

УДК 504.55.054: 622 (470.6)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗРЫВНОЙ ОТБОЙКИ РУДЫ В ПОЛОГИХ МАЛОМОЩНЫХ ЗАЛЕЖАХ

Лукьянов Виктор Григорьевич<sup>1</sup>,  
lukyjanov@tpu.ru

Голик Владимир Иванович<sup>2,3</sup>,  
v.i.golik@mail.ru

Комащенко Виталий Иванович<sup>4</sup>,  
komashchenko@inbox.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

<sup>2</sup> Северо-Кавказский государственный технологический университет,  
Россия, 362021, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44.

<sup>3</sup> Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН,  
Россия, 362002, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а.

<sup>4</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
Россия, 308015 г. Белгород, ул. Победы, 85.

**Актуальность** исследования объясняется тем, что большинство руд цветных, благородных и редких металлов добывается в сложных условиях, где применение высокопроизводительной техники невозможно. Выбор варианта отработки таких рудных тел осуществляется в результате компромисса между производительностью добычи и качеством добываемой руды. Эффективнее других сплошная отбойка руд уступами по руде. Другие варианты являются более затратными по причине проходки специальных выработок для обойки руды.

**Целью** исследования является доказательство того, что альтернативные варианты добычи руды в тех же условиях могут конкурировать с базовым вариантом по показателям производительности и качества, будучи значительно более безопасными, исключая нахождение работающих в открытом выработанном пространстве.

**Основным методом** исследования является моделирование показателей отработки в экспериментальных блоках при соблюдении условий на конкретном месторождении. Полученные показатели систематизируются и интерпретируются графически.

**Результаты.** Приведены результаты моделирования вариантов сплошной системы разработки: вариант с отбойкой руды уступами из очистного пространства сравнивается с вариантом с отбойкой руды из буровых выработок: поэтажных штреков и восстающих. Установлены количественные показатели альтернативных вариантов. Определено, что трудоемкость проходки буровых выработок компенсируется удобством доставки руды и относительной безопасностью работ. Доказано, что варианты сплошной и камерно-столбовой систем разработки, использующие фактор бурения в рудном массиве из специальных выработок и отбойки руд направленным действием взрыва, экономически целесообразнее и безопаснее.

**Выводы.** При мало различающихся показателях сравниваемых вариантов увеличивающаяся трудоемкость проходки специальных буровых выработок для отбойки руд компенсируется снижением затрат на доставку руд при создании рудного вала использованием направленного действия взрыва.

### Ключевые слова:

Руда, разработка, производительность труда, отбойка, уступы по руде, бурение, штреки, восстающие.

### Введение

Совершенствование техники и технологии подземной разработки месторождений полезных ископаемых не сопровождается улучшением технико-экономических показателей освоения недр [1–4].

Это в большей степени относится к пологим рудным телам месторождений руд редких, благородных и цветных металлов мощностью от 0,6–0,8 до 15 м с углом падения до 25°.

Потери и разубоживание руды при добыче таких руд составляют 25–35 %, а небольшая высота очистного пространства не позволяет применять производительную технику.

Совершенствование технологий разработки маломощных месторождений основывается на компромиссе геологических, горнотехнических и гео-

механических факторов, в первую очередь, погашения выработанного пространства [5–8].

Считается, что опасность обрушения пород кровли для работающих и увеличения разубоживания руд снижается установкой временной крепи. Но практикой доказано, что такая крепь при механическом воздействии повреждается.

Поэтому преимущественное распространение получают «безлюдные» варианты сплошной и камерно-столбовой систем разработки, использующие фактор обрушения рудного массива из специальных выработок и отбойки руд направленным действием взрыва.

Если «безлюдные» варианты камерно-столбовой системы разработки пользуются безусловным приоритетом над сплошными вариантами, то выбор

между вариантами камерно-столбовой системы разработки неоднозначен, что является темой исследований, в том числе целью настоящей статьи [9–11].

Преимущества «безлюдные» вариантов сомнений не вызывают, поэтому критерием оптимальности варианта становятся прочие принятые в горной практике показатели [12–16].

#### Полученные результаты

Выбор оптимального варианта системы разработки производится в ходе промышленного эксперимента при отработке месторождения в Северном Казахстане. Поскольку рассматриваемые варианты радикально различаются способом отделения от массива и дробления руд, этот признак принимается генеральным при сравнении вариантов по технико-экономическим показателям.

