

Расчет подземных сооружений

УДК.622.45, 622.807.8, 628.511

НЕСУЩИЕ ПОРОДНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

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.

**Министерство топлива и энергетики Украины,
52204, Украина, г. Желтые Воды, ул. Петровского, 37.

факс: 8 056 52 2 32 97; inform@iptzw.dp.ua

Показано, что оптимизация мероприятий по созданию строительных конструкций в подземных выработках является действенным способом улучшения показателей подземных и строительных геотехнологий. Надежность управления состоянием вмещающих горные объекты породных массивов увеличивается при использовании остаточной несущей способности разрушенных пород с корректировкой размеров структурных блоков технологическими средствами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность, труд, руда, риск, травматизм, целики, кровля, пролет, крепление, экономика.

При подземных работах уровень опасности работников, сооружений и техники зависит от природной среды и совокупности организационных, технологических и человеческих факторов. Комплекс мер по обеспечению строительных конструкций в подземных выработках является составной частью теории управления горным давлением.

Оценке риска управления конструкциями в породных массивах посвящены работы М.И. Агошкова, А.А. Борисова, К.В. Руппнейта, В.Д. Слесарева, Г.Л. Фисенко В.А. Шестакова, С.В. Ветрова, Г.Н. Кузнецова, Н.В. Баклашова, Л.Г. Протосени, К.З. Ушакова, Ю.И., А.В. Фролова и др.

Безопасность подземных сооружений из природных и композитных строительных материалов оценивают сравнением фактического значения риска с его условной величиной, устанавливаемой на основе анализа аналогичных ситуаций в сравнимых условиях.

Качественная оценка уровня риска базируется на анализе опасных факторов с нанесением ущерба работающему персоналу и сооружениям в подземных выработках[1]:

$$R = R_1 \times R_2 \times R_3,$$

где R – уровень риска; R_1 – вероятность возникновения опасного события; R_2 – вероятность формирования условий для возникновения опасности; R_3 – вероятность нанесения ущерба.

Для объективности оценки сравниваемые строительные геотехнологии должны быть сопоставимы по максимальному количеству признаков: мощности рудного тела, углу падения, характеристике руд и вмещающих пород, производственной мощности предприятия и стоимости работ.

При сравнении технологии показатель риска может быть определен по одному основному параметру, например, по несущей способности конструкции из обнаженных горными работами пород кровли.

Устойчивость породного рудовмещающего массива является случайной величиной, зависящей от природных и техногенных факторов, но может быть представлена как сумма независимых друг от друга слагаемых с нормальным распределением (условие Ландберга). Гипотезы горного давления исходят из положения о перераспределении первоначальных напряжений в массиве в результате техногенного вмешательства [2-5]. Скальным массивам больше других отвечает гипотеза горного давления М.М. Протождяконова.

Над выработкой образуется свод естественного равновесия, в пределах которого нижний слой пород – кровлю выработки нагружают вышележащие породы в пределах свода (рис.1).

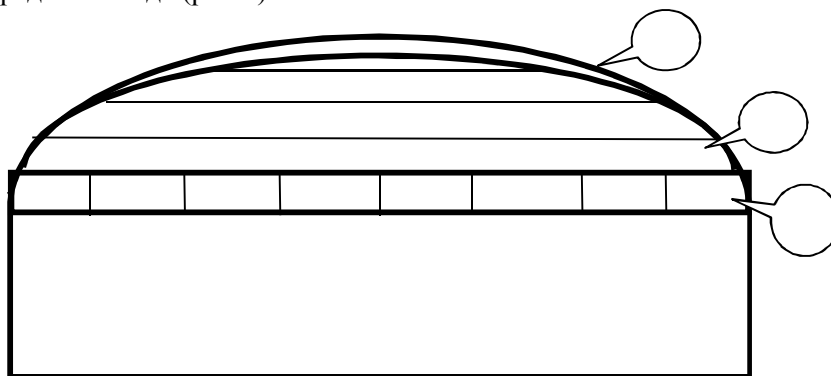


Рис.1. Механизм работы несущей конструкции: 1- граница свода естественного равновесия пород; 2- отслоившиеся породы; 3- несущая конструкция из заклинившихся породных блоков

Исследованные гипотезы устойчивости выработок не в полной мере учитывают сложность геологической структуры месторождений, поэтому нами предложена методика определения пролетов обнажений пород кровли с учетом расположения нахождения выработки относительно рудовмещающих структур.

