

## Расчет подземных сооружений

УДК 539.4:624.131.439

### **ПРОЧНОСТЬ ПОРОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОДЗЕМНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В.И. ГОЛИК \*, доктор технических наук, профессор

Ю.И. РАЗОРЕНОВ \*\*, доктор технических наук, профессор

В.И. ЛЯШЕНКО \*\*\*, кандидат технических наук

\* ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технологический университет», Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44. E-mail: v.i.golik@mail.ru. тел. 8 952 839 45 99

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр РАН», Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а;

\*\* ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технологический университет», Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44;

\*\*\* Министерство топлива и энергетики Украины, Украина, 52204, Украина, г. Желтые Воды, ул. Петровского, 37. факс: 8 056 52 2 32 97, inform@ipzrw.dp.ua

*Рассмотрены вопросы механики скальных массивов с использованием возникающих в разрушенных породах конструкций при динамично протекающих в подземных выработках процессах. Исследована способность природно и технологически нарушенных пород сохранять устойчивые конструкции при их взаимодействии в массиве с гравитационно-тектоническо-структурным полем. Приведены модели определения элементов управления массивом. Показано, что породная несущая конструкция в пределах защищенных ею участков земной коры позволяет применять минимизированные по затратам труда и материалов элементы подземной и строительной геотехнологии.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Механика, скальный массив, порода, конструкция, управление массивом, строительная геотехнология.

Система управления вмещающими подземные объекты породными массивами включает в себя создание искусственных сооружений в выработках для предотвращения обрушения окружающих пород и сохранения необходимых площадей сечений выработок в рабочем состоянии в течение всего срока существования.

При эксплуатации подземных объектов важна проблема прогнозирования проявлений горного давления и расчета прочности строительных конструкций и инженерных сооружений. Повышение достоверности прогнозов улучшает состояние объектов и способствует повышению технико-экономических показателей подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Управление состоянием создаваемых в естественных массивах породных конструкций является составной частью горной технологии, которая должна отвечать требованиям эффективности, экономичности и безопасности. В отличие от строительных объектов на земной поверхности к известным критериям добавляется сохранность земной поверхности, особенно если массив расположен под участком с интенсивным земледелием, жилыми и хозяйственными объектами и т.п. [1, 2].

Целью управления состоянием массива горных пород в этих условиях становится выбор методов строительства, которые сохраняли бы земную поверхность от разрушения в случае выхода зоны обрушения пород до уровня наносов.

Необходимость сохранения породного массива как в стадии образования пустот в породных массивах, так и по истечению всего времени существования объектов предъявляет повышенные требования к прочности естественных и искусственных массивов в подземных условиях.

Управление состоянием подземных объектов представляет собой совокупность мероприятий по регулированию природных и наведенных технологических напряжений и деформаций и состоит в использовании несущей способности возникающих породных конструкций. Управление состоянием массива сводится к обеспечению оптимальных параметров элементов системы "массивы-крепь-поверхность" по критерию сохранности земной поверхности. Особенностью подземного строительства является динамичность протекающих в подземных условиях процессов.

Котенко Е.А., Куликовым В.В., Деминым Н.В. и др. введен критерий оптимальности геотехнологии в виде условия сохранения земной поверхности от разрушения под влиянием горных работ, который вводится при технико-экономическом сравнении инженерных решений.

Благодаря критерию сохранности земной поверхности способы управления массивом становятся в сравнимые условия. В частности, использование критерия исключает из числа возможных способы управления с обрушением пород с выходом на земную поверхность.

Способность природно - технологически нарушенных пород сохранять устойчивые конструкции при их взаимодействии в массиве доказана расчетами, моделированием и натурными исследованиями, включающими экспериментальные работы, дефектоскопию, измерение горного давления, геологическое картирование и др. Она подтверждена исследованиями в области геометрии пространственных структур, расчета на прочность, устойчивость, динамику строительных и других технологических конструкций. Этот феномен используется в таких разделах инженерной науки, как механика жидкости, механика стержневых структур, теория упругости, пластичности, оболочек и численные методы расчета конструкций [3, 4].

Механизм взаимодействия разрушенных породных отдельных с учетом переменных факторов установлен К.В. Руппением, Е.Г. Авершиным, Т.Л. Фисенко, И.М. Петуховым, Л. Мюллером, В.Р. Имениновым и др.

