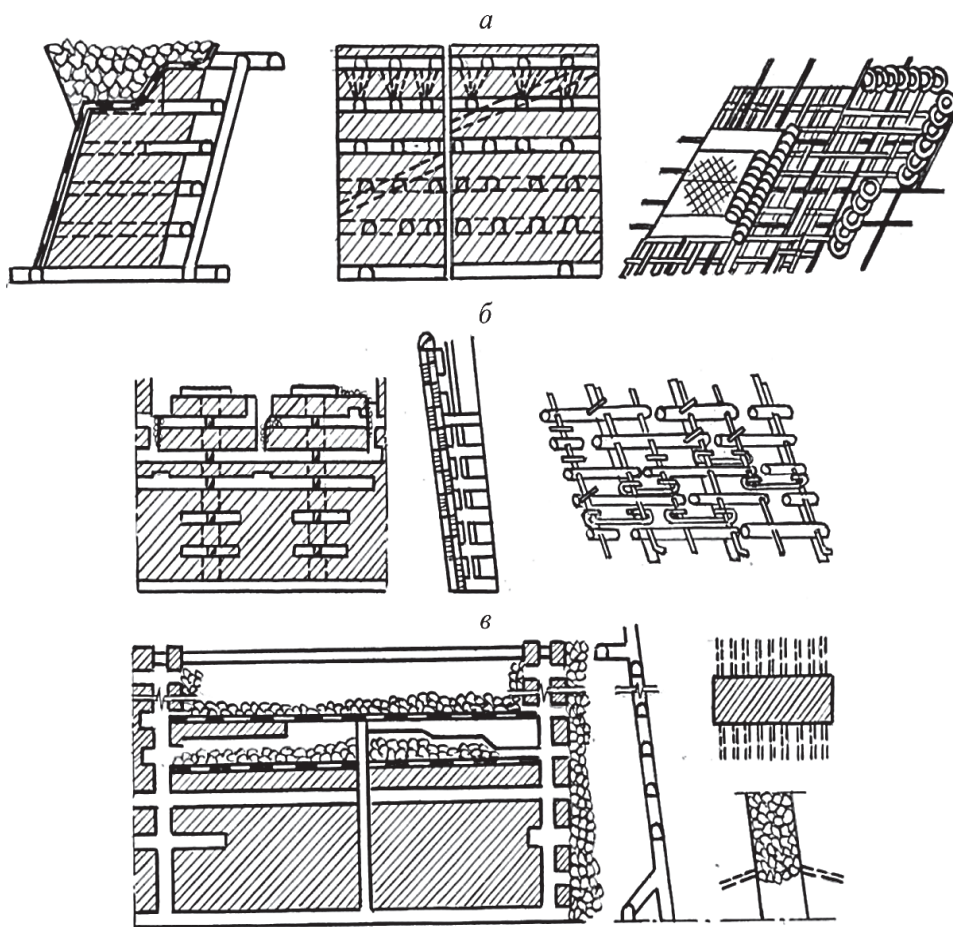
Безопасность труда и качество добываемых руд улучшают путем разделения рудных и породных потоков. Первая попытка подэтажного обрушения с применением перекрытия из крепежного леса не нашла широкого применения (рис. 5).

На рудниках второй половины прошлого века использовали перекрытия с различными несущими элементами из изношенных автомобильных

покрышек (Хромтау, Казахстан), деревянных «чуряков», тросов и металлических лент (Шантобе, Казахстан) (рис. 6).



**Рис. 5.** Добыча с обрушением под деревянным перекрытием  
 [Figure 5. Mining with caving under hardwood floor]



**Рис. 6.** Конструкции перекрытий:  
 а – канатно-металлическая; б – дерево-канатная; в – вантовая  
 [Figure 6. The structure of the floor:  
 а – cable-metal; б – tree-rope; в – cable stayed]

**Типизация конструкций с использованием остаточной прочности**  
**[Table 2. Typification of structures with the use of residual strength]**

