

## О ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ПО ЗНАЧЕНИЯМ ИНТЕРВАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ШАРОШЕЧНОГО БУРЕНИЯ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

А.С. Реготунов

Институт горного дела Уральского отделения РАН, Екатеринбург, Россия,  
e-mail: pochta8400@inbox.ru

**Аннотация:** Основной структурной особенностью горного массива, определяющей эффективность взрывного его разрушения, является трещиноватость. В настоящее время для ее определения применяются прямые и косвенные методы, о которых подробно изложено в статье. Для адекватного изучения трещины горного массива необходимо располагать не менее 9 характеристиками. Поэтому до сих пор ведутся поиски новых способов получения наиболее полной информации о трещинах массива. Приведен обзор состояния исследований способа получения дополнительной информации о трещинах, основанного на данных, получаемых с шарошечного бурового станка. Показано, что исследования имеют фрагментарный характер, нуждаются в развитии и верификации. В результате статистического анализа значений средней скорости бурения 149 скважин крупного асбестодобывающего горного предприятия и на основе доказанного ранее положения о взаимосвязи характеристик бурения и взрывного разрушения блока оценены преобладающие категории взрываемости и расстояния между трещинами. По диаграммам глубины погружения долота при бурении выборочных скважин установлены и показаны в статье участки с неустойчивыми стенками, указывающие на возможное проявление повышенной трещиноватости. Комплексирование этих данных с графическим изображением распределения скорости бурения между соседними скважинами, полученное методом интерполяционного усреднения, позволило предположительно определить границу распространения зоны техногенной нарушенности верхней части уступа блока от предыдущего взрыва на участке, охватывающем отдельные скважины.

**Ключевые слова:** буровзрывные работы, категория буримости, категория взрываемости, трещиноватость, шарошечное бурение, взрывные скважины, измерение, скорость бурения.

**Благодарность:** Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075-00412-22 ПР, темы 1 (2022–2024): Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005), рег. № 1021062010531-8-1.5.1.

**Для цитирования:** Реготунов А. С. О возможности оценки трещиноватости массива горных пород по значениям интервальной скорости шарошечного бурения взрывных скважин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 7-1. – С. 37–47. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_71\_0\_37.

---

## An the possibility of assessing the fracturing of a rock mass based on the values of the interval velocity of three-cone drilling of explosive wells

A.S. Regotunov

Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia, e-mail: pochta8400@inbox.ru

---

**Abstract:** The main structural feature of the mountain range that determines the effectiveness of its explosive destruction is fracturing. Currently, direct and indirect methods are used to determine it, which are described in detail in the article. For an adequate study of a rock mass crack, it is necessary to have at least 9 characteristics. Therefore, the search is still underway for new ways to obtain the most complete information about the cracks of the array. The article provides an overview of the state of research on a method for obtaining additional information about cracks based on data obtained from a spherical drilling rig. It is shown that the research is fragmentary, needs to be developed and verified. As a result of statistical analysis of the average values of the drilling speed of 149 wells of a large asbestos mining enterprise and on the basis of the previously proven position on the relationship between the characteristics of drilling and explosive destruction of the block, the prevailing categories of explosivity and fracture modulus are estimated. According to the diagrams of the depth of immersion of the bit during drilling of sample wells, areas with unstable walls are identified and shown in the article, indicating a possible manifestation of increased fracturing. Combining this data with a graphical representation of the drilling speed distribution between neighboring wells, obtained by interpolation averaging, made it possible to presumably determine the boundary of the spread of the zone of man-made disturbance of the upper part of the block ledge from the previous explosion in the area covering individual wells.

**Key words:** drilling and blasting operations, drillability category, explosivity category, fracturing, three-cone drilling, blast wells, measurement, drilling speed.

**Acknowledgements:** The research was carried out within the framework of State Assignment No. 075-00412-22 PR, topics 1 (2022–2024): Methodological foundations of the strategy for the integrated development of reserves of solid minerals in the dynamics of the development of mining systems (FUWE-2022-0005), reg. No. 1021062010531-8-1.5.1.

**For citation:** Regotunov A. S. An the possibility of assessing the fracturing of a rock mass based on the values of the interval velocity of three-cone drilling of explosive wells. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2024;(7-1):37-47. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2024\_71\_0\_37.