При подземных горных устойчивости вмещающих технологические объекты массивов оценивается методами, которые принимают массив дискретным с гравитационно-тектоническо-структурным полем (В.Д. Слесарев, А.А. Борисов, Г.Н. Кузнецов, С.В. Ветров). Применяемые методы отличаются друг от друга механизмом взаимодействия структурных блоков.

Свойство дискретных массивов создавать устойчивые конструкции при разрушении пород широко используется для управления горным давлением.

В зависимости от соотношения напряжений и деформаций в массиве конструкции из разрушенных пород ведут себя по одному из типов:

- сохраняют устойчивость за счет первичных связей, если деформации не превышают предела упругости;
- сохраняют устойчивость за счет вторичных связей, возникающих при самозаклинивании структурных блоков;
- не сохраняют устойчивости, если связи нарушаются при разрушении пород.

Способность нарушенных пород создавать конструкции в инженерных системах корректируется технологией на стадиях добычи полезных ископае-

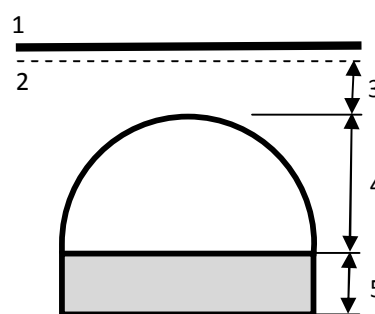


Рис.1. Условие сохранности земной поверхности от разрушения горными работами: 1- земная поверхность; 2- граница наносов; 3- глубина заложения выработки; 4- высота свода естественного равновесия; 5- высота выработки

мых, закладки выработанного пространства и назначением безопасных параметров горных выработок. Крепь различного назначения ограничено участвует в процессе формирования вокруг выработок зон мощностью, равной первым метрам, и минимально при увеличении объема образованных подземных пустот.

В горной практике устойчивость массивов за счет использования несущей способности пород обеспечивается на площадях до 6000 м<sup>2</sup> в плане с пролетами обнажений до 50 м. Породные конструкции возникают на глубинах до 600 и более метров в породах с коэффициентом прочности по М.М. Протодяконову 10...20. Возможности породных конструкций увеличиваются при использовании массивных породных включений.

Естественное самозаклинивание пород является и негативным фактором, например, при разработке месторождений с обрушением массива. Для созданий конструкций при обрушении необходимо разрушение первичных несущих породных конструкций.

Крупные и средние разломы образуют в массиве блоки, превосходящие по величине размеры выработок, которые не формируют конструкций; мелкие разломы и крупные трещины образуют соизмеримые с размерами выработки блоки, участвующие в формировании конструкций; мелкие трещины сплошности не нарушают.

Зависимость между устойчивостью выработок и размерами структурных блоков характеризуется положениями:

- при пересечении выработкой шва и подзоны мелких трещин на всю мощность кровля сложена блоками пород размерами 1-2 м, образующими конструкцию, поэтому выработки устойчивы;

- при пересечении шва и подзоны мелких трещин не на всю мощность в кровле находятся блоки размерами 0,5-0,7 м, и выработки имеют среднюю устойчивость;

- выработки, не пересекающие шов на всю мощность всегда неустойчивы.

Феномен несущей способности разрушенных пород заключается в проявлении остаточной несущей способности. Эта способность реализуется в зависимости от свойств массивов и механизма сначала разупрочнения, а затем естественного упрочнения структурных блоков пород.

Разрушенные породы не теряют устойчивости, если не превышен предельный пролет (Г.Н. Кузнецов, В.Д. Слесарев, С.В. Ветров и др.) [5-6].

Условием существования породной конструкции из структурных блоков является прочность их самозаклинивания в примыкающем к нетронутому массиву слое. Если заклинивание происходит, то породы этой зоны упрочняются за счет бокового распора структурных блоков.

Состояние массивов лишь частично определяется главными напряжениями с учетом влияния тектонических полей. Определяющей величиной являются горизонтальные составляющие главных напряжений, активизирующие влияние гравитационных сил.

От прочности заклинивания пород зависит состояние сооружаемых бетонных объектов. Усиление жесткости породных конструкций осуществляется инъектированием в межкусковое пространство связующих материалов, креплением и ограничением пролетов выработок. Управляющее воздействие на прочность системы заключается в использовании параметров, при которых жесткость перекрытия обеспечивается за счет остаточной прочности пород и напряжений бокового распора, которые могут быть увеличены укреплением пород (рис.2).