Сравниваемыми вариантами отработано по три блока в равных условиях одного и того же рудного поля. Базовым принят вариант сплошной системы разработки с отбойкой руды уступами из очистного пространства, при котором рабочие находятся в открытом выработанном пространстве, а отбитая в уступах руда разбрасывается взрывом в его пределах.

Бурение и доставка отбитой руды по такой схеме осуществляется в опасных для работающих условиях. Отбитая руда взрывом разбрасывается в открытом выработанном пространстве, снижая производительность труда при доставке.

Альтернативными являются варианты с отбойкой руды из буровых выработок. При отбойке руды из подэтажных штреков и из буровых выработок работающие находятся в выработках малого сечения, а отбитая руда за счет рациональной схемы расположения шпуров располагается на ограниченной площади.

Вариант сплошной выемки с отбойкой руды из буровых восстающих характеризуется следующими данными. Блоки размерами 40–50 м по падению и простиранию подготавливаются штреками для скреперования и вентиляции и восстающими. Из восстающего через 8 м пройдены подэтажные штреки высотой 1,5 м и высотой 2,5 м, которые делают блок по восстанию на панели. У границы блока подэтажные штреки соединяются сбойками для образования отрезной цели.

Шпуры для отбойки панелей бурят из поэтажных штреков. В открытом выработанном пространстве создается «рудный вал», препятствующий разлету руды в выработанном пространстве. Высота вала определяется мощностью рудного тела. Забой панели имеет клиновидную форму, что обеспечивает отброс руды в компенсационное пространство.

Ширина целика зависит от средств бурения. Чаще отбойка осуществляется за один прием шпурами длиной 3 м с обеих сторон. Реже обивают в два приема.

Взрывание шпуров в панелях производится одновременно, причем прямая линия забоя панелей по падению улучшает условия образования рудного вала. Рудный вал пополняется со стороны забоя

при отбойке панелей, а отбитая руда убирается со стороны выработанного пространства.

Процессы бурения и доставки совмещаются, что создает условия для более производительной отработки блока.

Нарезные выработки в исследуемых блоках имели размеры 4,0–5,0 м<sup>2</sup>. Высота штреков 1,7 м при мощности рудного тела 1–1,5 м обеспечивалась с прихватом 0,4–0,8 м пород.

Отбойка целиков производилась в два приема: сначала бурили шпуры длиной 1,8 м из подэтажных буровых штреков вверх и вниз. После их взрывания оставшаяся часть целика разбуривалась и отбивалась только снизу.

Прихват вмещающих пород по очистным работам в опытных блоках составил 0,26–0,40 м, причем с уменьшением мощности руд он увеличивался.

Из штрека скреперования по середине панели проходят буровые восстающие до вентиляционного штрека. Нарезка панелей производится 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.

Отработка панелей производится путем бурения и взрывания шпуровых зарядов в обе стороны из бурового восстающего. Целик между восстающими отбивается в два приема шпурами глубиной 3,0 м. Первая половина целика отбивается из одного бурового восстающего, а оставшаяся – из другого. При отбойке шпурами глубиной 1,8 м забой имеет уступную форму.

Шпуры бурят с разворотом по падению, что обеспечивает направленную отбойку на буровой восстающий. Зачистка блока производится после отработки каждой панели.

Таблица 1. Показатели варианта сплошной выемки с отбойкой руды из подэтажных штреков

Table 1. Indicators of an option of solid groove with ore breaking from the sublevel drifts

| Блок<br>Block | Вид работ<br>Type of work             | Объем, м <sup>3</sup><br>Volume, m <sup>3</sup> | Площадь, м<br>Area, m | Мощность рудная, м<br>Ore thickness, m | Разубоживание, %<br>Dilution, % | Производительность<br>забойщика, м <sup>3</sup> /см<br>Miner productivity,<br>m <sup>3</sup> /cm |
|---------------|---------------------------------------|---|-----------------------|--|---------------------------------|--|
| 1             | Отбойка целика<br>Solid breaking      | 1300  | 1000                  | 1,1                                    | 15                              | 3,5  |
|               | Проходка штреков<br>Sinking of drifts | 1000  | 600                   | 1,1                                    | 33                              | 3,9  |
|               | Bcero/Total                           | 2300  | 1600                  | 1,1                                    | 22                              | 3,7  |
| 2             | Отбойка целика<br>Solid breaking      | 3300  | 1800                  | 1,6                                    | 13                              | 4,4  |
|               | Проходка штреков<br>Sinking of drifts | 1300  | 800                   | 1,4                                    | 21                              | 4,6  |
|               | Bcero/Total                           | 4600  | 2600                  | 1,5                                    | 15                              | 4,5  |
| 3             | Отбойка целика<br>Solid breaking      | 2200  | 2200                  | 0,7                                    | 27                              | 3,4  |
|               | Проходка штреков<br>Sinking of drifts | 900   | 500                   | 0,9                                    | 46                              | 2,8  |
|               | Bcero/Total                           | 3100  | 2700                  | 0,7                                    | 35                              | 3,0  |