---

### Введение

В структуре экономики России ключевое место занимает сырьевой сектор, включающий разработку твердых полезных ископаемых. Большинство месторождений твердых полезных ископаемых разрабатываются с применением буровзрывных работ (БВР). Затраты на

данный вид работ составляют 30–35% от общих затрат. Учитывая постоянно растущие цены на энергоресурсы, взрывчатые материалы и вещества, буровое оборудование при сопутствующем изменении горно-геологических условий добычи, на горных предприятиях проводится периодическая адаптация пара-

метров техники и технологии буровзрывных работ (БВР) к новым условиям [1]. Для успешной адаптации необходимы актуальные сведения не только о прочностных свойствах горных пород, но и о структурных особенностях горного массива. Основной структурной особенностью горного массива, намеченного к взрывному разрушению, является трещиноватость [2, 3]. Разделяют естественную трещиноватость, определяемую генезисом и последующими тектоническими процессами, и техногенную, обусловленную ведением взрывных работ [4, 5]. Степень трещиноватости определяются различными методами: прямыми и косвенными [6]. К прямым методам относятся инструментальные измерения параметров залегания трещин и их систем: обследование обнажений массива с использованием горного компаса и геодезических измерительных приборов, а также выбуренного керна. Косвенные методы используют физические свойства горных пород, слагающих массив, — электрические, водные, магнитные, радиоактивные [7, 8], позволяющие в какой-то мере оценить его нарушенность и определить элементы залегания отдельных трещин либо их зон. Косвенные методы включают в себя ряд геофизических методов: сейсмоакустический, метод георадиолокации, электрометрический и др.

При детальном изучении каждой из трещин можно выделить до 9 характеризующих ее параметров [9]: азимут простирания, азимут падения, угол падения, извилистость, обводненность трещины, сопротивление сдвигу по трещине, ширина и глубина раскрытия, расстояние между трещиной и соседними трещинами. В этом случае идентификация трещины будет полная. После этого можно говорить о характеристике систем трещин на соответствующем участке массива. Тем не менее, каждый из

методов в отдельности не может предоставить исчерпывающую информацию о параметрах трещиноватости для решения задач БВР. Поэтому постоянно ведутся исследования по изысканию новых методов, в том числе и комплексных [10].

Наиболее простым и оперативным методом для оценки степени нарушенности массива может быть оценка через параметры и показатели бурения. И.А. Тангаев [11] предложил подход к определению структуры массива горных пород в процессе бурения пород, согласно которому для оценки модуля трещиноватости горных пород необходимо выделять высокочастотную составляющую тока двигателя вращателя и регистрировать броски тока в пределах одного слоя. По отношению количества бросков тока к мощности слоя определяют модуль трещиноватости горных пород. В описании способа не раскрываются технические параметры станка, для которых способ применим. Остается вопрос: для каких видов трещин, заполнителей и углов пересечения скважин применим способ и какой следует применять критерий разделения частоты тока якоря двигателя на низкую и высокую.

В работах [12, 13] установлено, что скорость шарошечного бурения обратно пропорциональна показателю трещиноватости горного массива, который определяется размером отдельности, величиной раскрытия, количеством систем трещин. Взаимосвязь между скоростью шарошечного бурения и показателем трещиноватости явно должна иметь свою область применения по протяженности, типу заполнителя, углу пересечения скважины, но об этом автор не говорит в своих работах. В работе [14] измеренные в процессе шарошечного бурения взрывных скважин данные исследовались на предмет их реакции на наличие открытых и частично открытых трещин

в горном массиве. Установлено, что наиболее значимыми параметрами для оценки отклика параметров бурения являются скорость бурения и крутящий момент. Авторы статьи определили, что скорость бурения и крутящий момент могут отражать как геологические изменения, так и наличие зон структурных неоднородностей. Сделан вывод, что зоны структурных неоднородностей могут быть выявлены и установлены по данным бурения в зависимости от длительности и периодичности совокупности параметров режима бурения.