Методика исходит из того, что потеря несущей способности слоя заклинившихся пород в кровле выработки происходит при скалывании напряженных участков структурных блоков на высоте, примерно $2/3$ высоты структурного блока (рис. 2).

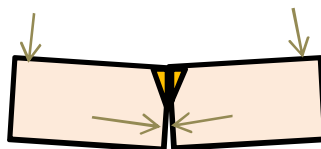


Рис.2. Схема разрушения заклинившихся породных блоков

Управляющее воздействие на прочность системы заключается в использовании параметров, при которых прочность несущих породных конструкций

обеспечивается за счет остаточной прочности пород и напряжений бокового распора, которые могут быть увеличены путем упрочнения пород.

Управление прочностью породных конструкций состоит в реализации остаточной несущей способности пород ограничением величины пролетов выработок. В пределах геомеханически сбалансированных участков могут быть применены минимизированные по затратам труда и материалов подземные и строительные геотехнологии.

Наибольшую опасность для подземных объектов представляет критическая деформация породного массива в случае недостаточной прочности природных или искусственно создаваемых опорных конструкций - целиков, которая зависит от пролетов обнажения породной кровли между опорами (рис.3).

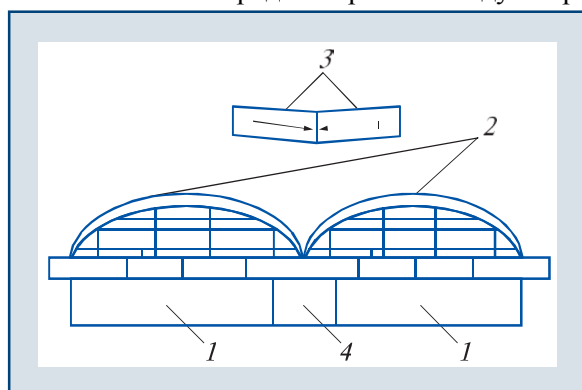


Рис.3. Схема взаимодействия целиков и пролетов обнажения пород: 1 — очистные выработки; 2 — своды естественного равновесия; 3 — взаимодействующие между собой структурные блоки пород; 4 — целик

Для повышения безопасности природно-техногенных конструкций запас прочности целиков стремятся увеличить, при чем увеличиваются потери руды в рудных целиках и затраты строительных материалов на сооружение искусственных опор. Таким образом, показатели безопасности и эффективности подземных горных работ зависят от оптимального соотношения размеров несущих опор и пролетов обнажений горных выработок [6-9].

Процессы в скальных массивах имеют стохастический характер, исходная информация для решения технико-экономических задач в горной промышленности имеет вероятностный характер, поэтому оценка поведения массива и его влияние на подземные объекты представляет собой серьезную проблему, актуальность которой возрастает при увеличении масштабов вторжения горными работами в Земные недра.

Поведение вмещающих горных пород в процессе обнажения пород кровли исследованы нами в действующем выемочном блоке подземного рудника [10-12].

На первом этапе исследования расчетом по альтернативным методикам определили величину пролета обнажения пород кровли. Затем поведение пород кровли исследовали путем доведения пролета выработки до обрушения кровли кусочно - припасовочным разрушением боковой породной стенки выработки взрыванием зарядов в шпурах (рис.4).

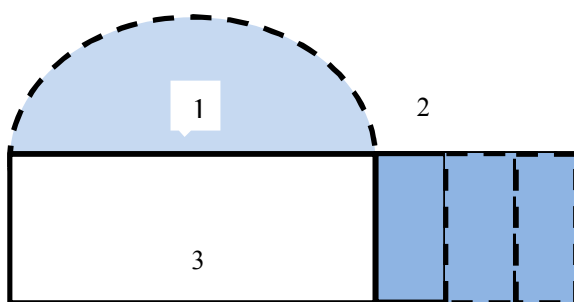


Рис.4. Моделирование величины предельного пролета выработки: 1– исходный свод естественного равновесия; 2– отбиваемые породные прирезки; 3– исходный пролет выработки

Обрушение пород произошло при пролете выработки 32 м, в то время как расчетная величина предельного пролета по различным методикам варьировалась в пределах 12 – 55 м (рис.5).



