

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОМБИНИРОВАННОГО ЗАКЛАДОЧНОГО МАССИВА ПРИ ВОСХОДЯЩЕМ ПОРЯДКЕ ОТРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Мешеряков Э.Ю.¹, Валеев А.С.², Аллабердин А.Б.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Сибайский институт (филиал) ФГБУ ВПО «Башкирский государственный университет», Россия

Аннотация. Проведены исследования по определению параметров комбинированного закладочного массива при одновременном заполнении выработанного пространства камеры твердеющей и породной закладкой и восходящем порядке отработки месторождений. Установлены основные горно-геологические и горнотехнические факторы, влияющие на параметры искусственных целиков. В результате исследований построена номограмма для определения ширины твердеющей части комбинированного закладочного массива. Обоснован гранулометрический состав породной шихты, используемый для возведения комбинированного закладочного массива.

Ключевые слова: восходящий порядок отработки, комбинированный закладочный массив, технология формирования, камерная система разработки, ширина искусственного целика, породная шихта.

Введение

При восходящем порядке ведения горных работ закладка выработанного пространства является единственно возможным способом поддержания подработанного массива. Применение твердеющей смеси для закладки камеры характеризуется высокой себестоимостью закладочных работ, а использование породы в качестве закладки выработанного пространства — неспособностью к устойчивости при обнажении и значительной усадкой сформированного массива. В связи с этим предложена [1] технология формирования комбинированного закладочного массива, заключающаяся в том, что выработанное пространство одновременно заполняется сухой и твердеющей закладкой, при этом твердеющий массив создается на границе рудного массива сопряженной камеры и составляет порядка 30% от общего объема формируемого закладочного массива. Разработанный способ создания и сохранения устойчивости закладочного массива позволяет существенно снизить стоимость закладочных работ и обеспечить реализацию экологически безопасной технологии восходящей выемки за счет утилизации пустых пород из отвалов и проходческих работ.

Методика расчета параметров комбинированного закладочного массива

При ведении закладочных работ предложенной технологией необходимо обоснование параметров возводимого искусственного массива, которое сводится к обоснованию гранулометрического состава породной шихты, обеспечивающего минимальную усадку, и расчету требуемой ширины твердеющей части сохраняющего устойчивость при его обнажении.

Известно что, компрессионные свойства породной закладки зависят от ее пустотности, которая в свою очередь зависит от гранулометрического состава пород. Предшествующими исследованиями [2–5] установлено, что наибольшую плотность γ и, соответственно, наименьшую усадку λ имеют «двухмодальные» составы, в которых при наличии крупной a_{\max} и мелкой a_{\min} фракций отсутствуют средние.

В нашем случае размер крупной фракции регламентируется техническими возможностями оборудования, используемого для возведения комбинированного закладочного массива, и составляет 50 мм. Соблюдая условие $K_k = a_{\max}/a_{\min} \geq 4,5$, при котором породы укладываются более плотно, максимальный размер мелкой фракции составляет 10 мм.

Исходя из установленных размеров частиц, определяется объемное соотношение фракций. Для этого производится расчет пустотности дробленой породы крупного класса по формуле [3], кг/м³

$$V_{p1} = 1 - \frac{\gamma_{n1}}{\gamma_{m1}}, \quad (1)$$

где γ_{n1} , γ_{m1} — соответственно насыпная плотность пород крупного класса и пород в массиве, кг/м³.

Заполнение пустот V_{p1} породой мелкого класса объемом $V_2 = V_{p1}$ определит общую пустотность насыпи, кг/м³

$$V_{\Sigma} = V_2 \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{n1}}{\gamma_{m2}} \right), \quad (2)$$

где γ_{n1} , γ_{m2} — соответственно плотность насыпная пород второго класса и пород в массиве, кг/м³.

При этом общая плотность полученной шихты определяется по формуле, кг/м³

$$\gamma_3 = \gamma_{н1} \cdot V_1 + \gamma_{н2} \cdot V_2. \quad (3)$$

Таким образом, используя вышеприведенную методику расчета гранулометрического состава пород, рекомендуется использовать породную шихту в соотношении 1:2 объема мелкой фракции (10 мм) к объему крупной фракции (50 мм), которая обеспечит высокие компрессионные свойства.

Исходя из конструкции комбинированного закладочного массива (рис. 1), твердеющая часть, по сути, является подпорной стенкой, которая испытывает боковое давление, оказываемого сыпучей породной закладкой [6]. Поэтому расчет нормативной ширины производится по методике расчета свободно опертой перемычки [7].

