

Расчет подземных сооружений

УДК 504.55.054:622(470.6)
DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-5-436-445

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Моделирование и мониторинг породных конструкций по геомеханическому фактору при отработке пологих залежей

В.И. Голик^{1*}, А.А. Белодедов², А.В. Логачев², Д.Н. Шурыгин²

¹Северо-Кавказский государственный технологический университет
ул. Николаева, 44, Владикавказ, Российская Федерация, 362021

²Южно-Российский государственный политехнический университет
ул. Просвещения, 132, Новочеркасск, Российская Федерация, 346428

*Автор, ответственный за переписку

(поступила в редакцию: 12 мая 2018 г.; доработана: 27 сентября 2018 г.; принята к публикации: 15 октября 2018 г.)

Актуальность. Большинство руд цветных металлов добывается малопроизводительной и опасной технологией в условиях, когда высокопроизводительную технологию применить нельзя.

Цель данной работы состоит в поиске резервов повышения производительности и безопасности труда при разработке таких месторождений за счет использования скрытых возможностей технологий.

Метод исследования – сравнение традиционного варианта отбойки руд с новыми вариантами в рамках промышленного натурного эксперимента с интерпретацией полученных результатов.

Результаты. Получены количественные значения показателей эффективности отбойки руды из буровых выработок по сравнению с традиционным вариантом с отбойкой уступами из выработанного пространства. Доказано, что применение новой технологии, несмотря на трудоемкость проходки буровых выработок, не ухудшает технико-экономические показатели разработки, радикально улучшая безопасность работ. Полученные результаты аппроксимированы графически.

Выводы. Показатели отбойки из буровых выработок превосходят традиционный вариант отбойки за счет неиспользуемых ранее особенностей отбойки и размещения в выработанном пространстве руды, избавляя работающих от опасности нахождения в открытом выработанном пространстве.

Ключевые слова: руда, отбойка, буровые выработки, показатели эффективности, технологи, безопасность

Введение

Разработка месторождений руд редких, благородных и цветных металлов, сложенных пологозалегающими рудными телами малой мощности, характеризуется стабильным ухудшением технико-экономических показателей, снижением качества добываемых руд в первую очередь за счет разубоживания и увеличения опасности работающих. Ограниченные размеры очистного пространства и морфологические особенности оруденения препятствуют применению современной техники [1–3].

В таких условиях традиционно применяют отработку рудного тела сплошным забоем на полную мощность, а опасность работающих снижа-

ют ограничением времени нахождения в открытом очистном пространстве.

К пологим относят рудные тела мощностью до 15 м и углом падения до 25°.

Состоянием рудовмещающего массива, определяемым площадью обнажения пород кровли, управляют оставлением рудных целиков и поддержанием пород кровли крепью. Высокий уровень напряжений в рудовмещающем наклонные рудные залежи массиве объясняется сложными изменяющимися во времени условиями отработки.

Месторождения руд цветных металлов чаще всего представляют собой изометрическую залежь в тектонически нарушенных вмещающих породах с гидротермальной обработкой. Месторождения рассматриваемого типа разрабатываются с обру-

шением руды и пород и с естественным поддержанием очистного пространства [4–6]. Управление горным давлением осуществляется путем оставления целиков различного назначения, что снижает экономическую эффективность добычи. Исходя из опасности возникновения критических напряжений в массиве, направлением повышения безопасности работ является сплошная выемка рудного тела. Одним из важных направлений повышения показателей разработки является использование энергии взрыва для перемещения отделенных от массива руд.

Поскольку крепь в выработанном пространстве не выполняет своего назначения и является причиной травматизма, получают распространение варианты сплошной выемки с бурением из специальных выработок уменьшенного сечения.

Цель работы

Для обеспечения максимальной производительности труда конструкции должны иметь большие сечения, однако требования безопасности и экономики предписывают их разумное ограничение [7–9].

Целью исследований проблем разработки маломощных рудных тел и настоящей статьи является оптимизация затрат на управление рудовмещающими массивами с обеспечением одновременно и экономических показателей процессов подземной добычи, и безопасности работников.

Методы исследования

Цель достигается применением методов строительной механики для повышения эффективности эксплуатации недр за счет рационального использования резервов управления геомеханикой рудовмещающего массива. Сравнимые варианты в рамках промышленного эксперимента оцениваются с точки зрения трудовых затрат и качества добываемых руд для обеспечения безопасности работающих. Выбор оптимального варианта системы разработки производится путем сравнения альтернативных вариантов, различающихся расположением скважинных зарядов взрывчатых веществ (ВВ) для отделения от массива и дробления руд с целью увеличения рациональности использования силы взрыва.