В табл. 1, 2 приведены технико-экономические показатели отработки маломощных полосго- и наклонно-падающих рудных тел сплошной системой разработки с отбойкой пуды из очистного пространства уступами и из буровых выработок – подэтажных штреков и буровых восстающих.

Таблица 2. Показатели варианта выемки с отбойкой руды из буровых восстающих

Table 2. Indicators of excavation option with ore breaking from the drilling raise

| Блок<br>Block | Вид работ<br>Type of work           | Объем, м <sup>3</sup><br>Volume, m <sup>3</sup> | Площадь, м<br>Area, m | Мощность рудная, м<br>Ore thickness, m | Разубоживание, %<br>Dilution, % | Производительность забойщика, м <sup>3</sup> /см<br>Miner productivity, m <sup>3</sup> /cm |
|---------------|-------------------------------------|---|-----------------------|--|---------------------------------|--|
| 1             | Отбойка целика<br>Solid breaking    | 1000  | 700                   | 1,2                                    | 18                              | 3,1  |
|               | Проходка восстающих<br>Raise boring | 600   | 300                   | 1,1                                    | 32                              | 3,4  |
|               | Всего/Total                         | 1600  | 1000                  | 1,2                                    | 22                              | 4,2  |
| 2             | Отбойка целика<br>Solid breaking    | 700   | 800                   | 0,5                                    | 40                              | 4,9  |
|               | Проходка восстающих<br>Raise boring | 1300  | 800                   | 0,7                                    | 52                              | 4,6  |
|               | Всего/Total                         | 2000  | 1600                  | 1,2                                    | 22                              | 4,9  |
| 3             | Отбойка целика<br>Solid breaking    | 1300  | 1600                  | 0,6                                    | 30                              | 3,0  |
|               | Проходка восстающих<br>Raise boring | 1800  | 800                   | 0,6                                    | 65                              | 3,4  |
|               | Всего/Total                         | 3100  | 2400                  | 0,6                                    | 49                              | 3,0  |

Из сравнения вариантов сплошной выемки с отбойкой руды из подэтажных штреков и восстающих следует, что в диапазоне сравниваемых мощностей рудного тела отбойка из подэтажных штреков имеет лучшие показатели, чем отбойка из восстающих (табл. 3).

Таблица 3. Сопоставимые показатели вариантов отбойки руды

Table 3. Comparable indicators of ore breaking options

| Вариант отбойки<br>Breaking option                 | Блоки<br>Blocks    | Угол падения, градус<br>Incidence angle, degree | Размеры, м<br>Size, m | Мощность рудная, м<br>Ore thickness, m | Доля нарезных работ, %<br>Share of rifled works, % | Разубоживание, %<br>Dilution, % | Производительность забойщика, м <sup>3</sup> /см<br>Miner productivity, m <sup>3</sup> /cm |
|--|--------------------|---|-----------------------|--|--|---------------------------------|--|
| Из подэтажных штреков<br>From sublevel 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<br>Average | –   | –                     | 1,1                                    | 37   | 23                              | 3,7  |
| Из восстающих<br>From raise                        | 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<br>Average | –   | –                     | 0,7                                    | 38   | 42                              | 3,8  |
| Из очистного пространства<br>From extraction space | Среднее<br>Average | –   | –                     | 1,0                                    | 50   | 41                              | 3,7  |

По показателю «Производительность труда забойщика» сравниваемые варианты отбойки близки, что объясняется превалированием доли бурения в трудозатратах (рис. 1).

