

**ГЕОМЕХАНИКА, РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД, РУДНИЧНАЯ
АЭРОГАЗОДИНАМИКА И ГОРНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА
GEOMECHANICS, DESTRUCTION OF ROCKS BY EXPLOSION, MINE
AEROGASDYNAMICS AND MINING THERMOPHYSICS**

Научная статья

УДК 622.235

DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-86-96

**ИЗЫСКАНИЕ НОВЫХ ПРИЕМОМ К УЧЕТУ СВОЙСТВ И СТРОЕНИЯ
МАССИВА ПРИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ ЕГО БУРОВЗРЫВНЫМ СПОСОБОМ В
ДИНАМИКЕ РАЗРАБОТКИ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Яковлев Виктор Леонтьевич, Жариков Сергей Николаевич,
Реготунов Андрей Сергеевич, Кутуев Вячеслав Александрович**

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук

*для корреспонденции: 9634447996@mail.ru

Аннотация.

Динамика развития горнотехнических систем сопровождается увеличением глубины разработки месторождений. Появляются пространственные ограничения производства БВР, влияющие на повышение их себестоимости, увеличение расхода ВВ, повышение требований к безопасности, к динамическому воздействию на прилегающие участки карьерного пространства и охраняемые объекты, к качеству дробления горной массы. Соответственно, актуальным вопросом является адаптация параметров техники и технологии БВР под изменяющиеся условия с учетом динамики развития горных работ с глубиной. Необходимо продолжение исследований явлений и процессов, влияющих на выбор параметров БВР в стесненных условиях. Комплексному изучению подлежат: энергетические и детонационные характеристики зарядов эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) с учетом плотности заряжения, параметры процесса шарошечного бурения, изучение сейсмического действия взрыва. Вместе с тем целесообразным является развитие способа экспрессного получения информации о горных породах в их естественном залегании в процессе шарошечного бурения взрывных скважин, так как оперативная информация о прочностных свойствах локальных массивов позволяет проводить разрушение во многом предсказуемо, наиболее эффективно и безопасно.



Информация о статье

Поступила:

22 мая 2024 г.

Одобрена после
рецензирования:

25 июля 2024 г.

Принята к публикации:

29 августа 2024 г.

Опубликована:

26 сентября 2024 г.

Ключевые слова:

разрушение горных пород,
волновые процессы, адаптация
параметров БВР, параметры
процесса шарошечного
бурения, рациональная
взрывная отбойка в
приконтурной зоне карьера

Разработана методика измерения энергетических, детонационных характеристик ЭВВ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород для комплексной адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям. На примере горных пород Баженовского и Джетыгаринского месторождений установлена регрессионная связь между средней скоростью шарошечного бурения скважины и коэффициентом вариации момента вращения долота, а также получены коэффициенты грунтовых условий и показатели степени затухания сейсмических колебаний для определения уровня сейсмического воздействия на охраняемые участки бортов карьера при различном направлении инициирования скважинных зарядов ВВ. Разработаны методологические основы комплексной методики адаптации параметров БВР к изменяющимся условиям

Для цитирования: Яковлев В.Л., Жариков С.Н., Реготунов А.С., Кутуев В.А. Изыскание новых приемов к учету свойств и строения массива при дезинтеграции его буровзрывным способом в динамике разработки сложноструктурных месторождений // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 4 (164). С. 86-96. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-86-96, EDN: LDECPW

Благодарность

Авторы выражают благодарность д.т.н., профессору, главному научному сотруднику ИГД УрО РАН С. В. Корнилку за ценные рекомендации при проведении исследований, а также сотрудникам лаборатории разрушения горных пород П. В. Меньшикову, А. С. Флягину, Д. А. Граценко за сбор экспериментальных данных, Л. А. Васильевой за построение графических моделей.

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.

Введение

Основная цель проведенных исследований по Госзаданию Минобрнауки №075-00412-22 ПР заключается в развитии методологических основ адаптации параметров буровзрывных работ к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем с учетом их технологической взаимосвязи.

Научная новизна исследования заключается в установлении: неоднородности массива горных пород по данным шарошечного бурения; взаимосвязи скорости детонации ЭВВ с плотностью и диаметром заряда ВВ в разных его диапазонах; факта повышения скорости детонации основного заряда ВВ при увеличении активной массы ПД; влияния степени затухания сейсмозврывных колебаний на скорость смещения охраняемых участков бортов карьера при различном направлении инициирования скважинных зарядов ВВ. С учетом установленных взаимосвязей разработан поэтапный порядок адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям при разработке сложноструктурных месторождений твердых полезных ископаемых.

В ходе исследований применены следующие методы: анализ и обобщение результатов ранее выполненных исследований; метод многоканальной регистрации механических колебаний; экспресс-методы определения свойств горных пород и детонационных характеристик ЭВВ; метод производственного эксперимента; регрессионное и статистическое моделирование.

На первом этапе НИР (2022 г.) обоснована актуальность выполняемых исследований, произведен обзор современного состояния способов и методик адаптации параметров БВР к изменяющимся горнотехническим условиям и разработана методика измерения энергетических, детонационных характеристик ЭВВ и экспресс-определения показателей шарошечного бурения.

На втором этапе НИР по Госзаданию (2023 г.) проведены обобщение и анализ экспериментальных значений сейсмических колебаний в ближней зоне взрыва, показателей шарошечного бурения взрывных скважин, детонационных характеристик ЭВВ в зависимости от плотности заряжения при различных диаметрах заряда ВВ. Проведен анализ влияния сенсбилизации стеклянными микросферами ЭВВ на изменчивость плотности ЭВВ и массы ПД на скорость детонации скважинных зарядов ВВ.

