



Изучение промышленной сейсмики для уточнения методики оценки влияния взрывов на устойчивость охраняемых объектов

С.Н. Жариков✉, В.А. Кутуев

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация
✉ 333vista@mail.ru

Резюме: В статье изложены результаты исследований, заключающиеся в изучении особенностей пространственно-временного распространения сейсмозрывных волн от технологических взрывов, по данным, полученным сейсморегистраторами, установленными на земной поверхности, для повышения уровня промышленной безопасности, устойчивости откосов и более рационального использования прибортовых запасов месторождений полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом.

Для достижения поставленной цели были решены основные задачи исследования: изучено сейсмическое действие технологических взрывов на охраняемые объекты и законтурный массив в различных горно-геологических условиях сложноструктурных месторождений Урала, Сибири и Казахстана с использованием прямых натуральных измерений, а также проанализированы данные других исследователей, занимающихся вопросами промышленной сейсмики взрывов; выполнен анализ отклонений фактических колебаний массива горных пород от расчетных значений при разных коэффициентах грунтовых условий, и получены уточняющие зависимости для расчета допустимых скоростей колебаний горного массива, основанные на физико-механических свойствах горных пород при их различном структурном ослаблении; на основе данных о свойствах горных пород и распространении в них сейсмических колебаний при массовых взрывах разработан экспресс-метод, позволяющий определять сейсмобезопасные параметры буровзрывных работ в приконтурной зоне карьера для обеспечения устойчивости откосов, а также прогнозировать сейсмическое воздействие взрывных работ на охраняемые объекты.

Ключевые слова: скорость колебаний массива горных пород, сейсмическое воздействие, промышленная сейсмика, взрывные работы, структурное ослабление горного массива, скоростная характеристика, отражающая свойства пород, устойчивость откосов карьеров

Благодарности: 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, а также при дополнительном привлечении хоздоговорных средств.

Для цитирования: Жариков С.Н., Кутуев В.А. Изучение промышленной сейсмики для уточнения методики оценки влияния взрывов на устойчивость охраняемых объектов. Горная промышленность. 2023;(S1):122–127. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-122-127>

Study of industrial seismics to clarify methodology of assessing the impact of blasts on stability of protected facilities

S.N. Zharikov✉, V.A. Kutuev

Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation
✉ 333vista@mail.ru

Abstract: The article presents the results of research, which consist in studying the features of the spatio-temporal propagation of seismic waves from technological blasts, according to the data obtained by seismic recorders installed on the earth's surface, to increase the level of safety of protected facilities, the stability of slopes and more rational use reserves of mineral deposits in the near-edge zone developed by the open method.

To achieve this goal, the main objectives of the study were solved, i.e. the seismic effect of technological blasts on protected facilities and the near-edge rock masses in various mining and geological conditions of complex-structured deposits of the Urals, Siberia, Karelia and Kazakhstan was studied using direct field measurements; the analysis of the deviations of the actual rock mass vibrations from the calculated values at different coefficients of soil conditions was carried out, and clarifying dependences for calculating the permissible vibration rates of the rock mass based on the physical and mechanical properties of rocks with



their different structural weakening were obtained; on the basis of data on the properties of rocks and the propagation of seismic vibrations in them during large-scale blasts, an express method has been developed that allows determining the earthquake-safe parameters of drilling and blasting operations in the near-edge zone of the quarry, to ensure the stability of slopes, as well as to predict the seismic impact of the blasting operations on protected facilities.

Keywords: oscillation rate of the rock mass, seismic impact, seismic, blasting, structural weakening of the rock mass, strength characteristics of rocks, slope stability in quarries

Acknowledgements: The research was performed within the framework of the State Contract No.075-00412-22 PR, Topic 1 (2022-2024): Methodological Basis for a Strategy of Integrated Development of Solid Mineral Reserves along with the Evolution of Mining Systems (FUWE-2022-0005), reg. No. 1021062010531-8-1.5.1, as well as with the use of additional funds from business contracts.