Рис.5. Расчетный и фактический пролет обнажения пород кровли

Расчеты прочности несущих породных конструкций для идентичных пород дают весьма различающиеся результаты и не могут использоваться при расчете размеров безопасных пролетов без учета местных особенностей.

Они могут быть подразделены на инженерные методы (на основе теорий прикладной механики - строительной механики, сопротивления материалов) и геомеханические (на основе теорий классической механики) с использованием вероятностно-статистических методов (табл.1).

Реальные скальные массивы состоят из породных структурных блоков, ограниченных геологическими нарушениями различного масштаба. До известного момента блоки при подработке образуют устойчивые несущие конструкции при условии надежного естественного самозаклинивания по криволинейным поверхностям, имеющим форму свода [13-14].

Таблица 1. Методы расчета устойчивых пролетов обнажений кровли

| Характеристика массива | Методы | | Основные учитываемые факторы |
|------------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|
| | Геомеханические | Инженерные | |
| | | Несущий элемент | |
| | | | |

| | | | | |
|---|---------------------------|-----------------|---|---|
| Квазисплошной с гравитационным полем напряжений | Механика сплошной среды | Слой | Свод давления В.Д. Слесарева Свод обрушения М.М. Протодьяконова, И.М. Цимбаревича, Н.М. Покровского и др. | Угол анизотропии, коэффициент структурного ослабления, мощность элемента |
| Квазисплошной с нарушениями сплошности и гравитационно-тектоническим полем напряжений | | Плита | | |
| Дискретный с гравитационно-тектоническим полем напряжений | | Балка | | |
| Дискретный с гравитационно-тектоническим полем напряжений | Механика дискретной среды | Плита или балка | Зона обрушения А.А. Борисова Свободные консоли Г.Н. Кузнецова | Коэффициент структурного ослабления, размеры структурных блоков, прочность. |

Выработки различаются в рамках предлагаемой типизации (табл.2).

Таблица 2. Типизация горных выработок по форме контакта с породами

| Тип | Положение выработки относительно пород кровли | Условия образования несущей конструкции |
|-----|---|---|
| I | Пересекает шов и подзону мелкой трещиноватости разлома на всю их мощность и располагается в породах основной кровли | Прочность естественного заклинивания структурных блоков пород |
| II | Пересекает шов и частично подзону мелкой трещиноватости и располагается в породах непосредственной кровли | Прочности естественного заклинивания и дополнительного упрочнения пород |
| III | Не полностью пересекает шов и располагается в породах непосредственной кровли | Упрочнение пород |

Зоны шва, мелких трещин и крупных трещин отличаются масштабом и качеством геологических нарушений, что определяет устойчивость подземных объектов (табл.3).

Таблица 3. Типизация вмещающих выработку пород по нарушенности

| Тип | Вмещающий выработку массив | Характеристика пород кровли |
|-----|----------------------------|--|
| 1 | Зона шва | Мелкие дискретные разности пород со слабым сцеплением |
| 2 | Зона мелких трещин | Средней величины структурные блоки пород с преимущественно залеченными трещинами |
| 3 | Зона крупных трещин | Сравнимой с размерами выработок величины структурные блоки пород с залеченными трещинами |

Надежность несущей породной конструкции зависит от пространственного положения выработки относительно зон геологических нарушений. Наиболее опасны горные выработки, расположенные в геологических нарушениях полового падения (рис.6).