На завершающем этапе НИР по Госзаданию в 2024 г. разрабатываются основные положения комплексной методики адаптации параметров БВР к изменяющимся условиям ведения открытых горных работ в динамике развития горнотехнических систем.

Далее в статье кратко представлены основные положения комплексной методики адаптации.

Методика измерения энергетических, детонационных характеристик ЭВВ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород

В 2022 г. авторами разработана методика измерения энергетических, детонационных характеристик эмульсионных ВВ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород для комплексной адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям (Рис. 1). Методика измерения позволяет: установить параметры записываемых сигналов при бурении, характеризующих нарушения в массиве в местах контактов пород с различными физико-механическими свойствами; определить в рамках полигонных испытаний закономерности развития детонации в гильзовых зарядах разного диаметра при использовании промежуточных детонаторов с различной массой; установить закономерности протекания детонации при встречном инициировании. Методика обеспечивает получение информации, необходимой для начала процесса адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям [1].

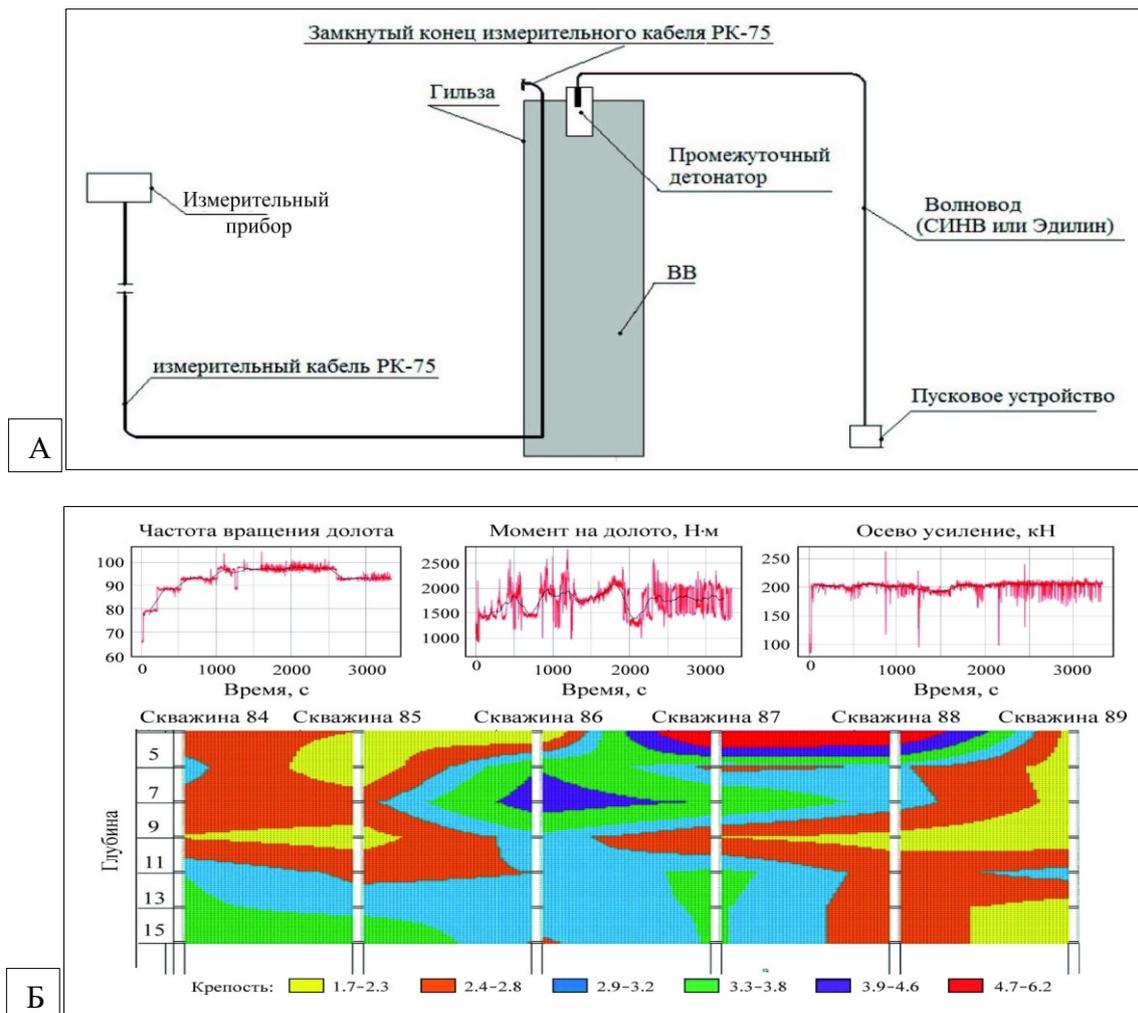


Рис.1. Схемы к методике измерения детонационных характеристик эмульсионных ВВ (А), а также экспресс-определения прочностных свойств пород в естественном залегании (Б)

