

## Обоснование области и опыт применения однорядного взрывания в условиях повышенных требований к качеству полезного ископаемого

И.А. Пыталев<sup>1</sup>, Д.В. Доможиров<sup>1</sup>✉, Е.Е. Швабенланд<sup>2</sup>, А.А. Прохоров<sup>3</sup>, В.В. Пронин<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>ООО «РИФ-Микромрамор», г. Магнитогорск, Российская Федерация

<sup>4</sup>ООО «КРУ-ВЗРЫВПРОМ», г. Кемерово, Российская Федерация

✉dvd1975@mail.ru

**Резюме:** В статье обоснована область применения однорядного взрывания на сложноструктурных нерудных месторождениях с низкой стоимостью полезного ископаемого, но с высокой ценностью извлекаемых фракций. Описаны причины снижения стоимости готовой продукции карьеров, разрабатывающих запасы мрамора для производства микрокальцита. Представлены способы повышения качественных показателей подготовки горных пород к выемке при однорядном взрывании в условиях повышенных требований к качеству полезного ископаемого. Разработаны паспорта производства буровзрывных работ для достижения требуемых показателей качества дробления горной массы. Проведено моделирование однорядного взрывания для условий изменения параметров сетки скважин и удельного расхода взрывчатого вещества. Представлены результаты опытно-промышленных взрывов и технико-экономическое сравнение многорядного и однорядного взрывания по показателям максимальной прибыли горнодобывающего предприятия и минимальной себестоимости готовой продукции. Отмечены параметры системы разработки, изменяемые при применении однорядного взрывания.

**Ключевые слова:** открытая геотехнология, нерудные месторождения, однорядное взрывание, выход товарной продукции, параметры буровзрывных работ, опытно-промышленные испытания, микрокальцит

**Благодарности:** Статья выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-3602.2021.1.5.

**Для цитирования:** Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Швабенланд Е.Е., Прохоров А.А., Пронин В.В. Обоснование области и опыт применения однорядного взрывания в условиях повышенных требований к качеству полезного ископаемого. *Горная промышленность*. 2022;(1):110–115. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-110-115>

## Justification of the application area and experience of single-row blasting in conditions of increased requirements towards the quality of minerals

I.A. Pytalev<sup>1</sup>, D.V. Domozhironov<sup>1</sup>✉, E.E. Shvabenland<sup>2</sup>, A.A. Prokhorov<sup>3</sup>, V.V. Pronin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation

<sup>2</sup>All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>RIF-Mikromramor LLC, Magnitogorsk, Russian Federation

<sup>4</sup>KRU-VZRYVPROM LLC, Kemerovo, Russian Federation

✉dvd1975@mail.ru

**Abstract:** The paper justifies the application area of single-row blasting at nonmetallic deposits characterized with a complex structure and low cost of mineral resources, but with a high value of recoverable fractions. It describes the reasons for decreasing value of the end products mined in quarries developing marble reserves to produce microcalcite. Ways of upgrading the quality characteristics of rock preparation for excavation using single-row blasting are described for conditions of increased requirements towards the quality of minerals. Drilling and blasting plans are developed to achieve the required quality characteristics of rock crushing. A simulation of single-row blasting in conditions of varying parameters of the borehole grid and specific consumption of explosives has been carried out. The article presents the results of pilot blasting as well as technical and economic comparison of multi-row and single-row blasting in terms of maximized profitability of the mining company and minimized cost of the end product. The parameters of the mining system that are changed when single-row blasting is used are indicated.