Предельное боковое давление сыпучей закладки [8], т/м²

$$P = \frac{\gamma \cdot S \cdot \sin \alpha}{p \cdot f_1}, \quad (4)$$

где γ – удельный вес закладки в разрыхленном состоянии, т/м³; S – площадь поперечного сечения камеры, м²; p – периметр сечения, м; f_1 – коэффициент трения сыпучей закладки о стенки камеры; α – угол наклона камеры, град.

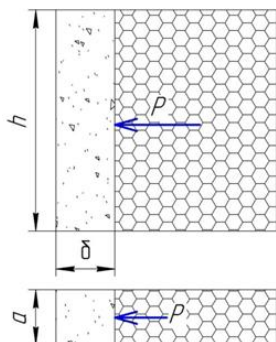


Рис. 1. Схема для расчета ширины искусственного целика

Максимальный изгибающий момент (Н·м) определяется либо по горизонтальному сечению твердеющего целика (M_1), либо – по вертикальному (M_2):

$$M_1 = \frac{Pa^2}{Y_1}; \quad (5)$$

$$M_2 = \frac{Ph^2}{Y_2},$$

где P – давление на искусственный целик МПа; a – ширина камеры, м; h – высота камеры, м; Y – табличный коэффициент [7].

Далее производится расчет момента сопротив-

ления целика [7], Н/м

$$W = \frac{M \cdot k}{m \cdot G_{\text{рас}}}, \quad (6)$$

где M – максимальный изгибающий момент твердеющего целика, Нм; k – коэффициент перегрузки, принимается $k=1$; m – коэффициент условий работы, $m=0,2$; $G_{\text{рас}}$ – нормативная прочность твердеющего целика на растяжение, МПа.

Нормативная прочность твердеющего целика на сжатие (МПа) определяется по формуле Ферэ [7]

$$G_{\text{сж}} = 2,5 \cdot \sqrt{(G_{\text{рас}})^3}, \quad (7)$$

где $G_{\text{сж}}$ – предельная прочность искусственного массива на сжатие, МПа.

Определив все промежуточные параметры, рассчитываем ширину искусственного монолитного целика [7], м

$$\delta = \sqrt{\frac{6W}{t}}, \quad (8)$$

где $t=h$ при определении W по M_1 ; $t=a$ при определении W по M_2 .

С целью оценки влияния горно-геологических и горнотехнических факторов на параметры комбинированного закладочного массива расчет производился по вышеизложенной методике для различных условий. Влияние каждого рассматривалось в отдельных случаях.

Высота камеры изменялась в пределах от 20 м до 100 м. Угол наклона камеры был принят равным 90° (при данном угле значение бокового давления максимально, то есть рассматривались наиболее опасные горно-геологические условия). Прочность твердеющей закладки на сжатие принималась равной 3 МПа. Расчеты производились для камеры шириной 10, 12, 15, 18, 20 м, требуемая ширина целика при этом уменьшалась незначительно, в пределах 1 м (рис. 2).

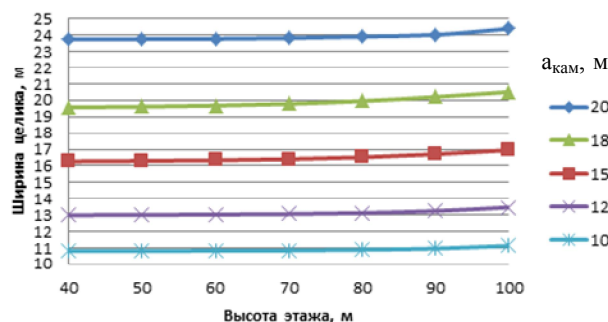


Рис. 2. Зависимость ширины целика от высоты камеры

На размеры искусственного целика влияет и угол наклона камеры. Рассматривался диапазон от 60 до 90°, что обусловлено областью применения камерных систем разработок. Расчеты показали, что уменьшение угла наклона камеры ведет к снижению бокового давления, оказываемого породной закладкой. Это объясняется тем, что уменьшение угла, при неизменных других параметрах камеры, приводит к изменению геометрических размеров призмы сползания, за счет перемещения части веса сыпучей закладки на вмещающие породы, что в свою очередь обуславливает и уменьшение ширины целика (рис. 3).