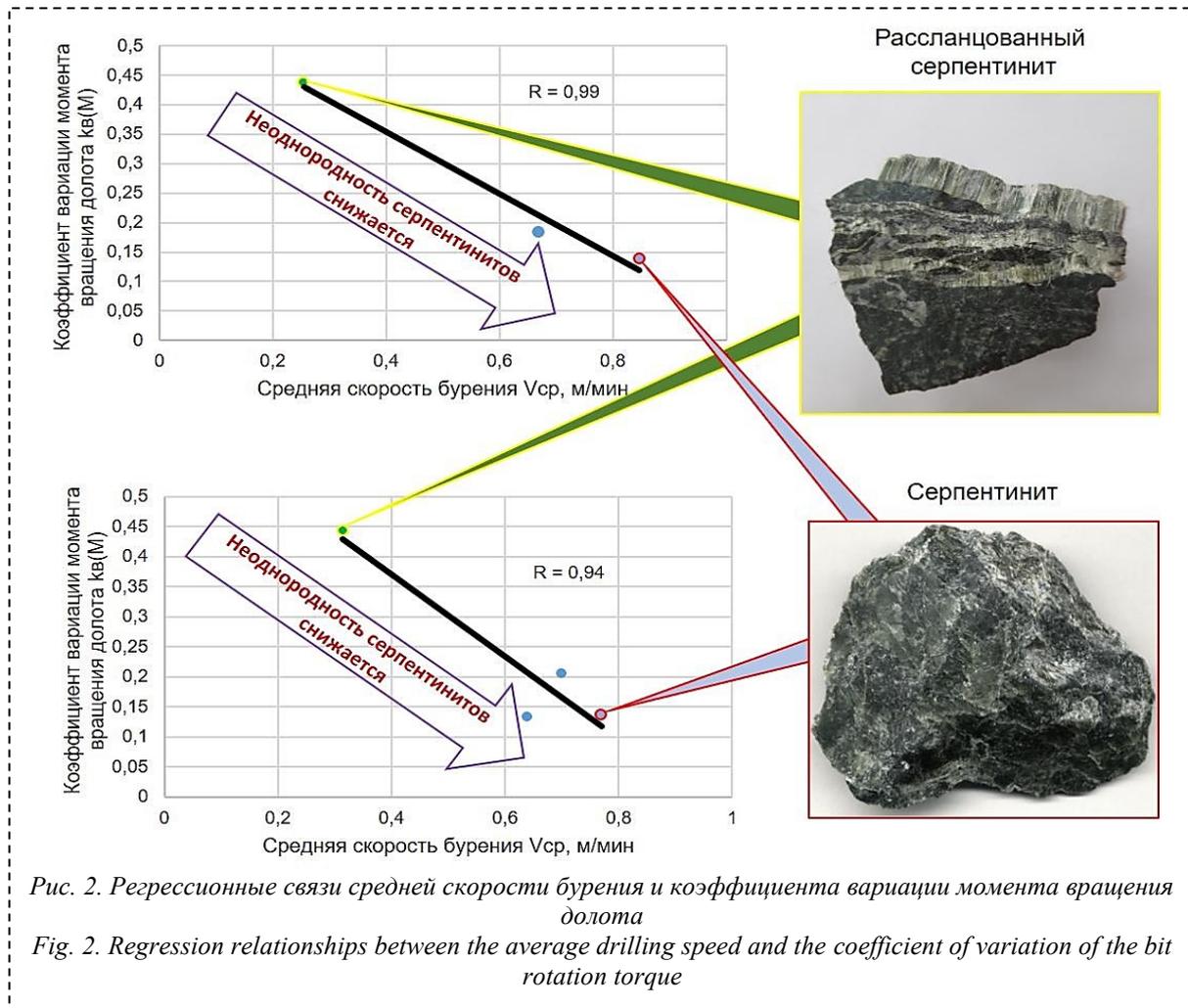
Fig. 1. Schemes for the method of measuring the detonation characteristics of emulsion explosives (А), as well as express determination of the strength properties of rocks in natural occurrence (Б)

Исследование параметров процесса шарошечного бурения взрывных скважин для выявления возможных зон неоднородности массива горных пород

В 2022 г. выполнен обзор ряда работ [2-9], в которых обозначена связь зон структурных неоднородностей и показателей процесса бурения. Представленные в работах результаты свидетельствуют о том, что наибольшую реакцию на наличие трещин в массиве горных пород проявляют момент вращения и скорость бурения. Для установления связей между зонами структурных неоднородностей и показателями бурения были проведены трудоемкие экспериментальные работы с последующей сложной обработкой данных. Учитывая, что массивы горных пород – это уникальные по своим свойствам и строению объекты, то в каждом конкретном случае потребуется повторение трудоемких и дорогостоящих

исследований. В этой связи в 2023 г. была поставлена цель: установить новые подходы к выявлению по данным шарошечного бурения взрывных скважин зон неоднородности (по трещиноватости) в массиве горных пород.

На примере серпентинитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста установлены регрессионные связи между средней скоростью шарошечного бурения скважин и коэффициентом вариации момента вращения долота. По регрессионным связям видно, что переход от рассланцованных серпентинитов к серпентинитам сопровождается увеличением скорости бурения и снижением флуктуаций значений момента вращения долота, так как массив горных пород, сложенный серпентинитами, становится более однородным по содержанию асбестоносных включений (Рис. 2) [10].



Полученные регрессионные зависимости дают возможность наблюдения зон неоднородности в горном массиве по глубине каждой скважины. В результате обобщения регрессионных зависимостей получено математическое выражение (1):

