Код МРНТИ 52.13.07

М.К. Татыбаев, О.О. Дуйсенбекова, В.В. Поветкин, *А.А. Кенбай
КазНИТУ им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

УСТАНОВЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ГРАНИТА ПО ПАРАМЕТРАМ УДАРНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ

Аннотация. В данной работе исследуется влияние различных типов инструментов на удельную энергоемкость разрушения гранита. Экспериментальные исследования проводились с использованием бойков (С1, С2, С3, С4) и долотчатой коронки при различных углах поворота инструмента. Рассматривается зависимость изменения удельной энергоемкости разрушения гранита от энергии единичного удара и угла поворота. Целью работы является определение зависимости энергоемкости при разрушении горных пород от различных факторов, таких, как вид инструмента, угол поворота, свойства породы и условия эксплуатации. Полученные результаты показали, что с увеличением энергии удара наблюдается снижение удельной энергоемкости разрушения для всех типов бойков. Эти данные могут быть полезны для оптимизации процесса бурения и разрушения горных пород в горной и строительной промышленности.
Ключевые слова: *удельная энергоемкость, гранит, удар, боек, предударная скорость бойка, угол поворота инструмента, буровая коронка.*

Соққы жүйе параметрлері негізінде гранит бұзу энергия сыйымдылығын эксперименттік әдіспен анықтау

Аңдатпа. Бұл жұмыс гранит бұзу меншікті энергия сыйымдылығына әр түрлі құралдардың әсерін зерттейді. Эксперименттік зерттеулер құралдың әртүрлі айналу бұрыштарындағы соққыштар (С1, С2, С3, С4) және қашау тәжін қолдану арқылы жүргізілді. Гранит бұзу меншікті энергия сыйымдылығы өзгеруінің бір соққының энергиясына және айналу бұрышына тәуелділігі қарастырылады. Жұмыстың мақсаты - тау жыныстарының бұзылуы кезіндегі энергия сыйымдылығының құрал түріне, айналу бұрышына, тау жыныстарының қасиеттеріне және жұмыс жағдайларына байланысты әртүрлі факторларға тәуелділігін анықтау. Алынған нәтижелер соққы энергиясының жоғарылауымен соққыштардың барлық түрлері үшін бұзылудың меншікті энергия қарқындылығының төмендеуі байқалатынын көрсетті. Бұл деректер тау-кен және құрылыс салаларындағы бұрғылау және тау жыныстарын бұзу процесін оңтайландыру үшін пайдалы болуы мүмкін.
Түйінді сөздер: *меншікті энергия сыйымдылығы, гранит, соққы, соққыш, соққыға дейінгі соққыш жылдамдығы, құралдың айналу бұрышы, бұрғылау.*

Determination of the granite destruction energy capacity according to the impact system parameters by the experimental method

Abstract. This paper examines the effect of different tool types on the specific energy capacity of granite destruction. Experimental studies were conducted using strikers (C1, C2, C3, C4) and a chisel crown at different tool rotation angles. The dependence of the change in the specific energy capacity of granite destruction on the energy of a single impact and the rotation angle is considered. The aim of the work is to determine the dependence of the energy capacity during rock destruction on various factors, such as the type of tool, rotation angle, rock properties and operating conditions. The results obtained showed that with an increase in the impact energy, a decrease in the specific energy capacity of destruction is observed for all types of strikers. These data can be useful for optimizing the drilling and rock destruction process in the mining and construction industries.
Key words: *specific energy capacity, granite, impact, striker, pre-impact speed of the striker, angle of rotation of the tool, drill bit.*

Введение

Одним из ключевых этапов в проектировании и оптимизации добычи и переработки материалов является оценка энергоемкости при разрушении горных пород. Данная величина показывает необходимое количество энергии, требуемой для разрушения единицы объема или массы породы, и может определяться множеством факторов, включая физико-механические свойства материала, характеристики инструмента и условия его эксплуатации [1–4].

Основная цель данного исследования заключается в выявлении зависимости удельных энергоемкостей на разрушение пород от различных факторов, таких как:

- *тип и геометрия разрушительного инструмента (например, бойки различных типов);*
- *угол поворота инструмента (например, углы 20°, 30°, 40°);*
- *физико-механические свойства горных пород (например, прочность, твердость, пористость);*
- *условия эксплуатации, такие как скорость вращения инструмента, давление и температура.*

Методика исследования

При проведении оценивания и определения энергоемкости разрушения горных пород применяются как экспериментальные, так и теоретические подходы [5]. Эксперименты проводятся с использованием инструментов разных типов, таких как долотчатые коронки и бойки, в лабораторных условиях и на производственных объектах. Теоретические исследования же могут базироваться на математических моделях, описывающих процессы разрушения и взаимосвязь параметров инструмента и материала [6–7].

Экспериментальные исследования основаны на определении количественных характеристик, которые необходимы для разрушения материала в различных условиях. В процессе экспериментов исследуются параметры, влияющие на удельные энергоемкости, включая тип и геометрию инструмента, углы поворота, механические свойства пород и условия эксплуатации.

Для проведения экспериментов в данном исследовании использовалась установка, оснащенная регулируемыми углами поворота инструмента и системой контроля скорости вращения. В качестве инструментов применялись бойки различных типов (С1, С2, С3, С4) и долотчатые коронки, использованные для разрушения образцов горных пород.

Описание этапов эксперимента

Подготовка образцов. Подготовлены образцы гранита, известняка, базальта и других горных пород с различными физико-механическими свойствами.