Управление геомеханической сбалансированностью неоднородного массива с сохранением земной поверхности обеспечивается разделением массивов на участки, для которых условие прочности удовлетворяется.

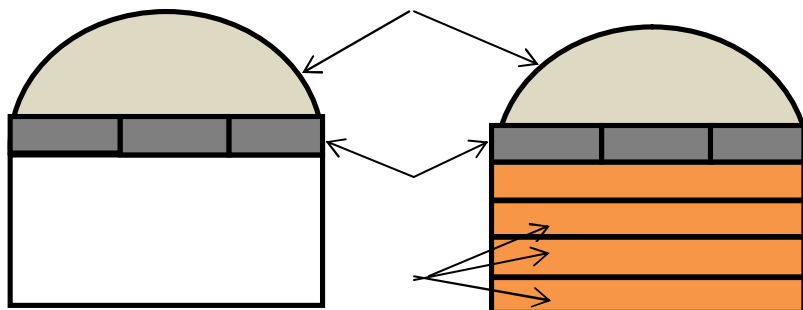


Рис. 2. Меры предупреждения обрушения пород: а – ограничение пролета обнажения кровли; б – закладка твердеющей смесью; 1 – свод заклинивания пород; 2 – несущий породный слой; 3 – заложённые твердеющей смесью слои

Если породная несущая конструкция возникает, то в пределах защищенных ею участков могут быть применены минимизированные по затратам труда и материалов элементы геотехнологии.

Целики подразделяются на барьерные и временные междукамерные, междуэтажные, междублоковые, внутрикамерные и Лучшие условия для работы целика создаются, когда их размеры превышают размер структурного блока пород не менее, чем в 5 раз. Наиболее прочны целики, ширина которых превышает высоту не менее, чем в 4 раза. Если целики в пределах участка имеют различную жесткость, то податливость слабых целиков перераспределяет давление на более жесткие целики, которые могут выйти из строя. Для охраны наиболее ответственных объектов запас надежности целика увеличивается до 10 раз. Метод расчета целиков Турнера-Шевякова основан на пригрузке целика налегающими породами до поверхности при условии равномерного распределения напряжений по площади целика. Поэтому величина целика получается завышенной.

Более точные результаты получают, допуская, что дискретные породные блоки образуют над выработкой конструкцию, по форме напоминающую свод. Максимальные напряжения развиваются в целиках с наибольшей высотой свода пригружающих пород.

Условие предельного равновесия такого целика по С.В. Ветрову:

$$S_{ц} \kappa_{\phi} \sigma_{сж} = S \kappa_3 h_{св} \cos \alpha ,$$

где  $S$  - площадь пригружающих целик пород;  $S_{ц}$  - площадь целика;  $\sigma_{сж}$  - предел прочности материала целика на одноосное сжатие;  $\alpha$  - угол наклона почвы выработки;  $h_{св}$  - максимальная высота свода естественного равновесия;  $\kappa_3$  - коэффициент запаса.

При работе на значительной глубине процесс самозаклинивания при разрушении развивается не до поверхности, а до какого-то нового уровня.

Размер барьерного целика по С.В. Ветрову:

$$B = \frac{2a\gamma_n (H - \frac{2}{3}h_{св})}{\sigma_{сж} - \gamma_n HK_3} ,$$

где  $B$  - ширина барьерного целика;  $a$  - половина максимального пролета свода;  $\gamma_n$  - объемный вес пород;  $H$  - глубина работ от поверхности;  $P_0$  - пригрузка целика.

Методы определения пролетов обнажения кровли различаются тем, каким принимается строение пород [13-16]. Для однородных трещиноватых пород устойчивость кровли определяется наличием свода естественного равновесия (рис. 3). Считается, что структурные блоки сместятся в выработанное пространство, а кровля примет форму свода. Сводчатая форма кровли из-за увеличения объема горной массы нежелательна, поэтому стремятся найти такие значения, при которых сохраняется плоская форма кровли.