$$k_{в(М)} = -aV_{ср} + b, \quad (1)$$

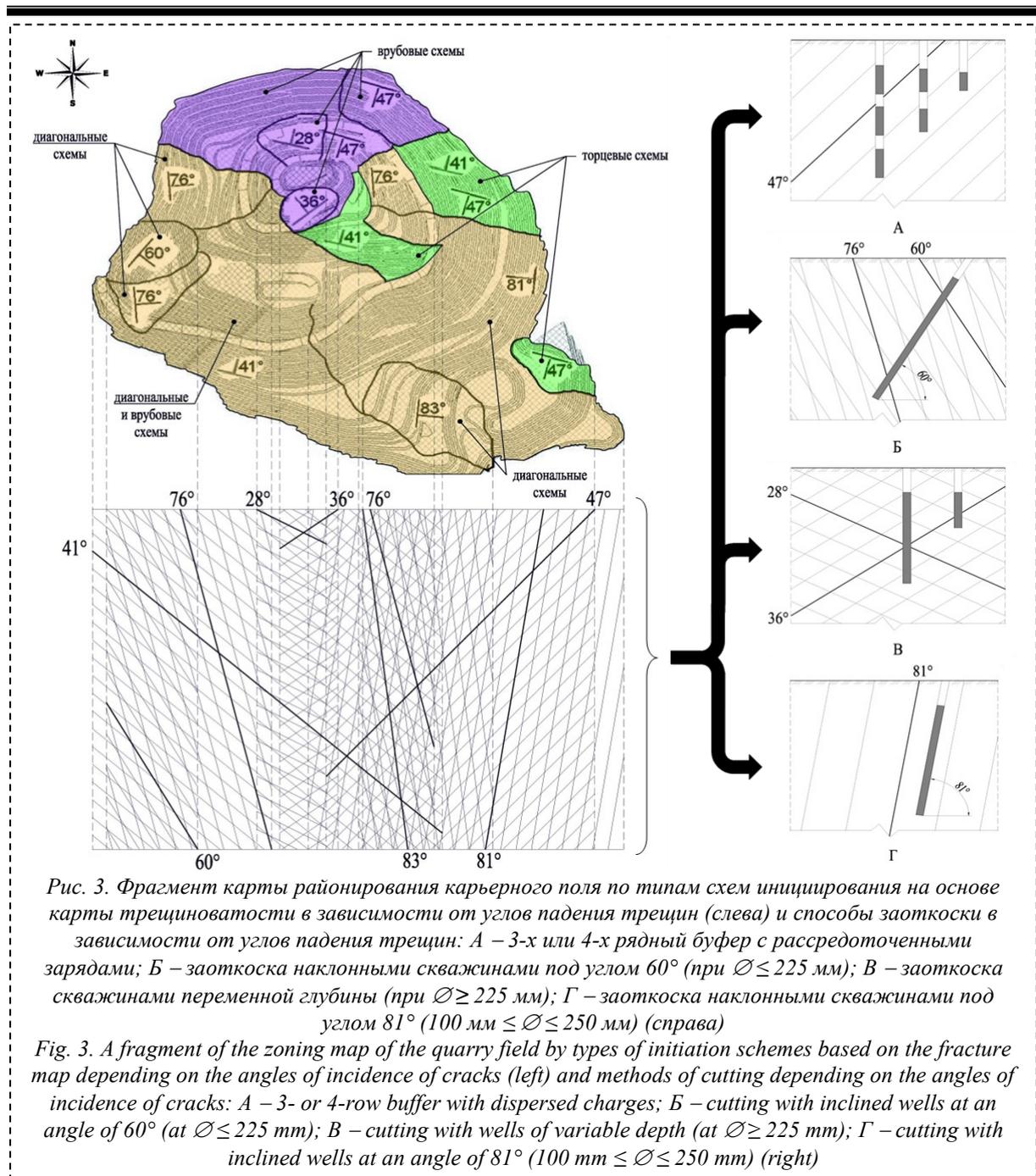
где a , b – численные коэффициенты для исследуемого диапазона значений.

Применение математического выражения (1) открывает возможности к обоснованию показателя неоднородности массива горных пород. Предположительно, это может помочь в будущем оценивать природу неоднородности массива.

Исследование вопросов рациональной взрывной отбойки в приконтурной зоне карьера в условиях изменчивой слоистости месторождений

Вопросы инициирования зарядов при развитой трещиноватости имеют важное значение при обеспечении кондиционного среднего размера куска во взорванной горной массе, особенно при освоении сложноструктурных массивов горных пород. В таких условиях рекомендовано применение

электронных систем инициирования (ЭСИ) для взрывания выемочного блока с предварительно созданным контурным рядом скважин. Выбор и расчет схемы инициирования определяется условиями конкретного взрыва. Уточнение трещиноватости в границах выемочного блока позволит выбрать оптимальный вариант, исходя из особенностей и характеристик средств инициирования. Основные типы схем определяются по результатам районирования карьерного поля по трещиноватости, как показано на Рис. 3 (слева). В приведенном примере схемы инициирования могут быть диагональными, порядными, клиновыми и другими при использовании ЭСИ. В каждом конкретном случае схему инициирования выбирают с учетом информации о естественном состоянии массива горных пород в границах выемочных блоков (о коэффициенте структурного ослабления горных пород, направлении трещин). Идея заключается в том, чтобы инициирование зарядов ВВ позволяло схлопывать трещины, предупреждая потерю энергии на дробление в результате ее рассеивания в естественные нарушения.



В зависимости от напластований способ заоткоски выбирается в соответствии с углом падения трещин, как показано на Рис. 3 (справа).

