

Код МРНТИ 52.13.21

*К.Т. Атагелдиев¹, Н.Б. Бахтыбаев², О.А. Абиль²¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»

(г. Караганда, Казахстан),

²ТОО «Mining Research Group» (г. Караганда, Казахстан)

ДИНАМИЧЕСКОЕ РАЗРУШЕНИЕ ГОРНЫХ ПОРОД: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Аннотация. В данной обзорной статье рассматриваются современные методы и подходы к исследованию динамического разрушения горных пород. Основное внимание уделяется анализу существующих исследований, сосредоточенных на численном моделировании, экспериментальным методам и применению машинного обучения для предсказания поведения горных пород под воздействием взрывных нагрузок. Обсуждаются результаты, полученные с использованием различных конфигураций взрывов, временных задержек и расстояний между шпурами, а также влияние этих факторов на эффективность дробления и уровень вибрации. Выводы подчеркивают необходимость дальнейших исследований в области динамического разрушения и оптимизации взрывных технологий для повышения их эффективности. Статья направлена на предоставление комплексного анализа текущего состояния знаний и выявление направлений для будущих исследований в данной области.

Ключевые слова: динамическое разрушение, взрывные работы, численное моделирование, экспериментальные методы, машинное обучение, трещинообразование, эффективность дробления, вибрация, горнодобывающая отрасль.

Тау жыныстарының динамикалық бұзылуы: эксперименттік және сандық әдістер

Андатпа. Бұл шолу мақаласы тау жыныстарының динамикалық бұзылуын зерттеудің заманауи әдістері мен тәсілдерін қарастырады. Сандық модельдеуге, эксперименттік әдістерге және жарылғыш жүктемелердің әсерінен тау жыныстарының жағдайын болжау үшін машиналық оқытуды қолдануға бағытталған қолданыстағы зерттеулерді талдауға баса назар аударылады. Өртүрлі жарылыс конфигурациялары, уақыттың кешігуі және шпулар арасындағы қашықтық және осы факторлардың ұсақтау тиімділігі мен діріл деңгейіне әсері арқылы алынған нәтижелер талқыланады. Нәтижелер динамикалық бұзылу және олардың тиімділігін арттыру үшін жарылғыш технологияларды онтайландыру бойынша қосымша зерттеулер жүргізу қажеттілігін көрсетеді. Мақала білімнің ағымдағы жағдайына кешенді талдау жасауға және осы саладағы болашақ зерттеулердің бағыттарын анықтауға бағытталған.

Түйінді сөздер: динамикалық бұзылу, жарылыс, сандық модельдеу, эксперименттік әдістер, машиналық оқыту, жарықтар, ұсақтау тиімділігі, діріл, тау-кен өнеркәсібі.

Dynamic destruction of rocks: experimental and numerical methods

Abstract. This review article discusses modern methods and approaches to the study of dynamic rock destruction. The main focus is on analyzing existing research focused on numerical modeling, experimental methods, and the use of machine learning to predict the behavior of rocks under the influence of explosive loads. The results obtained using various explosion configurations, time delays, and hole spacing are discussed, as well as the impact of these factors on crushing efficiency and vibration levels. The findings emphasize the need for further research in the field of dynamic destruction and optimization of explosive technologies to increase their effectiveness. The article aims to provide a comprehensive analysis of the current state of knowledge and identify areas for future research in this field.

Key words: dynamic destruction, blasting, numerical modeling, experimental methods, machine learning, cracking, crushing efficiency, vibration, mining industry.

Введение

В последние десятилетия исследования в области динамического разрушения горных пород приобрели особую актуальность, обусловленную ростом потребности в эффективных и безопасных методах ведения горных работ. Взрывные технологии, используемые для дробления и перемещения горных масс, требуют глубокого понимания механических свойств пород и их поведения под воздействием различных нагрузок. Современные методы численного моделирования и экспериментальные исследования позволяют не только анализировать процессы разрушения, но и оптимизировать параметры взрывных работ, что в свою очередь способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду и повышению безопасности [1, 2].