В работе [15] приведены результаты исследования изменения скорости бурения, осевого усилия, крутящего момента, частоты вращения и давления воздуха при наличии открытых и частично открытых трещин с различными углами падения. В частности, показано, что изменения скорости бурения и крутящего момента проявляют наибольшую чувствительность при наличии открытых трещин, которые пересекают вертикальную скважину почти под перпендикулярными углами. В работе [16] установлено влияние имеющихся расслоений и трещин в кровле подземной выработки на изменение параметров бурения — ускорение и скорость.

На интенсивность изменений параметров влияют износ инструмента, конструкция станка и квалификация машиниста буровой установки.

Анализ выполненных исследований показал, что они являются фрагментарными и свидетельствуют о наличии специфических реакций отдельных параметров процесса бурения, возникающих при прохождении буровым инструментом как зон структурных неоднородностей (открытых трещин, расслоений), так и наблюдаемых при изменении прочностных свойств горных пород. Из-за многообразия горных массивов по геологическому строению и структуре, име-

ющиеся результаты трудно применить в других горно-геологических условиях, поскольку, по всей видимости, характер изменения и состав реагирующих параметров бурения будут другими. Поэтому требуется адаптация и развитие исследований в массивах с отличающимися от описанных в публикациях литологическими и структурными свойствами.

### **Методы исследования**

В начале исследования были изучены исходные условия бурения опытного блока. По проекту массового взрыва скважинных зарядов блок сложен перidotитами с отороченными жилами асбеста V категории взрываемости, серпентинитами с мелкой сеткой асбеста III категории взрываемости, серпентинитами III категории взрываемости, серпентинитами с гранатовой породой IV — V категории взрываемости.

На следующем этапе с помощью опытной версии автоматического устройства, созданного в ИГД УрО РАН, выполнены измерения средней скорости бурения каждой скважины. Общее количество пробуренных скважин — 149. Основу для разработки устройства заложили работы И.А. Тангаева. Устройство позволяет производить обработку цифровых сигналов с датчиков, соединенных с главными двигателями бурового станка. [17, 18]. Методика натуральных измерений скорости шарошечного бурения взрывных скважин заключалась в следующем. В начале были определены рациональные параметры технологии бурения и бурового инструмента. Далее шарошечный буровой станок СБШ-250МНА-32 производил бурение скважин диаметром — 244,5 мм по сетке согласно проекту на буровзрывные работы. В процессе бурения 149 скважин шарошечное долото проходило различные по прочности и строению горные породы. Одновременно система датчиков измеряла

электрические параметры двигателей бурового станка и регистрировала время, глубину погружения долота по каждой скважине. Производилась регистрация длительности вспомогательных операций. Установленная информация о параметрах процесса бурения взрывных скважин использовалась для расчета скорости бурения по каждой скважине. Результаты расчета в дальнейшем являлись основой для установления выборочного распределения скорости бурения взрывных скважин опытного блока и графического отображения интерполяционного усреднения ее значений между соседними скважинами. Выборочное распределение скорости бурения применялось, так как скорость бурения зависит не только от трещиноватости, но и от ряда других факторов, которые изменяются случайным образом.

Для построения таблицы выборочного распределения скорости бурения скважин опытного блока был рассчитан ряд параметров: количество оптимальных интервалов таблицы распределения; ширина интервалов  $h_v$  (м/мин); относи-

тельная частота попадания экспериментальных значений скорости бурения  $\omega_i$  (отн.ед) в заданный интервал.

В целях проверки выборки случайной величины — скорости бурения — на однородность рассчитывался коэффициент вариации  $K_{\text{вар}}$ .

На основании доказанного положения, что характеристики бурения взаимосвязаны с характеристиками взрывного разрушения [19, 20] и имеющейся единой классификации пород по взрываемости для карьеров [21], интервальные значения скорости бурения соотносились со справочным значением категории пород по единой шкале буримости, которая в свою очередь сопоставлялась со справочным значением категории взрываемости, что позволило уточнить расстояния между трещинами в массиве горных пород.

### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты статистического анализа скорости бурения скважин на опытном блоке представлены в таблице.