Исследование волновых процессов в ближней зоне взрыва

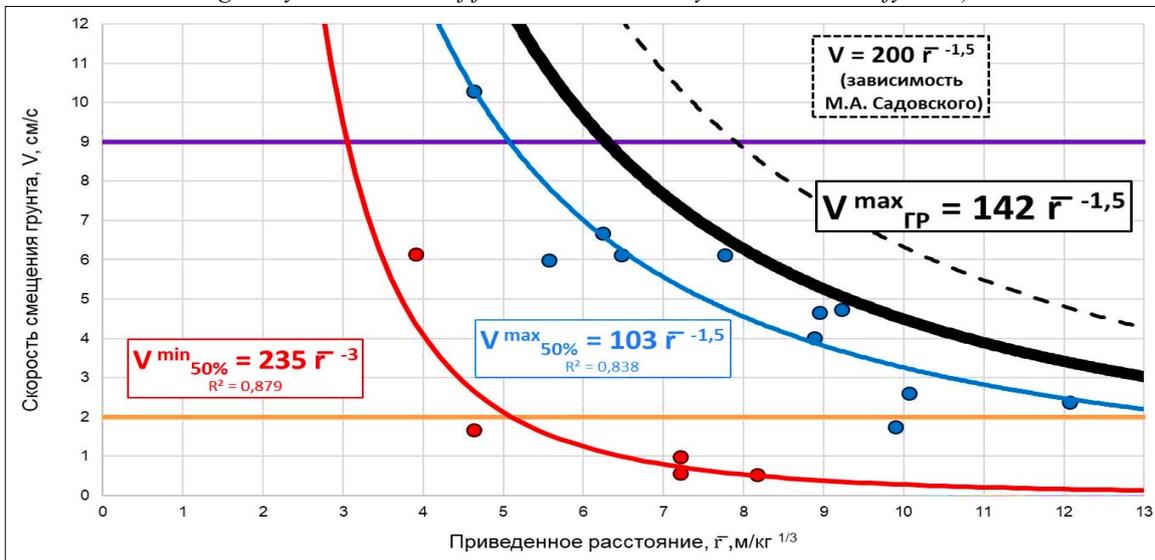
На примере Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста систематизированы основные факторы [11-16], приводящие к снижению устойчивости массива на локальных участках при ведении взрывных работ в приконтурной зоне карьера (Рис. 4). Используя накопленную базу экспериментальных данных и зависимость скорости смещения грунта от приведенного расстояния, предложенную акад. М. А. Садовским [17,18], установлены коэффициенты грунтовых условий

($K = 103 \dots 235$) и показатели степени затухания сейсмических колебаний ($n = 1,5 \dots 3$) (Рис. 5) [10]. Полученные коэффициенты и показатели позволяют точнее и быстрее выполнять расчеты скоростей смещения и определять уровень сейсмического воздействия на охраняемые участки бортов карьеров при различном направлении инициирования скважинных зарядов ВВ, что поможет контролировать сдвиговые деформации в охраняемом нарушенном массиве горных пород.

Порядок адаптации параметров буровзрывных работ к изменяющимся условиям при разработке сложноструктурных месторождений



Рис. 4. Систематизация факторов и необходимые исследования для их выявления
 Fig. 4. Systematization of factors and necessary studies to identify them