Полученные результаты

Варианты сплошной системы разработки оцениваются по показателю безопасности труда рабочих. В равных условиях традиционный вариант

с отбойкой руды уступами из очистного пространства сравнивается с вариантами отбойки из буровых выработок (рис. 1, 2).

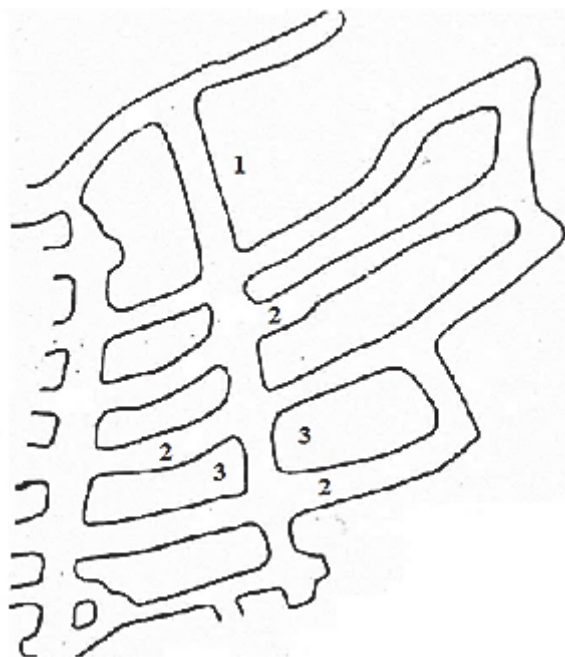


Рис. 1. План экспериментального блока с отбойкой из подэтажных штреков:

1 – восстающий; 2 – поэтажные штреки; 3 – рудные панели
 [Figure 1. The plan of the experimental block with the breaking from the sub-floor drifts:
 1 – revolting; 2 – sub-floor drifts; 3 – mining panels]

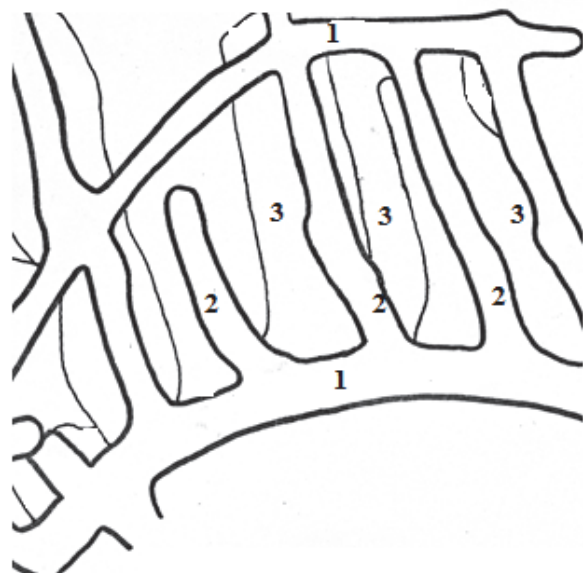


Рис. 2. План экспериментального блока с отбойкой из буровых восстающих:

1 – штреки; 2 – восстающие; 3 – рудные панели
 [Figure 2. The plan of the experimental block with the breaking from the drilling uprising:
 1 – mine tunnels; 2 – revolting; 3 – mining panels]

Из восстающего пройдены подэтажные штреки размерами 2×3 м, образующие панели шириной 6 м.

Из штрека скреперования проходили буровые восстающие так, чтобы одна панель была в отработке, а вторая – готовилась к отработке. Ширина целиков между буровыми восстающими – 6 м, высота восстающих – 1,7 м, ширина – 3 м.

Первая половина целика отбивалась из одного бурового восстающего, а оставшаяся – из другого. Разворот шпуров по падению обеспечивал направленную отбойку.

В табл. 1 и 2 приведены показатели отработки рудных тел.

В сравнимых условиях отбойка из штреков имеет лучшие показатели, чем отбойка из восстающих (табл. 3).