<b>Вид конструкции</b> [Type of construction]	<b>Механизм работы</b> [Work mechanism]	<b>Условия применения</b> [Terms of use]
Породная сферическая [Breed spherical]	Заклинивание пород по контуру свода после обрушения [Jamming of rocks along the contour of the arch after the collapse]	Породы средней прочности, руды средней ценности [Medium strength rocks, ore of average value]
Породная плоская [Breed flat]	Заклинивание пород в нижнем слое без обрушения [Jamming of rocks in the lower layer without collapse]	Прочные породы, ценные руды [Durable rocks, valuable ores]
Породно-бетонная [Breed-concrete]	Упрочнение пород бетонными элементами [Hardening rocks with concrete elements]	Породы любой прочности, ценные руды [Breeds of any strength, valuable ores]
Бетонная [Concrete]	Удержание полной массы столба налегающих пород [The retention of the full mass of the column overlapping rocks]	
Бетонная армированная [Reinforced concrete]		
Деревянная [Wooden]	Временное поддержание пород [Temporary rock maintenance]	Прочные и среднепрочные породы, локальные участки [Strong and medium-hard rocks, local areas]
Канатно-металлическая [Cable-metal]	Удержание полной массы столба налегающих пород [The retention of the full mass of the column overlapping rocks]	Породы любой прочности, достаточная несущая способность канатов [Breeds of any strength, sufficient bearing capacity of the ropes]
Дерево-канатная [Tree-rope]		
Вантовая [Guyed]		
Цементированно-породная [Cemented rock]	Создание экрана для разделения руд и пород [Creating a screen to separate ores and rocks]	Породы любой прочности, оперативное регулирование напряжений [Breeds of any strength, prompt stress control]

Опыт применения комбинированных перекрытий на основе технологически разрушенных пород накоплен на рудниках добывающей подотрасли атомной энергетики при разработке месторождений Восток, Маньбайское, Заозерное, Молодежное, Звездное, Ишимское, Центральное, Шокпак, Камышовое и других Целинного горно-химического комбината.

Повышение качества добываемых руд может быть оценено величиной снижения разубоживания руд породами в пределах 15–20 %.

Так, на месторождениях Ишимское, Центральное, Заозерное использование феномена самозаклинивания структурных породных блоков позволило отработать запасы объемами более 1 млн м<sup>3</sup> без обрушения земной поверхности.

На месторождении Восток в промышленных масштабах использовали несущие и разделяющие конструкции дерево-канатных и канатно-металлических перекрытий. На месторождении Заозерное для отработки крутопадающих маломощных рудных тел широко применялись вантовые перекрытия. При отработке мощных рудных тел с закладкой пустот твердеющими смесями практи-

ковались конструкции из разнопрочных составов твердеющих смесей, в том числе на основе утилизируемых отходов собственного и смежных производств.

От полноты оценки и учета феномена сохранения остаточной несущей способности разрушенных пород зависят как безопасность работающих, так и состояние техносферы в районе горных работ [13–14].

### Выводы

Эффективность подземной разработки рудных месторождений определяется возможностью сохранения плоской формы кровли очистных выработок путем обеспечения геомеханической сбалансированности участков рудовмещающих породных массивов.

При разрушении массива горными работами породы сохраняют остаточную несущую способность, что может быть использовано для решения геомеханических задач. Реализация этого феномена при создании породных конструкций с заданными свойствами способствует решению задач охраны труда и повышения качества руд. Задачи



горного производства решаются с привлечением методов строительной механики инженерных конструкций и сооружений.

Минимизация затрат на управление состоянием массива, повышение качества руд и безопасности работ обеспечиваются неперевышением безопасных по уровню напряжений эквивалентных пролетов обнажения пород по предлагаемой методике.

#### Благодарности

В статье представлены результаты исследований, выполненных по программе Erasmus+ 574061-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP “Modernization of geological education in Russian and Vietnamese universities”.

#### Список литературы

1. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Ляшенко В.И. Несущие породные конструкции при освоении подземных объектов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 2. С. 48–57.

2. Голик В.И., Разоренов Ю.И., Ляшенко В.И. Прочность породных конструкций при подземном строительстве // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 4. С. 57–65.

3. Haeri H., Shahriar K., Fatehi Marji M., Moarefvand P. Experimental and numerical study of crack propagation and coalescence in pre-cracked rock-like disks // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 2014. Vol. 67. Pp. 20–28.

4. Куранов А.Д., Сидоров Д.В. Оценка напряженного состояния междустректовых целиков на рудниках ОАО «Апатит» // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2011. № 1. С. 308–312.

5. Ляшенко В.И. Развитие геомеханического мониторинга свойств и состояния массива горных пород при подземной разработке месторождений сложной структуры // Маркшейдерский вестник. 2016. № 1. С. 35–43.

6. Протосеня А.Г., Куранов А.Д. Методика прогнозирования напряженно-деформированного состояния горного массива при комбинированной разработке Ко-

ашвинского месторождения // Горный журнал. 2015. № 1. С. 67–71.

