

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАССИВА МАГАЗИНИРОВАННОЙ РУДЫ С ВМЕЩАЮЩИМ МАССИВОМ ГОРНЫХ ПОРОД

Г. Г. Пирогов¹, И. М. Козлова¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия

Аннотация: Системы разработки с магазинированием руды имеют большое распространение при разработке маломощных жил с углами падения свыше 50° длительный период времени. В последние годы с целью повышения производительности труда преимущественно на доставке и транспортировании руды применяют самоходные машины. Развитие системы, появление широкого ассортимента, в т. ч. малогабаритных, самоходных машин для выполнения всех технологических процессов очистной выемки привели к решению задачи обоснования геотехнологии разработки на основе применения комплексов самоходных машин. Кроме задачи экономической целесообразности, возникают задачи оценки геомеханического состояния очистного блока, движения машин по поверхности кусковой руды, выпуска уплотненной руды. Взаимодействие магазинированной руды с массивом горных пород представлено выражением, в левую часть которого включены горизонтальные гидростатические напряжения бокового распора и тектонические напряжения, в правую часть – напряжения в магазинированной руде с учетом времени её постепенного уплотнения и веса машин. Отмечено, что равенство взаимодействующих сил может наблюдаться только на верхних горизонтах, с увеличением глубины разработки давление со стороны массива преобладает, и т. к. в силу кусковатости руда не обладает достаточной несущей способностью, развивается конвергенция бортов выработанного пространства. Рассмотрено условие предупреждения зависаний при выпуске уплотненной руды.

Ключевые слова: жилы, система разработки с магазинированием руды, производительность труда, комплексы самоходных машин, вмещающий породный массив, гидростатические и тектонические напряжения, конвергенция бортов выработанного пространства, уплотнение руды, выпуск руды, давление на поверхность руды.

Для цитирования: Пирогов Г. Г., Козлова И. М. Взаимодействие массива магазинированной руды с вмещающим массивом горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 3-2. – С. 118–124. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_118.

Interaction of side rocks and broken ore subjected to shrinkage

G. G. Pirogov¹, I. M. Kozlova¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia

Abstract: Shrinkage stoping is mining method widely applied to long-term extraction of thin ore veins having a dip more than 50 deg. In recent years, in order to increase productivity, self-propelling machines are mainly used for ore haulage. The technological advance and availability of a great variety of self-propelling machines, including small-sized, dictates validation of a stoping geotechnology with self-propelling machinery. Alongside with economic expediency, it is required to assess the geomechanical behavior of extraction panels, machine movement on the surface of broken ore and drawing of compacted ore. The interaction of side rocks and broken ore subjected to shrinkage is represented by the expression composed of the horizontal hydrostatic stresses induced by the lateral earth pressure on the left-hand side and by the tectonic stresses in ore subjected to shrinkage, with regard to its gradual compaction time and machine movement, on the right-hand side. It is emphasized that the equality of the interacting forces can only be observed on the upper horizons, while sidewalls in deeper-level mined-out voids experience the increasing convergence as ore is broken and lacks sufficient load-bearing capacity. The condition of ore overhang prevention in drawing of compacted ore is discussed.

Key words: veins, mining system with ore storage, labor productivity, complexes of self-propelled machines, enclosing rock mass, hydrostatic and tectonic stresses, convergence of the sides of the developed space, ore compaction, ore release, pressure on the ore surface.

For citation: Pirogov G. G., Kozlova I. M. Interaction of side rocks and broken ore subjected to shrinkage. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(3-2):118-124. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_32_0_118.

Введение

Систему с магазинированием руды применяют при разработке жил мощностью до трех метров с устойчивыми рудой и вмещающими породами при углах падения свыше 50°. Осуществляют отработку очистных блоков в две стадии: на первой стадии мелкошпуровая отбойка и частичный выпуск (30 %), на второй стадии производят полный выпуск магазинированной руды. Руда должна быть не склонной к слеживанию и самовозгоранию. Производительность забойных рабочих вследствие большой доли ручного труда низкая – 10–15 т/чел. за смену. Совершенствование системы разработки, которая ещё не исчерпала своих ресурсов и находит в настоящее время достаточно широкое распространение, связывают с внедрением самоходных машин [1, 2], однако в случае использования на очистных работах самоходной техники не только при доставке руды, но и при бурении шпуров, зарядании,

взрывании, оборке заколов, выравнивании поверхности магазинированной руды после отбойки и частичного выпуска и (при необходимости) анкерования висячего и лежащего боков в призабойном пространстве [3] важным является представление о взаимодействии массива магазинированной руды с вмещающим массивом.