Таблица 1

Показатели варианта сплошной выемки с отбойкой руды из подэтажных штреков
[Table 1. Indicators with a solid groove with the breaking of ore from the sublevel drifts]

Блок [Block]	Вид работ [Type of work]	Объем, м ³ [Volume, m ³]	Площадь, м ² [Area, m ²]	Мощность рудная, м [Mining height, m]	Разубоживание, % [Improvement, %]	Производительность забойщика, м ³ /см [Productivity of the miner, m ³ /cm]
1	Отбойка целика [Whole breaking]	1300	1000	1,1	15	3,5
	Проходка штреков [Passage of drifts]	1000	600	1,1	33	3,9
	Всего [Total]	2300	1600	1,1	22	3,7
2	Отбойка целика [Whole breaking]	3300	1800	1,6	13	4,4
	Проходка штреков [Passage of drifts]	1300	800	1,4	21	4,6
	Всего [Total]	4600	2600	1,5	15	4,5
3	Отбойка целика [Whole breaking]	2200	2200	0,7	27	3,4
	Проходка штреков [Passage of drifts]	900	500	0,9	46	2,8
	Всего [Total]	3100	2700	0,7	35	3,0

Таблица 2

Показатели варианта выемки с отбойкой руды из буровых восстающих
[Table 2. Indicators of the option of excavation with the breaking of ore from the drilling rebels]

Блок [Block]	Вид работ [Type of work]	Объем, м ³ [Volume, m ³]	Площадь, м ² [Area, m ²]	Мощность рудная, м [Mining height, m]	Разубоживание, % [Improvement, %]	Производительность забойщика, м ³ /смена [Productivity of the miner, m ³ /shift]
1	Отбойка целика [Whole breaking]	1000	700	1,2	18	3,1
	Проходка восстающих [Raise driving]	600	300	1,1	32	3,4
	Всего [Total]	1600	1000	1,2	22	4,2
2	Отбойка целика [Whole breaking]	700	800	0,5	40	4,9
	Проходка восстающих [Raise driving]	1300	800	0,7	52	4,6
	Всего [Total]	2000	1600	1,2	22	4,9
3	Отбойка целика [Whole breaking]	1300	1600	0,6	30	3,0
	Проходка восстающих [Raise driving]	1800	800	0,6	65	3,4
	Всего [Total]	3100	2400	0,6	49	3,0

Таблица 3

Сопоставимые показатели вариантов отбойки руды
 [Table 3. Comparable indicators of variants of breakage of ore mineral]

Вариант отбойки [Option breakings]	Блоки [Blocks]	Угол падения, ° [Angle of incidence, °]	Размеры, м [Size, m]	Мощность рудная, м [Mining height, m]	Доля нарезных работ, % [Share of rifled works, %]	Разубоживание, % [Improvement, %]	Производительность забойщика, м ³ /см [Productivity of the miner, m ³ /cm]
Из подэтажных штреков [From the sub-floor drifts]	1	12	40×40	1,1	45	22	3,7
	2	30	45×55	1,5	28	15	4,5
	3	30	50×55	0,7	40	35	4,4
	Среднее [Average]	–	–	1,1	37	23	3,7
Из восстающих [From rising]	1	10	45×35	0,7	47	47	4,7
	2	15	40×25	1,2	32	22	3,2
	3	30	55×50	0,6	34	49	3,2
	Среднее [Average]	–	–	0,7	38	42	3,8
Из очистного пространства [From the treatment space]	Среднее [Average]	–	–	1,0	50	41	3,7

По производительности труда варианты отбойки близки, что объясняется превалированием доли бурения в трудозатратах (рис. 3).

Разубоживание руды породой при отбойке определяет качество товарной продукции (рис. 4).