**Keywords:** open-pit geotechnology, nonmetallic deposits, single-row blasting, yield of commercial products, drilling and blasting parameters, pilot tests, microcalcite

**Acknowledgments:** The paper was published with the financial support of Presidential Grant RF MD-3602.2021.1.5.

**For citation:** Pytalev I.A., Domozhironov D.V., Shvabenland E.E., Prokhorov A.A., Pronin V.V. Justification of the application area and experience of single-row blasting in conditions of increased requirements towards the quality of minerals. *Russian Mining Industry*. 2022;(1):110–115. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2022-1-110-115>

**Введение**

Современной тенденцией развития открытых горных работ является повышение производственной мощности по полезному ископаемому, однако с учетом постоянного снижения его качества и усложнения горно-геологических условий неизбежно увеличивается производительность карьера по горной массе [1; 2]. При этом со стороны потребителя повышаются требования к качеству продукции открытой геотехнологии. Это особо актуально для нерудных месторождений с низкой стоимостью полезных ископаемых (мрамор, строительный камень, уголь) [3–5]. Эффективность отработки данных месторождений достигается возможностью технологически обеспечить разделение разрабатываемых запасов по сортам, степени белизны, гранулометрическому составу в зависимости от типа полезного ископаемого.

При разработке нерудных месторождений на вскрышных и добычных работах одним из главных технологических процессов, обеспечивающих минимальные потери и разубоживание при максимальном выходе товарной продукции, является процесс подготовки горных пород к выемке с помощью буровзрывных работ (БВР) [6; 7].

**Методы исследования**

Оценка степени и качества дробления взорванной горной массы производилась с использованием фотопланиметрического метода, графоаналитических расчетов. Были проведены опытно-промышленные испытания. Достоверность расчетов подтверждена высокой схожимостью результатов математического моделирования со значениями опытно-промышленных испытаний.

**Результаты исследования**

С целью обеспечения повышенных требований к качеству товарной продукции, предъявляемых потребителем в части гранулометрического состава, зольности, белизны, желтизны и других качественных характеристик, недропользователь вынужден искать технические решения, обеспечивающие подготовку горной массы к выемке с помощью буровзрывных работ. Традиционными решениями, направленными на повышение производительности и снижение себестоимости ведения горных работ, считается вариация многорядного короткозамедленного взрывания (КЗВ) [6–9]. Следует отметить, что в условиях месторождений с низкой стоимостью полезного ископаемого обеспечение эффективности горнодобывающего предприятия достигается селективной выемкой блоков на отдельных участках карьерного поля с низкой и высокой стоимостью готовой продукции. В данных условиях применение многорядного КЗВ приводит к переизмельчению и неконтролируемому перемещиванию полезного ископаемого с высокими и низкими показателями качества, что на практике приводит к снижению стоимости конечной продукции, а в некоторых случаях и к полной потере потребительских свойств. Ярким примером продукции, к которой предъявляются высокие требования, является мрамор Еленинского месторождения, используемый в том числе для получения высокоценного микрокальцита [10; 11].

Еленинское месторождение мраморов расположено в Карталинском районе Челябинской области в 3,5 км юго-западнее п. Еленинка и представляет собой падение под углом 50–65° слоев в виде складок, сложенных послойно: белыми, светло-серыми, серыми, темно-серыми (черными) (рис. 1) и желтыми (доломитизированными) мраморами (рис. 2).



Рис. 1  
Борт карьера с выходом темно-серых (черных) мраморов

Fig. 1  
Open pit wall with outcrops of dark gray (black) marbles



Рис. 2  
Уступ карьера с выходом жёлтого (доломитизированного) мрамора

Fig. 2  
Open pit bench with outcrops of yellow (dolomitized) marbles



Из мрамора Еленинского месторождения изготавливаются минеральные наполнители, используемые в производстве высококачественных пластиков, резинотехнических изделий, лакокрасочной продукции, модифицированных сухих строительных смесей, офисной бумаги и т.д. Еленинский мрамор отличается высокими показателями белизны, низким показателем желтизны и очень низким содержанием  $Fe_2O_3$ .

Критериями оценки качества товарной продукции карьера «Еленинский» являются:

- потери:
  - переизмельчение,
  - выход негабарита;
- разубоживание:
  - желтизна (белизна),
  - переизмельчение;
- выход товарной продукции:
  - щебень фракции 40–200 мм,
  - щебень фракции 20–40 мм.

