

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ С ФОРМИРОВАНИЕМ ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА ИЗ БУТОБЕТОННОЙ ТВЕРДЕЮЩЕЙ СМЕСИ

Гарифулина И.Ю., Дзапаров В.Х., Габараев Г.О.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ

Ключевые слова: скальные горные породы, бутобетонная закладка, закладочный массив, метод конечных элементов, междуэтажный целик, междукammerный целик, напряженно-деформированное состояние массива.

Аннотация. Работа посвящена обоснованию параметров системы разработки с формированием закладочного массива из бутобетонной твердеющей смеси и сыпучих скальных пород. Использование твердеющей бутобетонной закладки не требует строительства специального закладочного комплекса и позволяет вести приготовление бутобетонной смеси на месте её размещения. Однако отсутствие обоснованных оптимальных технологических параметров сдерживает широкое применение системы разработки с твердеющей бутобетонной закладкой. Для определения в искусственном и рудном массивах статистического напряжения, необходимого для оценки устойчивости камер и оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород разработана методика расчета и использовали методом конечных элементов. Исследования показали, что величина предельного пролета обнажений зависит от средней глубины разработки и коэффициента крепости горных пород и может быть определена из регрессионной модели. Результаты работы могут использоваться на горнорудных предприятиях при проектировании технологии отработки маломощных крутопадающих рудных тел.

JUSTIFICATION OF THE DEVELOPMENT SYSTEM PARAMETERS WITH THE FORMATION OF A FOUNDATION MASS FROM A CONCRETE HARDENING MIX

Garifulina I.Yu., Dzaparov V.Kh., Gabaraev G.O.

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz

Keywords: rock formations, rubble concrete backfill, backfill massif, finite element method, interfloor pillars, interchamber pillars, stress-strain state of the massif.

Abstract. The work is devoted to substantiating the parameters of the development system with the formation of a backfill mass from a hardening rubble-concrete mixture and loose rock formations. The use of a hardening rubble-concrete backfill does not require the construction of a special backfill complex and allows for the preparation of a hardening rubble-concrete mixture on-site. However, the lack of substantiated optimal technological parameters hinders the widespread use of the development system with a hardening rubble-concrete backfill. To determine the statistical stress in artificial and ore massifs, which is necessary to assess the stability of the chambers and the stress-strain state of the rock massif, a calculation method was developed using the finite element method. The studies showed that the value of the ultimate exposure span depends on the average depth of mining and the rock strength coefficient and can be determined using a regression model. The results of the work can be used at mining enterprises when designing technologies for mining thin, steeply dipping ore bodies.

Введение. Золоторудное месторождение «Кекура» находится в 120 километрах к югу от Билибино (рис. 1). Запасы оценены в 2 млн. унций золота. Мощность переработки руды – 800 тысяч тонн в год.

Простираение месторождения с севера на восток, падение крутое до 70-85°. По простираению зона прослеживается пока на 600 м, мощность рудного тела доходит местами до 4 м. На западе месторождение примыкает к зоне Винтового разлома и, вероятно, является одной из его оперяющих ветвей. Вмещающими породами массива служат интенсивно тектонизированные и в приконтактной части ороговикованные флишоиды устиевской толщи позднего триаса. Продуктивная часть зоны сопряжена с четким тектоническим швом.

Золоторудное месторождение относится к нагорному типу. По абсолютным отметкам условно делят карьер на нагорную и глубинную части. Оработка месторождения

производиться по углубочной системе разработки с внешним отвалообразованием. Относительная глубина карьера составляет около 300 м. Глубинная часть месторождения вскрывается системой последовательных съездов. Проектом предусмотрено применение системы разработки с погашением выработанного пространства с использованием отходов горного производства (рис. 2). В качестве закладочного материала используется пустая порода от проходки горнопроходческих работ, а также порода с отвалов на поверхности. Применение системы разработки сдерживает отсутствие обоснованных оптимальных технологических параметров. Возникает необходимость в обоснования параметров технологии формирования искусственного массива из твердеющей бутобетонной закладочной смеси и сыпучих скальных пород.