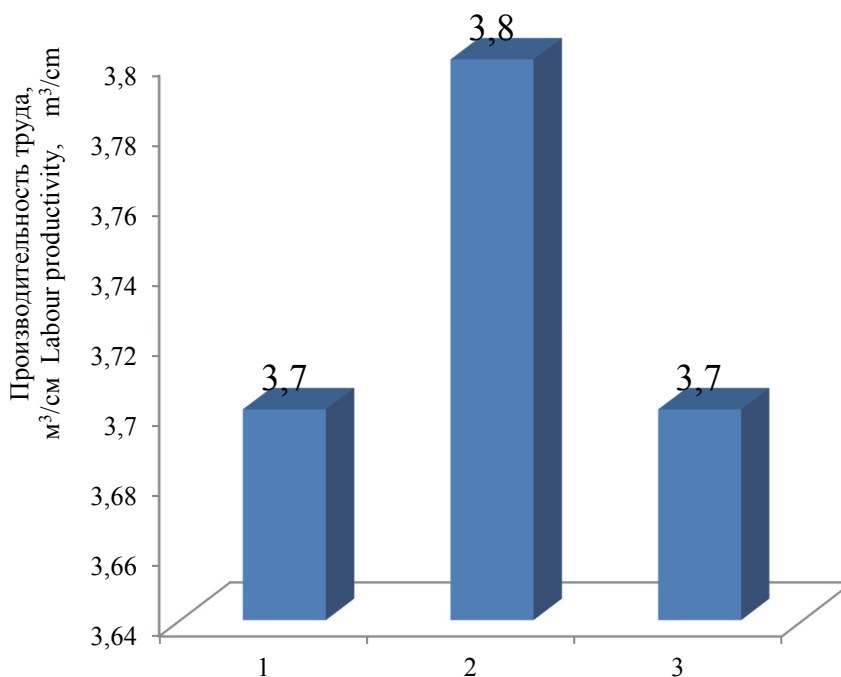


Рис. 3. Производительность труда при альтернативных вариантах отбойки руд:
 1 – из подэтажных штреков; 2 – из буровых восстающих; 3 – уступами
 [Figure 3. Labor productivity in alternative types of ore separation:
 1 – from sub-floor drifts; 2 – drilling rising; 3 – terraces]

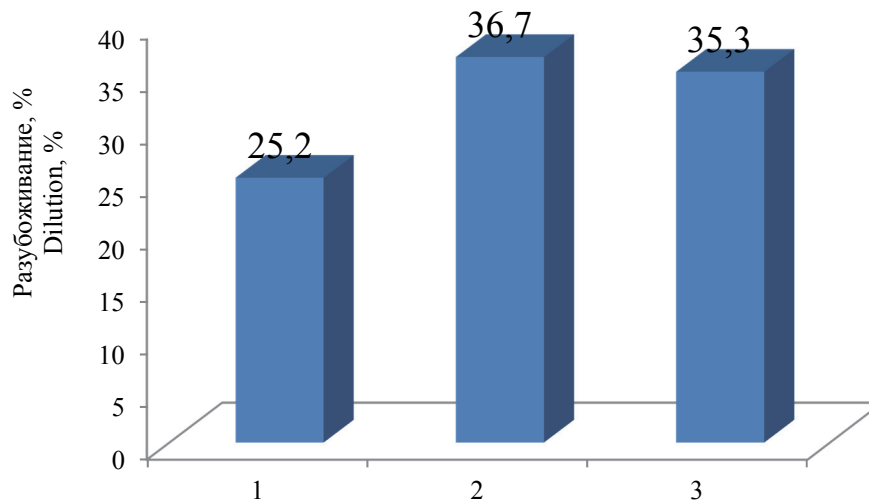


Рис. 4. Разубоживание при альтернативных вариантах отбойки руд:
 1 – из подэтажных штреков; 2 – из буровых восстающих; 3 – уступами
[Figure 4. Disintegration in alternative types of ore caving:
 1 – from sub-floor drifts; 2 – drilling rising; 3 – terraces]

Отбойка из буровых выработок не только устраняет необходимость нахождения работающих в открытом выработанном пространстве, но и эффективнее по показателям производительности труда и качества добываемых руд.

Возрастающую с увеличением площади обнажения кровли опасность обрушения пород с риском для рабочих и увеличением разубоживания руд снижают ограничением времени нахождения работающих в выработанном пространстве для выполнения производственных операций (например, обслуживания скреперной установки).

При оценке степени риска разрушения несущей породной конструкции в кровле очистной выработки исходят из того, что скальные породы разбиты трещинами на структурные блоки, которые при определенных условиях образуют несущую арку, несущую пригрузку породами в пределах свода естественного равновесия.

При недостаточном заклинивании пород арка может разрушиться, и кровля из плоской по форме превратится в сводчатую. Надежное заклинивание пород в пределах свода естественного равновесия обеспечивается при условии

$$L_{\text{факт}} \leq L_{\alpha}^{\circ}$$

где $L_{\text{факт}}$ – фактической пролет кровли выработки, м; L_{α}° – предельно допустимый пролет обна-

жения плоской кровли при данном наклоне выработки, м.

Связь между размерами пролетов пород кровли (L_{α}°) в рудных телах с углом падения α выражается зависимостью

$$L_{\alpha}^{\circ} = K_{\alpha} L^{\circ},$$

где L° – предельный эквивалентный пролет пород кровли горизонтальной выработки; K_{α} – коэффициент учета угла наклона выработки:

$$K_{\alpha} = \frac{1}{\cos^2 \alpha + \eta \sin^2 \alpha},$$

где α – угол падения рудного тела, °; η – коэффициент бокового распора породных блоков:

$$\eta = \frac{\mu}{1 - \mu},$$

где μ – коэффициент Пуассона.

Величина K_{α} зависит от угла падения рудного тела. При изменении угла падения от 0 до 50° коэффициент увеличивается от 1 до 1,5.

Расчет безопасности несущих конструкций из заклинившихся в кровле пород исходит из гипотетического времени наступления обрушения

кровли в пределах свода естественного равновесия при нарушении условия прочности.