В данной обзорной статье рассматриваются ключевые исследования, направленные на разработку новых методов для анализа и прогнозирования поведения горных массивов при взрывных воздействиях. Особое внимание уделяется влиянию таких факторов, как время задержки между взрывами, расстояние между шпурами и конфигурация зарядов, на эффективность дробления и уровень вибрации. Также обсуждаются новейшие подходы, включая применение машинного обучения для анализа сигналов трещинообразования, что открывает новые горизонты в области предсказания разрушений и оптимизации взрывных работ [3-5].

Цель данной обзорной статьи – обобщить существующие знания и достижения в области динамического раз-

рушения горных пород, выявить основные тенденции и направления будущих исследований, а также предложить рекомендации для практического применения полученных результатов в горнодобывающей отрасли [6].

Методология

В данной обзорной статье использован систематический подход к анализу существующих исследований в области динамического разрушения горных пород. Методология включает несколько ключевых этапов, которые обеспечивают комплексное и структурированное представление о текущем состоянии знаний в данной области. На первом этапе была сформулирована основная цель статьи – обобщение и анализ существующих данных о динамическом разрушении горных пород, а также выявление ключевых факторов, влияющих на эффективность взрывных работ. Для составления обзорной статьи был проведен поиск научных публикаций, опубликованных в рецензируемых журналах. Использовались базы данных, такие как Scopus, Web of Science с ключевыми словами, связанными с динамическим разрушением, взрывными работами и численным моделированием. В отборе литературы учитывались только те исследования, которые содержали эмпирические данные или результаты численного моделирования. Публикации, не соответствующие этим критериям, были исключены из анализа. На следующем этапе была проведена систематизация собранной информации. Исследования были классифицированы по методам, используемым

для анализа динамического разрушения, а также по основным выводам. Это позволило выявить общие тенденции и различия в подходах к исследованию. Важным этапом методологии стал систематический обзор представленных данных, которые позволяют собрать и обобщить данные из различных источников, обеспечивая высокую степень надежности и воспроизводимости результатов [7-9]. На основе проведенного анализа были сформулированы основные выводы, которые подчеркивают значимость полученных результатов для горнодобывающей отрасли и необходимость дальнейшего изучения динамического разрушения горных пород.

На основе литературного обзора была создана ментальная карта в MindMap 2.0 (рис. 1), отражающая структуру исследований в области динамического разрушения горных пород.

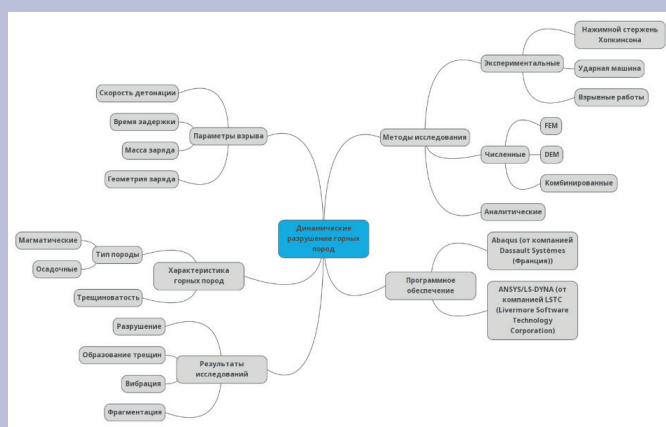


Рис. 1. Динамическое разрушение горных пород. Сурет 1. Тау жыныстарының динамикалық бұзылуы. Figure 1. Dynamic destruction of rocks.

Анализ этой карты позволяет выявить разнообразие исследований в области динамического разрушения горных пород, охватывающих методов и параметров. Подробное описание приведено ниже:

- экспериментальные методы разрушения горных пород проводятся с использованием нажимного стержня Хопкинсона и ударных машин, а также путем проведения взрывных работ, которые позволяют симулировать условия, возникающие при реальных взрывах;

- численные методы, такие как метод конечных элементов (FEM) и метод дискретных элементов (DEM), позволяют детально моделировать деформации и разрушения горных пород, а также комбинировать преимущества обоих подходов для более точного анализа. Для численного моделирования широко используются программные комплексы ABAQUS и LS-DYNA. Они позволяют детально моделировать процессы деформирования и разрушения горных пород при взрывах;

- аналитические методы, основанные на математических моделях, позволяют выявить общие закономерности поведения пород при взрыве;

- влияние параметров взрыва и свойств пород (скорость детонации, время задержки между взрывами, масса и геометрия заряда). Эти параметры существенно

вливают на характер распространения взрывной волны и масштаб разрушений;

- характеристики горных пород, такие как тип породы (магматические, осадочные, метаморфические) и наличие трещин, также играют ключевую роль в процессе разрушения. Разные типы пород обладают различной прочностью и сопротивляемостью взрывным нагрузкам.