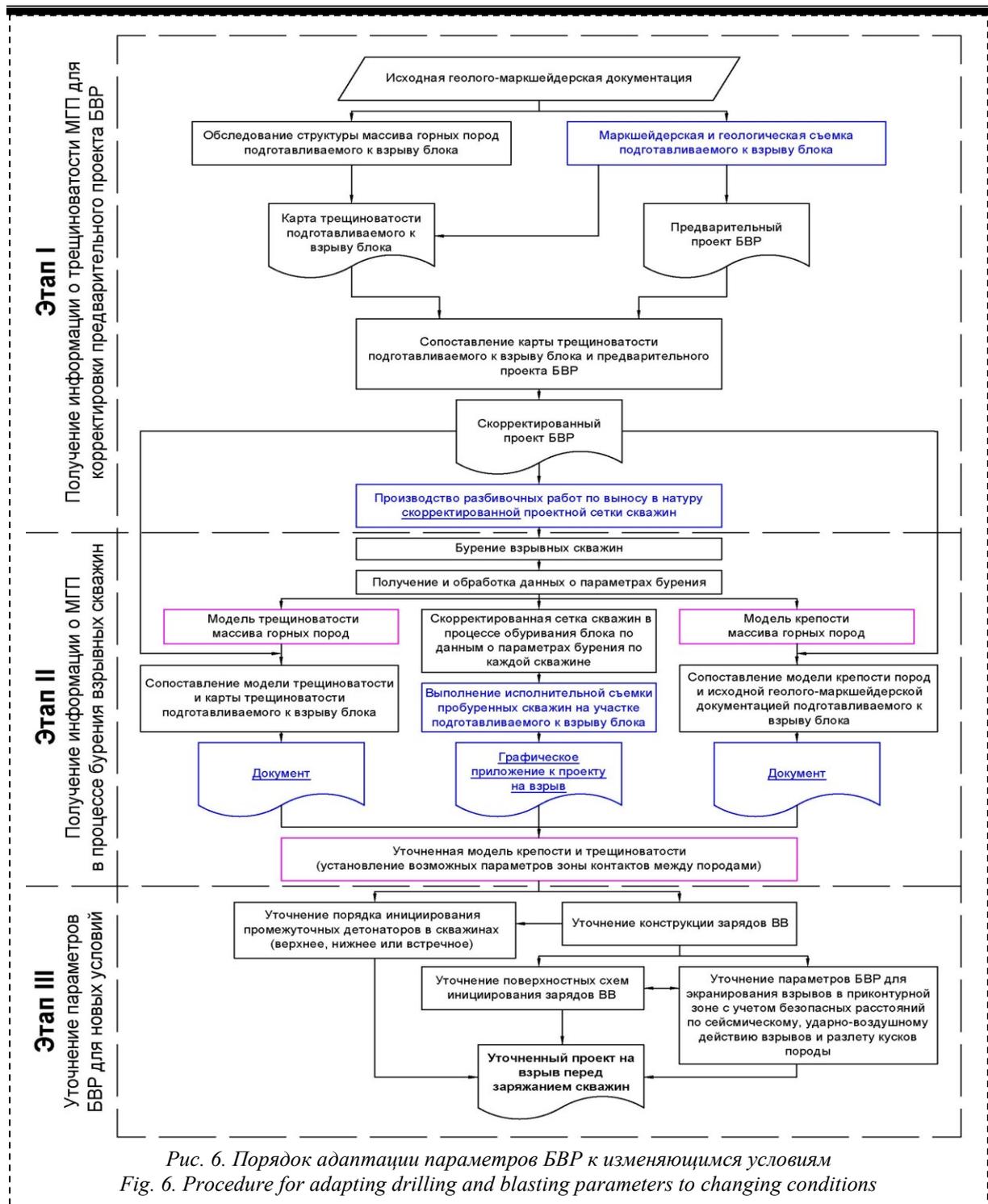


- верхняя граница разброса при максимальном сейсмозрывном воздействии (СВВ) (направление инициирования зарядов в тыл борта);
- тренд при максимальном СВВ (направление инициирования зарядов ВВ в тыл борта);
- тренд при минимальном СВВ (направление инициирования зарядов ВВ от борта);
- $V_{GP}^{max} = 142 \bar{r}^{-1,5}$ – выражение для определения уровня сейсмического воздействия на охраняемый участок борта карьера (граница разброса, расположенная наиболее близко к прогнозным значениям скоростей смещений) при направлении инициирования зарядов ВВ в тыл борта;
- $V_{50\%}^{max} = 103 \bar{r}^{-1,5}$ – выражение для определения уровня сейсмического воздействия на охраняемый участок борта карьера (равный разброс значений скоростей смещений) при направлении инициирования зарядов ВВ в тыл борта;
- $V_{50\%}^{min} = 235 \bar{r}^{-3}$ – выражение для определения уровня сейсмического воздействия на охраняемый участок борта карьера (равный разброс значений скоростей смещений) при направлении инициирования зарядов ВВ от борта;
- предельно допустимое значение скорости смещения для серпентинитов;
- предельно допустимое значение скорости смещения для перидотитов.

Рис. 5. Зависимость для условий Джетыгаринского месторождения
 Fig. 5. Dependence for the conditions of the Dzhetysgarinsky field

Рассматривая адаптацию в динамике развития горных работ, необходимо учитывать возможности изменения параметров разрушающей нагрузки согласно изменяющимся

условиям ее приложения, которые, в свою очередь, определяются в большей мере прочностными свойствами массива горных пород (МГП). Чем большая детальность при



рассмотрении свойств будет учтена, тем более высокую степень адаптации параметров БВР можно достигнуть. Последовательность поэтапной адаптации представлена на Рис. 6.

Выводы

Разработана методика измерения энергетических, детонационных характеристик ЭВВ и экспресс-определения прочностных свойств горных пород для комплексной адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям.

На примере серпентинитов Баженовского месторождения хризотил-асбеста установлена регрессионная связь между средней скоростью шарошечного бурения скважины и коэффициентом вариации момента вращения долота. Переход от расланцованных серпентинитов к серпентинитам сопровождается увеличением скорости бурения и снижением флуктуаций значений момента вращения, так как массив горных пород становится более однородным по содержанию асбестоносных жил. Полученные регрессионные зависимости коэффициента вариации от средней скорости

дают возможность наблюдения зон неоднородности в горном массиве по глубине каждой скважины. В результате обобщения регрессионных зависимостей установлено математическое выражение, с которым можно подойти к обоснованию показателя неоднородности массива горных пород. Предположительно, это может помочь в будущем оценивать природу неоднородности массива.

В общем результаты исследования показывают, что определение по данным бурения скважин зон неоднородности массива возможно. Требуется дополнительные исследования данного вопроса.

На примере пород Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста систематизированы основные факторы, оказывающие влияние на устойчивость погашаемых уступов при постановке их в предельное положение, а также установлены коэффициенты грунтовых условий и показатели степени затухания сейсмических колебаний для осуществления прогноза уровня сейсмического воздействия на охраняемые участки бортов карьера при различном направлении инициирования скважинных зарядов ВВ.

Разработан порядок адаптации параметров БВР к изменяющимся горно-геологическим условиям, отвечающий принципу поэтапного уточнения параметров разрушающей нагрузки. Процесс адаптации подразумевает уточнение: конструкции зарядов ВВ, поверхностной схемы инициирования, порядка инициирования ПД в скважинах (верхнее, нижнее или встречное), параметров БВР для экранирования взрывов в приконтурной зоне с учетом безопасных расстояний по сейсмическому, ударно-воздушному действию взрывов и разлету кусков породы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика измерения энергетических и детонационных характеристик ЭВВ, а также экспресс-определения прочностных свойств горных пород : отчет о НИР (промежуточный). Тема 1. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005) / ИГД УрО РАН ; науч. рук. Яковлев В. Л.; № ГР 123012300005-3. Екатеринбург, 2022. 112 с.
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. № 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. № 105084. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2022.105084.
4. Silva J., Worsey T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting // *International Journal of Mining*

Science and Technology. 2019. Vol. 29. № 3. Pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003.

5. 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.

6. 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.

7. 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.

8. Radosław W., Waldemar K., Łukasz B., Waldemar R. Identification of Rock Mass Critical Discontinuities While Borehole Drilling // *Energies*. 2021. Vol. 14. № 2748. DOI: 10.3390/en14102748.

9. 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. № 6. Pp. 859–864. DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.01.001.

10. Экспериментальные исследования процесса шарошечного бурения, изменчивости энергетических и детонационных характеристик ЭВВ, сейсмических параметров взрывного разрушения : отчет о НИР (промежуточный). Тема 1. Методологические основы стратегии комплексного освоения запасов месторождений твердых полезных ископаемых в динамике развития горнотехнических систем (FUWE-2022-0005) / ИГД УрО РАН ; науч. рук. Яковлев В. Л.; № ГР 123012300005-3. Екатеринбург, 2023. 59 с.

11. Мельник В. В. Геомеханический мониторинг геофизическими методами при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом // *Проблемы недропользования*. 2021. № 4. С. 36–43. DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.036.

12. Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Комплексное геомеханическое обоснование углов заоткоски бортов карьеров // *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2019. № 3. С. 295–306. DOI: 10.25635/ИМ.2019.43.37357.

13. Панжин А. А., Панжина Н. А. Исследование исходного и современного напряженно-деформированного состояния Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста // *Инновационные геотехнологии при разработке рудных и нерудных месторождений : сборник докладов VIII Международной научно-технической конф. (4-5 апреля 2019) / отв. ред. Н. Г. Валиев*. Екатеринбург : УГГУ, 2019. С. 196-201.

14. Мельник В. В. Научные основы создания системы осушения обводненных месторождений с учетом структурно-тектонического строения и современной геодинамической активности участка недропользования // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021. № 5–2. С. 111–120. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_111.

15. Панжин А. А., Харисов Т. Ф., Харисова О. Д. Обоснование устойчивых параметров бортов карьера на основе рейтинговой системы оценки массива // *Физико-технические проблемы разработки полезных*

ископаемых. 2019. № 4. С. 10–19. DOI: 10.15372/FTPRPI20190402.

16. Коптяков Д. А., Харисов Т. Ф. Исследование зависимостей физико-механических свойств серпентинитов Джетыгаринского месторождения // Известия вузов. Горный журнал. 2020. № 5. С. 29–37. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-29-37.

17. Садовский М. А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва. Москва : Наука, 2004. 440 с.

18. Садовский М. А. Простейшие приемы определения сейсмической опасности при взрывах. Москва : ИГД им. А. А. Скочинского АН СССР, 1946. 29 с.

© 2024 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Яковлев Виктор Леонтьевич, главный научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), д.т.н., профессор, советник РАН, член-корреспондент РАН, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5860-9626>, yakovlev@igduran.ru

Жариков Сергей Николаевич, заведующий лабораторией, ведущий научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0322-9973>, 333vista@mail.ru

Реготунов Андрей Сергеевич, старший научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), к.т.н., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5503-9397>, rochta8400@inbox.ru

Кутуев Вячеслав Александрович, научный сотрудник, Институт горного дела УрО РАН, (620075, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, 58), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-0246>, 9634447996@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

Яковлев Виктор Леонтьевич – разработка методологии исследования, постановка исследовательской задачи.

Жариков Сергей Николаевич – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, обзор соответствующей литературы, анализ данных, выводы, написание текста.

Реготунов Андрей Сергеевич – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Кутуев Вячеслав Александрович – обзор соответствующей литературы, сбор и анализ данных, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

RESEARCH OF NEW TECHNIQUES FOR TAKING INTO ACCOUNT THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF THE MASSIF DURING ITS DISINTEGRATION BY DRILLING AND BLASTING IN THE DYNAMICS OF THE DEVELOPMENT OF COMPLEX-STRUCTURED DEPOSITS

Victor L. Yakovlev, Sergey N. Zharikov,
Andrey S. Regotunov, Vyacheslav A. Kutuev*

Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

*for correspondence: 9634447996@mail.ru



Article info

Received:

22 May 2024

Abstract.

The dynamics of the development of mining systems is accompanied by an increase in the depth of field development. There are spatial restrictions on the production of drilling and blasting operations that affect an increase in their cost, an increase in explosive consumption, increased safety requirements, dynamic effects on adjacent areas of the quarry space and protected objects, and the quality of crushing rock mass. Accordingly, an urgent issue is the adaptation of the parameters of drilling and blasting

Accepted for publication:
25 July 2024

Accepted:
29 August 2024

Published:
26 September 2024

Keywords: rock destruction, wave processes, adaptation of drilling and blasting parameters, parameters of the process of ball drilling, rational explosive rebound in the contour zone of the quarry

technology to changing conditions, taking into account the dynamics of mining operations with depth. It is necessary to continue research on the phenomena and processes affecting the choice of parameters of drilling and blasting operations in confined conditions. The following are subject to comprehensive study: energy and detonation characteristics of charges of emulsion explosives, taking into account the loading density, the parameters of the process of ball drilling, the study of the seismic effect of the explosion. At the same time, it is advisable to develop a method for express obtaining information about rocks in their natural occurrence in the process of spherical drilling of blast wells, since operational information about the strength properties of local massifs allows destruction to be carried out in many ways predictably, most effectively and safely.

A method has been developed for measuring the energy and detonation characteristics of explosives and express determination of the strength properties of rocks for the complex adaptation of drilling and blasting parameters to changing mining and geological conditions. Using the example of rocks from the Bazhenov and Dzhetysay deposits, a regression relationship was established between the average speed of the well drilling and the coefficient of variation of the bit rotation moment, and coefficients of soil conditions and indicators of the degree of attenuation of seismic vibrations were obtained to determine the level of seismic impact on protected areas of the sides of the quarry with different directions of initiation of borehole explosive charges. The methodological foundations of a comprehensive methodology for adapting the parameters of drilling and blasting operations to changing conditions have been developed.