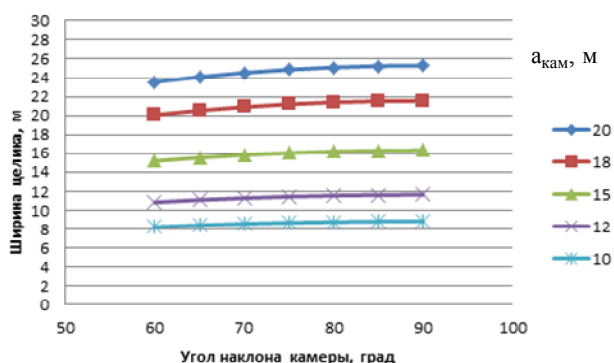


Рис. 3. Зависимость ширины целика от угла наклона камеры

Для определения степени влияния мощности рудного тела (ширины камеры) на ширину искусственного целика были произведены расчеты для камеры с условными значениями высоты ($H=const=60$ м) и значением предела прочности целика на сжатие ($G_{сж}=const=3$ МПа). Полученные результаты объединены на графике (рис. 4).

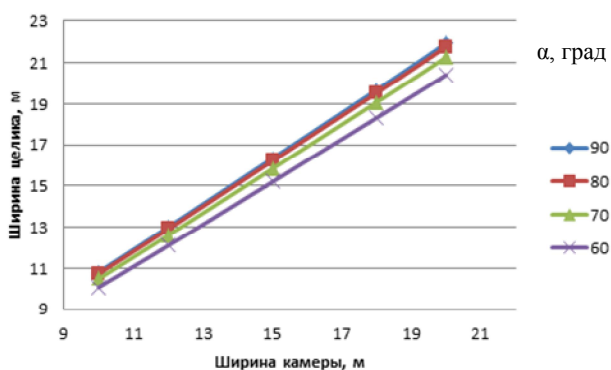


Рис. 4. Зависимость ширины целика от ширины камеры

Как видно из графика, наблюдается прямая зависимость одного параметра от другого. Так, например, уменьшение ширины камеры с 20 до 10 м приводит к уменьшению ширины целика

на 50%.

С целью установления влияния прочности целика на его ширину были произведены расчеты при изменении прочности и постоянных значениях высоты и угла наклона ($H=60$, $\alpha=90$), полученные результаты объединены в графике и представлены на рис. 5.

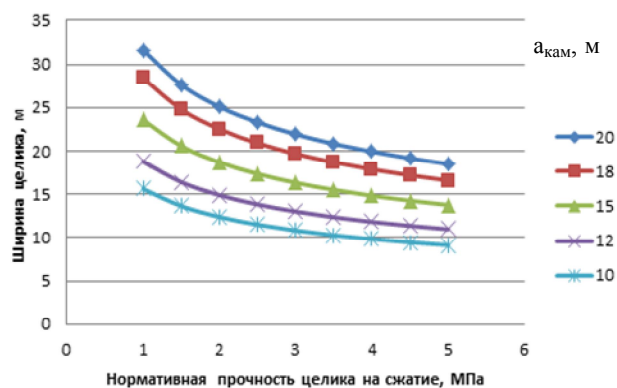


Рис. 5. Зависимость ширины целика от его предела прочности на сжатие

В результате расчетов ширины искусственного целика при различных горно-геологических и горнотехнических условиях на основе полученных графиков построена номограмма (рис. 6), позволяющая определить требуемые параметры искусственного целика без аналитических расчетов.

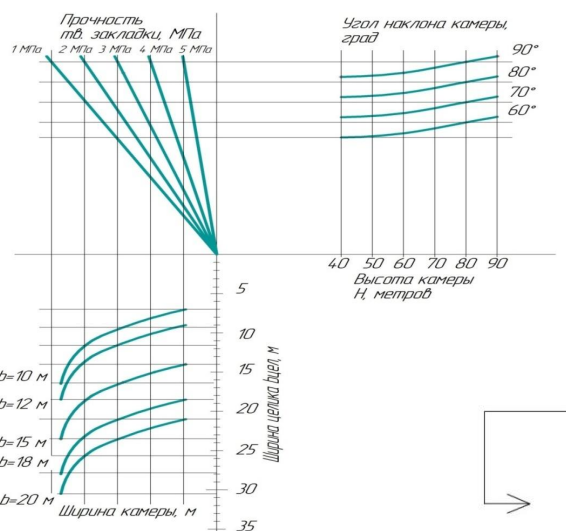


Рис. 6. Номограмма для определения ширины искусственного целика

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований обоснованы параметры комбинированного закладочного массива, возводимого при восходящем порядке отработки месторождений. В

частности, определен гранулометрический состав породной шихты двухмодального состава, обеспечивающий наименьший коэффициент усадки. Получены зависимости ширины твердеющей части комбинированного закладочного массива от горно-геологических и горнотехнических условий. Результаты объединены в номограмму, позволяющую графическим способом определить параметры закладочного массива, обеспечивающие его устойчивость при обнажении.