Взаимодействие с породами висячего бока магазинированной руды – «прообраз» сухого закладочного материала, с целью выявления условий равновесия исходя из предельного напряженного состояния, описывают формулой

$$\tau \leq c_0 + \sigma_{сж} K_{тр}, \quad (1)$$

где t и $s_{сж}$ – соответственно касательное и нормальное сжимающее напряжение на контакте слоев, МПа; c_0 – сцепление или сопротивление пород контакта сдвигу за счет постоянных связей при отсутствии давления на плоскость скольжения, МПа;

$K_{тр}$ — коэффициент трения по плоскости скольжения.

Условие устойчивости массива висячего бока: мощность нарушенной очистной выемкой зоны должна быть меньше толщины поддерживаемого слоя. Нормальные к контакту напряжения в породах висячего бока могут быть оценены по известному выражению

$$\sigma_n = h_k \gamma_n \sin \alpha (1 - \sin \alpha) / (1 + \sin \alpha) \quad (2)$$

где h_k — высота очистной камеры, м; γ_n — плотность пород, кг/м³; α — угол падения жилы, град; ρ — угол внутреннего трения, град.

Изложенный механизм взаимодействия массива магазинированной руды с вмещающим массивом горных пород является важным, но частным случаем. Руда, накопленная в очистном блоке в период его отбойки, рассматривается как временное средство поддержания выработанного пространства, аналогичное сухой закладке, действующие силы и напряжения в которой рассмотрены в работе [4].

Теория вопроса. Эволюция развития системы разработки с магазинированием руды блоками и шпуровой отбойкой, появление широкого ассортимента горной самоходной техники привели к неизбежному решению задачи использования самоходных машин при выполнении всего комплекса технологических процессов очистной выемки в блоке [5].

Особенность использования самоходных машин, применяемых на отбойке руды (самоходной бурильной установки, кровлеоборщника, зарядной машины, возможно, погрузочно-доставочной машины для разравнивания поверхности магазинированной руды после частичного выпуска), состоит в перемещении по отбитой руде. Воз-

никают задачи, требующие учета и решения: сопротивление движению машин по поверхности кусковой руды, уплотнение магазинированной руды и возникающие в ней напряжения.

На блок, заполненный магазинированной рудой, действуют внешние напряжения, обусловленные гравитационным природным силовым полем — горизонтальные напряжения — и, как правило, горизонтальные тектонические напряжения, вызванные пликативными и дизъюнктивными нарушениями жил и массива горных пород. В самом блоке проявляются напряжения от веса магазинированной руды и, в случае применения в процессе отбойки самоходных машин, — напряжения от веса машин.

Уравнение напряжений в системе «вмещающий массив горных пород — магазинированная руда» в условиях перемещения по её поверхности самоходных машин очистного комплекса представлено следующим образом:

$$[\mu / (1 - \mu)] \gamma H + \sigma_m [\mu^1 / (1 - \mu^1) \times \gamma^1 Z \sin \alpha + \sigma_{сам}] K_t, \quad (3)$$

где μ — коэффициент Пуассона вмещающих пород; γ — удельный вес пород, кН/м³; H — глубина разработки, м; σ_m — горизонтальное тектоническое напряжение, МПа; μ^1 — коэффициент Пуассона дробленой руды; γ^1 — удельный вес отбитой руды, кН/м³; Z — высота блока, м; $\sigma_{сам}$ — напряжение в магазинированной руде, обусловленное весом самоходных машин, перемещающихся по поверхности руды при выполнении работ в очистном забое; K_t — коэффициент уплотнения магазинированной руды в период её нахождения в блоке до полного выпуска (примерно до трех месяцев) под действием собственного веса и веса самоходных машин, ориентировочно равен 1,05 — 1,15. Коэффициентом K_t делается попытка учета фактора времени.