For citation: Zharikov S.N., Kutuev V.A. Study of industrial seismics to clarify methodology of assessing impact of blasts on stability of protected facilities. *Russian Mining Industry*. 2023;(1 Suppl.):122–127. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-S1-122-127>

Введение

Буровзрывные работы (БВР) на сегодняшний день являются самым экономичным способом разрушения значительных объемов горных пород. Как известно, для поддержания нормальной деятельности выстроенных городских агломераций требуется регулярное потребление ресурсов, а значит и добывать полезные ископаемые в ближайшем будущем необходимо примерно в тех же масштабах, и возможно с небольшими изменениями, связанными с кризисными явлениями различного рода. Соответственно, объемы разрушения горных пород с использованием энергии взрыва для последующих выемочных работ и дальнейшего транспортирования на земную поверхность останутся прежними во времени. Следует также заострить особое внимание на том, что открытые и подземные горные выработки продвигаются постепенно в глубину, то есть последствия от взрывных работ становятся более опасными и могут спровоцировать крупные обрушения, обвалы и оползни. При производстве технологических взрывов безопасность охраняемых объектов обеспечивается соблюдением трех основных ограничивающих критериев: сейсмическое воздействие (сейсмика) [1–7]; разлет отдельных частей; степень возможного повреждения защищаемого объекта ударной волной. Сейсмика оказывает влияние на межблочные подвижки, на устойчивое состояние откосов и грунтов, а также и на сооружения, претерпевающие в своем основании гармонические колебания. Сейсмическое воздействие технологических взрывов на устойчивое состояние охраняемого объекта не сразу можно заметить, но точно известно, что оно приводит к изменению свойств массива.

Самыми опасными для каждого охраняемого объекта являются колебания, превышающие допустимые по критерию устойчивости, поэтому важным вопросом промышленной безопасности является контроль таких колебаний при производстве взрывных работ, которые обеспечили бы сохранность или хотя бы минимальное негативное воздействие на объект при производстве взрывов. Учитывая изложенное, следует отметить актуальность исследований в направлении изучения сейсмических волн, а привязка этих исследований к задачам горной промышленности имеет высокое научно-практическое значение.

Цель исследований

Изучение особенностей распространения в горном массиве волновых процессов для повышения уровня безопасности охраняемых объектов, промышленной безопасности горного производства и рационального освоения прибортовых запасов минерального сырья при разработке месторождений открытым способом.

Задачи исследований

- Определить средние отклонения расчетных значений колебаний массива горных пород от колебаний, полученных при натуральных измерениях для различных грунтовых условий.
- Определить значения переводного коэффициента для расчета допустимых скоростей колебаний на основе свойств горных пород и структурного ослабления массива.
- Разработать экспресс-метод (номограмму) для определения допустимой сейсмической нагрузки, действующей на охраняемые объекты.

Методология исследований

При выполнении исследований применялись методы математической статистики, моделирования, анализа, синтеза и проводились натурные эксперименты. При установлении отклонений фактических колебаний массива горных пород (экспериментальные данные) от расчетных значений для разных грунтовых условий, а также получении уточненных выражений по определению допустимых скоростей колебаний при различном структурном ослаблении массива горных пород использовалось математическое моделирование. На основе анализа данных о свойствах горных пород с последующим моделированием разработан экспресс-метод для определения допустимой сейсмической нагрузки на охраняемые объекты.