При переработке добытого полезного ископаемого на дробильно-сортировочной установке происходит его потеря в количестве 18% в виде первичного отсева, представленного засоренными фракциями крупностью 0–20 мм. После первичного отсева 100% перерабатываемого мрамора разделяются по фракциям:

- 40–200 мм – 52%;
- 20–40 мм – 28%;
- 5–20 мм – 6%;
- вторичный отсев, 0–5 мм – 14%.

Таким образом, существующая схема подготовки пород к взрыву приводит к неизбежным потерям 18% полезного ископаемого в виде первичного отсева по причине переизмельчения. Годовой объем переработки обеспечивается увеличением производственной мощности карьера на эквивалентную величину.

Следует отметить, что в составе полезного ископаемого, поступающего на дробление, 28% является готовым продуктом, 20% переизмельченным и только 52% является сырьем, пригодным для получения ликвидной товарной продукции. В процессе дробления и измельчения фракции 20–200 мм происходит получение готового продукта.

На карьере применяются буровзрывные работы. В условиях Еленинского месторождения накоплен значительный опыт взрывных работ для рыхления полезного ископаемого многорядным короткозамедленным взрыванием и подобраны оптимальные параметры БВР, так сетка скважин 3,0 м × 3,0 м, диаметр скважин  $d_c = 120$  мм и удельный расход взрывчатого вещества  $q_{ВВ} = 1,2$  кг/м<sup>3</sup>. При таких параметрах взрывных работ происходит перемешивание слоев горной массы, в результате чего засорение некондиционным камнем достигает 27%. Следует отметить, что даже при тщательной селективной выемке мрамора из забоя потери кондиционного сырья снизить менее чем 17% не удастся. Также образуется большое количество мелкого камня фракции 0–30 мм до 27%, который при грохочении отсеивается в грязевой отсев – как непригодный для дальнейшего применения при производстве микрокальцитов. Выход товарного щебня фракции 40–200 мм составляет 45%, а наличие включений черного и желтого мрамора в щебне в общем объеме составляет 10%.

С целью повышения комплексности освоения и эффективности отработки данного месторождения было предложено провести опытно-промышленные испытания

однорядного взрывания, что в теории должно повысить выход фракции 40–200 мм не менее чем на 10% [12–14].

Моделирование однорядного взрывания проводилось для условий изменения параметров сетки скважин и удельного расхода ВВ.

Первый вариант предусматривал расширение сетки скважин в диапазоне от 3,5 до 4,2 м.

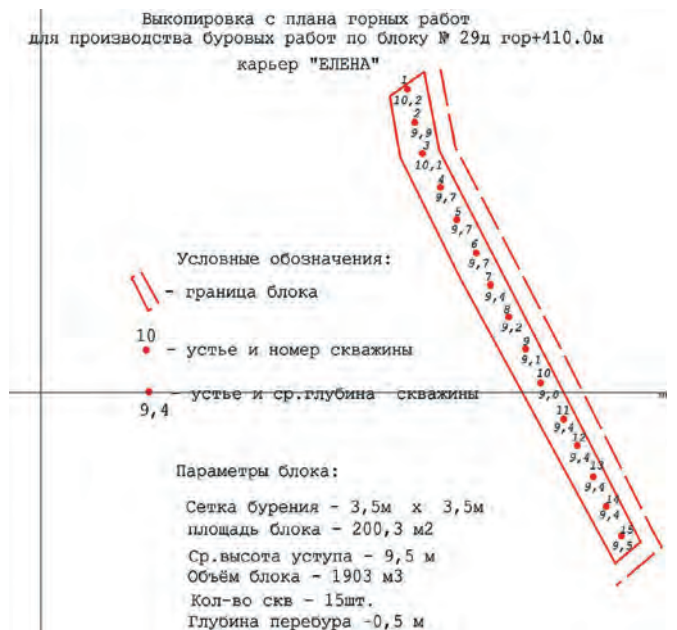
Второй вариант предусматривал уменьшение удельного расхода до двух раз ( $g_{ВВ} = 0,6$  кг/м<sup>3</sup>).

Третий вариант предусматривал комбинацию двух предыдущих.