Коэффициент разрыхления магазинированной руды вследствие её постепенного уплотнения уменьшается к началу полного выпуска предположительно до значений 1,35–1,45. Процесс уплотнения сдерживается частичным выпуском. По истечении ориентировочно двух-трех месяцев осуществляется полный выпуск руды из блока с возможной последующей закладкой выработанного пространства или обрушением вмещающих пород.

Горизонтальные напряжения σ_x^1 в магазинированной руде (рис. 1), равные согласно выражению (3)

$$[\mu^1 / (1 - \mu^1)] \gamma^1 Z \sin \alpha, \quad (4)$$

имеют гидростатическую природу бокового распора (отпора). Исследователями [6] установлен коэффициент Пуассона дробленой руды для расчета коэффициента бокового распора.

Удельное давление самоходной машины на поверхность отбитой руды зависит, кроме веса, от ширины шин и опорной площади машины. Для снижения удельного давления и уменьшения сопротивления движению машин по кусковому навалу используют полуспущенные шины. На рис. 1 приведены зависимости удельного давления на поверхность кусковой руды от веса машин при нормативном давлении воздуха в шинах (красный цвет) и полуспущенных шинах (голубой цвет). При движении машины по руде на полуспущенных шинах площадь контакта с рудой возрастает, снижается удельное давление на ее поверхность (принцип «болотохода»).

Ширина шин в ориентировочных расчетах удельного давления принималась равной 400, 500 и 600 мм, ширина полуспущенных шин – 550, 650 и 750 мм. Удельное давление находится по формуле

$$P = G / (4S), \quad (5)$$

где P – удельное давление, Па; G – вес машины, кН; S – площадь контакта шины, см²; 4 – число колес машины.

Вес самоходных буровых установок для бурения шпуров составляет 60000–200000 кН, вес малогабаритных погрузочно-доставочных машин в пределах 36500–198000 кН. Расчетные данные приведены в таблице.

Руда в «магазине» при шпуровой отбойке, как правило, имеет средний размер куска 150 мм при кондиционном куске размером 300 мм. Крупно дробленая руда не обладает высокой несущей способностью сопротивления внешним силам и может противодействовать гидростатическому давлению со стороны массива только на верхних горизонтах. На глубине свыше 150–300 м развивается известное явление конвергенции [7], при развитии которого в центральной части блока возможны зависания магазинированной руды, особенно при выемочной мощности крутопадающих жил менее одного метра.

В работе [8] установлено влияние на уплотнение кускового материала гранулометрического состава. Уплотнение тем значительнее, чем меньше размер кусков, что может учитываться при расчетах параметров БВР.

Задача исключения зависаний при донном выпуске может быть решена увеличением площади и угла сопряжения погрузочных заездов с очистным блоком. Возникшие зависания, как принято на практике, можно ликвидировать с применением фугасных зарядов, взрывааемых из безопасного места.

При подземной разработке рудных тел с магазинированием руды появляются значительные объемы подземных пустот, которые по истечении определенного времени могут негативно влиять на напряженно-деформированное состояние массива в районе ведения горных работ. Решение проблемы

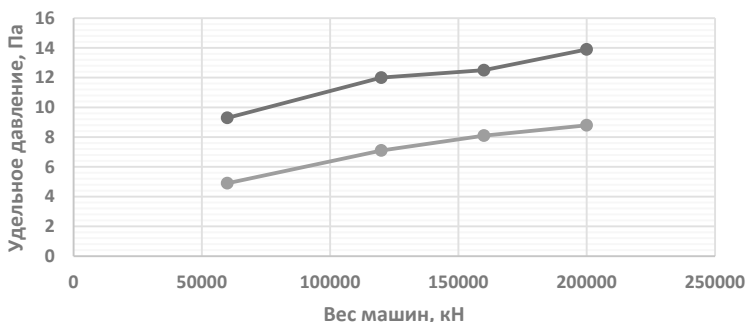


Рис. 1. Зависимости удельного давления на поверхность руды при движении самоходных машин на нормативных и полуспущенных шинах