Результаты исследований и обсуждение

Выполненное сотрудниками лаборатории разрушения горных пород Института горного дела УрО РАН значительное количество работ за период 2005–2022 гг. на различных месторождениях Урала, Сибири, Карелии, Казахстана, а также исследователями других научных институтов [8–10] по измерениям сейсмического действия взрывов показало, что получаемые данные в большинстве случаев меньше допустимых значений, что говорит о грамотной организации взрывных работ на ряде предприятий, где производились измерения (таблица). Однако превышение допустимых значений на других объектах заставило разбираться в этом. И в ряде случаев выяснилось, что ограничения параметров в принципе предполагали некий запас и щадящее воздействие, а фактически наблюдались превышения колебаний. При изучении геологических материалов по месторождениям и проведении анализа технологических приемов производства установлено, что возможны значительные отклонения колебаний от расчетных величин, непосредственно связанные со структурой залегания горных пород. Полученная нами усредненная зависимость отклонения фактической от расчетной



Таблица 1
Сведения по изменению скоростей колебаний в различных регионах

Table 1
Information on the variation of oscillation velocities in different regions

Расстояние от эпицентра взрыва до точки замера, м	Регион				
	Урал	Сибирь	Карелия	КМА	Казахстан
	Скорость колебаний, м/с (Максимальная масса единовременно взрывааемых зарядов ВВ), кг				
25–200	0,005–0,09 (400–800)	0,02–0,2 (1200–4500)	0,034–0,18 (700–13000)	н/д	0,004–0,075 (300–3000)
200–500	0,0013–0,018 (240–320) [11]	н/д	н/д	н/д	н/д
500–1000	0,0005–0,002 (200–500)	0,0012 (49200) [9]	н/д	н/д	н/д
1000–1500	0,0002–0,0003 (500–1300) [11]	н/д	н/д	0,002–0,003 (7000–10000) [10]	н/д

н/д - нет данных

скорости колебаний для грунтовых условий в диапазоне $K = 200...600$ приведена на рис. 1.

В соответствии с методикой М.И. Картузова [12] для различных значений коэффициента грунтовых условий K нами были получены следующие средние отклонения (рис. 2).

После сопоставления полученных результатов моделирования с геологическими данными по методике ИГД УрО РАН, алгоритм действий которой представлен на рис. 3, появилась возможность уточнить значение пере-

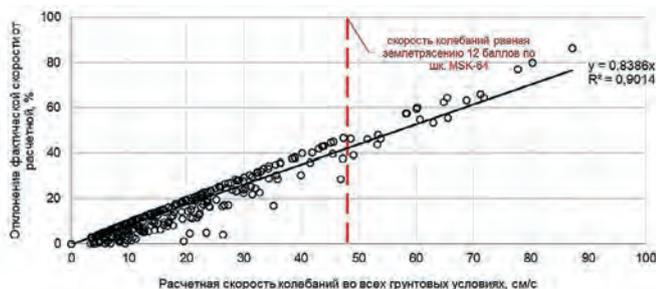


Рис. 1
Зависимость отклонения фактической скорости колебаний от расчетной величины в различных грунтовых условиях

Fig. 1
Dependence of the deviation of the actual vibration velocity from the calculated value in different ground conditions

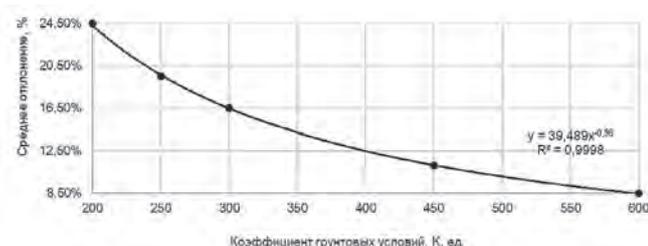


Рис. 2
Отклонения фактической скорости колебаний от расчетной для разных коэффициентов грунтовых условий

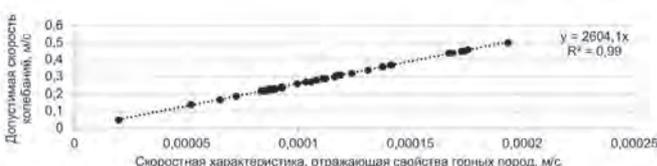
Fig. 2
Deviations of the actual vibration velocity from the calculated value for different coefficients of ground conditions