#### Выборочное распределение случайной величины — скорости бурения взрывных скважин

#### Selective distribution of a random variable — drilling speeds of blast wells

Заданный интервал скорости бурения $h_v$ , м/мин	Относительная частота попадания экспериментальных значений скорости бурения в заданный интервал $\omega_i$ , отн.ед.	Категория пород по единой шкале буримости	Категория пород по единой классификации взрываемости для карьеров [21]	Расстояние между трещинами в массиве горных пород, м
1	2	3	4	5
0,05 – 0,13	0,03	XVII – XX	VIII	1,45 – 1,7
0,13 – 0,21	0,14	XV – XVII	VII	1,2 – 1,5
0,21 – 0,3	0,33	XII – XIV	V – VI	0,7 – 1,25
0,3 – 0,38	0,30	XI – XII	IV	0,45 – 0,75
0,38 – 0,46	0,12	X – XI	III – IV	0,2 – 0,75
0,46 – 0,55	0,03	IX – X	II – III	0,1 – 0,5
0,55 – 0,63	0,03	менее VIII	II – I	0,1 – 0,25
0,63 – 0,71	0,01	менее VIII	I	<0,1

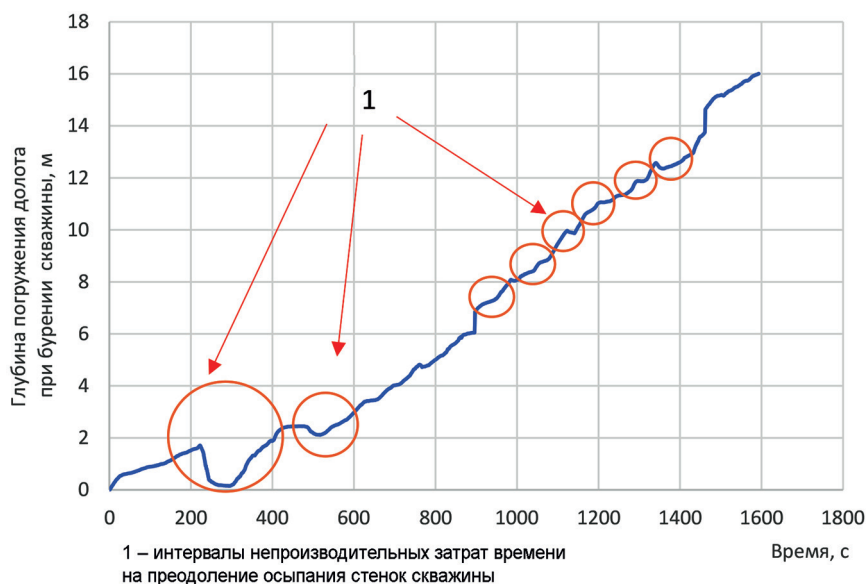


Рис. 1. Диаграмма изменения глубины погружения долота при бурении скважины № 1  
 Fig. 1. Diagram of the change in the depth of immersion of the bit during drilling of well No. 1

Коэффициент вариации скорости бурения взрывных скважин равен 0,38, что указывает на малый разброс значений данных по сравнению со средним значением по всей выборке, поэтому дальнейшие выводы могут быть распространены на весь блок. Горные породы экспериментального блока имеют преобладающую категорию взрываемости IV – VI (суммарная частота встречаемости составляет 0,63), расстояние между трещинами – 0,45–1,25 м (таблица). В среднем на 1 м скважины следует ожидать 1–2 трещины. Далее по распространности следуют категории взрываемости – III – IV (0,12) и VII (0,14). Это соответствует расстоянию между трещинами: 0,2–0,5 м и 1,2–1,5 м. На 1 м скважины приходится в среднем 0,67–0,83 и 1,3–5 трещин, соответственно. Полученные результаты исследования дополнили проектные данные о взрываемости опытного блока, так как до их проведения было известно, что характеризующая ее категория изменяется только в пределах от III до V.

Поднятие долота с забоя скважины и последующий его спуск, не связанные с необходимостью наращивания бурового става, может быть признаком прохождения долотом участка массива с повышенной способностью к осыпанию, обусловленной, в том числе, техногенным воздействием от предыдущего взрыва вышележащего блока. Это отчетливо проявляется при прохождении долотом первых 3–4 м скважины.

На рис. 1 показана диаграмма изменения глубины погружения долота при непосредственном бурении скважины преимущественно в серпентинитах, то есть без учета штатных вспомогательных операций. По диаграмме установлены характерные интервалы времени бурения, связанные с непроизводительными действиями машиниста бурового станка по подъему и спуску долота в процессе бурения. Подобные интервалы также были определены для двух рядом расположенных скважин.