7. Рьльникова М.В., Емельяненко Е.А., Ангелов Н.А. Формирование техногенного массива из хвостов обогащения в отработанном пространстве с заданными структурными параметрами // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 1. С. 115.

8. Shojaei A., Dahi Taleghani A., Li G. A continuum damage failure model for hydraulic fracturing of porous rocks // International Journal of Plasticity. 2014. Vol. 59. Pp. 199–212.

9. Плешко М., Месхи Б., Плешко М. Новый метод расчета объединенной анкер-бетонной опоры подземных сооружений // МАТЕС Web of Conferences. 2018. Т. 170. 03023. doi.org/10.1051/mateconf/201817003023.

10. Yunjin H., Guolong C., Weiping C., Zhenjun Y. Simulation of hydraulic fracturing in rock mass using a smeared crack model // Computers and Structures. 2014. Vol. 137. Pp. 72–77.

11. Молев М.Д., Масленников С.А., Занина И.А., Стуженко Н.И. Прогнозирование состояния техносферной безопасности: монография. Шахты: ИСОИП (филиал) ДГТУ, 2015. 113 с.

12. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Кожиев Х.Х. Минимизация влияния горного производства на окружающую среду // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 6. С. 26–29.

13. Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Комащенко В.И., Разоренов Ю.И. Экологические аспекты хранения хвостов обогащения руд в горном регионе // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 6. С. 35–39.

14. Стась Г.В., Смирнова Е.В. Травматизм и профессиональные заболевания на горных предприятиях // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2015. Вып. 1. С. 30–42.

#### Для цитирования

Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Габараев О.З., Разоренов Ю.И. Использование остаточной прочности пород в несущих конструкциях при подземной добыче руд // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Инженерные исследования. 2019. Т. 20. № 2. С. 193–203. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-193-203>

## Use of residual rock strength in bearing structures in underground ore mining

**Vladimir I. Golik**

Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,  
93a Markova St., Vladikavkaz, 362002, Russian Federation  
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),  
44 Nikolaeva St., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation

**Yury V. Dmitrak, Oleg Z. Gabaraev**

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University),  
44 Nikolaeva St., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation

**Yuri I. Razorenov**

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya St., Novocheerkassk, 346428, Russian Federation

### Article history:

Received: March 11, 2019

Revised: May 06, 2019

Accepted: May 21, 2019

### Keywords:

massif; stresses; strength; rock; underground mining; quality; safety

The relevance of the study is explained by the need to improve technological processes with the increasing complexity of the development of ore deposits with an increase in the depth of development, the use of powerful technology and an increase in stresses in arrays of ore-bearing rocks. The need to minimize the risk of mining requires the development and use of tools for managing an array. The purpose of this study is to systematize information about the theory and practice of using the residual bearing capacity of destroyed rocks from the practice of underground mining to improve the methods used to control the geomechanics of ore-bearing arrays. The complex of research includes analytical, full-scale, laboratory and theoretical methods that are used to identify the phenomenon of the use of the residual carrying capacity of destroyed rocks. To achieve this goal information on the use of bearing floors made of intact and destroyed ores and rocks, as well as other materials, is systematized. A brief description of the scientific support of mining engineering tasks is given. The phenomenon of the use of residual bearing capacity of disturbed rocks in the structure arising in the mountain massif is characterized. A critical analysis of the concepts of array management is given. Considered alternative options for creating structures for solving problems of reducing the health risk of workers and improving the quality of ores. A new typification of structures using the residual strength of destroyed rocks is given. It has been proved that in underground mining there is an opportunity to realize the residual bearing capacity of the destroyed rocks to create structures with desired properties, which contributes to solving the tasks of labor protection and improving the quality of ores.

### Acknowledgements

The article presents the results of research carried out under the Erasmus program + 574061-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-CBHE-JP “Modernization of geological education in Russian and Vietnamese universities”.

### References

1. Golik VI, Razorenov YuI, Lyashenko VI. Nesushchie porodnye konstrukcii pri osvoenii podzemnykh ob'ektov [Bearing rock structures in the development of

underground objects]. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2017;(2): 48–57. (In Russ.)

2. Golik VI, Razorenov YuI, Lyashenko VI. Prochnost' porodnykh konstrukcij pri podzemnom stroitel'stve [The strength of rock structures in underground construction.] *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2017;(4): 57–65. (In Russ.)