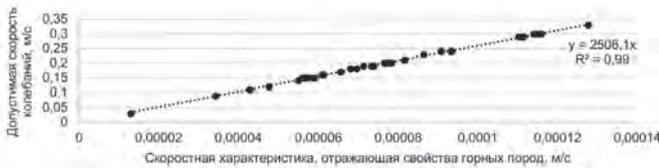
Рис. 3
Схема изучения и анализа сейсмичи взрывов [14]

Fig. 3
A block diagram of studying and analyzing the blast seismicity [14]

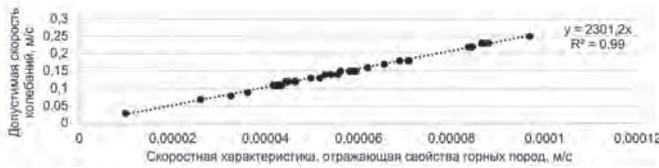
водного коэффициента для вычисления допустимой скорости сейсмических колебаний в массиве горных пород с различным структурным ослаблением ($\lambda = 0,1$; $\lambda = 0,066$; $\lambda = 0,05$). Для этого были построены три зависимости, представленные на рис. 4, а, б, в [13].



(а) при $\lambda=0,1$



(б) при $\lambda = 0,066$



(в) при $\lambda = 0,05$

Рис. 4
Взаимосвязь скоростной характеристики, отражающей прочностные свойства горных пород, и допустимой скорости колебаний при разных коэффициентах структурного ослабления горных пород

Fig. 4
The relationship between the velocity properties that reflect the strength of rocks and the permissible vibration velocity at different coefficients of structural loosening of rocks

На полученных зависимостях (см. рис. 4) скоростная характеристика представлена в виде следующего соотношения [15]:

$$\text{скоростная характеристика} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\gamma C}$$

где $\sigma_{\text{доп}}$ – допустимая величина напряжений, МПа; γ – плотность пород, т/м³; C – скорость звука в породе, м/с.

В приближении за допустимую величину напряжений $\sigma_{\text{доп}}$ можно принимать статический предел прочности пород на растяжение (σ_p) в массиве, увеличенный на 10–30%. Следует отметить, что значение σ_p , определенное в образце, существенно отличается от значения в массиве ввиду макронарушений. В массиве σ_p определяется коэффициентом структурного ослабления λ [14].

Детальное изучение причин отклонений привело к оценке структурных особенностей залегания горных пород и позволило выразить зависимость допустимой скорости сейсмических колебаний от скоростной характеристики (отражающей прочностные свойства горных пород) при различном структурном ослаблении массива. По результатам моделирования (см. рис. 4) нами были получены уточненные переводные коэффициенты k_p для трех коэффициентов λ :

$$v_{\text{д}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\gamma C} 2604,1 \quad \text{при } \lambda=0,1; \quad (1)$$

$$v_{\text{д}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\gamma C} 2506,1 \quad \text{при } \lambda=0,066; \quad (2)$$

$$v_{\text{д}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\gamma C} 2506,1 \quad \text{при } \lambda=0,05. \quad (3)$$

Как видно из выражений (1)–(3) разница между полученными зависимостями невелика и составляет около 12% в диапазоне значений $\lambda = 0,05...0,1$, но и сам коэффициент структурного ослабления на данный момент является не строго определяемой величиной, т.к. пока не существует методов для точного описания состояния горного массива, поэтому его значение устанавливается в приближении. При этом в последнее время начинают развиваться методы исследования трещиноватости горных пород [16–18], то есть снижается трудоемкость исследований, а значит в ближайшем будущем станет проще производить оценку

структурной неоднородности массива горных пород. В настоящее время имеющиеся общие зависимости без учета структуры массива либо с представлением ее как некоторой усредненной однородной среды ведут к отклонениям фактических и расчетных значений. В части сейсмических колебаний данный факт следует рассматривать как временно приемлемый потому, что чем глубже горные работы, тем опаснее может быть неточность расчетов. С этой точки зрения становится ясным, что зависимости, уточняющие протекание процесса в различных структурах, необходимо устанавливать на основе экспериментальных данных.