Далее интервалы фиксировались на графическом изображении интерполя-



ционного усреднения скорости бурения (рис. 2).

Фактически измеренные значения скорости бурения каждого 0,25 метрового интервала скважин принимались как опорные для последующего интерполяционного усреднения значений между скважинами. По рисунку видно, что скорость бурения с глубиной изменяется существенно и достигает своих максимальных значений в верхней части уступа блока в окрестности скважин 2–3. Причиной указанного повышения ско-

рости бурения в верхней части уступа в окрестности скважин 1–3 является влияние взрывной волны из перебуров скважин вышележащего блока.

Сопоставление диаграмм изменения глубины погружения долота при бурении скважин с графическим отображением интерполяционного усреднения значений скорости их бурения (рис. 2) позволило установить возможную границу распространения зоны техногенной нарушенности верхней части уступа опытного блока от предыдущего взрыва вы-

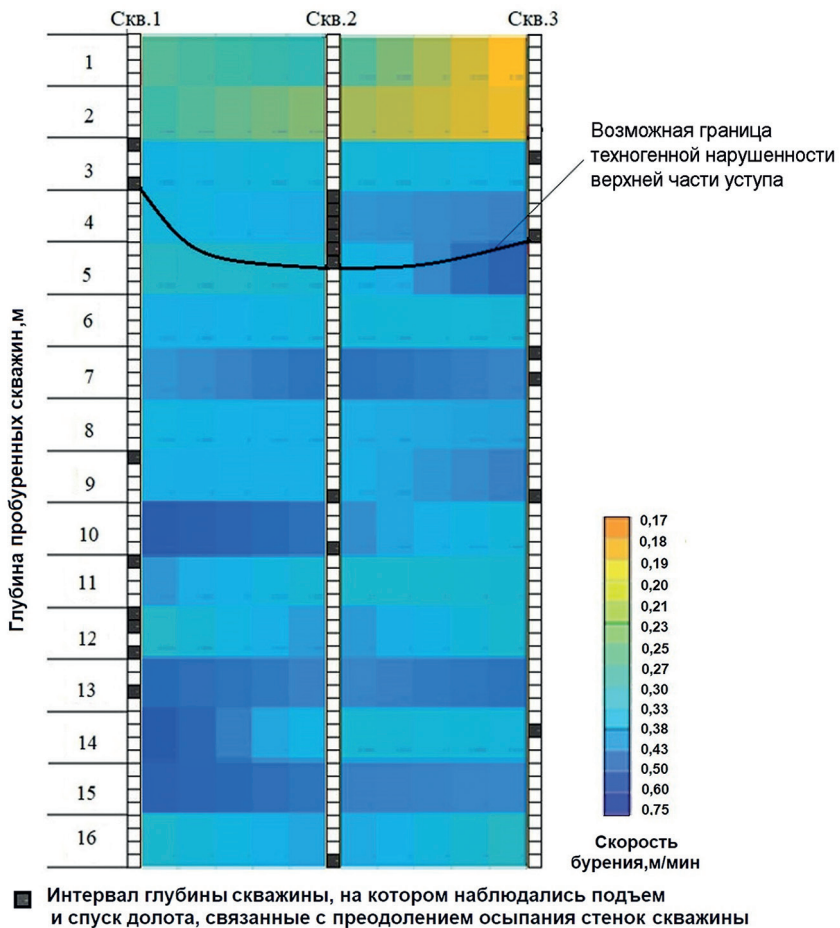


Рис. 2. Графическое отображение интерполяционного усреднения значений скорости бурения в окрестности трех скважин:

Fig. 2. Graphical representation of the interpolation averaging of drilling velocity values in the vicinity of three wells

шележащего блока. Граница простирается от устьев скважин на глубину — от 3 до 4,5 м. Предполагаемая граница распространения зоны техногенной нарушенности определяется в основном величиной перебурав скважин вышележащего блока и литологическим составом пород нижележащего массива горных пород.

### **Заключение**

Анализ состояния вопроса показал, что требуется развитие способа определения трещиноватости по данным, получаемым с шарошечного бурового станка, в массивах горных пород с отличающимися от описанных в публикациях свойствами.