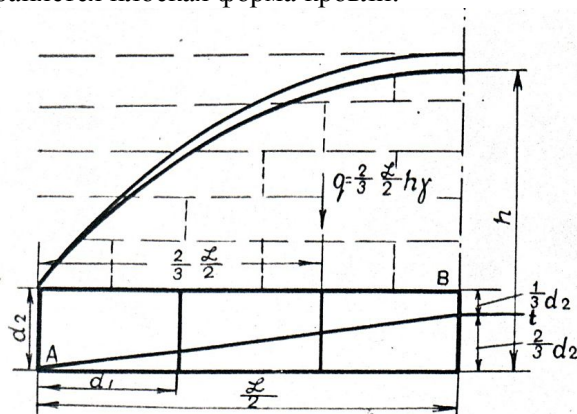


Рис.3. Схема образования несущего свода заклинившихся пород:  $h$  - высота свода естественного равновесия пород;  $L$  - ширина пролета;  $d_1$  - горизонтальный размер структурных блоков;  $d_2$  - вертикальный размер структурных блоков;  $\gamma$  - объемный вес пород;  $t$  - точка смыкания структурных блоков;  $q$  - момент силы

Не характерно для рудных месторождений и сплошное строение пород, при котором кровлю рассматривают как плиту, опертую на целики или защемленную по контуру. В этом случае по В.Д. Слесареву породная плита или балка испытывают одинаковые напряжения, если их гидравлические радиусы равны; ограниченную по контуру выработку можно заменить эквивалентной выработкой бесконечно большой длины; кровля сохраняет плоскую форму до выхода за пределы упруго-пластических деформаций.

$$\text{Эквивалентный пролет выработки: } l_{\text{экв}} = 2R = \frac{ab}{a+b},$$

где  $a$  и  $b$  - соответственно длина и ширина камеры;  $R$  - гидравлический радиус.

Предельный пролет свода естественного равновесия:

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

где  $d_1$  и  $d_2$  - соответственно, горизонтальный и вертикальный размеры структурных блоков, м;  $\gamma$  - объемный вес пород;  $K_2$  - коэффициент запаса.

Эта формула отличается отсутствием параметра глубины разработок:

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

где  $K$  - коэффициент запаса устойчивости свода

$$K = \frac{20R_{\text{сж}} d_1}{(L_{\phi} + 2d_1)H}, \quad \text{где } L_{\phi} \text{ - фактический пролет выработок.}$$

Если кровлю слагают породы, деформации в которых не вышли за пределы пластических, допустимый пролет плоской формы основной кровли:

$$q = \frac{2}{3} \frac{L_0}{2} h_0; \quad h_0 = \frac{L_0}{2V_0}; \quad q = \frac{L_0}{2V_0}; \quad M_q = \frac{L_0 \gamma}{18 V_0};$$

$$T = \frac{10 R_{сж}}{R_c} \frac{1}{2} d_{oc}; \quad M_T = T \frac{5}{2} d_{oc} = \frac{10 R_{сж}^o \cdot 5 d_{oc}}{18 K_2}; \quad R_{сж} = R'_{сж} = R_{сж}^n;$$

при  $V_0 = 1$ :  $L_0 = 1,71 \sqrt[3]{\frac{10 R_{сж} \cdot d_{oc}^2}{K_2 \gamma}}$ .

Если в кровле находится часть рудопроводящего шва, которая ведет себя как отслаивающаяся пачка - способность к самозаклиниванию снижается. Допустимый пролет непосредственной кровли плоской формы:

$$q_n = \frac{L}{2} \epsilon \gamma; \quad M_{q_n} = \frac{L}{2} \epsilon \gamma \frac{L}{4} = \frac{L^2 \epsilon \gamma}{8}; \quad T = \frac{10 R_{сж}}{K_2} \frac{1}{3} d_{H2};$$

$$M_T = T \frac{3}{6} d_{H2} = \frac{10 R_{сж} \cdot 5 d_{H2}^2}{18 K_2}; \quad L = 1,48 d_{H2} \sqrt[3]{\frac{10 R_{сж}}{K_2 \gamma \epsilon}}.$$