Следующим этапом исследований стала разработка экспресс-метода для оценки и прогнозирования сейсмического воздействия взрывных работ на охраняемые объекты, основанного на данных о свойствах горных пород [19–24], выражающих всю ту изменчивость состояния массива в естественном залегании, с которой имеют дело горные инженеры при организации и ведении процессов открытой разработки полезных ископаемых. В данной работе не учитывались детонационные характеристики конкретного ВВ и не уточнялся импульс, передаваемый взрывом массиву горных пород, рассматривалась исключительная масса заряда. Хотя реакция нарушенного массива в зависимости от нагрузки может быть разной на прохождение волн различной мощности. Но для обобщения полученных данных и установления взаимосвязи значений использование общего подхода является наиболее целесообразным, а формульную часть в будущем всегда можно уточнить. Тем более что некоторые погрешности уже уточнены в процессе построения номограммы. На основе данных о свойствах горных пород и допустимых скоростях сейсмических колебаний, с учетом поправочных коэффициентов, зависящих от структурного ослабления массива горных пород, получена номограмма, представленная на рис. 5.

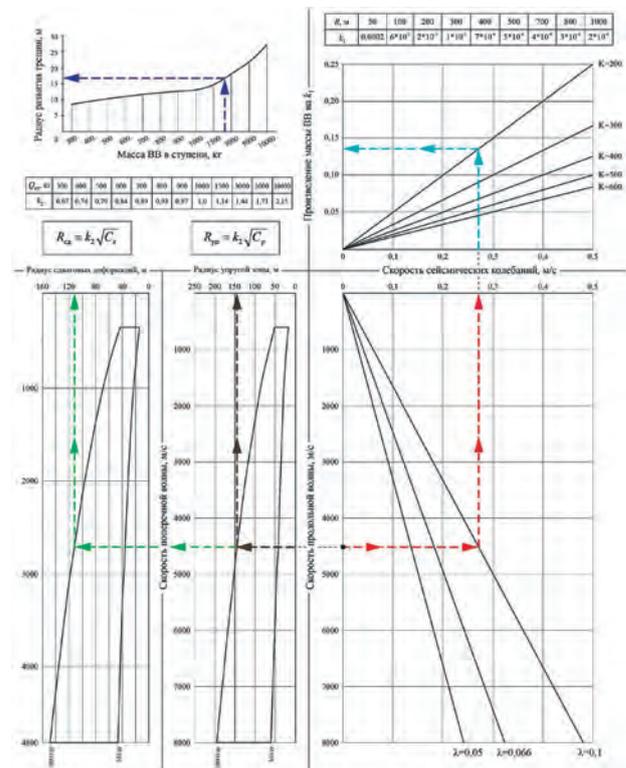


Рис. 5
Экспресс-метод (номограмма) для прогнозирования допустимого сейсмического воздействия [19; 25]

Fig. 5
Express method (alignment charts) for predicting the permissible seismic effect [19; 25]



Разработанный экспресс-метод при известной скорости распространения продольной волны в массиве горных пород и возможном коэффициенте структурного ослабления ($\lambda = 0,05...0,1$) позволяет определить:

– допустимую сейсмическую нагрузку, оказываемую на массив горных пород в естественном залегании, определяющую сейсмостойчивость основания охраняемого объекта (красная пунктирная линия на рис. 5);

– безопасную массу ВВ в ступени замедления в зависимости от грунтовых условий ($K = 200...650$) и удаления охраняемого объекта от эпицентра взрыва (голубая пунктирная линия на рис. 5);

– радиусы упругой зоны и зоны сдвиговых деформаций, за которой исключены деформации (коричневая и зеленая пунктирные линии на рис. 5 соответственно);

– размеры зоны трещинообразования в массиве в зависимости от массы зарядов ВВ, инициируемых одновременно (лиловая пунктирная линия на рис. 5).