Сгруппировав разнообразие исследований в области динамического разрушения горных пород, необходимо обобщить полученные результаты по каждой группе и выделить ключевые выводы, наиболее значимые для нашего исследования [10, 11]. Сравнение экспериментальных, численных и аналитических методов исследования взрывных работ приведен в таблице 1.

Результаты и обсуждения

Основные параметры взрывных работ, такие как скорость детонации, время задержки между взрывами, масса заряда и геометрия шпуров, оказывают значительное влияние на характер распространения взрывной волны и степень разрушения горных пород. Оптимизация этих параметров позволяет повысить эффективность взрывных работ и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Использование экспериментальных методов, таких как испытания на одноосное сжатие и лазерное сканирование, в сочетании с численными методами, такими как метод конечных элементов (FEM) и дискретных элементов (DEM), позволяет всесторонне изучить процессы динамического разрушения пород. Численное моделирование, реализованное в таких программах, как ABAQUS и LS-DYNA, эффективно симулирует процессы деформирования и разрушения [12].

Методы машинного обучения, применяемые для анализа сигналов трещинообразования, позволяют значительно улучшить интерпретацию данных и автоматизировать процесс прогнозирования разрушений. Это открывает новые перспективы для повышения точности и эффективности взрывных работ.

Полученные результаты имеют важное значение для повышения безопасности и эффективности взрывных работ, что особенно важно для горнодобывающей отрасли. Применение численных методов и оптимизация параметров взрывов способствует снижению вибраций и уменьшению разрушений окружающих структур.

Для повышения точности моделирования динамического разрушения горных пород необходимо учитывать более сложные геологические условия, разрабатывать модели, отражающие взаимодействие взрывной волны с грунтовыми водами и газами, а также использовать методы машинного обучения для анализа больших объемов данных и создания более точных моделей.

Эти выводы подчеркивают важность комплексного подхода, включающего экспериментальные, численные и аналитические методы, а также необходимость применения новейших технологий для оптимизации взрывных работ и снижения их негативного воздействия.

Численное моделирование и изучение динамики разрушения горных пород – это динамично развивающаяся область, которая требует постоянного внимания и инно-

Таблица 1

Методы исследования динамического разрушения горных пород

Кесте 1

Тау жыныстарының динамикалық бұзылуын зерттеу әдістері

Table 1

Methods of studying the dynamic destruction of rocks

Методы исследования	Объект исследования	Основные выводы	Примечания
Эксперименты на одноосное сжатие, моделирование	Образцы горных пород	Рассеяние энергии связано с образованием микротрещин и деформацией	Анализ кривых напряжение-деформация
Лазерное сканирование, численное моделирование	Контуры горных выработок. Взрывные работы	Степень повреждения зависит от напряжений, массы заряда и расстояния между шпурами. Параметры взрывов влияют на распространение трещин и эффективность взрывных работ	Оптимизация взрывных работ
Численные эксперименты	Трещины в горных массивах	Взаимодействие новых и старых трещин влияет на распространение напряжений	Применение численных методов
Аналитические методы	Взорванная горная масса	Расчет гранулометрического состава подтверждает правомерность подхода	Методы для оценки фрагментации
Машинное обучение, анализ сигналов	Сигналы трещинообразования	Модели машинного обучения улучшают интерпретацию трещинных сигналов	Автоматизация анализа данных
Анализ взаимной информации	Взрывные работы	Влияние различных параметров на фрагментацию породы	Прогнозирование качества взрывных работ
Полевые эксперименты, теоретический расчет	Взрывчатые вещества	Место инициирования взрыва влияет на характер разрушений	Анализ амплитуды колебаний
Полевые исследования	Медные рудники, взрывные работы	Негативное воздействие взрывов на окружающую среду и инфраструктуру	Оптимизация взрывных работ на рудниках

вационных решений. Результаты последних исследований показывают, что интеграция современных технологий и подходов может значительно повысить эффективность и безопасность взрывных работ. Однако для достижения