Рис. 1. Обзорная карта месторождения

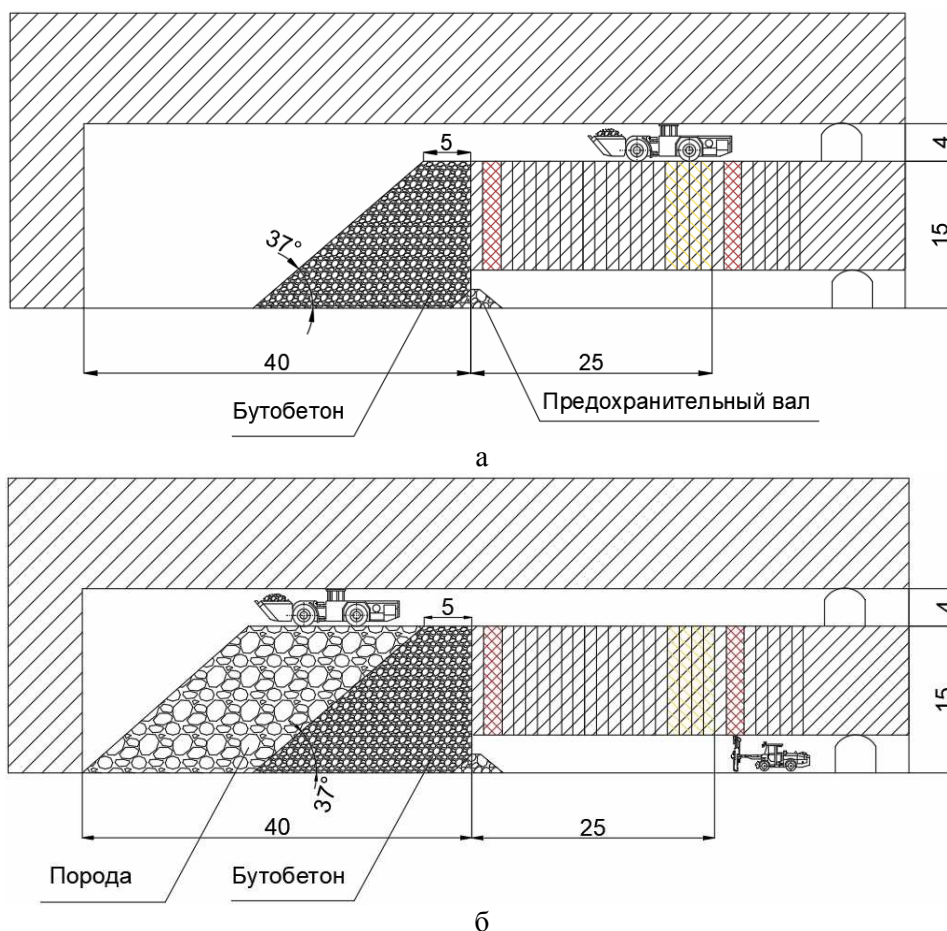


Рис. 2. Вариант системы разработки с формированием закладочного массива из бутобетонной твердеющей смеси: а – формирование бутобетонного целика, б – закладка очистного пространства породой

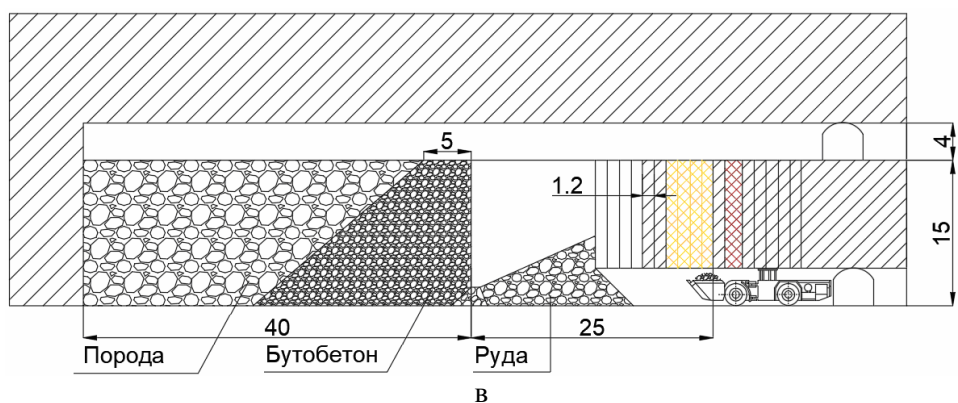


Рис. 2. Вариант системы разработки с формированием закладочного массива из бутобетонной твердеющей смеси: в – отбойка запасов в последующей камере

Методы исследований. Для определения в искусственном и рудном целиках статического напряжения, необходимого для оценки устойчивости камер, на рисунке 3 представлены расчетные схемы. Напряженно-деформированное состояние массива горных пород определялось методом конечных элементов [1-5].