Выводы

В процессе анализа данных натуральных измерений сейсмички взрывов на разных месторождениях установлены средние отклонения фактических колебаний от расчет-

ных значений при различных грунтовых условиях. Средние отклонения составили от 8,5 до 24,5% (при $K = 600...200$ соответственно). На их основе получены переводные коэффициенты для расчета допустимых скоростей колебаний в зависимости от свойств горных пород при структурном ослаблении массива в интервале $\lambda = 0,05...0,1$.

По данным о свойствах пород, слагающих горный массив и информации о распространении в них сейсмических колебаний от взрывных работ, разработан экспресс-метод (номограмма) для обеспечения сейсмобезопасности охраняемых объектов и оперативной оценки последствий взрывов, а также установления зоны техногенного нарушения.

В дальнейших исследованиях для совершенствования разработанного экспресс-метода следует уточнять взаимосвязь допустимой скорости сейсмических колебаний со структурной неоднородностью пород в массиве. Для этого требуется соответствующее развитие экспресс-методов по определению свойств горных пород в естественном залегании.

Список литературы

1. Совмен В.К., Кутузов Б.Н., Марьясов А.Л., Эквист Б.В., Токаренко А.В. *Сейсмическая безопасность при взрывных работах*. М.: Горная книга; 2012. 228 с.
2. Адушкин В.В., Соловьев С.П. Генерация электрического и магнитного поля при воздушных, наземных и подземных взрывах. *Физика горения и взрыва*. 2004;40(6):42–51. Режим доступа: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=120225&ARTICLE_ID=124947
3. Садовский М.А. *Геофизика и физика взрыва: избранные труды*. М.: Наука; 2004. 440 с.
4. Фортова В.Е. (ред.). *Взрывные генераторы мощных импульсов электрического тока*. М.: Наука; 2002. 397 с.
5. Орленко Л.П. *Физика взрыва и удара*. М.: Физматлит; 2006. 303 с.
6. Мосинец В.Н. *Дробящее и сейсмическое действие взрыва в горных породах*. М.: Недра; 1976. 271 с.
7. Адушкин В.В., Спивак А.А. *Геомеханика крупномасштабных взрывов*. М.: Недра; 1993. 319 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/4597?ysclid=ldoieddbpb682045773>
8. Гриб Г.В., Гриб Н.Н., Пазынич А.Ю., Петров Е.Е. Зависимость сейсмического действия взрыва в массиве горных пород от технологических условий ведения буровзрывных работ. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012;14(1-8):2112–2117. Режим доступа: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_2112_2117.pdf
9. Башков В.И., Еременко А.А., Машуков И.В. Оценка сейсмического воздействия массового взрыва на здания в районе Таштагольского месторождения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(2):160–171.
10. Гончаров А.И., Куликов В.И., Еременко А.А. Сейсмическое действие взрывов в рудниках и карьерах. *Записки Горного института*. 2007;171:175–180. Режим доступа: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7686>
11. Меньшиков П.В., Таранжин С.С., Флягин А.С. Исследование сейсмического воздействия на здания и сооружения города Сатки при ведении взрывных работ на Карагайском карьере в стесненных условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(3-1):383–398. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-383-398>
12. Картузов М.И., Паздников Н.В., Фадеев А.Б. и др. Методика обеспечения сейсмобезопасной технологии ведения взрывных работ. Свердловск: ИГД МЧМ СССР; 1984. 12 с.
13. Жариков С.Н., Кутуев В.А. Анализ сейсмического эффекта в различных породах и грунтовых условиях. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(12):44–53. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-44-53>
14. Zharikov S.N., Kutuev V.A. Study of permissible dynamic load on high-pressure gas pipe laying site in connection with blasting operations during open-pit mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;773:012089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/773/1/012089>
15. Zharikov S.N., Kutuev V.A. Impact of blasting on pit wall rock mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;773:012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/773/1/012060>
16. Ольховатенко В.Е., Трофимова Г.И., Ожогина Т.В. *Методы изучения трещиноватости горных пород*. Томск: Изд-во Томского государственного архитектурно-строительного университета; 2015. 80 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/17932?ysclid=ldojh426es832938550>
17. Гик Л.Д. Методы изучения трещин и пор горных пород на основе данных акустического каротажа. *Физическая мезомеханика*. 2008;11(4):67–73.
18. Симоненко Е.П., Долгирев С.С., Кириченко Ю.В. Возможности методов ГИС для изучения трещиноватости. *Георесурсы*. 2018;20(3-2):267–273. <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.267-273>
19. Жариков С.Н., Кутуев В.А. Построение номограммы для определения параметров БВР в приконтурной зоне карьера. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2020;(3):161–171. <https://doi.org/10.25635/r0915-0037-0746-z>
20. Протоdjяконов М.М., Тедер Р.И., Ильницкая Е.И. и др. *Распределение и корреляция показателей физических свойств горных пород*. М.: Недра; 1981. 190 с.
21. Мельников Н.В. (ред.). *Справочник (кадастр) физических свойств горных пород*. М.: Недра; 1975. 279 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/3014?ysclid=ldok856cyv279800912>
22. Ржевский В.В., Новик Г.Я. *Основы физики горных пород*. М.: Недра; 1984. 359 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/18747?ysclid=ldokcwsk9i446038766>
23. Дортман Н.Б. (ред.). *Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): справочник геофизика. 2-е*