значительных результатов необходимо продолжать изучение различных сторон динамического разрушения, оптимизации взрывных технологий и воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мин Чж. Исследование взаимосвязи между динамической прочностью при точечном нагружении и динамической прочностью на сжатие на основе энергетической системы. / Мин Чж., Лань Ц., Цинвэнь Ли, Шуан Я., Чжэньпин Х. // Журнал «Удар и вибрация». 2022. С. 10 (на английском языке)
2. Алиаскар М. Экспериментальное и численное исследование динамического разрушения горных пород. / Алиаскар М., Хоссейн М., Сохейл М., Мохаммадамин Д. // Международный журнал горного дела и геотехнической инженерии. 2017. Т. 51-1. С. 37-46 (на английском языке)
3. Ma G.W. Моделирование взрывного разрушения подземных горных выработок / G.W. Ma, H. Nao, F. Wang. // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. 2011. №3 (1). С. 19-29 (на английском языке)
4. Хэпин С. Энергетический анализ и критерии разрушения горных пород. / Хэпин С., Ли Юнь Л., Руйдун П., Цзю Я. // Журнал горной механики и геотехнической инженерии. 2009. №1 (1). С. 11-20 (на английском языке)
5. Жисянь Х. Экспериментальные и численные исследования взрывного перелома и недолома в подземных выработках. / Х. Жисянь, Т. Мин, Ц. Сюэцзяо, Ву. Чэнцин, Миншэн Чж. // Журнал «Подземное Пространство». 2023. №8. С. 61-79 (на английском языке)
6. Юнцзюнь Чж. Конститутивное моделирование скорости инициирования и распространения трещин взрыва в массивах горных пород / Чж. Юнцзюнь, Мэн Сюй, Сицзя Лю, Фэй Лю, Цинсон Ван. // Международный журнал угольной науки и технологий. 2023. №10. С. 83 (на английском языке)