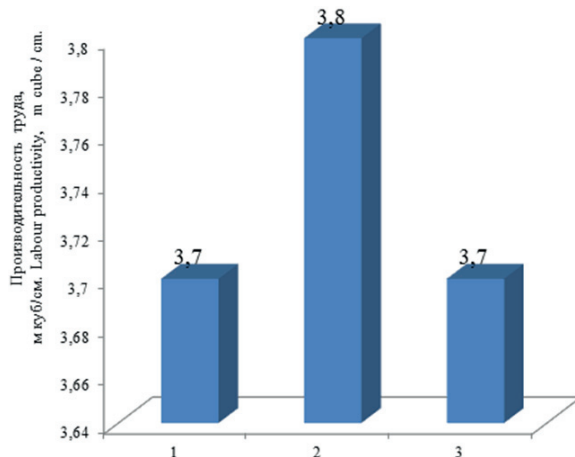


Рис. 1. Производительность труда при альтернативных вариантах отбойки руд: 1 – из подэтажных штреков; 2 – из буровых восстающих; 3 – уступами

Fig. 1. Productivity at alternative ore blasting: 1 – from sublevel drifts; 2 – drilling raise; 3 – terraces

Разубоживание при отбойке из буровых выработок в целом существенно меньше, чем при отбойке уступами из очистного пространства, что связано с уменьшением площади бурения (рис. 2).

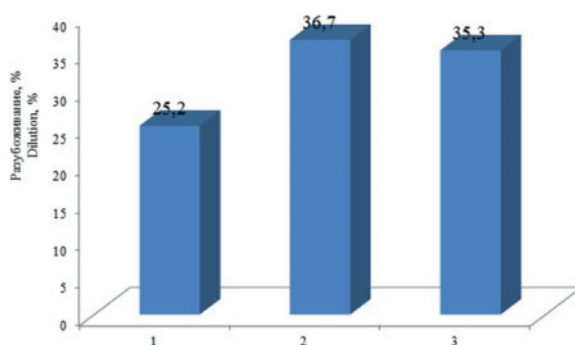


Рис. 2. Разубоживание при альтернативных вариантах отбойки руд: 1 – из подэтажных штреков; 2 – из буровых восстающих; 3 – уступами

Fig. 2. Dilution at alternative blasting ore: 1 – from sublevel drifts; 2 – drilling raise; 3 – terraces

Анализом вариантов отбойки руды при разработке пологих месторождений руд редких, благородных и цветных металлов малой мощности доказано, что способы с отбойкой из буровых выработок не только эффективнее по показателям производительности труда и качества руд, но устраняют необходимость нахождения работающих в открытом выработанном пространстве, что позволяет им конкурировать с базовым вариантом.

Полученные результаты корреспондируют с результатами отечественной и зарубежной практики [17–20].

## Выводы

1. По критерию производительности труда забойщика сравниваемые варианты отбойки руды имеют практически одинаковые показатели, что говорит о превалирующей роли взрывной отбойки по сравнению с процессами доставки, крепления и др.
2. Несмотря на повышенную трудоемкость проходки буровых выработок, производительность в целом не уменьшается, потому что затраты на

проходку компенсируются удобством доставки при оборудовании рудного вала.

3. По критерию разубоживания альтернативные варианты превосходят базовый за счет создания более комфортных условий для работы взрыва.
4. При в целом мало различающихся показателях сравниваемых вариантов отбойка из буровых штреков и восстающих избавляет от опасного нахождения работающих в открытом выработанном пространстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Лукьянов В.Г. Разработка технологии взрывных работ, уменьшающей вредное воздействие на окружающую среду // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 8. – С. 33–40.
2. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries / V. Golik, V. Komashchenko, V. Morkun, I. Gaponenko // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – V. 7. – № 7. – P. 383–387.
3. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – Путь длиной в 65 лет // Горный журнал. – 2016. – № 3. – С. 6–12.
4. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology / Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye // Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2012. – P. 77–83.
5. Ляшенко В.И. Природоохранные технологии освоения сложноструктурных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерский вестник. – 2015. – № 1. – С. 10–15.
6. 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.
7. Белоусов А.С., Алексеев О.Н. Технологические схемы подготовки отработки мало- мощных урановых пластов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 9. – С. 94–102
8. Васильев П.В., Стась Г.В., Смирнова Е.В. Оценка риска травматизма при добыче полезных ископаемых // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2016. – Вып. 2. – С. 39–45.
9. Выбор оптимального варианта комбинированной системы разработки месторождения высокоценного кварца на основе моделирования / И.В. Соколов, А.А. Смирнов, Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, А.А. Рожков // Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых. – 2016. – № 6. – С. 114–124.
10. 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. – V. 32. – P. 1–12.