- изд., перераб. и доп. М.: Недра; 1984. 455 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/758?ysclid=ldokjn3won899717717>
24. Трубецкой К.Н., Потапов М.Г., Виноцкий К.Е., Мельников Н.Н., Алешин Б.Г., Анистратов Ю.И. и др. *Открытые горные работы: справочник*. М.: Горное бюро; 1994. 590 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/1747?ysclid=ldoklphk1o785515122>
25. Жариков С.Н., Кутуев В.А. Выбор параметров взрывной отбойки в приконтурной зоне карьера. *Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых*. 2022;(6):80–88. <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220609>

References

- Sovmen V.K., Kutuzov B.N., Mar'yasov A.L., Ekvist B.V., Tokarenko A.V. Seismic safety during blasting operations: a textbook for university students. Moscow: Gornaya kniga; 2012. 228 p. (In Russ.)
- Adushkin V.V., Soloviev S.P. Generation of electric and magnetic fields during air, ground and underground explosions. *Fizika goreniya i vzryva*. 2004;40(6):42–51. (In Russ.) Available at: https://www.sibran.ru/journals/issue.php?ID=120225&ARTICLE_ID=124947
- Sadovsky M.A. *Selected works: Geophysics and physics of explosion*. Moscow: Nauka; 2004. 440 p. (In Russ.)
- Fortova V. E. (ed.). *Explosive generators of powerful pulses of an electrical current*. Moscow: Nauka; 2002. 397 p. (In Russ.)
- Orlenko L.P. *Physics of explosion and impact: studies. manual for universities*. Moscow: Fizmatlit; 2006. 303 p. (In Russ.)
- Mosinets V.N. *Crushing and seismic effect of explosion in rocks*. Moscow: Nedra; 1976. 271 p. (In Russ.)
- Adushkin V.V., Spivak A.A. *Geomechanics of large-scale explosions*. Moscow: Nedra; 1993. 319 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/4597?ysclid=ldoiedbpb682045773>
- Grib G.V., Pazynich A.Y., Grib N.N., Petrov E.E. Dependence of the seismic explosive action in the rock massives on the technological conditions of drilling and blasting operations. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2012;14(1-8):2112–2117. (In Russ.) Available at: http://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2012/2012_1_2112_2117.pdf
- Bashkov V.I., Eremenko A.A., Mashukov I.V. Estimate of seismic effect of production blasting on built structures in the area of Tashtagol mine. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2016;(2):160–171. (In Russ.)
- Goncharov A.I., Kulikov V.I., Eremenko A.A. Seismic effect of explosions in mines and quarries. *Journal of Mining Institute*. 2007;171:175–180. (In Russ.) Available at: <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/7686>
- Menshikov P.V., Taranzhin S.S., Flyagin A.S. Research of seismic influence on buildings and structures of Satka town while exploding explosive works on the Karagayskiy career in constrained conditions. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(3-1):383–398. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-383-398>
- Kartuzov M.I., Pazdnikov N.V., Fadeev A.B. et al. *Methodology for ensuring earthquake-safe technology of blasting operations*. Sverdlovsk: Institute of Mining of the Ministry of Ferrous Metallurgy of the USSR; 1984. 12 p. (In Russ.)
- Zharikov S.N., Kutuev V.A. Seismic effects in different rocks and soil. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020;(12):44–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-12-0-44-53>