Получено выборочное распределение скорости бурения взрывных скважин опытного блока. В результате сопоставления интервалов скоростей шарошечного бурения взрывных скважин опытного блока с категориями пород по единой шкале буримости, уточнены категории взрываемости и расстояния между трещинами в пробуренных горных породах. По распределению механической скорости установлены преобладающие категории взрываемости IV — VI, преобладающее расстояние между трещинами — 0,45 — 1,25 м. В таком случае на 1 м скважины в среднем приходится 1 — 2 трещины. Далее по распространённости следуют категории взрываемости — III — IV и VII, что соответствует расстояниям между трещинами: 0,2 — 0,5 м и 1,2 — 1,5 м. На 1 м скважины приходится в среднем 0,67 — 0,83 и 1,3 — 5 трещин, соответственно.

По диаграммам изменения глубины погружения долота при бурении отдель-

ных скважин установлены участки с неустойчивыми стенками, указывающие предположительно на проявление повышенной трещиноватости. Комплексирование этих данных с графическим отображением интерполяционного усреднения значений скорости бурения между соседними скважинами, позволило определить возможную границу распространения зоны техногенной нарушенности от предыдущего взрыва. Глубина распространения контура зоны техногенной нарушенности в глубину блока от устьев рассмотренных скважин составляет от 3 до 4,5 м.

Исследования показали, что значения скорости шарошечного бурения взрывных скважин содержит дополнительный источник информации о расстояниях между трещинами в массиве горных пород. Для повышения точности полученных результатов необходимо сопоставление их и, вероятно, других данных о процессе бурения с экспериментальными результатами распространения трещин в массиве по каждой скважине блока.

Полученные в ходе исследования данные по оценке трещиноватости могут быть использованы для уточнения массы зарядов взрывчатого вещества по каждой скважине выемочного блока, а впоследствии и рассредоточения заряда ВВ, согласующегося с расположением по глубине массива горных пород предполагаемых зон повышенной трещиноватости. При этом создается возможность повышения оперативности управления процессами БВР за счет исключения субъективных факторов при выборе зарядов.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Яковлев В. Л. Методологические основы стратегии инновационного развития горнотехнических систем при освоении глубокозалегающих месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 5-1. — С. 6 — 18. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_6.



2. Liu F. Modeling fracture propagation in a rock-water-air system with the assumed enhanced strain method // *International Journal for Numerical Methods in Engineering*. 2022, vol. 123, no. 11, pp. 2429–2466. DOI: 10.1002/nme.6945
3. Qi C., Zhao F., Dyskin A. V., Xia C., Pasternak E. Crack interaction and fracturing of geomaterials with multiscale cracks // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2022, vol. 153, article 105084. DOI: 10.1016/j.ijrmmms.2022.105084.
4. Silva J., Worsley T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019, vol. 29, no. 3, pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003.
5. Васильева Л. А. О генетических классификациях трещин горных пород // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. — 2023. — № 1. — С. 10–23. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-10-23.
6. Далатказин Т. Ш., Ведерников А. С., Григорьев Д. В. Опыт применения геофизических методов в комплексе геодинамической диагностики горного массива // *Горная промышленность*. — 2022. — № S1. — С. 105–110. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-105-110.
7. Данильев С. М., Данильева Н. А., Исакова Е. П., Ашкар Г. Х. Исследование трещиноватости на месторождении облицовочного камня с привлечением метода георадиолокации // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. — 2020. — Т. 331. — № 9. — С. 140–145. DOI: 10.18799/24131830/2020/9/2816.
8. Васильева Л. А., Жариков С. Н., Кутуев В. А. О влиянии трещиноватости на качество дробления горных пород и на сохранность законтурного массива // *Проблемы недропользования*. — 2022. — № 3(34). — С. 66–72. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.03.066.
9. Яковлев А. В., Синицын В. А., Ермаков Н. И. Оценка зон трещиноватости в прибортовом массиве по комплексу геофизических и гидрогеологических параметров // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2005. — № 7. — С. 122–129.
10. Жариков С. Н., Кутуев В. А. Комплексный подход к обоснованию параметров буровзрывных работ в изменяющихся условиях разработки сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых // *Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук*. — 2022. — Т. 9. — № 1. — С. 99–107. DOI: 10.15372/FPVGN2022090113.
11. Лалетин А. В., Усачев В. М., Гомелаури Г. Г., Шевченко Н. В., Тангаев И. А. Авторское свидетельство СССР. SU 1263832 А1. МПК Е 21 В 49/00, 47/12, 47/00. Определение свойств горных пород в процессе бурения скважин. 1986. Бюл. № 38.
12. Тюпин В. Н., Игнатенко И. М., Агарков И. Б., Крючков И. С. Автоматизированный расчет параметров взрывных работ на основе показателя буримости трещиноватого массива при шарошечном бурении скважин на карьерах // *Горный журнал*. — 2021. — № 12. — С. 75–79. DOI: 10.17580/gzh.2021.12.14.
13. Тюпин В. Н. Установление скорости шарошечного и ударно-вращательного бурения скважин с использованием закона сохранения энергии // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2020. — № 6. — С. 76–84. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-76-84.
14. Ишейский В. А., Мартынушкин Е. А., Васильев А. С., Смирнов С. А. Особенности сбора данных в процессе бурения взрывных скважин для формирования геоструктурных блочных моделей // *Устойчивое развитие горных территорий*. — 2021. — Т. 13. — № 4 (50). — С. 608–619. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-608-619.
15. Radosław W., Waldemar K., Łukasz B., Waldemar R. Identification of rock mass critical discontinuities while borehole drilling // *Energies*. 2021, vol. 14, no. 10, article 2748. DOI: 10.3390/en14102748.
16. Khorzoughi M. B., Hall R., Apel D. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, no. 6, pp. 859–864. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.01.001.
17. Regotunov A. S., Sukhov R. I. Automated device to study the properties of rocks during drilling blast holes in open-pit mines // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 262, no. 1, article 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012057.
18. Сухов Р. И., Реготунов А. С., Гращенко Д. А. Развитие метода получения информации о состоянии массива горных пород в процессе бурения технологических скважин // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2019. — № S37. — С. 446–454. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-446-454.