7. Благо Оламиде Та. Улучшение дробления горной массы взрывом с использованием искусственной нейронной сети и программного обеспечения BlastFrag© Optimizer. / Благо Оламиде Та., А. Бабантунде. // Журнал «Геотермальная энергия». 2023. №69 (1). С. 47-61 (на английском языке)
8. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б. Основные характеристики стадий разрушения массива горных пород взрывным дроблением. // Труды 7-й Международной конференции по физическим проблемам разрушения горных пород, Пекин, Китай, 2011. – С. 65-69 (на английском языке)
9. Мэн Хэ. Численное моделирование параметров оптимизации временной процедуры в соответствии с контролируемым применением / Мэн Хэ, Йехун Ху, Ч. Джин, Чж. Цзячжао, Хэлун Ли, Ц. Чанггенг. // Журнал «Удар и Вибрация». 2022. С. 12 (на английском языке)
10. Зилонг Чж. Деление событий разлома горных пород и взрывов на основе сложности сигнала и машинного обучения / Зилонг Чж., Руишань Чэн, Ц. Синь, Дань Ма и Чунцзян. // Журнал «Удар и вибрация». 2018. С. 10 (на английском языке)
11. Газини Н. Прогнозирование дробления горной массы при взрыве с использованием взаимной информации и системы инженерной геологии: случайное исследование: мейдукский медный рудник. / Н. Газини, М. Моусакхани, Х.Б. Амниех, А. Джафари. // Международный журнал горного дела и геоинженерии. 2017. Т. 51-1. С. 23-28 (на английском языке)
12. Цидун Г. Влияние места инициации внутри взрывной скважины на поле вибрации взрыва и его механизм. / Г. Цидун, Лу Вэньбо, Л. Жндун, Ян Чжаовой, Чж. Юйчжу. // Журнал «Удар и вибрация». 2019. С. 18 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Мин Чж. Нүктелік жүктемедегі динамикалық беріктік пен энергетикалық жүйеге негізделген динамикалық қысу беріктігі арасындағы байланысты зерттеу. / Чж. Мин, Ц. Лань, Цинвэнь Ли, Я. Шуан, Х. Чжэньпин. // «Соққы және Діріл» журналы. 2022. Б. 10 (ағылшын тілінде)
2. Алиаскар М. Тау жыныстарының динамикалық бұзылуын эксперименттік және сандық зерттеу. / М. Алиаскар, М. Хоссейн, М. Сохейл, Д. Мохаммадамин. // Халықаралық тау-кен және геоинженерия журналы. 2017. Т. 51-1. Б. 37-46 (ағылшын тілінде)
3. Ма G.W. Жерасты тау-кен қазбаларының жарылғыш бұзылуын модельдеу / G.W. Ma, H. Hao, F. Wang. // Тау-кен механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2011. №3 (1). Б. 19-29 (ағылшын тілінде)
4. Хэпин С. Энергетикалық талдау және тау жыныстарын бұзылу критерийлері. / С. Хэпин., Ли Юнь Л., П. Руйдун, Я. Цзю. // Тау-кен механикасы және геотехникалық инженерия журналы. 2009. №1 (1). Б. 11-20 (ағылшын тілінде)
5. Жисянь Х. Жерасты қазбаларындағы жарылғыш сынықтар мен сынықтарды эксперименттік және сандық зерттеу. / Х. Жисянь, Т. Мин, Ц. Сюэцзяо, Ву. Чэнцин, Миншэн Чж. // «Жерасты Кеңістігі» журналы. 2023. №8. Б. 61-79 (ағылшын тілінде)
6. Юнцзюнь Чж. Тау жыныстары массивтеріндегі жарылыстың басталу жылдамдығы мен таралуын конституциялық модельдеу / Чж. Юнцзюнь, Мэн Суй, Сицзя Лю, Фэй Лю, Цинсон Ван. // Халықаралық көмір ғылымы және технологиялар журналы. 2023. №10. Б. 83 (ағылшын тілінде)
7. Благо Оламиде Та. BlastFrag© Optimizer жасанды нейрондық желі мен бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, жарылыс арқылы тау массасын ұсақтауды жақсарту / Благо Оламиде Та., А. Бабантунде. // «Геотермальная энергия» журналы. 2023. №69 (1). Б. 47-61 (ағылшын тілінде)
8. Ракишев Б.Р., Ракишева З.Б. Жарылғыш ұсақтау арқылы тау жыныстары массивінің бұзылу кезеңдерінің негізгі сипаттамалары. // Тау жыныстарын бұзудың физикалық мәселелері жөніндегі 7-ші Халықаралық конференцияның еңбектері, Пекин, Қытай, 2011. Б. 65-69 (ағылшын тілінде)
9. Мэн Хэ. Бақыланатын қолдануға сәйкес уақытша процедураны оңтайландыру параметрлерін сандық модельдеу. / Мэн Хэ, Йехун Ху, Ч. Джин, Чж. Цзячжао, Хэлун Ли, Ц. Чанггенг. // «Соққы және Діріл» журналы. 2022. Б. 12 (ағылшын тілінде)
10. Зилонг Чж. Сигнал мен машиналық оқытудың күрделілігіне негізделген тау жыныстарының жарылуы мен жарылыс оқиғаларын бөлу. / Чж. Зилонг, Руишань Чэн, Ц. Синь, Дань Ма, Чунцзян. // «Соққы және Діріл» журналы. 2018. Б. 10 (ағылшын тілінде)
11. Газини Н. Өзара ақпарат пен инженерлік геология жүйесін қолдана отырып, жарылыс кезінде тау жыныстарының ұсақталуын болжау: кездейсоқ зерттеу: мейдук мыс кеніші. / Н. Газини, М. Моусакхани, Х.Б. Амниех, А. Джафари. // Халықаралық тау-кен және геоинженерия журналы. 2017. Т. 51-1. Б. 23-28 (ағылшын тілінде)
12. Цидун Г. Жарылыс ұңғымасының ішіндегі инициация орнының жарылыс тербелісі өрісіне әсері және оның механизмі. / Г. Цидун, Вэньбо Лу, Л. Жндун, Чжаовой Ян, Чж. Юйчжу. // «Соққы және Діріл» журналы. 2019. Б. 18 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Ming Zhou. *Research on the Conversion Relationship between Dynamic Point Load Strength and Dynamic Compressive Strength Based on Energy System*. / Ming Zhou, Lan Qiao, Qingwen Li, Shuang Yang and Zhenping Huang. // *Shock and Vibration*. 2022. P. 10 (in English)
2. Aliasghar M. *Experimental and Numerical Investigation of Rock Dynamic Fracture*. / Aliasghar Mirmohammadlou, Hossein Memarian, Soheil Mohammadi, Mohammadamin Jafari. // *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2017. V. 51-1. P. 37-46 (in English)
3. Ma G.W. *Simulations of explosion-induced damage to underground rock chambers* / Ma G.W., Hao H., Wang F. // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2011. №3 (1). P. 19-29 (in English)
4. Heping Xie. *Energy analysis and criteria for structural failure of rocks*. / Heping Xie, Liyun Li, Ruidong Peng, Yang Ju. // *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 2009. №1 (1). P. 11-20 (in English)
5. Zhixian Honga. *Experimental and numerical studies of the blast-induced overbreak and underbreak in underground roadways*. / Zhixian Honga, Ming Taoa, Xuejiao Cuia, Chengqing Wub, Mingsheng Zhaoc. // *Underground Space*. 2023. №8. P. 61-79 (in English)
6. Yongjun Zhang. *Rate-dependent constitutive modelling blasting crack initiation and propagation in rock masses*. / Yongjun Zhang, Meng Xu, Sijia Liu, Fei Liu, Qingsong Wang. // *International Journal of Coal Science & Technology*. 2023. №10. P. 83 (in English)
7. Blessing Olamide Taiwo. *Improvement of Blast-induced Fragmentation Using Artificial Neural Network and BlastFrag© Optimizer Software*. / Blessing Olamide Taiwo, Babatunde Adebayo. // *Geothermal Energy*. 2023. №69 (1). P. 47-61 (in English)
8. Rakishev B.R., Rakisheva Z.B. *Basic Characteristics of the Stages of Rock Massif Destruction by Explosive Crushing*. // *Proceedings of the 7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction, Beijing, China, 2011*. – P. 65-69 (in English)
9. Meng He. *Numerical Simulation Study on Parameter Optimization of Time Sequential Controlled Blasting*. / Meng He, Yehong Hu, Jin Chen, Jiazhao Zhang, Helong Li and Changgeng Cai. // *Shock and Vibration*. 2022. P. 12 (in English)
10. Zilong Zhou. *Discrimination of Rock Fracture and Blast Events Based on Signal Complexity and Machine Learning*. / Zilong Zhou, Ruishan Cheng, Xin Cai, Dan Ma and ChongJiang. // *Shock and Vibration*. 2018. P. 10 (in English)
11. Naeim Ghaeini. *Prediction of blasting fragmentation using the mutual information and rock engineering system; case study: Meydook copper mine*. / Naeim Ghaeini, Mojtaba Mousakhani, Hassan Bakhshandeh Amnieh, Ahmad Jafari. // *International Journal of Mining and Geo-Engineering*. 2017. V. 51-1. P. 23-28 (in English)
12. Qidong Gao. *Effect of Initiation Location within Blasthole on Blast Vibration Field and Its Mechanism*. / Qidong Gao, Wenbo Lu, Zhendong Leng, Zhaowei Yang, Yuzhu Zhang. // *Shock and Vibration*. 2019. P. 18 (in English)