При отбойке руды в уступе работающие оказываются в самых опасных условиях, поскольку оформление уступов производится в то время, когда

$L_{\text{факт}}$ достигает максимальной для данных условий величины (рис. 5).

Традиционный вариант характеризуется повышенной опасностью для рабочих, находящихся в открытом выработанном пространстве для организации доставки разбросанной взрывом руды.

Альтернативные варианты с отбойкой руды из подэтажных штреков и восстающих характеризуются

нахождением работающих в пределах выработок малого сечения, что снижает вероятность травматизма.

При отбойке из подэтажных штреков условие

$L_{\text{факт}} \leq L_a^o$ может быть нарушено исключительно на заключительной стадии отработки панелей. Опасность для рабочих может представлять только взрывная волна при гипотетически массовом обрушении кровли (рис. 6).

При отбойке из буровых восстающих опасность травматизма при гипотетическом обрушении может возникнуть также только на заключительной стадии после отработки рудных целиков (рис. 7).

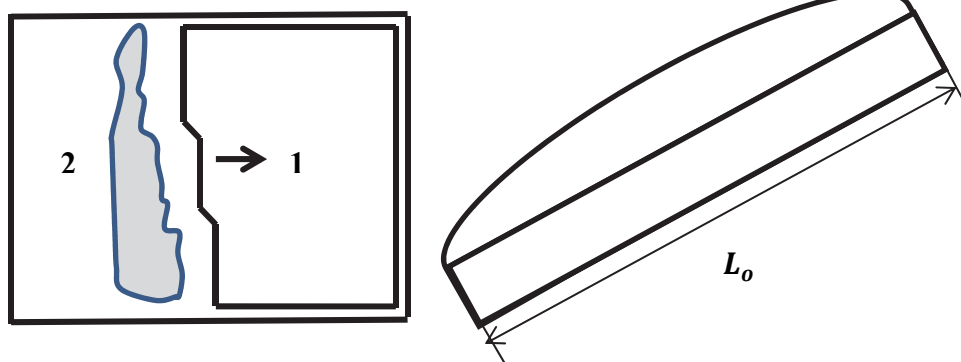


Рис. 5. Вариант с отбойкой уступами:
 1 – направление фронта работ; 2 – расположение отбитой руды
[Figure 5. Variant with rebind steps:
 1 – the work front direction; 2 – the location of the broken ore]

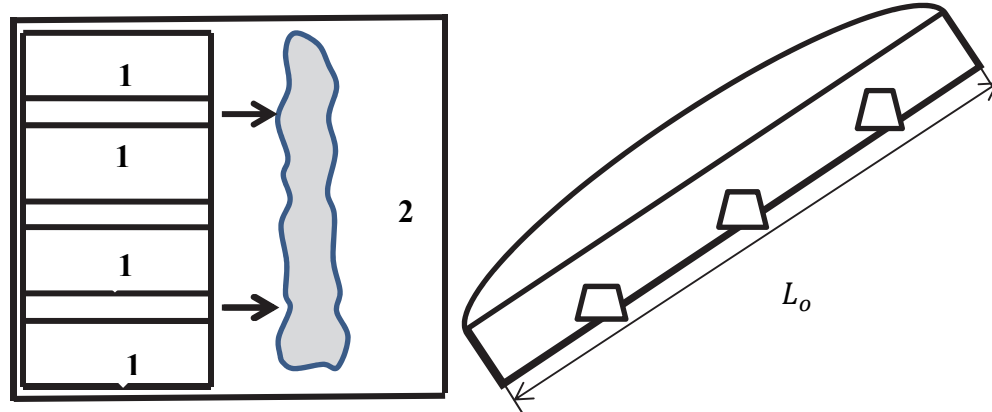


Рис. 6. Вариант с отбойкой из подэтажных штреков:
 1 – буровые штреки; 2 – отбитая руда
[Figure 6. Option with a breakdown from the sub-floor drifts:
 1 – drilling drifts; 2 – repulsed ore]