Список литературы

1. Мещеряков Э.Ю., Аллабердин А.Б. Метод формирования комбинированного закладочного массива при камерной системе разработки крутопадающих рудных тел малой и средней мощности на глубоких горизонтах // Условия устойчивого функционирования минерально-сырьевого комплекса России. Вып. 1: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). 2014. №10. С. 118–123.
2. Герасименко О.Г. Исследование свойств сухой породной закладки и выбор рациональной технологии закладочных работ (на примере Дзержкаганского месторождения): дис. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1974. 188 с.
3. Коган Я.Л. Сжимаемость крупнообломочных пород под большими нагрузками // Гидротехническое строительство. 1966. №9. С. 12–15.
4. Светлаков К.Н., Атамских С.А. Техника и технология ведения закладочных работ на рудниках цветной металлургии // ЦНИИцветмет экономики и информации. 1980. 39 с.
5. Мещеряков Э.Ю. Совершенствование способа управления состоянием прикарьерного массива при подземной разработке ценных руд: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск: МГТУ, 1998.
6. Исследование физико-механических свойств отходов обогащения для разработки технологии формирования закладочного массива в выработанном пространстве карьера «Учалинский» / Калмыков В.Н., Зотеев О.В., Зубков А.А., Гоготин А.А., Зубков А.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2013. №4. С. 11–19.
7. Закладочные работы в шахтах: справочник / под ред. Д.М. Бронникова, М.Н. Цыгалова. М.: Недра, 1989. 400 с.
8. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. М.: Машиностроение, 1964.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

RATIONALE FOR PARAMETERS OF A COMBINED FILLING MASS IN ASCENDING EXPLOITATION MINING

Meshcheryakov Eduard Yurievich – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. E-mail: ntc@magtu.ru

Valeev Azat Salimyanovich – D.Sc. (Education), Ph.D. (Eng.), Professor, Sibai Institute (Branch) of the Bashkir State University, Bashkortostan. E-mail: Valeev_as@mail.ru

Allaberдин Azamat Bulyakovich – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 (3519) 298 461, 298 466. E-mail: Allaberдинazamat@mail.ru

Abstract. We studied parameters of a combined filling mass during both solid stowing and rockfill of a chamber and ascending exploitation mining of deposits. We determined main mining and geological and mine engineering factors influencing parameters of artificial pillars. The studies resulted in a nomograph used to determine a width of a solid part of the combined filling mass. A grain composition of the mix of rocks used in a combined filling mass is justified.

Keywords: ascending exploitation mining, combined filling mass, forming technology, chamber mining, width of an artificial pillar, mix of rocks.

References

1. Meshcheryakov E.Yu., Allaberдин A.B. A method of forming a combined filling mass in chamber mining of steeply deeping ore bodies of the low and average capacity at deep horizons. *Usloviya ustoychivogo funktsionirovaniya mineralno-syrevoogo kompleksa Rossii* [Conditions for sustainable functioning of a mineral resources sector of Russia]. Issue 1 (special issue): *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. Separate articles. 2014, no. 10, pp. 118–123.
2. Gerasimenko O.G. Study of dry rockfill properties and selection of a reasonable technology of filling operations (by the example of the Dzhezkazgan deposit). Ph.D. dissertation. Alma-Ata, 1974, 188 p.
3. Kogan Ya.L. Compressibility of coarse rocks under high loads. *Hydraulic Engineering*. 1966, no. 9, pp. 12–15.
4. Svetlakov K.N., Atmanskikh S.A. Technique and technology of filling operations at mines in the non-ferrous metallurgy. *TsNIITsvetmet of economy and information*. 1980. 39 p.
5. Meshcheryakov E.Yu. *Improving the method for controlling a state of a mass near a pit in underground mining of valuable ores. PhD dissertation*. Magnitogorsk, MGTU, 1998.
6. Kalmykov V.N., Zoteev O.V., Zubkov An.A., Gogotin A.A., Zubkov A.A.. Study of physical and mechanical properties of tailings to develop the technology of forming a filling mass in the goaf of the Uchalinsky open pit. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova*. [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2013, no. 4, pp. 11–19.
7. Backfilling in mines: a Handbook. Ed. by D.M. Bronnikov, M.N. Tsygalov. Moscow: Nedra, 1989, 400 p.
8. Zenkov R.L. *Mekhanika nasypanykh грузов* [Mechanics of bulk cargo]. Moscow: Engineering, 1964.