Сведения об авторах:

Атагелдиев К.Т., докторант, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Қарағандың техникалық университеті иімі Абылкаса Сағинова» (г. Қарағанды, Қазақстан), kobei_91@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1902-0170>

Бахтыбаев Н.Б., к.т.н, директор ТОО «Mining Research Group» (г. Қарағанды, Қазақстан), bahtybaev@gmail.com; <http://orcid.org/0000-0002-9816-9765>

Абилъ О.А., заместитель директора, ТОО «Mining Research Group» (г. Қарағанды, Қазақстан), orazabil@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-9939-9039>

Авторлар туралы мәліметтер:

Атагелдиев К.Т., докторант, «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Бахтыбаев Н.Б., т.ғ.к., «Mining Research Group» ЖШС директоры (Қарағанды қ., Қазақстан)

Абилъ О.А., «Mining Research Group» ЖШС директоры орынбасары (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Atageldiyev K.T., doctoral student, senior lecturer of the Department «Development of mineral deposits», non-profit JSC «Karaganda Technical University named by Abylqas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Bakhtybayev N.B., candidate of Technical Sciences, director of the LLP «Mining Research Group» LLP (Karaganda, Kazakhstan)

Abil O.A., associate Director of the LLP «Mining Research Group» LLP (Karaganda, Kazakhstan)