11. 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China / G. Wang, R. Li, E.J.M. Carranza, F. Yang // Ore Geology Reviews. – 2015. – V. 71. – P. 592–610.
12. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition // European Journal of Operational Research. – 2017. – V. 257. – Iss. 1. – P. 297–309.
13. Yao Y., Cui Z., Wu R. Development and Challenges on Mining Backfill Technology // Journal of Material Science Research. – 2012. – V. 1. – Iss. 4. – P. 73–78.
14. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – V. 10. – № 17. – P. 38105–38109.
15. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико- химических геотехнологий // Горный журнал. – 2013. – № 5. – С. 93–97.
16. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Kasheva Z.M. The history of Russian Caucasus ore deposit development // The social sciences (Pakistan). – 2016. – Т. 11. – № 15. – P. 3742–3746.
17. Calculation and Management for Mining Loss and Dilution under 3D Visualization Technical Condition / Weijing Wang, Shaofeng Huang, Xiaobo Wu, Qingfei Ma // Journal of Software Engineering and Applications. – 2011. – V. 4. – P. 329–334.
18. Jarvie-Eggart M.E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. – Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. – 804 p.
19. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both / E. Ben-Awuah, O. Richter, T. Elkington, Y. Pourrahimian // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – V. 26. – Iss. 6. – P. 1065–1071.
20. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal extraction in the case of non-waste disposal of enrichment tailings // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – V. 7. – № 10. – P. 213–217.

Поступила 27.10.2018 г.

## Информация об авторах

**Лукьянов В.Г.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры транспорта и хранения нефти Института природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Голик В.И.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры горного дела Северо-Кавказского государственного технологического университета; главный научный сотрудник Геофизического института Владикавказского научного центра.

**Комащенко В.И.**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры прикладной геологии и горного дела Белгородского государственного национального исследовательского университета.

UDC 504.55.054: 622 (470.6)

**EFFICIENCY OF ORE BLASTING IN SLOPING LOW-YIELD DEPOSITS****Victor G. Lukyanov<sup>1</sup>,**  
lukyanov@tpu.ru**Vladimir I. Golik<sup>2,3</sup>,**  
v.i.golik@mail.ru**Vitaly I. Komashchenko<sup>4</sup>,**  
komashchenko@inbox.ru<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.<sup>2</sup> North Caucasus State Technological University,  
44, Nikolaev street, Vladikavkaz, 362021, Russia.<sup>3</sup> Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center,  
93A, Markov street, Vladikavkaz, 362002, Russia.<sup>4</sup> Belgorod State National Research University,  
85, Pobedy street, Belgorod, 308015, Russia.

**The relevance** of the study is explained by the fact that most of the base metal, noble metal and rare metal ores are extracted in difficult conditions, where the use of high-performance equipment is impossible. The alternative mining of that sort of ore bodies is chosen as a result of a compromise between extraction rating and quality of the produced ore. It is considered, that the longwall ore breaking in form of pit bank is the most effective one. Other options are considered as cost-intensive because of special drifting for ore breaking.

**The aim** of the study is to prove, that the alternative options of ore production under the same conditions can compete with the main option upon performance and quality indicators, being much safer, excluding the presence of people in work in the mined-out area.

**The main method** of the research is modeling of mining indexes in experimental blocks when conditions in a specific deposit are met. The obtained indicators are systematized and interpreted graphically.

**Results.** The paper introduces the results of modeling the options of the heading system: the option of the bank ore breaking in the stoping zone is compared with the one of the ore breaking from the drilling room: sublevel drifts and risings. The authors have determined the quantitative indicators of alternative options. It is determined that the labour intensity of the drilling room sinking is compensated by the convenience of ore delivery and relative operating safety. It is proved that the options of the heading and room-and-pillar systems, using the drilling factor in the solid ore in special pits and ore breaking by the direct action of the explosion are economically sounder and safer.

**Conclusions.** With little difference in the parameters of the compared options, the increasing labour intensity sinking of the special drilling rooms for ore breaking is compensated by cost saving in ore delivery when the ore bar is created using the direct action of the explosion.