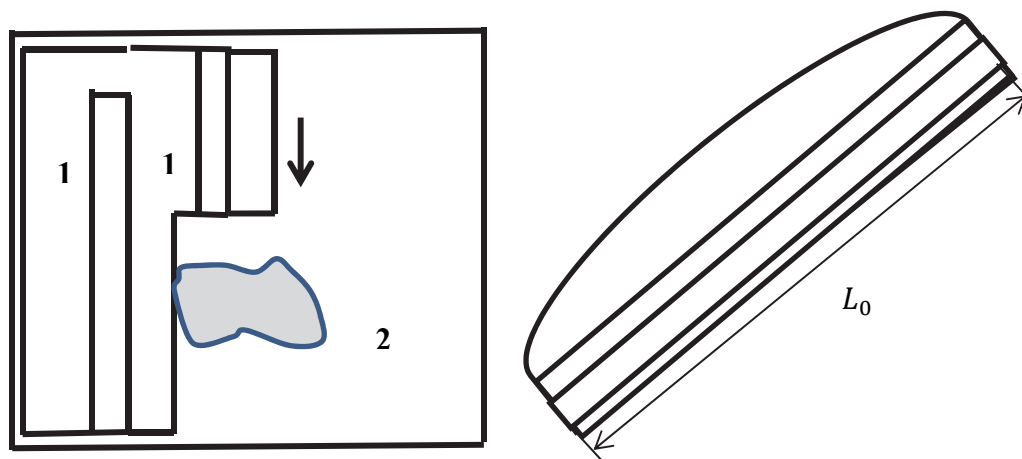


Рис. 7. Вариант с отбойкой из буровых восстающих:

1 – рудный массив; *2* – выработанное пространство

[Figure 7. The option of breaking from drilling rising:

1 – ore massif; *2* – mined-out space]

Анализ вариантов отбойки руд позволяет оценить прочность конструкции по увеличению опасности для работающих: из восстающих, из штреков, из выработанного пространства.

Совместное рассмотрение параметров отбойки руд и устойчивости несущих породных конструкций из заклинившихся пород позволяет утверждать, что лучшие показатели обеспечивают варианты с отбойкой из буровых выработок, при этом являясь менее опасными для рабочих по сравнению с традиционным вариантом отбойки из выработанного пространства.

Для нахождения приемлемого компромисса между требованиями надежности породной конструкции и экономичности добываемых руд в процессе проектирования и эксплуатации горных выработок целесообразно использовать полученные закономерности [10–13].

Выводы

1. Показатели разработки месторождений руд редких, благородных и цветных металлов, сложенных пологозалегающими рудными телами малой мощности, могут быть улучшены при комплексной оценке параметров отбойки руд.

2. Несмотря на повышенную трудоемкость проходки буровых выработок, производительность труда забойщика не уменьшается, потому что затраты на проходку компенсируются удобством доставки руды при создании рудного вала, а разубоживание уменьшается.

3. Варианты отбойки из буровых выработок превосходят вариант отбойки из выработанного

пространства за счет создания более комфортных условий для работы взрыва.

4. Отбойка из буровых выработок при более высоких показателях добычи руды избавляет работающих от необходимости опасного нахождения в открытом выработанном пространстве.

© Голик В.И., Белодедов А.А.,
Логачев А.В., Шурыгин Д.Н., 2018



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Список литературы

1. 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. No. 5. Pp. 401–405.

2. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both // International Journal of Mining Science and Technology. 2016. Vol. 26. Issue 6. Pp. 1065–1071.

3. Рыльникова М.В., Корнеев С.А., Мажитов А.М., Корнеева В.С. Обоснование способов освоения и систем разработки маломощных рудных тел Камаганского медноколчеданского месторождения // Горный журнал. 2014. № 5. С. 56–63.

4. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation

in quarries // Metallurgical and Mining Industry. 2015. No. 7. Pp. 383–387.

5. *Bonsu J., Dyk W., Franzidis J.-P., Petersen F., Isafide A.* A systemic study of mining accident causality: an analysis of 91 mining accidents from a platinum mine in South Africa // The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy. 2017. Vol. 117. Pp. 59–66.

6. *Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н.* АО «Ведущий проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – Путь длиной в 65 лет // Горный журнал. 2016. № 3. С. 6–12.

7. *Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Khasheva Z.M.* The history of Russian Caucasus ore deposit development // Journal of the Social Sciences. 2016. Vol. 11. No. 15. Pp. 3742–3746.

8. *Jang H., Topal E., Kawamura Y.* Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stoping operations using a neuro-fuzzy system // Applied Soft Computing Journal. 2015. Vol. 32. Pp. 1–12.

9. *Белоусов А.С., Алексеев О.Н.* Технологические схемы подготовки отработки маломощных урановых пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 9. С. 102–108.

10. *Wang G., Li R., Carranza E.J.M., Yang F.* 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China // Ore Geology Reviews. 2015. Vol. 71. Pp. 592–610.

11. *Ляшенко В.И.* Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. 2015. № 1. С. 10–15.

12. *Калмыков В.Н., Петрова О.В., Мамбетова Ю.Д.* Обоснование параметров технологических резервов устойчивого функционирования горнотехнической системы при подземной разработке медно-колчеданных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 8. С. 5–16.