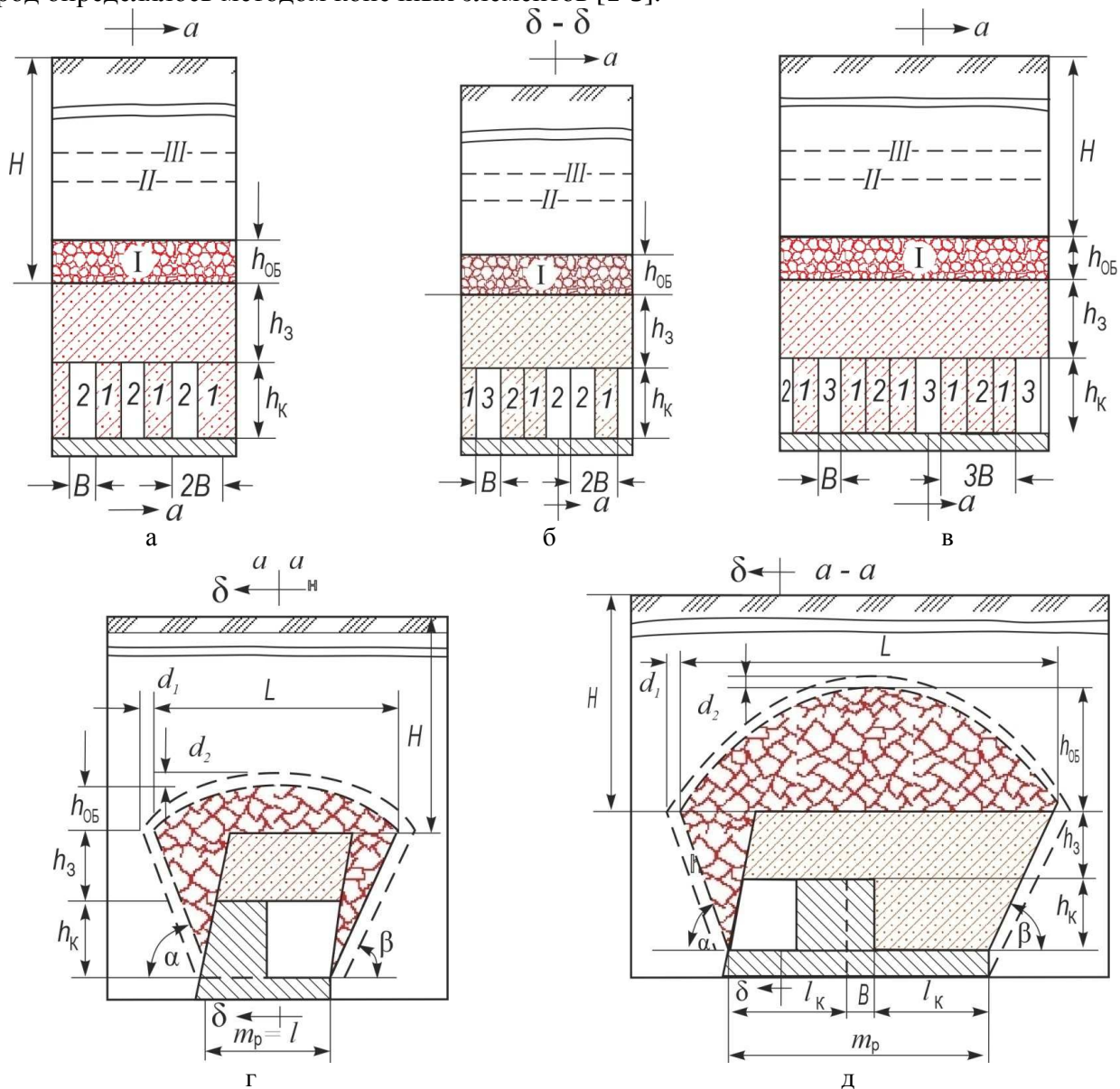


Рис. 3. Схемы к расчету напряжений на рудные и искусственные целики: 1, 2, 3 – порядок отработки камер

При двухстадийной выемке вертикальная составляющая напряжений σ_{zi} в центре по горизонтальному сечению:

– в рудном целике (камерные запасы второй очереди):

$$\sigma_{zip} = \left(\frac{2B\gamma_3 h_{np}}{B-b} + 0,5\gamma_p h_k \right) 10^{-3}, \quad (1)$$

– в искусственном целике шириной B :

$$\sigma_{ziz} = (\gamma_3 h_{np} + 0,5\gamma_3 h_k) 10^{-3}, \quad (2)$$

где B – ширина камеры (целика), м; b – ширина буровой выработки, м; γ_3 – удельный вес закладки, кН/м³; γ_p – удельный вес руды, кН/м³; h_k – высота камеры (целика), м; h_{np} – приведенная высота нагрузки, м.

При трехстадийной выемке через два искусственных целика (рис. 3, б) вертикальная составляющая напряжений в центре по горизонтальному сечению:

– в рудном целике (камерные запасы третьей очереди):

$$\sigma_{zip} = \left(\frac{3B\gamma_3 h_{np}}{B-b} + 0,5\gamma_p h_k \right) 10^{-3}, \quad (3)$$

– в искусственном целике шириной $2B$:

$$\sigma_{ziz} = (1,5\gamma_3 h_{np} + 0,5\gamma_3 h_k) 10^{-3}. \quad (4)$$

При трехстадийной выемке через три искусственных целика (рис. 3, в) вертикальная составляющая напряжений σ_{zi} в центре по горизонтальному сечению:

– в рудном целике (камерные запасы третьей очереди):

$$\sigma_{zip} = \left(\frac{4B\gamma_3 h_{np}}{B-b} + 0,5\gamma_p h_k \right) 10^{-3}, \quad (5)$$

– в искусственном целике шириной $3B$:

$$\sigma_{ziz} = \left(\frac{4}{3\gamma_3 h_{np}} + 0,5\gamma_3 h_k \right) 10^{-3}. \quad (6)$$

Приведенная высота нагрузки на целики

$$h_{np} = \frac{h_p h_{об} + \gamma_3 h_3}{\gamma}, \quad (7)$$

где γ – удельный вес налегающей толщи пород, кН/м³; $h_{об}$ – высота возможного свода обрушения, м; h_3 – высота вышележащего слоя закладки, м; h_p – высота налегающих пород, м.

Высота возможного слоя обрушения с учетом давления P на контуре (закладка – обрушенные породы), т.е. [6, 7]:

$$h_{об} = \left[h \frac{1,0 - 1,1P}{\gamma H} \right], \quad (9)$$

где H – глубина залегания контакта закладка – обрушенные породы, м.

Высоту свода обрушения h' без учета давления на контуре можно определить по методике [8, 9], согласно которой

$$h' = 0,25L \frac{d_1 \sigma'_{1сж}}{d_2 \sigma''_{1сж}}, \quad (10)$$

где L – пролет свода, м;

$$L = m_p + (h_k + h_3) \left(\operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi_1}{2} \operatorname{ctg} \frac{90^\circ + \varphi_2}{2} \right), \quad (11)$$

где m_p – горизонтальная мощность рудного тела, м; φ_1 φ_2 – угол внутреннего трения пород висячего и лежащего боков, градус; d_1 , d_2 – соответственно горизонтальный и вертикальный размер заклинивающих элементарных блоков породы, образованных тектоническими

трещинами, м; $\sigma'_{1сж} / \sigma''_{1сж}$ – отношение временного сопротивления горных пород сжатию в направлении действия сил веса горных пород и в направлении распора свода.

В случае однородного сложения пород высота свода $h' = 0,25L$.

Давление на контуре со стороны закладочного массива при последней стадии выемки блоков в слое h_3 соответственно для схем согласно рисункам 3 а, б, в составит

$$P_a = \frac{1}{2} \sigma_{1,2сж}; \quad P_b = \frac{2}{3} \sigma_{1,2сж}; \quad P_v = \frac{3}{4} \sigma_{1,2сж}, \quad (12)$$

где $\sigma_{1,2сж}$ – предел прочности закладки на двухосное сжатие, МПа.