На основе результатов моделирования было принято решение провести опытно-промышленные испытания однорядного взрывания вкрест и вдоль простирания полезного ископаемого, в соответствии с разработанными паспортами БВР, представленными на рис. 3 и 4. Было взорвано 15 скважин вкрест простирания и 30 скважин по простиранию с расстоянием между скважинами соответственно 3,5 и 4,2 м. Скважины бурились диаметром 105 мм, удельный расход взрывчатых веществ составил 0,6 кг/м<sup>3</sup>. Поскольку границы темно-серых (черных) и желтых (доломитизированных) слоев мрамора хорошо определяются визуально, что показано на рис. 1 и 2, расстояние от них до ближайшей скважины принято 1,5 м. Следует отметить, что, в отличие от многорядного взрывания, при однорядном с целью обеспечения требуемого объема горной массы необходимо подготавливать узкие и протяженные в плане буровзрывные блоки.

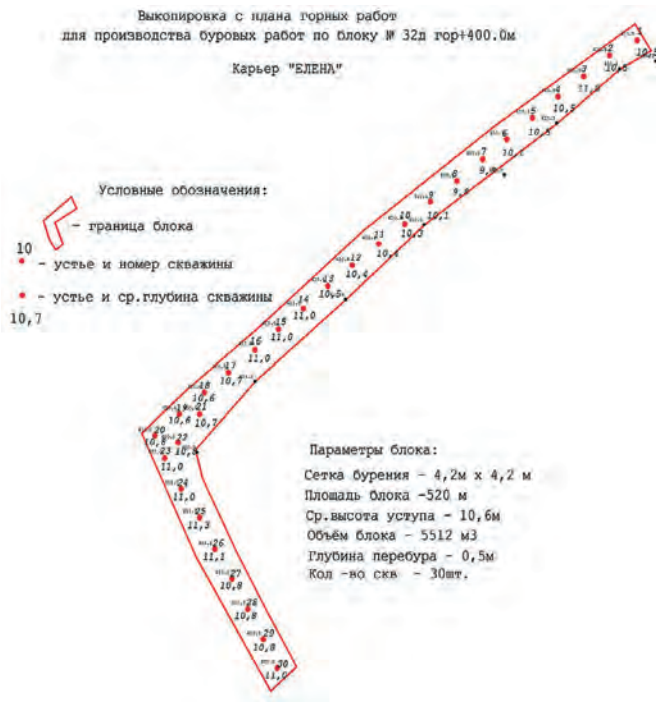
Произведенный взрыв с обоснованными параметрами однорядного взрывания позволил обеспечить селективное оконтуривание полезного ископаемого на стадии подготовки горной массы к выемке за счет выборочного взрывания белых, светло-серых, серых, темно-серых (черных) и желтых (доломитизированных) слоев мрамора.

По результатам опытно-промышленных испытаний при указанных параметрах однорядного взрывания была



**Рис. 3**  
Паспорт однорядного взрывания вкрест простирания полезного ископаемого

**Fig. 3**  
Passport of single-row blasting across the strike of the mineral body



**Рис. 4**  
Паспорт однорядного взрывания по простиранию полезного ископаемого

**Fig. 4**  
Passport of single-row blasting along the strike of the mineral body

достигнута селективная отработка полезного ископаемого еще на стадии подготовки полезного ископаемого к выемке за счет поочередного взрывания белых, светло-серых, серых, темно-серых (черных) и жёлтых (доломитизированных) слоев мрамора.

В результате серии опытных взрывов получены следующие количественно-качественные показатели:

- засорение некондиционным камнем – не более 9%;
- потеря кондиционной фракции при селективной отработке – 5%;
- образование мелкого камня фракции 0–30 мм – менее 9%;