Fig. 1. Dependences of the specific pressure on the ore surface during the movement of self-propelled machines on standard and semi-flat tires

Таблица

Значения удельного давления в зависимости от веса машин и площади контакта шины
Specific pressure values depending on the weight of the machines and the contact area of the tire

Вес машин, кН	Площадь контакта при нормативном давлении в шинах, см ²	Удельное давление на поверхность, Па	Площадь контакта при полуспущенных шинах, см ²	Удельное давление на поверхность, Па
60000	1600	9,3	3025	4,9
120000	2500	12	4225	7,1
160000	3200	12,5	4900	8,1
200000	3600	13,8	5625	8,8

может быть достигнуто заполнением блоков после полного выпуска рудной массы отходами горного производства, например, хвостами обогащения в виде цементированной пасты, что способствует повышению чистоты окружающей среды [9–12].

Закключение. Системы с магазинированием руды широко применяют при разработке жильных месторождений, входящих по сложности геологического строения в группы сложных и очень сложных месторождений, характеризующихся тектоническими нарушениями: надвиги, сдвиги, сбросы, складчатость, разломы, апофизы жил и т. д., что делает обоснованным включение в уравнение сил, действующих во вмещающем горном массиве, тектонической составляющей. Анализ выра-

жения (3) позволяет сделать вывод, что противодействие магазинированной руды гидростатическому давлению со стороны массива возможно только на верхних горизонтах, до глубины 150–200 м. С увеличением глубины разработки маломощных жил возможно развитие конвергенции бортов выработанного пространства и зажим магазинированной руды в центральной части очистного блока. В горизонтальном распоре со стороны блока при использовании в очистном забое самоходных машин основная доля приходится на магазинированную руду. Вес магазинированной в блоке руды при мощности жилы 2,0 м (минимальная мощность целесообразного применения комплекса самоходных машин), высоте и длине блока 60 м, удельном

весе магазинированной руды в среднем 20000 кН/м³ составляет 21,6·10⁷ кН, тогда как вес малогабаритных самоходных машин 100—200 тыс. кН, т. е. менее одного процента. Влияние

веса машин сказывается в основном на уплотнении рудной массы. Дальнейшие исследования напряженного состояния блока связываем с лабораторными и полупромышленными испытаниями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оганесян А. Г., Алавердян Г. В., Тепанасян Ю. П., Агабелян Ю. А. Обоснование области применения доставочной техники при отработке маломощных рудных тел // Горный журнал. -2013. — № 12. — С. 45—47.

2. Ломоносов Г. Г., Мельниченко А. М. Условия рационального применения малогабаритного самоходного оборудования в проектах разработки тонких рудных тел // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2015. — № 8. — С. 37 — 44.

3. Ломоносов Г. Г. Производственные процессы подземной разработки рудных месторождений. — 2-е изд. — М. : Издательство «Горная книга», 2013 — 516 с.

4. Лизункин В. М. О технической возможности применения системы разработки с магазинированием руды в сложных горно-геологических условиях / В. М. Лизункин, А. А. Погудин, М. В. Лизункин // Подземные геотехнологии разработки рудных месторождений: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). Отдельные статьи (специальный выпуск). — 2014. — № 12. — С. 3—15.

5. Пирогов Г. Г. Новая технология очистной выемки маломощных крутопадающих жил сплошным этажным магазинированием руды. Вестник ЧитГУ, № 8(75). — Чита: ЧитГУ, 2011. — С. 104 — 110.

6. Лизункин В. М. Определение коэффициента Пуассона раздробленных скальных пород различного гранулометрического состава / В. М. Лизункин, В. А. Бабелло, М. В. Лизункин, А. В. Бейдин // Горный журнал. — 2017. — №2. — С. 45—50.


7. Туртыгина Н. А. Сущность проблемы контроля и управления качеством руд на горных предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2012. — № 6. — С. 372—373.