При плоской искусственной кровле в потолочине возникают растягивающие напряжения по направлению оси x , которые распространяются на высоту слоя

$$h_n = 0,215 h_3 \left(\frac{B}{h_3} \right)^{0,78}. \quad (13)$$

На контакте этого слоя по центру камеры в горизонтальной плоскости от собственного веса этого слоя существуют растягивающие напряжения

$$\sigma_{zi} = \gamma_3 h_3 \cdot 10^{-3}. \quad (14)$$

В то же время в плоскости по линии z сжимающие напряжения от сил бокового распора составят

$$\sigma_{xi} = \frac{\mu \gamma_a h_{np}}{(1-\mu) 10^a}, \quad (15)$$

где μ – коэффициент Пуассона закладки.

Результаты. Результаты экспериментальных исследований измерений напряжений над зоной очистных работ представлены в таблице 1.

Табл. 1. Напряжения на рудные и искусственные целики

Номера скважин	Напряжения, МПа		
	Вертикальные, σ_v	Горизонтальные	
		Продольные, σ_{np}	Поперечные, σ_n
1	8,3	10,6	11,4
2	11,6	13,4	14,2
3	9,2	10,4	11,0
4	8,6	10,3	10,9
5	7,6	8,4	9,2
6	7,0	9,4	10,2
7	6,6	8,3	9,8
8	7,1	8,4	8,7
9	7,5	8,2	9,6
10	6,9	7,8	9,5

Над зоной очистных работ в предохранительных целиках из рудного или закладочного массива максимальные напряжения действуют горизонтально в крест простирания рудных залежей и превышают вертикальные в 1,37-1,5 раза, что обусловлено действием в рудовмещающем массиве поля гравитационно-тектонических напряжений. По мере продвижения очистных работ напряжения и деформации изменяются, большинстве случаев в сторону возрастания, при этом над самой зоной отработки происходит разгрузка массива горных пород.

Зависимость предельного пролета обнажений (l_o) от средней глубины разработки (H_{cp}) и коэффициента крепости горных пород (f) определялась на основе полного факторного эксперимента. В качестве независимых переменных были избраны: x_1 – средняя глубина разработки, H_{cp} , м; x_2 – коэффициент крепости горных пород, f . Обработка

экспериментальных данных позволила получить зависимости влияния глубины разработки и коэффициента крепости горных пород на величину предельного пролета обнажений при использовании системы разработки с формированием закладочного массива из бутобетонной твердеющей смеси и сыпучих скальных пород (рис. 4) [10,11]:

$$l_o = 40,56 - 15,55H_{cp} - 0,18H_{cp}^2 + 12,78f - 3,88f^2. \quad (16)$$

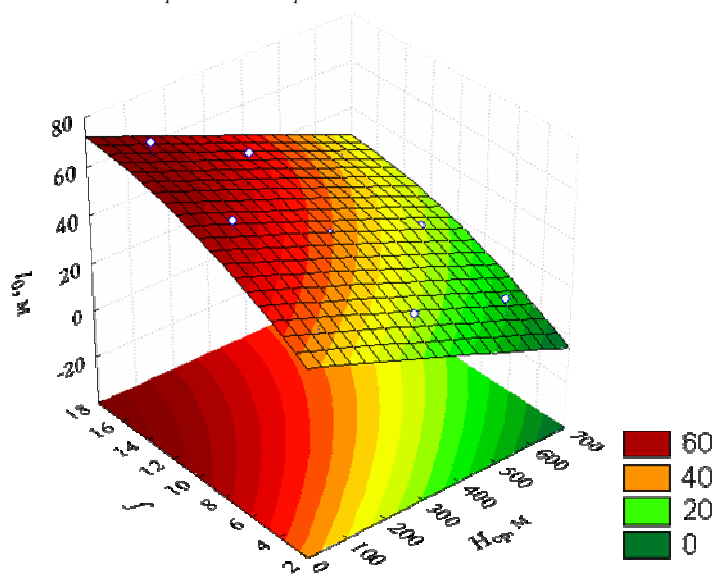


Рис. 4. График зависимости

Заключение. Для определения в искусственном и рудном массивах напряжения, необходимого для оценки устойчивости камер и оценки напряженно-деформированного состояния массива горных пород разработана методика расчета. Над зоной очистных работ максимальные напряжения действуют горизонтально в крест простирания рудных залежей и превышают вертикальные в 1,37-1,5 раза, что обусловлено действием в рудовмещающем массиве поля гравитационно-тектонических напряжений. Установлены закономерности изменения величины предельного пролета обнажений от глубины разработки и коэффициента крепости горных пород.