**Таблица**  
Сравнение результатов экономической оценки подготовки пород к выем

Наименование показателей	Одно-рядное	Много-рядное	Одно-рядное	Много-рядное	Стоимость процесса БВР/цена продажи (без НДС), руб/м³		Затраты/объем продаж/эффект в год (без НДС), млн руб.	
	%		м³		Одно-рядное	Много-рядное	Одно-рядное	Много-рядное
Объем рыхления БВР	100		320 000		56	72	17,92	23,04
Отсев первичный (0–20 мм)	9	18	28 800	57 600				
Негабарит (+ 200 мм)	49	10	156 800	32 000	51		8	1,63
Выход товарной продукции			291 200	262 400				
Итого: затраты на подготовку к выемке							25,92	24,67
Объем реализации			291 200	262 400	500		145,6	131,2
Валовая прибыль							119,68	106,53
Экономический эффект, руб. (%)							13 150 000 (11%)	

- выход габаритного куска камня фракции 30–1500 мм – 86%;
- выход негабаритного куска камня фракции более 1500 мм – 5%;
- выход товарного щебня фракции 40–200 мм – 60%;
- включение черного и жёлтого камня в щебень – 4%.

Кроме того, подтверждено, что при однорядном взрывании достигается минимальное перемешивание пород горной массы и увеличение крупности ее кусков.

Экономическая оценка подготовки мрамора к выемке выполнена на основе экономико-математического моделирования применения буровзрывных работ по критериям достижения максимальной прибыли (Π) горнодобывающего предприятия при обеспечении минимальной себестоимости (С) готовой продукции:

$$\Pi = \Pi - \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \max; \quad (1)$$

$$C = \frac{\sum C_i}{V} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где Π – стоимость объема реализованной готовой товарной продукции, руб.;

C<sub>i</sub> – затраты на добычу при выполнении i-го технологического процесса, руб/м³;

V – объем реализованной готовой товарной продукции, м³.

Результаты экономической оценки подготовки пород к выемке при многорядном и однорядном взрывании представлены в таблице.

Таким образом, применение однорядного взрывания позволило увеличить объем выхода из взорванного блока товарной продукции фракции 40–200 мм до 60% за счет снижения удельного расхода ВВ (до 50%) и расширения сетки скважин (до 15–29%), при этом выход негабарита (+200 мм) увеличился в 5 раз. Однако в результате технико-экономической оценки результатов опытно-промышленных испытаний установлено, что эффективность предприятия повысилась на 11%. Кроме того, достигнуто снижение потерь кондиционного сырья при селективной выемке до 5%, вторичного отсева фракции 0–5 мм – до 9%, а примешивание включений черного и жёлтого мраморов до 4%.

**Table**  
Comparison of the results of economic assessment of rock preparation for excavation

**Заключение**

Однорядное взрывание в современных трендах роста производительности карьеров по горной массе не рассматривается в качестве способа повышения эффективности горнодобывающего предприятия в силу объективных сдерживающих недостатков и факторов. Однако данный способ имеет неоспоримое преимущество в условиях применения на нерудных сложноструктурных месторождениях с низкой стоимостью полезного ископаемого и возможностью организации фронта горных работ, вытянутого в плане. Основным преимуществом однорядного взрывания в указанных условиях является возможность

обеспечить селективную выемку и достигать высокого качества подготовки пород к выемке по потребительским свойствам в соответствии с требованиями заказчиков. При этом обеспечение требуемого объема горной массы достигается подготовкой узких и протяженных в плане буровзрывных блоков, что, в свою очередь, в стесненных условиях позволяет уменьшить ширину рабочих площадок до минимальных размеров. Проведенные опытно-промышленные испытания показали технико-технологическую целесообразность и экономическую эффективность однорядного взрывания в условиях повышенных требований к качеству нерудных полезных ископаемых.