13. *Васильев П.В., Стась Г.В., Смирнова Е.В.* Оценка риска травматизма при добыче полезных ископаемых // Известия ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 2. 2016. С. 39–45.

Об авторах

Голик Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела, Северо-Кавказский государственный технологический университет (Владикавказ, Россия). *Область научных интересов:* технологии разработки месторождений по-

лезных ископаемых открытым и подземным способами, природоохранные методы добычи, способы добычи металлов выщелачиванием, утилизация отходов добычи и переработки минералов с активацией компонентов, подготовка кадров высшей квалификации. *Контактная информация:* e-mail – v.i.golik@mail.ru. ORCID iD: 0000-0002-1181-8452. eLIBRARY SPIN-код: 7931-6546.

Белодедов Андрей Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, декан горного факультета, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасск, Россия). *Область научных интересов:* разработка месторождений полезных ископаемых, способы добычи угля инновационными технологиями, утилизация отходов добычи и переработки, подготовка кадров высшей квалификации. *Контактная информация:* e-mail – a.a.belodedov@mail.ru. ORCID iD: 0000-0001-5050-8783. eLIBRARY SPIN-код: 8235-2491.

Логачев Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасск, Россия). *Область научных интересов:* разработка месторождений полезных ископаемых, способы добычи металлов выщелачиванием, утилизация отходов добычи и переработки минералов с активацией компонентов, подготовка кадров высшей квалификации. *Контактная информация:* e-mail – log.a@bk.ru. ORCID iD: 0000-0002-0011-6367. eLIBRARY SPIN-код: 4908-7257.

Шурыгин Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры горного дела, Южно-Российский государственный политехнический университет (Новочеркасск, Россия). *Область научных интересов:* разработка месторождений полезных ископаемых, интерпретация результатов исследований методами информационных технологий, подготовка кадров высшей квалификации. *Контактная информация:* e-mail – shurygind@mail.ru. ORCID iD: 0000-0001-9173-4090. eLIBRARY SPIN-код: 1817-0360.

Для цитирования

Голик В.И., Белодедов А.А., Логачев А.В., Шурыгин Д.Н. Моделирование и мониторинг породных конструкций по геомеханическому фактору при отработке пологих залежей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2018. Т. 14. № 5. С. 436–445. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-5-436-445.

Modeling and monitoring of rock structures on the geotechnical factor in the development of shallow deposits

Vladimir I. Golik^{1*}, Andrey A. Belodedov², Alexander V. Logachev², Dmitriy N. Shurygin²

¹North Caucasus State Technological University
44 Nikolaev St., Vladikavkaz, 362021, Russian Federation

²Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)
132 Prosveschenia St., Novocherkassk, 346428, Russian Federation

*Corresponding author

(received: September 10, 2018; revised: October 16, 2018; accepted: November 25, 2018)

Abstract. Relevancy. Most of the non-ferrous metal ores are produced by low-productivity and dangerous technology in conditions when high-performance technology cannot be used.

The aim of many studies and this work is to find reserves for increasing productivity and safety in the development of such deposits through the use of hidden technology capabilities.

The method of investigation is a comparison of the traditional version of ore breakage with new variants of ore breaking in the framework of an industrial field experiment with interpretation of the results obtained.

Results. Quantitative values of the efficiency indices of ore breakage from drilling workings are obtained in comparison with the traditional version with the breakage of the ledges and the worked out space. It is proved that the application of the new technology, despite the laboriousness of penetrating the drilling workings, does not worsen the technical and economic performance of the design, radically improving the safety of work. The results obtained are approximated graphically.

Conclusions. The indicators of the breakage from the drilling workings outstrip the traditional version of the breakage due to the previously unavailable features of the breakage and placement in the worked out space of the ore, saving the workers from the danger of being in the open worked-out space.

Keywords: ore, underground mining, drilling, labor productivity, explosive rebound, ledges, drilling, drifts, rising