Плоский пролет может быть увеличен скреплением структурных блоков для повышения высоты конструкции за счет увеличения момента силы распора. Закрепленный пролет плоского обнажения:

$$q_n = \frac{L_3}{2} \epsilon \gamma; \quad M_q = \frac{L_3}{2} \epsilon \gamma \frac{L_3}{4} = \frac{L_3^2 \epsilon \gamma}{8}; \quad T = \frac{10 R_{сж}}{K_2} \frac{2}{3} d_{H2};$$

$$M_T = T \frac{2}{3} d_{H2} = \frac{10 R_{сж} \cdot 10 d_{H2}^2}{18 K_2}; \quad L_3 = 298 d_{H2} \sqrt{\frac{10 R_{сж}}{K_2 \gamma \epsilon}}.$$

Возможность сохранения земной поверхности определяется высотой свода по С.В. Ветрову:

$$h_c = a' c / v,$$

где  $a'$  - полупролет свода;  $V$  - коэффициент устойчивости трещиноватых пород,

$$V = 2 \frac{d_2 R''_{сж}}{d_1 R'_{сж}},$$

где  $d_2, d_1$  - вертикальный и горизонтальный размеры блоков;  $R''_{сж}, R'_{сж}$  - сопротивление пород сжатию в направлении распора свода и в направлении действия массы пород.

Условие сохранения земной поверхности для случая обрушения кровли с образованием свода:

$$H' > h_a = h_c,$$

где  $H'$  - фактическая глубина верхней границы пустот от границы выветренных пород и рыхлых отложений, м.

При малых размерах структурных блоков и  $L_\phi > L_{пред}$  высота обрушения определяется коэффициентом разрыхления пород.

Высота зоны обрушения проверяется по методике ВНИМИ при  $H' > h_{oc}$ :

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

где  $h_{oc}$  - высота зоны сдвижений пород, 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 надежности.

Условие сохранности земной поверхности:

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

где  $H'$  - глубина верхней границы выработанного пространства от границы выветренных пород и рыхлых отложений, м;  $H_p$  - глубина, начиная с которой земная поверхность сохраняет устойчивое состояние, м;  $\kappa_1$  - коэффициент, учитывающий прочность пород;  $\ell_{\text{экв}}$  - эквивалентный пролет:

$$\ell_{\text{экв}} = \frac{L \cdot \ell'}{\sqrt{L^2 + (\ell')^2}},$$

где  $L$  - размер выработанного пространства по простиранию, м;  $\ell'$  - размер горизонтальной проекции выработки на разрезе вкрест простирания.

Устойчивость породного прослоя между выработками определяется соотношением расстояния глубины заложения  $H_c$  и высоты свода естественного равновесия  $h_c$ :

- при  $H_c > h_c$  - отработка и погашение обоих рудных тел не оказывает влияния на устойчивость друг на друга и не ослабляет устойчивости массива;

- при  $H_c < h_c$  - погашение нижнего рудного тела оказывает влияние на устойчивость массива, поэтому нижнее рудное тело обрабатывается с опережением и погашается с гарантированной устойчивостью породного слоя.

По условиям сейсмобезопасности устойчивость массива обеспечивается для заряда ВВ 0,1 т при минимальной  $H_c = 15$  м.

При разделении осваиваемого участка земной коры в подготовительной стадии напряжения в массиве незначительны и не представляют опасности, если если пролеты не превышают допустимых значений.