19. Жариков С. Н. Взаимосвязь процессов шарошечного бурения и взрывного разрушения массива горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2017. — № 2. — С. 62 — 67.

20. Жариков С. Н. Определение зависимостей между процессами добычи при открытой разработке рудных месторождений // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2017. — № 7. — С. 78 — 86. DOI: 10.21440/0536-1028-2017-7-78-86.

21. Кутузов Б. Н., Лемеш Н. И., Плужников В. Ф. Классификация горных пород по взрываемости для карьеров // Горный журнал. — 1979. — № 2. — С. 41 — 43. **ПИАБ**

## REFERENCES

1. Yakovlev V. L. Methodological foundations of the strategy of innovative development of mining systems in the development of deep-lying deposits. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 5-1, pp. 6 — 18. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_51\_0\_6.

2. Liu F. Modeling fracture propagation in a rock-water-air system with the assumed enhanced strain method. *International Journal for Numerical Methods in Engineering.* 2022, vol. 123, no. 11, pp. 2429 — 2466. DOI: 10.1002/nme.6945

3. Qi C., Zhao F., Dyskin A. V., Xia C., Pasternak E. Crack interaction and fracturing of geomaterials with multiscale cracks. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.* 2022, vol. 153, article 105084. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2022.105084.

4. Silva J., Worsley T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting. *International Journal of Mining Science and Technology.* 2019, vol. 29, no. 3, pp. 379 — 385. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003.

5. Vasil'eva L. A. About genetic classifications of rock cracks. *News of the Tula state university. Sciences of Earth.* 2023, no. 1, pp. 10 — 23. [In Russ]. DOI: 10.46689/2218-5194-2023-1-1-10-23.

6. Dalatkazin T. Sh., Vedernikov A. S., Grigor'ev D. V. Experience in the application of geophysical methods in the complex of geodynamic diagnostics of a mountain range. *Russian Mining Industry Journal.* 2022, no. S1, pp. 105 — 110. [In Russ]. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-105-110.

7. Danil'ev S. M., Danil'eva N. A., Isakova E. P., Ashkar G. H. Research of cracking at facing stone deposit using the georadar method. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering.* 2020, vol. 331, no. 9, pp. 140 — 145. [In Russ]. DOI: 10.18799/24131830/2020/9/2816.