**Список литературы**

1. Юматов Б.П., Байков Б.Н., Смирнов В.П. *Открытая разработка сложноструктурных месторождений цветных металлов*. М.: Недра; 1973. 192 с.
2. Дронов Н.В. (ред.) *Основы технологии выемки руд при открытой разработке сложных рудных месторождений*. Фрунзе: Илим; 1970. 230 с.
3. Доможиров Д.В., Угольников Н.В., Симаков Д.Б., Прохоров А.А. Обеспечение высокого качества взрывной подготовки пород к выемке при открытом способе добычи в сложных горно-геологических условиях и существенном росте масштабов работ. В кн.: *Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Магнитогорск, 24–28 мая 2021 г.* Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 2021. С. 87–88.
4. Пыталев И.А., Доможиров Д.В., Прохоров А.А. Обоснование параметров открытой геотехнологии добычи мрамора высокой степени белизны, как ответ на вызовы рынка. В кн.: *Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Магнитогорск, 24–28 мая 2021 г.* Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 2021.
5. Федотенко В.С., Пронин В.В. Требования к качеству буровзрывной подготовки горных пород при переходе на экскаваторы с увеличенной емкостью ковша. В кн.: *Комбинированная геотехнология: переход к новому технологическому укладу: материалы 11-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Магнитогорск, 24–28 мая 2021 г.* Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 2021. С. 54–55.
6. Эткин М.Б., Азаркович А.Е. *Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве*. М.: Изд-во МГТУ; 2004. 317 с.
7. Кутузов Б.Н. *Справочник взрывника*. М.: Горное дело; 2014. Ч. 2. Техника, технология и безопасность взрывных работ. 304 с.
8. Кутузов Б.Н. *Безопасность взрывных работ в горном деле и промышленности*. М.: Горная книга; 2009. 669 с.
9. Ракишев Б.Р. *Автоматизированное проектирование и производство массовых взрывов на карьерах*. Алма-Ата: Кылым; 2016. 340 с.
10. Uolnikov N.V., Domozhirev D.V., Karaulov N.G., Prochorov A.A. Improving the production technology of drilling and blasting operations by blasting of high ledges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;966(1):012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/966/1/012022>
11. Доможиров Д.В., Караулов Н.Г., Прохоров А.А. Анализ способов подготовки блочного камня на карьерах уральского региона. В кн.: Першин Г.Д. (ред.) *Добыча, обработка и применение природного камня: материалы Международ. техн. конф. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 2018. С. 46–57.*
12. Duan Y., Xiong D., Yao L., Wang F., Xu G. Advanced Technology for Setting Out of Blastholes and Measurements while Drilling. In: *11<sup>th</sup> International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Australia; 2015, pp. 593–598.
13. Маляров И.П., Доможиров Д.В. Оценка энергии, идущей на бесполезную (вредную) работу при взрывании одиночных зарядов ВВ. В кн.: Калмыков В.Н. (ред.) *Разработка мощных рудных месторождений: межвуз. сб. науч. тр. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 1999. С. 77–83.*
14. Ермолаев А.И., Токмаков В.В., Росляков А.С., Тетерев Н.А. Способ однорядного короткозамедленного взрывания горных пород. В кн.: Валиев Н.Г. (ред.) *Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений: сб. докл. 6-й Междунар. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 18–19 апр. 2017 г.* Екатеринбург: Изд-во УГГУ; 2017. С. 309–312.

**References**

1. Yumatov B.P., Baikov B.N., Smirnov V.P. *Open-pit mining of complex nonferrous metal deposits*. Moscow: Nedra; 1973. 192 p. (In Russ.)
2. Dronov N.V. (ed.) *Fundamentals of ore excavation technology in surface mining of complex ore deposits*. Frunze: Ilim; 1970. 230 p. (In Russ.)
3. Domozhirev D.V., Ugol'nikov N.V., Simakov D.B., Prokhorov A.A. A combined mining system: transition to a new technological paradigm. In: *A combined mining system: transition to a new technological paradigm: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, Magnitogorsk, May 24–28, 2021*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2021, pp. 87–88. (In Russ.)
4. Pytalev I.A., Domozhirev D.V., Prokhorov A.A. Justification of parameters for open-pit system to mine highly white marble as a response to market demands. In: *A combined mining system: transition to a new technological paradigm: Proceedings of the 11th International*