References

- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Khasheva Z. (2015). The effectiveness of combining the stages of ore fields development. *Metallurgical and Mining Industry*, 7(5), 401–405.
- Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. (2016). Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*, 26(6), 1065–1071.
- Ryl'nikova M.V., Korneev S.A., Mazhitov A.M., Korneeva V.S. (2014). Obosnovanie sposobov osvoeniya i sistem razrabotki malomoshchnyh rudnyh tel Kamaganskogo mednokolchedanskogo mestorozhdeniya [The substantiation of ways of development and development systems thin ore bodies Kamaganskaya mediocollegal field]. *Gornyi Zhurnal [Mining journal]*, (5), 56–63. (In Russ.)
- Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Irina G. (2015). Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries. *Metallurgical and Mining Industry*, (7), 383–387.
- Bonsu J., Dyk W., Franzidis J.P., Petersen F., Isafiade A. (2017). A systemic study of mining accident causality: an analysis of 91 mining accidents from a platinum mine in South Africa. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117, 59–66.
- Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. (2016). AO “Vedushchij proektno-izyskatel'skij i nauchno-issledovatel'skij institut promyshlennoj tekhnologii” – Put' dlinoj v 65 let” [The Leading Design and Research Institute of Industrial Technology – the Path of 65 years]. *Gornyi Zhurnal [Mining journal]*, (3), 6–2. (In Russ.)
- Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Khasheva Z.M. (2016). The history of Russian Caucasus ore deposit development. *Journal of the Social Sciences*, 11(15), 3742–3746.
- Jang H., Topal E., Kawamura Y. (2015). Decision support system of unplanned dilution and ore-loss in underground stopping operations using a neuro-fuzzy system. *Applied Soft Computing Journal*, 32, 1–12.
- Belousov A.S., Alekseev O.N. (2017). Tekhnologicheskie skhemy podgotovki otrabotki malomoshchnyh

uranovyh plastov [Process flow charts for preparing thin uranium strata for mining]. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]*, (9), 102–108. (In Russ.)

10. Wang G., Li R., Carranza E.J.M., Yang F. (2015). 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China. *Ore Geology Reviews*, 71, 592–610.

11. Lyashenko V.I. (2015). Prirodoohrannye tehnologii osvoeniya slozhnostrukturnykh mestorozhdenij poleznykh iskopaemykh [Nature protection technologies of development of complex fields of minerals]. *Markshejderskiy vestnik [Mine Surveying Bulletin]*, (1), 10–15. (In Russ.)

12. Kalmykov V.N., Petrova O.V., Mambetova Yu.D. (2017). Obosnovanie parametrov tekhnologicheskikh rezervov ustojchivogo funkcionirovaniya gornotekhnicheskoy sistemy pri podzemnoy razrabotke medno-kolchedannykh mestorozhdenij [Justification of parameters of technological resources for stable performance of geotechnical system in underground pyritic-copper ore mining]. *Gorny Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)]*, (8), 5–16. (In Russ.)

13. Vasil'ev P.V., Stas' G.V., Smirnova E.V. (2016). Ocenka riska travmatizma pri dobyche poleznykh iskopaemykh [Assessment of the risk of injury in mining]. *Izvestiya TulGU [Izvestiya Tula State University]*, (2), 39–45. (In Russ.)

About the authors

Vladimir I. Golik – Professor, Dr Sci. (Eng.), Professor of the Department of Mining, North Caucasus State Technological University (Vladikavkaz, Russia). *Research interests*: technologies of development of mineral deposits by open and underground method, environmental methods of extraction, methods of extraction of metals by leaching, utilization of waste production and processing of minerals with the activation of components, training of highly quali-

fied personnel. *Contact*: e-mail – v.i.golik@mail.ru. ORCID iD: 0000-0002-1181-8452. eLIBRARY SPIN-code: 7931-6546.

Andrey A. Belodedov – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining, Dean of the Mining Faculty, South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russia). *Research interests*: development of deposits of minerals, methods of coal mining by innovative technologies, utilization of production and processing waste, training of highly qualified personnel. *Contact*: e-mail – a.a.belodedov@mail.ru. ORCID iD: 0000-0001-5050-8783. eLIBRARY SPIN-code: 8235-2491.

Alexander V. Logachev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining, South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russia). *Research interests*: development of mineral deposits, methods of mining metals by leaching, utilization of mining and mineral processing wastes with the activation of components, training of highly qualified personnel. *Contact*: e-mail – log.a@bk.ru. ORCID iD: 0000-0002-0011-6367. eLIBRARY SPIN-code: 4908-7257.

Dmitriy N. Shurygin – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Mining, South-Russian State Polytechnic University (Novocherkassk, Russia). *Research interests*: development of mineral deposits, interpretation of research results using information technology methods, training of highly qualified personnel. *Contact*: e-mail – shurygind@mail.ru. ORCID iD: 0000-0001-9173-4090. eLIBRARY SPIN-code: 1817-0360.

For citation

Golik V.I., Belodedov A.A., Logachev A.V., Shurygin D.N. (2018). Modeling and monitoring of rock structures on the geotechnical factor in the development of shallow deposits. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(5), 436–445. DOI: 10.22363/1815-5235-2018-14-5-436-445. (In Russ.)