For citation: Yakovlev V.L., Zharikov S.N., Regotunov A.S., Kutuev V.A. Research of new techniques for taking into account the properties and structure of the massif during its disintegration by drilling and blasting in the dynamics of the development of complex-structured deposits. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2024; 4(164):86-96. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-4-86-96, EDN: LDECPW

REFERENCES

1. Methods for measuring the energy and detonation characteristics of explosives, as well as express determination of the strength properties of rocks : research report (intermediate). Topic 1. Methodological foundations of the strategy for the integrated development of reserves of solid mineral deposits in the dynamics of the development of mining systems (FUWE-2022-0005) / Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; scientific hands. Yakovlev V.L.; No. GR 123012300005-3. Ekaterinburg, 2022. 112 p. (In Russ.)
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; 123 (11): 2429–2466. (In Eng.) 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; 153:105084. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ijrmms.2022.105084
4. Silva J., Worsey T., Lusk B. Practical assessment of rock damage due to blasting. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019; 29 (3):379–385. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.11.003.
5. Copyright certificate of the USSR. SU 1263832 A1. G E 21 At 49/00, 47/12, 47/00. Laletin A.V., Usachev V.M., Gomelauri G.G., Shevchenko N.V., Tangaev I.A. Determination of rock properties during well drilling. 1986. Byul. No. 38.
6. Tjupin V.N., Ignatenko I.M., Agarkov I.B., Krjuchkov I.S. [Automated calculation of the parameters of blasting operations based on the index of the drillability of a fractured massif during spherical drilling of wells in quarries]. *Gornyj zhurnal = Mining journal*. 2021; (12):75–79. (In Russ.) DOI: 10.17580/gzh.2021.12.14.
7. Ishejskij V.A., Martynushkin E.A., Vasil'ev A.S., Smimov S.A. [Features of data collection during the drilling of blast wells for the formation of geostructural block models]. *Ustojchivoe razvitie gornyh territorij = Sustainable development of mountain areas*. 2021; 13(4):608–619. (In Russ.) DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-4-608-619.
8. Radoslaw W., Waldemar K., Łukasz B., Waldemar R. Identification of Rock Mass Critical Discontinuities While Borehole Drilling. *Energies*. 2021; 14(2748). (In Eng.) DOI: 10.3390/en14102748.
9. 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; 28 (6):859–864. (In Eng.) DOI: 10.1016/j.ijmst.2018.01.001.
10. Experimental studies of the process of spherical drilling, variability of energy and detonation characteristics of emulsion explosives, seismic parameters of explosive destruction : research report (intermediate). Topic 1. Methodological foundations of the strategy for the integrated development of reserves of solid mineral deposits in the dynamics of the development of mining systems (FUWE-2022-0005) / Institute of Mining, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences; scientific hands. Yakovlev V.L.; No. GR 123012300005-3. Ekaterinburg, 2023. 59 p.

11. Mel'nik V.V. [Geomechanical monitoring by geophysical methods in the development of mineral deposits by an open method]. *Problemy nedropol'zovanija = Problems of Subsoil Use*. 2021; 4:36–43. (In Russ.) DOI: 10.25635/2313-1586.2021.04.036.

12. Panzhin A.A., Kharisov T.F., Kharisova O.D. [Comprehensive geomechanical justification of the angles of the sides of quarries]. *Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle = News of the Tula state university. Sciences of Earth*. 2019; 3:295–306. (In Russ.) DOI: 10.25635/IM.2019.43.37357.

13. Panzhin A.A., Panzhina N.A. [Investigation of the initial and current stress-strain state of the Dzhetygarin chrysotile asbestos deposit]. *Innovacionnye geotehnologii pri razrabotke rudnyh i nerudnyh mestorozhdenij: sbornik dokladov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = Innovative geotechnologies in the development of ore and non-metallic deposits: collection of reports of the VIII International Scientific and Technical Conference*. Ekaterinburg: Ural State Mining University; 2019.

14. Mel'nik V.V. [Scientific foundations for the creation of a drainage system for flooded deposits, taking into account the structural and tectonic structure and modern geodynamic activity of the subsoil use site]. *Gornyj informacionno-*

analiticheskij bjulleten' = Mining Inf. Anal. Bull. 2021; 5–2:111–120. (In Russ.) DOI: 10.25018/0236_1493_2021_52_0_111.

15. Panzhin A. A., Kharisov T. F., Kharisova O. D. [Substantiation of stable parameters of quarry sides based on the rating system of array evaluation]. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh = Physical and technical problems of mineral development*. 2019; 4:10–19. (In Russ.) DOI: 10.15372/FTPPI20190402.

16. Koptyakov D.A., Kharisov T.F. [Investigation of the dependences of the physico-mechanical properties of serpentinites of the Dzhetygarinsky deposit]. *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020; 5:29–37. (In Russ.) DOI: 10.21440/0536-1028-2020-5-29-37.

17. Sadovsky M.A. Selected works: Geophysics and physics of explosion. Moscow: Nauka; 2004. 440 p.

18. Sadovsky M.A. Простейшие приемы определения сейсмической опасности при взрывах. Moscow: IM named after A.A. Skochinsky AS USSR; 1946. 29 p.

© 2024 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Yakovlev Viktor L., Chief Researcher, Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (58 str. Mamina-Sibiryaka, Ekaterinburg, 620075, Russia), Dr. Sc. in Engineering, Professor, Adviser to the RAS, Corresponding Member of the RAS, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5860-9626>, yakovlev@igduran.ru

Zharikov Sergey N., Head of the Laboratory, Leading Researcher, Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (58 str. Mamina-Sibiryaka, Ekaterinburg, 620075, Russia), Candidate of Technical Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0322-9973>, 333vista@mail.ru

Regotunov Andrey S., Senior Researcher, Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (58 str. Mamina-Sibiryaka, Ekaterinburg, 620075, Russia), Candidate of Technical Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5503-9397>, pochta8400@inbox.ru

Kutuev Vyacheslav A., Researcher, Institute of Mining Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (58 str. Mamina-Sibiryaka, Ekaterinburg, 620075, Russia), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-0246>, 9634447996@mail.ru

Contribution of the authors:

Victor L. Yakovlev – development of research methodology, research problem statement.

Sergey N. Zharikov – research problem statement, conceptualisation of research, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions, writing the text.

Andrey S. Regotunov – research problem statement, data collection, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions, writing the text.

Vyacheslav A. Kutuev – data collection, data analysis, reviewing the relevant literature, drawing the conclusions, writing the text.

All authors have read and approved the final manuscript.