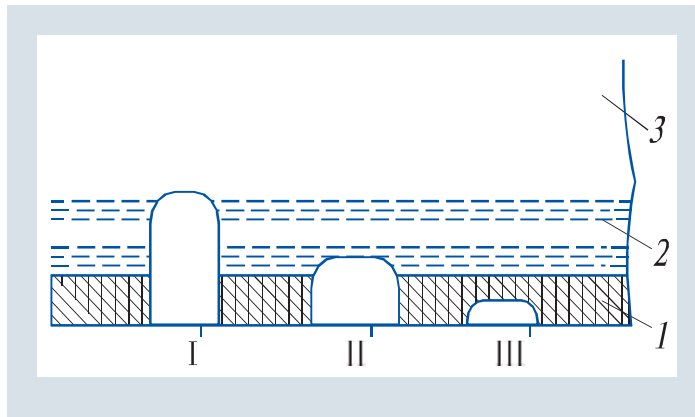


Рис.6. Типизация выработок по устойчивости: 1, 2, 3 - соответственно, подзоны шва, мелких трещин и крупных трещин I, II, III - типы выработок;

Возможностью возникновения и надежностью несущих конструкций характеризуются горные выработки, расположенные в породах крутого падения, у которых высота заклинивающихся породных блоков больше их длины.

Очистные выработки более устойчивы, когда в породах кровли в результате заклинивания структурных породных блоков образуется трехшарнирная арка (рис.7).

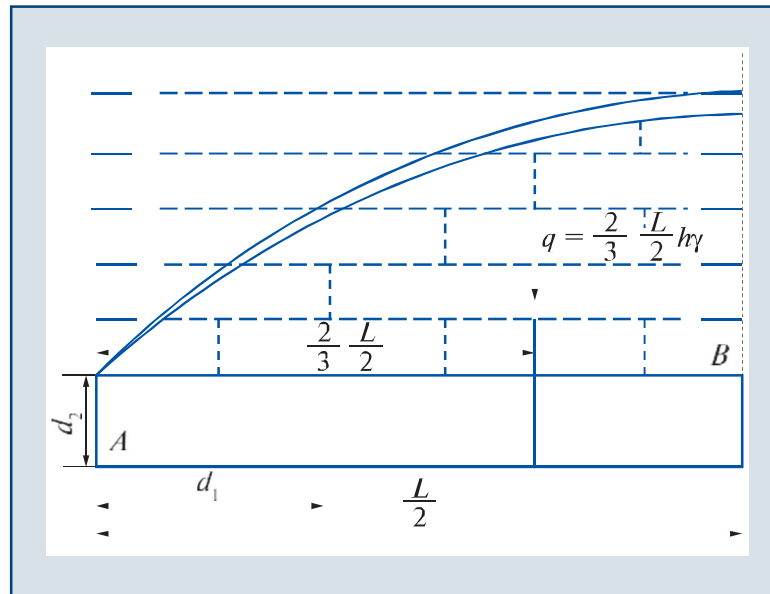


Рис. 7. Схема образования шарнирной арки: L – ширина пролета предельного свода естественного равновесия пород; h – высота предельного свода естественного равновесия пород; γ – объемная масса пород; d_1 – горизонтальный размер структурного блока основной кровли, м; А и Б – шарниры арки

Если очистная выработка пересекает шов и подзону мелкой трещиноватости рудовмещающей структуры на всю их мощность, ее кровля сложена структурными блоками соизмеримых по величине с размерами выработок, которые обеспечивают надежную несущую конструкцию.

Выработка I типа:

Сила, действующая на половину пролета [8]:

$$q = \frac{2}{3} \cdot \frac{L}{2} h_0 \gamma, \text{ где } h_0 = \frac{L}{2V_0}, \text{ откуда } q = \frac{L\gamma}{6V_0},$$

где L - длина пролета обнажения, м; h_0 - мощность основной кровли, м; γ - объемный вес пород, т/м³; V_0 - соотношение вертикального и горизонтального размеров структурного блока пород.

Момент силы q относительно точки A :
$$M_q = \frac{L_0^3 \gamma}{18V_0}.$$

Сила распора:
$$T = \frac{10R''_{сж}}{K_2} \cdot \frac{d_{02}}{3}.$$

Момент силы T относительно точки A :
$$M_T = T \frac{5}{6} d_{02} = \frac{10R''_{сж} 5d_{02}^2}{18K_2},$$

где d_{02} – вертикальный размер структурного блока пород основной кровли, м.