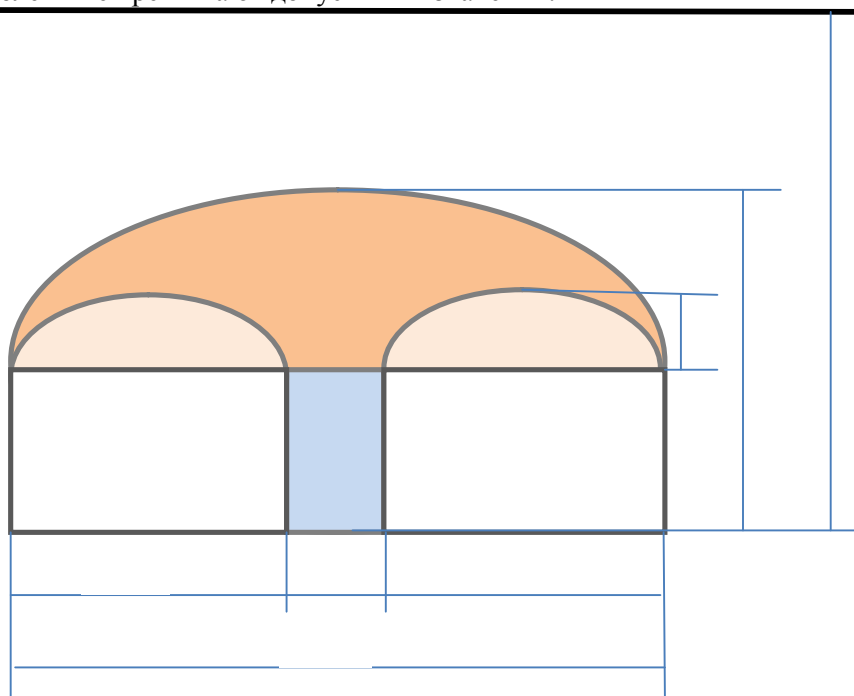


Рис. 4. Схема к разделению массива на безопасные участки:  $L_{\text{пред}}$ ,  $L_{\text{ф}}$ ,  $L_{\text{о}}$  – соответственно, предельный по условию образования свода естественного равновесия пролет, фактический и плоской кровли;  $H$  - глубина работ;  $h_c$  – высота свода естественного равновесия предельного пролета;  $h_1$  – высота нового свода

Геотехнологические работы геомеханическую сбалансированность нарушают. Оптимальные показатели техногенного вмешательства обеспечиваются, если допустимые по условиям устойчивости параметры не превышаются. При этом условии использование остаточной несущей способности пород является альтернативой крепи.

Управление массивом - это подготовительная стадия, формирующая элементы разделения массива искусственными и естественными целиками. Поэтому разделение массива на безопасные участки должно производиться еще на стадии проектирования (рис. 4).

Критерием соответствия горных работ требованиям безопасности является соблюдение физических параметров (объемов, площадей, высот). Эффективность использования породных конструкций складывается и экономии труда и материалов на управление состоянием скальных массивов при подземных работах [7-10].

### Выводы

1. В процессе техногенного вмешательства горными работами в недра структурные отдельности горных пород разрушаются и контактируют друг с другом с созданием заклинившихся систем.

2. При определенных условиях возникающие в разрушенных породах конструкции используются для управления геомеханикой участка осваиваемого горными работами земной коры.

3. Адекватный характер устойчивых породных конструкций позволяет прогнозировать поведение породных массивов и управлять ими с получением многопланового эффекта.

### Список литературы

1. Полухин О.Н., Комащенко В.И. Природоохранная концепция добычи и переработки минерального сырья в центральном федеральном округе России на примере белгородского региона // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2014. – Т. 29. – № 23 (194). – С. 180 — 186.
2. Голык В.И. Концептуальные подходы к созданию мало и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 93 — 97.
3. Vladimir Golik, Vitaly Komashchenko, Vladimir Morkun, Tatiana Gvozdikova. The theory and practice of rock massifs control in the ore mining // Metallurgical and Mining Industry, 2016, № 1. 209 — 212.
4. V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, O. Burdzieva. Simulation of rock massif tension at ore underground mining // Metallurgical and Mining Industry. – 2016. No.7. – С.76—79.
5. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М., Наука, 1975.
6. Ракишев Б. П. Комплексное использование руды на предприятиях цветной металлургии Казахстана. – Горный журнал. – 2013. – №7.
7. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Т. 7. – № 5. 401 — 405.
8. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgatyi L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste // Social Sciences (Pakistan). – 2015. – Т. 10. – № 6. – С. 750 — 754.
9. Комащенко В.И., Васильев П.В., Масленников С.А. Технологией подземной разработки месторождений КМА - надежную сырьевую основу // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 2. – С. 101 — 114.
10. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Радченко Д.Н. Расширение сырьевой базы горнорудных предприятий на основе комплексного использования минеральных ресурсов месторождений // Горный журнал. – 2013. – № 12. – С. 29 — 33.

Поступила в редакцию 2 марта 2017 г. Прошла рецензирование 2 мая 2017 г.  
Принята к публикации 14 июня 2017 г.