**Key words:**

Ore, development, duty of labour, breaking, banks on ore, drilling, drifts, risings.

**REFERENCES**

1. Komashchenko V.I., Vorobyov E.D., Lukyanov V.G. Development of blasting technology that reduces harmful impact on the environment. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 8, pp. 33–40. In Rus.
2. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Gaponenko I. Improving the effectiveness of explosive breaking on the bade of new methods of borehole charges initiation in quarries. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 7, pp. 383–387.
3. Dmytrak Yu.V., Kamnev E.N. JSC «Leading design and exploration and research institute of industrial technology» – a path length of 65 years. *Mountain magazine*, 2016, no. 3, pp. 6–12. In Rus.
4. Haifeng Wang, Yaqun He, Chenlong Duan, Yuemin Zhao, Youjun Tao, Cuiling Ye. Development of Mineral Processing Engineering Education in China University of Mining and Technology. *Advances in Computer Science and Engineering. AISC 141*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2012. pp. 77–83.
5. Lyashenko V.I. Environmental protection technologies for the development of complex structures of mineral deposits. *Marksheydersky vestnik*, 2015, no. 1, pp. 10–15. In Rus.
6. Kalmykov V.N., Petrova O.V., Mambetova Yu.D. Justification of the parameters of technological reserves for the sustainable operation of the mining and mining system in the underground mining of copper-pyrite deposits. *Mining Information Analytical Bulletin*, 2017, no. 8, pp. 5–16. In Rus.
7. Belousov A.S., Alekseev O.N. Technological schemes for preparation of mining of low-power uranium strata. *Mining information analytical bulletin*, 2017, no. 9, pp. 94–102. In Rus.
8. Vasiliev P.V., Stas G.V., Smirnova E.V. Assessment of the risk of injury during mining operations. *Izvestiya Tula State University. Earth sciences*, 2016, Iss. 2, pp. 39–45. In Rus.
9. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Baranovsky K.V., Rozhkov A.A. Selection of the optimal variant of the combined system for the development of a deposit of high-grade quartz on the basis of modeling. *Physico-technical problems of the development of useful deposits fossils*, 2016, no. 6, pp. 114–124. In Rus.
10. 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.

11. 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.
12. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition. *European Journal of Operational Research*, 2017, vol. 257, Iss. 1, pp. 297–309.
13. Yao Y., Cui Z., Wu R. Development and Challenges on Mining Backfill Technology. *Journal of Material Science Research*, 2012, vol. 1, Iss. 4, pp. 73–78.
14. Golik V.I., Razorenov Y.I., Polukhin O.N. Metal extraction from ore beneficiation codas by means of lixiviation in a disintegrator. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 17, pp. 38105–38109.
15. Golik V.I. Konceptualnye podhody k sozdaniyu malo- i bezotkhodnogo gornorudnogo proizvodstva na osnove kombinirovaniya fiziko-tekhnicheskikh i fiziko-khimicheskikh geotekhnologiy [Conceptual approaches to development of small and non-waste mining production on the basis of combining physical, technical and physicochemical geotechnologies]. *Mining Journal*, 2013, no. 5, pp. 93–97.
16. Golik V.I., Razorenov Yu.I., Ignatov V.N., Kasheva Z.M. The history of Russian Caucasus ore deposit development. *The social sciences (Pakistan)*, 2016, vol. 11, no. 15, pp. 3742–3746.
17. Weijing Wang, Shaofeng Huang, Xiaobo Wu, Qingfei Ma. Calculation and Management for Mining Loss and Dilution under 3D Visualization Technical Condition. *Journal of Software Engineering and Applications*, 2011, vol. 4, pp. 329–334.
18. Jarvie-Eggart M.E. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World*. Englewood, Colorado, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.
19. 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, Iss. 6, pp. 1065–1071.
20. Golik V., Komashchenko V., Morkun V., Burdzieva O. Metal extraction in the case of non-waste disposal of enrichment tailings. *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, vol. 7, no. 10, pp. 213–217.

Received: 27 October 2018.

#### Information about the authors

**Victor G. Lukyanov**, Dr. Sc., professor, professor-consultant, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Vladimir I. Golik**, Dr. Sc., professor, professor, North Caucasus State Technological University; chief researcher, Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center.

**Vitaly I. Komashchenko**, Dr. Sc., professor, professor, Belgorod State National Research University.