Из равенства моментов при $R''_{сж} = R'_{сж} = R_{сж}$:
$$L_I = 1,713 \sqrt{\frac{10R_{сж} d_{02}^2 V_0}{K_2 \gamma}},$$

где $R''_{сж}$ и $R'_{сж}$ – отношение временного сопротивления пород сжатию в направлении распора свода и в направлении действия массы пород; K_2 – коэффициент запаса; γ - объемная масса пород, т/м³.

Если очистная выработка пересекает шов и не полностью подзону мелкой трещиноватости, в кровле находятся структурные блоки сравнительно малых размеров (до 1,0 м) и надежность несущих конструкции уменьшается.

Выработка II типа:

Сила, действующая на половину пролета:
$$q_{II} = \frac{L}{2} b \gamma,$$

где b – мощность непосредственной кровли, м.

Момент силы q_{II} относительно точки A :
$$M_{q_{II}} = \frac{L}{2} b \gamma \frac{L}{4} = \frac{L^2 b \gamma}{8}.$$

Сила распора:
$$T = \frac{10R_{сж}}{K_2} \times \frac{1}{3} d_{II2},$$

где d_{II2} - вертикальный размер структурного блока пород непосредственной кровли, м.

Момент силы распора T относительно точки A :

$$M_T = T \frac{5}{6} d_{II2} = \frac{10R_{сж} 5d_{II2}^2}{18K_2}.$$

Из равенства моментов:
$$L_{II} = 1,49 d_{II2} \sqrt{\frac{10R_{сж}}{K_2 \gamma b}}.$$

Выработка III типа

Сила, действующая на половину пролета:
$$q_3 = \frac{L_3}{2} b \gamma.$$

Момент силы q_3 относительно точки A :
$$M_q = \frac{L_3}{2} b \gamma \frac{L}{4} = \frac{L_3^2 b \gamma}{8}.$$

Сила распора:
$$T = \frac{10R_{сж}}{K_2} \times \frac{2}{3} d_{II2}.$$

Момент силы распора T относительно точки A :

$$M_T = T \frac{5}{3} d_{н2} = \frac{10R_{сж} 10d_{н2}^2}{K_2 \cdot 9}$$

Из равенства моментов для двух слоев в кровле: $L_{III} = 2,98d_{н2} \sqrt{\frac{10R_{сж}}{K_2 b \gamma}}$;

Несущая способность породной конструкции обеспечивается при условии:

$$L_{Ф} < L_{III} = 1,49d_{н2} n \sqrt{\frac{10R_{сж}}{K_2 \gamma b}},$$

где n - количество скрепляемых слоев кровли (2...12).

Допустимый пролет закрепленного плоского обнажения непосредственной кровли:

$$L_3 = mL = 1,49 m d_{н2} \sqrt{\frac{10R_{сж}}{K_2 b \gamma}},$$

где m - коэффициент увеличения пролета в зависимости от количества скрепленных штангами слоев (2...6).

Увеличение размеров очистных камер более определенного для данных условий предела опасно возникновением критических напряжений в породах и соответствующих им деформаций в виде разрушения целиков и массива (рис.8) [15-16].

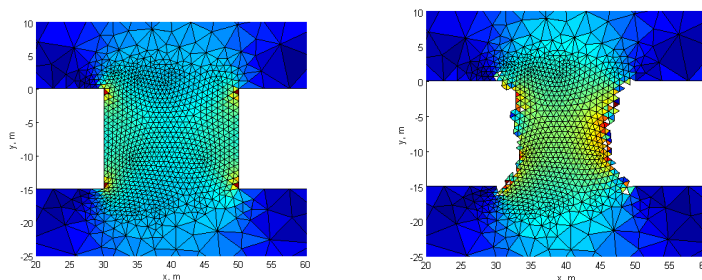


Рис.8. Модель разрушения несущего целика при увеличении пролетов выработки

Эффективность использования породных конструкций достигается комплексным улучшением показателей подземных и строительных геотехнологий (рис.9).



Рис.9. Эффективность использования породных конструкций

Результаты выполненного исследования согласуются с данными публикаций на затронутую тему в научной литературе [17-20].