- Zharikov S.N., Kutuev V.A. Study of permissible dynamic load on high-pressure gas pipe laying site in connection with blasting operations during open-pit mining. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;773:012089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/773/1/012089>
- Zharikov S.N., Kutuev V.A. Impact of blasting on pit wall rock mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;773:012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/773/1/012060>
- Olkhovatenko V.E., Trofimova G.I., Ozhogina T.V. *Methods of studying rock fracturing: an educational and methodical manual*. Tomsk: Tomsk State University of Architecture and Construction; 2015. 80 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/17932?ysclid=ldojh426es832938550>
- Gik L.D. Investigation of cracks and pores in the rock using sonic log data. *Fizicheskaya mezomekhanika*. 2008;11(4):67–73. (In Russ.)
- Simonenko E.P., Dolgirev S.S., Kirichenko Yu.V. (2018). *The possibilities of well logging data methods for studying fracturing*. *Georesursy*. 2018;20(3-2):267–273. (In Russ.) <https://doi.org/10.18599/grs.2018.3.267-273>
- Zharikov S.N., Kutuev V.A. Construction of a nomogram for determining the parameters of dBwin the pit's contour zone. *Izvestija tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2020;(3):161–171. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/r0915-0037-0746-z>
- Protodyakonov M.M., Teder R.I., Ilnitskaya E.I. *Distribution and correlation of indicators of physical properties of rocks*. Moscow: Nedra; 1981. 190 p. (In Russ.)
- Melnikov N.V. (ed.). *Handbook (cadastre) of physical properties of rocks*. Moscow: Nedra; 1975. 279 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/3014?ysclid=ldok856cyv279800912>
- Rzhevsky V.V., Novik G.Ya. *Fundamentals of Rock Physics*. Moscow: Nedra; 1984. 359 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/18747?ysclid=ldokcwsk9i446038766>
- Dortman N.B. (ed.). *Physical properties of rocks and minerals (petrophysics): geophysics reference book*. 2nd ed. Moscow: Nedra; 1984. 455 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/758?ysclid=ldokjn3won899717717>
- Trubetskoy K.N., Potapov M.G., Vinitzky K.E., Melnikov N.N., Aleshin B.G., Anistratov Yu.I. et al. *Open-pit mining: a reference book*. Moscow: Gornoe byuro; 1994. 590 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/1747?ysclid=ldoklphk1o785515122>
- Zharikov S.N., Kutuev V.A. Designing blast pattern for pitwall rock mass. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2022;(6):80–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.15372/FTPRPI20220609>

Информация об авторах

Жариков Сергей Николаевич – кандидат технических наук, заведующий Лабораторией разрушения горных пород, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: 333vista@mail.ru

Кутуев Вячеслав Александрович – научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Information about the authors

Sergey N. Zharikov – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Rock Destruction Laboratory, leading researcher, Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: 333vista@mail.ru

Vyacheslav A. Kutuev – Researcher, Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 12.01.2023
Поступила после рецензирования: 01.02.2023
Принята к публикации: 03.02.2023

Article info

Received: 12.01.2023
Revised: 01.02.2023
Accepted: 03.02.2023