Финансирование. Работа выполнена в рамках проекта за счет средств федерального бюджета по государственному заданию «Лаборатория разработки экологически чистых и безотходных технологий утилизации техногенного сырья в подземном выработанном пространстве (ГеоЗакладка)». Код научной темы – FEFG-2025-0003.

Список литературы

1. Методические указания по технологии приготовления и определению физико-механических свойств на эквивалентных материалах. – Л.: ВНИМИ, 1980. – 95 с.
2. Методические указания по определению механических свойств и напряжений в массиве пробами МГД. – Л.: ВНИМИ, 1979. – 74 с.
3. Методические указания по исследованию проявлений горного давления на моделях из эквивалентных материалов. – Л., 1976. – 85 с.
4. Методические указания по определению нормативной прочности твердеющей закладки и оценке прочностных свойств искусственных массивов. – Л., 1975. – 43 с.
5. Падуков В.А. Моделирование как метод исследования в горной геомеханике // Записки Горного института. – 1991. – Т. 125. – С. 29-36.
6. Монтянова А.Н. Прогнозирование и контроль прочностных параметров закладочного массива, твердеющего в условиях пониженных температур // Горный журнал. – 2000. – №7. – С. 82-84.
7. Бакулин В.А. Контроль устойчивости искусственной кровли при нисходящей слоевой выемке // Горный журнал. – 2010. – №4. – С. 19-21.
8. Ветров С.В. Допустимые размеры обнажений горных пород при подземной разработке руд. – М.: Наука, 1975. – 198 с.
9. Зотеев О.В., Криницын Р.В. Влияние сухой закладки на несущую способность целиков // Проблемы недропользования. – 2019. – №4(23). – С. 144-155.

10. Гарифулина И.Ю. Обоснование параметров подэтажно-камерной системы разработки с формированием разнопрочных закладочных массивов на основе бутабетонной и породной закладки: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Владикавказ, 2025. – 22 с.
11. Габараев О.З., Валиев Н.Г., Майстров Ю.А., Зассеев И.А. Обоснование параметров технологии отработки подработанных вкрапленных руд // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – №1. – С. 109-115.

References

1. Guidelines for the preparation technology and determination of physical and mechanical properties on equivalent materials. – L.: VNIMI, 1980. – 95 p.
2. Guidelines for the determination of mechanical properties and stresses in the array by MGD tests. – L.: VNIMI, 1979. – 74 p.
3. Guidelines for the study of manifestations of rock pressure on models of equivalent materials. – L., 1976. – 85 p.
4. Guidelines for determining the standard strength of hardening filling and assessing the strength properties of artificial masses. – L., 1975. – 43 p.
5. Padukov V.A. Modeling as a Research Method in Mining Mechanics // Journal of Mining Institute. 1991, vol. 125, pp. 29-36.
6. Montyanova A.N. Prediction and Control of the Strength Parameters of a Backfill Massif Hardening under Low-Temperature Conditions // Mining Journal. 2000, no. 7, pp. 82-84.
7. Bakulin V.A. Control of the Stability of an Artificial Roof during Downward Layered Excavation // Mining Journal. 2010, no. 4, pp. 19-21.
8. Vetrov S.V. Permissible dimensions of rock outcrops during underground ore mining. – M.: Science, 1975. – 198 p.
9. Zoteev O.V., Krinitsyn R.V. Influence of dry filling on the load-bearing capacity of pillars // Problems of subsurface use. 2019, no. 4(23), pp. 144-155.
10. Garifulina I.Yu. Substantiation of the parameters of the sub-storey-chamber development system with the formation of multi-strength filling arrays based on rubble concrete and rock filling: Abstract of the diss. ... cand. of tech. sc. – Vladikavkaz, 2025. – 22 p.
11. Gabaraev O.Z., Valiev N.G., Maistrov Yu.A., Zasseev I.A. Substantiation of the parameters of the technology of processing of processed embedded ores // Sustainable development of mountainous territories. 2017, no. 1, pp. 109-115.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Гарифулина Ирина Юрьевна – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела	Garifulina Irina Yurievna – candidate of technical sciences, associate professor of the Mining Department
Дзапаров Вячеслав Хаматканович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела	Dzaporov Vyacheslav Khamatkanovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Mining Department
Габараев Георгий Олегович – аспирант	Gabaraev Georgy Olegovich – postgraduate student
irina-kajtukova@yandex.ru	

Получена 20.11.2025