Выводы

1. При подземной разработке месторождений и подземном строительстве разрушенные горные породы обладают остаточной прочностью и при соответствующих условиях способны создавать прочные конструкции.

2. Использование породных конструкций при горных работах является действенным способом улучшения показателей подземных и строительных геотехнологий.

3. Надежность управления состоянием вмещающих горные объекты породных массивов увеличивается при использовании мер корректировки размеров структурных блоков технологическими средствами.

4. Использование породных конструкций создает экономический эффект, уменьшая потери в целиках и повышая качество добываемых минеральных ресурсов, и сокращая затраты труда и материалов на управление горным давлением.

Л и т е р а т у р а

1. Шестаков В.А., Шаляпин В.Н., Литовченко Т.В. Теория оптимизации и совершенствования подземной разработки сложных рудных залежей. - Новочеркасск. - 2005. - 391 с.

2. Голик В.И., Хадонов З.М., Габараев О.З. Управление технологическими комплексами и экономическая эффективность разработки рудных месторождений. - Владикавказ, 2001. 390 с.

3. Пагуев К.Х., Голик В.И., Габараев О.З. Научные технологии добычи и переработки руд // Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет). – Владикавказ, 1998. – 510 с.

4. Вагин В.С., Голик В.И. Проблемы использования природных ресурсов южного федерального округа // Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению годгот. 650100 "Приклад. геология", по горно-геол. специальности / Владикавказ, 2005. – 191 с.

5. Голик В.И. Природоохранные технологии разработки рудных месторождений. – Москва, 2014. – 190 с.

6. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975. – С.207.

7. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало и безотходного горно-рудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. 2013. № 5. – С. 93-97.

8. Голик В.И., Брюховецкий О.С., Габараев О.З. Технологии освоения месторождений урановых руд. – Москва, 2007. – 131 с.

9. Голик В.И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе / В.И. Голик, В.И. Комащенко.- М.: КДУ, 2010. – 355 с.

10. Голик В.И. Разработка месторождений полезных ископаемых. - Владикавказ: МАВР, 2006. – 978 с.

11. Голик В.И. Специальные способы разработки месторождений. – Москва, 2014. – 129 с.

12. Ляшенко В.И., Коваленко В.Н., Голик В.И., Габараев О.З. Бесцементная закладка на горных предприятиях. – Москва, 1992. – 95 с.

13. Голик В.И., Комащенко В.И. Природоохранные технологии управления состоянием массива на геомеханической основе. – М.:КДУ, 2010. – 555 с.

14. Голик В.И., Разорёнов Ю.И., Комащенко В.И., Харебов, Г.З. Повышение безопасности труда при разработке нагорных месторождений оптимизацией технологических процессов// Безопасность труда в промышленности. – 2015. – №7. –С.36-43.

15. Kidybinski A. The role of geo-mechanical modelling in solving problems of safety and effectiveness of mining production // Archives of Mining Sciences. – 2010. – Vol. 55. – No. 2. – P. 263–278.

16. Wittke W. Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM). – Verlag : Wilhelm Ernst & Sohn, 2014. – 875 p.

17. Golik V., Komashenko V., Morkun V., Khasheva Z. The effectiveness of combining the stages of ore fields development // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – Т. 7. – № 5. – С. 401- 405.

18. 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.

19. Golik V.I., Hasheva Z.M., Galachieva S.V. Diversification of the economic foundations of depressive mining region // *Social Sciences (Pakistan)*. – 2015. – Т. 10. – № 6. – С. 746-749.

20. 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.