3. Haeri H, Shahriar K, Fatehi Marji M, Moarefvand P. Experimental and pre-cracked rock-like disks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014;67: 20–28.

4. Kuranov AD, Sidorov DV. Ocenka napryazhenogo sostoyaniya mezhdushtrekovykh celikov na rudnikah OAO “Apatit” [Evaluation of the tense state of the inter-track pillars in the mines of OJSC “Apatit”]. *News of Tula State University. Earth Sciences*. 2011;(1): 308–312.

5. Lyashenko VI. Razvitie geomekhanicheskogo monitoringa svoystv i sostoyaniya massiva gornyh porod pri

*Vladimir I. Golik* – chief researcher at the GPI VSC RAS; Professor of Department of Mining of North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Doctor of Technical Sciences, Professor; v.i.golik@mail.ru  
*Yury V. Dmitrak* – Rector of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Doctor of Technical Sciences, Professor,  
*Oleg Z. Gabaraev* – Head of Department of Mining of North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Doctor of Technical Sciences, Professor.  
*Yuri I. Razorenov* – rector in charge of SRSPU (NPI), Doctor of Engineering Sciences, Professor.

podzemnoj razrabotke mestorozhdenij slozhnoj struktury [Development of geomechanical monitoring of the properties and state of the rock mass during underground mining of complex structures]. *Marksheydersky Bulletin*. 2016;(1): 35–43. (In Russ.)

6. Protosenya AG, Kuranov AD. Metodika prognozirovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya gornogo massiva pri kombinirovannoy razrabotke Koashvinskogo mestorozhdeniya [Method of forecasting the stress-strain state of a mountain massif with the combined development of the Koashvinskoe deposit]. *Gornyi zhurnal*. 2015;(1): 67–71. (In Russ.)

7. Rylnikova MV, Emelyanenko EA, Angelov NA. Formirovanie tekhnogenno massiva iz hvostov obogashcheniya v otrabotannom prostranstve s zadannymi strukturnymi parametrami [Formation of a technogenic massif from enrichment tails in a spent space with given structural parameters]. *Mining informational and analytical bulletin*. 2013;(1): 115. (In Russ.)

8. Shojaei A, Dahi Taleghani A, Li G. A continuum damage failure model for hydraulic fracturing of porous rocks. *International Journal of Plasticity*. 2014;59: 199–212.

9. Pleshko M, Meskhi B, Pleshko M. Novyj metod rascheta ob"edinennoj anker-betonnoj opory podzemnyh sooruzhenij [New method for calculating the combined anchor-concrete support of underground structures]. *MATEC Web of Conferences*. 2018;170: 03023. Available from: [doi.org/10.1051/mateconf/201817003023](https://doi.org/10.1051/mateconf/201817003023). (In Russ.)

10. Yunjin H, Guolong C, Weiping C, Zhenjun Y. Simulation of hydraulic fracturing in rock mass using

a smeared crack model. *Computers and Structures*. 2014; 137: 72–77.

11. Molev MD, Maslennikov SA, Zanina IA, Stuzhenko NI. *Prognozirovanie sostoyaniya tekhnosfernoj bezopasnosti: monografiya* [Forecasting the state of technosphere safety: monograph]. Shakhty: ISOiP (branch) DGTU; 2015. (In Russ.)

12. Golik VI, Dmitrak YuV, Gabaraev OZ, Kozhiev KhH. Minimizatsiya vliyaniya gornogo proizvodstva na okruzhayushchuyu sredu [Minimizing the impact of mining on the environment]. *Ecology and Industry of Russia*. 2018;22(6): 26–29. (In Russ.)

13. Golik VI, Dmitrak YuV, Komashchenko VI, Razorenov YuI. Ekologicheskie aspekty hraneniya hvostov obogashcheniya rud v gornom regione [Ecological aspects of storage of ore dressing tailings in a mountainous region]. *Ecology and industry of Russia*. 2018;22(6): 35–39. (In Russ.)

14. Stas GV, Smirnova EV. Travmatizm i professional'nye zabolevaniya na gornyh predpriyatiya [Traumatism and occupational diseases in mining enterprises]. *News of Tula State University. Series: Earth Sciences*. 2015;(1): 30–42. (In Russ.)

#### For citation

Golik VI, Dmitrak YuV, Gabaraev OZ, Razorenov YuI. Use of residual rock strength in bearing structures in underground ore mining. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2019;20(2): 193–203. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2019-20-2-193-203>. (In Russ.)