8. Vasil'eva L. A., Zharikov S. N., Kutuev V. A. On the effect of fracturing on the quality of rock crushing and on the safety of the sculptural array. *Problems of Subsoil Use.* 2022, no. 3(34), pp. 66 — 72. [In Russ]. DOI: 10.25635/2313-1586.2022.03.066.

9. Yakovlev A. V., Sinicyn V. A., Ermakov N. I. Assessment of fracture zones in the instrument array by a set of geophysical and hydrogeological parameters. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2005, no. 7, pp. 122 — 129. [In Russ].

10. Zharikov S. N., Kutuev V. A. An integrated approach to substantiating the parameters of drilling and blasting operations in the changing conditions of the development of complex-structured deposits of solid minerals. *Mining sciences: fundamental and applied issues.* 2022, vol. 9, no. 1, pp. 99 — 107. [In Russ]. DOI: 10.15372/FPVGN2022090113.

11. Laletin A. V., Usachev V. M., Gomelauri G. G., Shevchenko N. V., Tangaev I. A. *Copyright certificate of the USSR. SU 1263832 A1. IPC E 21 In 49/00, 47/12, 47/00.* 1986. [In Russ].

12. Tyupin V. N., Ignatenko I. M., Agarkov I. B., Kryuchkov I. S. Automated calculation of blasting parameters based on fractured massif drillability index during mine drilling. *Gornyi Zhurnal.* 2021, no. 12, pp. 75 — 79. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.12.14.

13. Tyupin V. N. Finding velocity of roller-bit and rotary-percussive drilling using the energy conservation law. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 76 — 84. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-76-84.

14. Isheiskiy V. A., Martynushkin E. A., Vasiliev A. S., Smirnov V. S. A. Data collection features of during the blast wells drilling for the formation of geostructural block models. *Sustainable Development of Mountain Territories.* 2021, vol. 13, no. 4 (50), pp. 608 — 619. [In Russ]. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-608-619.

15. Radosław W., Waldemar K., Łukasz B., Waldemar R. Identification of rock mass critical discontinuities while borehole drilling. *Energies.* 2021, vol. 14, no. 10, article 2748. DOI: 10.3390/en14102748.

16. Khorzoughi M. B., Hall R., Apel D. Rock fracture density characterization using measurement while drilling (MWD) techniques. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018, vol. 28, no. 6, pp. 859 – 864. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.01.001.

17. Regotunov A. S., Sukhov R. I. Automated device to study the properties of rocks during drilling blast holes in open-pit mines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019, vol. 262, no. 1, article 012057. DOI: 10.1088/1755-1315/262/1/012057.

18. Sukhov R. I., Regotunov A. S., Grashchenko D. A. Development of a method for obtaining information about the state of a rock mass in the process of drilling technological wells. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2019, no. S37, pp. 446 – 454. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-11-37-446-454.

19. Zharikov S. N. The relationship between the processes of ball drilling and explosive destruction of rock mass. *Minerals and Mining Engineering*. 2017, no. 2, pp. 62 – 67. [In Russ].

20. Zharikov S. N. Determination of dependencies between mining processes in open-pit mining of ore deposits. *Minerals and Mining Engineering*. 2017, no. 7, pp. 78 – 86. [In Russ]. DOI: 10.21440/0536-1028-2017-7-78-86.

21. Kutuzov B. N., Lemesh N. I., Pluzhnikov V. F. Classification of rocks by explosivity for quarries. *Gornyi Zhurnal*. 1979, no. 2, pp. 41 – 43. [In Russ].

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

*Реготунов Андрей Сергеевич* – старший научный сотрудник,  
Институт горного дела Уральского отделения РАН,  
e-mail: pochta8400@inbox.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-5503-9397.

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

*A.S. Regotunov*, Senior Researcher,  
Institute of Mining of the Ural Branch  
of the Russian Academy of Sciences,  
620075, Ekaterinburg, Russia,  
e-mail: pochta8400@inbox.ru,  
ORCID ID: 0000-0002-5503-9397.

Получена редакцией 07.03.2024; получена после рецензии 24.04.2024; принята к печати 10.06.2024.  
Received by the editors 07.03.2024; received after the review 24.04.2024; accepted for printing 10.06.2024.