References

1. Shestakov V.A., Shaljamin V.N., Litovchenko T.V. *Teorija Optimizacii i Sovershenstvovaniya Podzemnoj Razrabotki Slozhnyh Rudnyh Zalezhej*. Novocherkassk. 2005. 391 p.
2. Golik V.I., Hadonov Z.M., Gabaraev O.Z. *Upravlenie Tehnologicheskimi Kompleksami i Jekonomicheskaja Jefferektivnost' Razrabotki Rudnyh Mestorozhdenij*, Vladikavkaz, 2001, 390 p.
3. Pagiev K.H., Golik V.I., Gabaraev O.Z. *Naukoemkie Tehnologii Dobychi i Pererabotki Rud, Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut (Gosudarstvennyj tehnologicheskij universitet)*. Vladikavkaz, 1998, 510 p.
4. Vagin V.S., Golik V.I. *Problemy Ispol'zovaniya Prirodnih Resursov Juzhnogo Federal'nogo Okruga: Ucheb. posobie dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po napravleniju podgot. 650100 "Priklad. geologija", po gorno-geol. special'nosti*, Vladikavkaz, 2005, 191 p.
5. Golik V.I. *Prirodoohramnye Tehnologii Razrabotki Rudnyh Mestorozhdenij*, Moskva, 2014, 190p.
6. Vetrov S.V. *Dopustimye Razmery Obnazhenij Gornyh Porod pri Podzemnoj Razrabotke Rud*. M., Nauka, 1975, 207 p.
7. Golik V.I. Konceptual'nye podhody k sozdaniyu malo i bezothodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniya fiziko-tehnicheskikh i fiziko-himicheskikh geotehnologij, *Gornyj zhurnal*, 2013, № 5, p. 93-97.
8. Golik V.I., Brjuhoveckij O.S., Gabaraev O.Z. *Tehnologii Osvoeniya Mestorozhdenij Uranovyh Rud*, Moskva, 2007, 131 p.
9. Golik V.I., Komashhenko V.I. *Prirodoohramnye Tehnologii Upravlenija Sostojaniem Massiva na Geomehanicheskoi Osnove*, M.: KDU, 2010, 355 p.
10. Golik V.I. *Razrabotka Mestorozhdenij Poleznyh Iskopaemyh*, Vladikavkaz: MAVR, 2006, 978 p.
11. Golik V.I. *Special'nye Sposoby Razrabotki Mestorozhdenij*, Moskva, 2014, 129 p.
12. Ljashenko V.I., Kovalenko V.N., Golik V.I., Gabaraev O.Z. *Bescementnaja Zakladka Na Gornyh Predpriyatijah*, Moskva, 1992, 95 p.
13. Golik V.I., Komashhenko V.I. *Prirodoohramnye Tehnologii Upravlenija Sostojaniem Massiva na Geomehanicheskoi Osnove*, M.:KDU, 2010, 555 p.
14. Golik V.I., Razorjonov Ju.I., Komashhenko V.I., Harebov, G.Z. Povyshenie bezopasnosti truda pri razrabotke nagornyh mestorozhdenij optimizaciej tehnologicheskikh processov, *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti*, 2015, №7, p. 36-43.
15. Kidybinski A. The role of geo-mechanical modelling in solving problems of safety and effectiveness of mining production, *Archives of Mining Sciences*, 2010, Vol. 55, No. 2, p. 263-278.
16. Wittke W. *Rock Mechanics Based on an Anisotropic Jointed Rock Model (AJRM)*, Verlag : Wilhelm Ernst & Sohn, 2014, 875 p.
17. 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, № 5, p. 401-405.
18. Golik V.I., Khasheva Z.M., Shulgatyi L.P. Economical efficiency of utilization of allied mining enterprises waste, *Social Sciences (Pakistan)*, 2015, vol. 10, № 6, p. 750-754.
19. Golik V.I., Hasheva Z.M., Galachieva S.V. Diversification of the economic foundations of depressive mining region, *Social Sciences (Pakistan)*, 2015, vol. 10, № 6, p. 746-749.
20. Golik V.I., Poluhin O.N., Petin A.N., Komashhenko V.I. Jekologicheskie problemy razrabotki rudnyh mestorozhdenij KMA, *Gornyj Zhurnal*, 2013, № 4, p. 91-94.

BEARING ROCK STRUCTURES DURING THE DEVELOPMENT OF UNDERGROUND FACILITIES

V. I. Golik, J. I., Razorenov, V. I. Lyashenko

It is shown that optimization of measures for creation of building structures in underground mines is an effective way to improve the performance of underground construction and Geotechnology. Reliability management as containing objects of mountain rock masses increased by the use of residual bearing capacity of the destroyed rocks with the adjustment of the dimensions of the structural units of the process means.

Key words: security, labor, ore, risk, injury, pillars, roof, span, mount, economy.