**Об авторах:** ГОЛИК ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ, доктор технических наук, профессор, действительный член РАЕН, ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технологический университет», Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44. E-mail: v.i.golik@mail.ru. тел. 8 952 839 45 99; Геофизический институт – филиал ФГБНУ ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

РАЗОРЕНОВ ЮРИЙ ИВАНОВИЧ, доктор технических наук, профессор, ректор, ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский государственный технологический университет», Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

ЛЯШЕНКО ВАСИЛИЙ ИВАНОВИЧ, кандидат технических наук, Министерство топлива и энергетики Украины, 52204, Украина, г. Желтые Воды, ул. Петровского.37. Факс: 8 056 52 2 32 97. inform@iptzw.dp.ua

**Для цитирования:** 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. DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-57-65

#### References

1. Polukhin, O. N., Komashchenko, V. I. (2014). Environmental concept extraction and processing of mineral raw materials in the Central Federal district of Russia on the example of the Belgorod region. *Bulletin of Belgorod state University. Series: Natural Sciences*, Vol. 29, No. 23 (194), 180—186.
2. Golik, V.I. (2013). Conceptual approaches to the creation of small and non-waste mining production based on a combination of physical-technical and physicochemical geotechnologies. *Mining Journal [Gorniy Zhurnal]*, (5), 93—97 (in Russian).
3. Golik Vladimir, Komashchenko Vitaly, Morkun Vladimir, Gvozdikova Tatiana (2016). The theory and practice of rock massifs control in the ore mining. *Metallurgical and Mining Industry*, (1), 209-212.
4. Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V., Burdzieva, O. (2016). Simulation of rock massif tension at ore underground mining. *Metallurgical and Mining Industry*, (7), 76—79.
5. Vetrov, S.V. (1975). *Acceptable Limits of Outcrops of Rocks at Underground Mining of Ores*. Mjscow: Nauka (in Russian).
6. Rakishev, B.R. (2013). Integrated use of ore at the enterprises of nonferrous metallurgy of Kazakhstan. *Mining Journal [Gorniy Zhurnal]*, (7) (in Russian).
7. Golik, V., Komashchenko, V., Morkun, V., Khasheva, Z. (2015). The effectiveness of combining the stages of development ore fields. *Metallurgical and Mining Industry*, 7 (5), 401—405.
8. Golik, V.I., Khasheva, Z.M., Shulgaty, L.P. (2015). Economical efficiency of utilization of allied waste mining enterprises. *Social Sciences (Pakistan)*, 10 (6), 750—754.
9. Komashchenko, V.I., Vasilyev, P.V., Maslennikov, S.A. (2016). Technology of underground mining KMA-reliable raw material basis. *Izvestiya of the Tula State University. Earth Science*, (2), 101—114.
10. Kaplunov, D.R., Ryl'nikova, M.V., Radchenko, D.N. (2013). Expanding the raw material base of mining enterprises on the basis of complex use of mineral resources deposits. *Mining Journal [Gorniy Zhurnal]*, (12), 29—33 (in Russian).

### THE STRENGTH OF ROCK STRUCTURES IN UNDERGROUND MINING

V.I. GOLIK, Yu.I. RAZORENOV, V.I. LYASHENKO

Questions of the mechanics of rock massif with use resulting in destroyed rocks structures with dynamically occurring in the underground workings of the processes are considered. The ability of natural and technologically disturbed species to maintain stable structure during the interaction in the array is gravity-tectonic-structural field is investigated. The model definition elements of the control array is given. It is shown that the rock supporting structure within the covered portions of the crust allows the use of a minimized the cost of labor and materials and construction elements of underground Geotechnology.

**Keywords:** Mechanics, rock mass, rock, design, management, array, construction Geotechnology.

**Article history:** Received: March 2, 2017. Revised: May 2, 2017. Accepted: June 14, 2017.

**About the authors:** GOLIK, VLADIMIR IVANOVICH, DSc, Professor, Member of Russian Academy of Natural Sciences, North-Caucasian State Technological University, 44, Str. Nikolaev, Vladikavkaz, 362021, Russia; E-mail: v.i.golik@mail.ru

RAZORENOV YURIY IVANOVICH, DSc, Professor, Rector, North-Caucasian State Technological University, 44, Str. Nikolaev, Vladikavkaz, 362021, Russia;

LYASHENKO VASILIIY IVANOVICH, Phd, Ministry of Fuel and Power of Ukraine, 37, Str. Petrovskiy, Zheltie Vody, 52204, Ukraine, inform@iptzw.dp.ua

**For citation:** Golik V.I., Razorenov Yu.I., Lyashenko V.I. (2017). The strength of rock structures in underground mining. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, (4), 57 — 65.

DOI: 10.22363/1815-5235-2017-4-57-65