- Scientific and Practical Conference, Magnitogorsk, May 24–28, 2021.* Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2021. (In Russ.)
5. Fedotenko V.S., Pronin V.V. Requirements for the quality of drilling and blasting preparation of rocks in transition to backhoes with increased bucket capacity. In: *A combined mining system: transition to a new technological paradigm: Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference, Magnitogorsk, May 24–28, 2021.* Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2021, pp. 54–55. (In Russ.)
6. Etkin M.B., Azarkovich A.E. *Blasting operations in energy and industrial construction.* Moscow: Moscow State Mining University; 2004. 317 p. (In Russ.)
7. Kutuzov B.N. *Handbook of a blast operator.* Moscow: Gornoe delo; 2014. Part. 2. Techniques, technologies and safety of blasting operations. 304 p. (In Russ.)
8. Kutuzov B.N. *Safety of blasting operations in mining and construction applications.* Moscow: Gornaya kniga; 2009. 669 p. (In Russ.)
9. Rakishev B.R. *Computer-aided designing and execution of large-scale blasts in open-pit mines.* Alma-Ata: Kylym; 2016. 340 p. (In Russ.)
10. Ugolnikov N.V., Domozhurov D.V., Karaulov N.G., Prochorov A.A. Improving the production technology of drilling and blasting operations by blasting of high ledges. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020;966(1):012022. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/966/1/012022>
11. Domozhurov D.V., Karaulov N.G., Prokhorov A.A. Analysis of dimensional stone preparation methods in quarries of the Urals Region. In: Pershin G.D. (ed.) *Mining, processing and use of natural stone: Proceedings of the International Technical Conference,* Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2018, pp. 46–57. (In Russ.)
12. Duan Y., Xiong D., Yao L., Wang F., Xu G. Advanced Technology for Setting Out of Blastholes and Measurements while Drilling. In: *11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting.* Australia; 2015, pp. 593–598.
13. Malyarov I.P., Domozhurov D.V. Estimation of energy used for needless (harmful) work in blasting of single charges. In: Kalmykov V.N. (ed.) *Development of massive ore deposits: Interuniversity Proceedings.* Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 1999, pp. 77–83. (In Russ.)
14. Ermolaev A.I., Tokmakov V.V., Roslyakov A.S., Teterev N.A. A method of a single-row short-delayed blasting of rocks. In: Valiev N.G. (ed.) *Innovative geotechnologies in development of ore and nonmetallic deposits: Proceedings of the 6th International Research and Technical Conference, Ekaterinburg, April 18–19, 2017.* Ekaterinburg: Ural State Mining University; 2017, pp. 309–312. (In Russ.)

#### Информация об авторах

**Пытаев Иван Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, директор института горного дела и транспорта, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: pytalev\_ivan@mail.ru

**Доможиров Дмитрий Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: dvd1975@mail.ru

**Швабенланд Елена Егоровна** – кандидат технических наук, заведующий сектором цветных, редких и благородных металлов, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Российская Федерация; e-mail: shvabenland@vims-geo.ru

**Прохоров Алексей Александрович** – директор ООО «РИФ-Микрорамор», г. Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: aprohorov@bk.ru

**Пронин Виктор Викторович** – начальник комплекса по производству взрывчатых веществ Бачатский, ООО «КРУ-ВЗРЫВПРОМ», г. Кемерово, Российская Федерация; e-mail: pronin@krupv.kru.ru

#### Information about the authors

**Ivan A. Pytalev** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Professor, Department of Mineral Deposits Development, Director of the Institute of Mining and Transportation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: pytalev\_ivan@mail.ru

**Dmitry V. Domozhurov** – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mineral Deposits Development, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: dvd1975@mail.ru

**Elena E. Shvabenland** – Cand. Sci. (Eng.), Head of Non-ferrous, Rare and Noble Metals Sector, All-Russian Scientific-research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russian Federation; e-mail: shvabenland@vims-geo.ru

**Alexey A. Prokhorov** – Director of RIF-Mikromramor LLC, Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: aprohorov@bk.ru

**Viktor V. Pronin** – Head of Bachatsky Explosives Production Complex, KRU-VZRYVPROM LLC, Kemerovo, Russian Federation; e-mail: pronin@krupv.kru.ru

#### Article info

Received: 12.12.2021

Revised: 16.01.2022

Accepted: 17.01.2022

#### Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.12.2021

Поступила после рецензирования: 16.01.2022

Принята к публикации: 17.01.2022