8. Цирель С. В., Гапонов Ю. С., Шаков А. Н. Оценка влияния гранулометрического состава на сжимаемость и пустотность закладочного материала // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2013. — № 12. — С. 80 — 83.

9. Pimentel B. S., Gonzalez E. S., Barbosa G. N.O. Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 112. Pp. 145—157.

10. Matani A. G., Doifode S. K. Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment // International Journal of Chemical and Physical Sciences. 2015. Vol. 4. no 1. Pp. 536—540.

11. Malatse M., Ndlovu S. The viability of using the Witwatersrand gold mine tailings for brickmaking // Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2015. Vol. 115. Iss. 4. P. 321—327.

12. Sheshpari M. A. Review of Underground Mine Backfil Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfil. Electronic Journal of Geotechnical Engineering. 2015 Vol. 20, No. 13. pp. 5183—5208. 

REFERENCES

1. Oganesyanyan A. G., Alaverdyan G. V., Tepanasyan Yu. P., Agabelyan Yu. A. Agabalyan A study of the scope of delivery of the equipment when mining thin ore bodies. *Gornyy zhurnal*. 2013. no. 12. pp. 45—47. [In Russ]

2. Lomonosov G. G., Mel'nichenko A. M. Conditions of rational use of compact mobile equipment in the developing of thin ore bodies. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2015. no. 8. pp. 37 – 44. [In Russ]

3. Lomonosov G. G. *Proizvodstvennyye processy podzemnoj razrabotki rudnyh mestorozhdenij* [Production processes of underground mining of ore deposits]. 2-e izd. Moscow: Izdatel'stvo «Gornaya kniga», 2013 516 p. [In Russ]

4. Lizunkin V. M., Pogudin A. A., Lizunkin M. V. On the technical feasibility of using the development system with ore storage in complex mining and geological conditions. Underground geotechnologies for the development of ore deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. Otdel'nye stat'i (special'nyj vypusk)*. 2014. no. 12. pp. 3 – 15. [In Russ]

5. Pirogov G. G. New technology of clearing dredging of low-power steep-falling veins by continuous storeyed ore storing. *Vestnik ChitGU*, no. 8(75). Chita: ChitGU, 2011. pp. 104 – 110. [In Russ]

6. Lizunkin V. M., Babello V. A., Lizunkin M. V., Bejdin A. V. Determination of Poisson's ratio of crushed rock of different particle size distribution. *Gornyj zhurnal*. 2017. no. 2. S. 45 – 50. [In Russ]

7. Turtygina N. A. The Essence of the problem of ore quality control and management at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2012. no. 6. pp. 372 – 373. [In Russ]

8. Cirel' S. V., Gaponov Yu. S., Shakov A. N. Evaluation of the influence of granulometric composition on compressibility and voidness of the laying material. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2013. no. 12. pp. 80 – 83. [In Russ]

9. Pimentel B. S., Gonzalez E. S., Barbosa G. N.O. Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges. *Journal of Cleaner Production*. 2016. Vol. 112. Pp. 145 – 157.

10. Matani A. G., Doifode S. K. Effective industrial waste utilization technologies towards cleaner environment. *International Journal of Chemical and Physical Sciences*. 2015. Vol. 4. no. 1. pp. 536 – 540.

11. Malatse M., Ndlovu S. The viability of using the Witwatersrand gold mine tailings for brickmaking. *Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2015. Vol. 115. Iss. 4. pp. 321 – 327.

12. Sheshpari M. A. Review of Underground Mine Backfil Methods with Emphasis on Cemented Paste Backfil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2015 Vol. 20, no. 13. pp. 5183 – 5208.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Пирогов Геннадий Георгиевич – докт. техн. наук, профессор, pirogov.chita@mail.ru;
Козлова Инга Михайловна – аспирант

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Pirogov G. G.*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor;

*Kozlova I. M.*¹, graduate student;

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia.

Получена редакцией 20.11.2020; получена после рецензии 02.02.2021; принята к печати 10.02.2021.

Received by the editors 20.11.2020; received after the review 02.02.2021; accepted for printing 10.02.2021.