Выбор параметров инструмента. Для каждого типа бойка (С1, С2, С3, С4) были заданы параметры (форма, размеры, материал). Также для долотчатой коронки были выбраны параметры режущих элементов (таблица 1).

Таблица 1

Параметры бойков

Кесте 1

Соққыштар параметрлері

Table 1

Parameters of strikers

Обозначение	Длина, мм	Диаметр, мм	Масса, кг
С1	350	35	2,50
С2	450	45	5,49
С3	700	35	5,47
С4	253	75	8,32

Измерения углов поворота. Углы поворота инструмента были установлены на значения 20°, 30° и 40° с точностью до 1°.

Проведение испытаний. Инструмент физически воздействовал на образцы горных пород, при этом фиксируя энергию, которая необходима для разрушения каждого из них.

Сбор данных. Устанавливались показатели времени разрушения, силы воздействия и потребленной энергии. На основе этих данных рассчитывалась удельная энергоемкость разрушения, предназначенная для различных углов поворота и типов инструмента.

Экспериментальная часть

Эксперименты по разрушению гранита проводились на специально разработанной копровой установке, позволяющей регулировать углы поворота инструмента с высокой точностью и контролировать его взаимодействие с материалом. К установке крепились цилиндрические бойки, обеспечивающие стабильный контакт с горной породой во время разрушения. На установке можно настроить углы поворота инструмента (20°, 30°, 40°) и скорости вращения, а также регистрировать время разрушения и потребляемую энергию.

Удары наносились по штанге с закрепленной штыревой (А1), крестовой (А2) или долотчатой коронкой (А3). Ударное воздействие направлялось на гранитный блок. При регулировании высоты сбрасывания бойков, их предударные скорости достигали 5 и 7 м/с. Высота, при котором сбрасывались бойки измерялась с использованием рейки, а энергия удара варьировалась в диапазоне от 31,25 до 207,35 Дж. Энергоемкость разрушения горной породы может быть установлена через зависимость:

$$A_{эн} = \frac{Ph_c n\gamma}{Q_z}, \qquad (1)$$

где P – масса ударника, кг;

h_c – высота сбрасывания, м;

n – число сбрасываний;

γ – удельная масса породы, т/м^3;

Q_z – масса разрушаемой породы, кг.

В процессе данных экспериментов изучалось влияние формы коронки, наряду с предударной скоростью бойка, его размеров и массы, а также угла поворота инструмента на объем разрушенной породы, глубину скважины и удельную энергоемкость разрушения [8].

Ключевую роль при разрушении гранита с помощью бойков и долотчатых коронок играл угол поворота инструмента. Этот параметр существенно влиял на удельную энергоемкость разрушения, которая представляет собой количество энергии, которое необходимо затратить для разрушения единицы объема материала. Изменение данного параметра влияло на силу контакта инструмента с материалом, а также и на способ воздействия на гранит, что приводило к значительным колебаниям удельной энергоемкости.

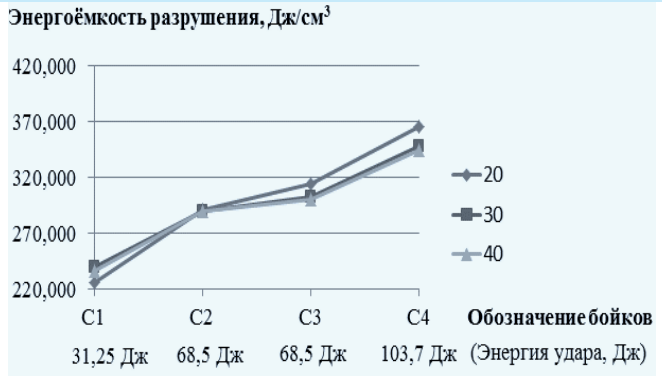
Результаты и обсуждение

Важным требованием исследования зависимости энергоемкости разрушения гранита от величины удельной энергии удара при разных углах поворота и предударных скоростях бойка 5 м/с и 7 м/с является необходимость рассмотрения нескольких основных и ключевых факторов, таких, как энергию, силы удара, а также то, как эти параметры влияют на процесс разрушения породы (рис. 1).

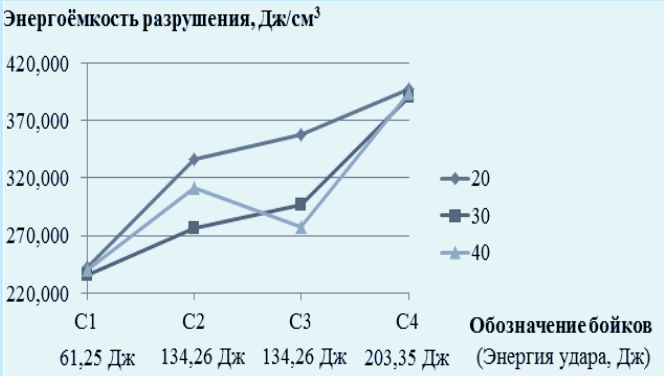
Рис. 1. Энергоемкости разрушения гранита и величины удельной энергии удара при указанных параметрах.

Сурет 1. Граниттің жойылуының энергия сыйымдылығы және көрсетілген параметрлердегі меншікті әсер ету энергиясының мәні.

Figure 1. Energy capacity of granite destruction and values of specific impact energy for the specified parameters.



а



б

Рис. 2. Зависимости изменения удельной энергоемкости при разрушении горных пород (гранита) разными типами бойков при использовании долотчатой коронки: *а – скорость бойка 5 м/с; б – скорость бойка 7 м/с.*
Сурет 2. Тау жыныстарын (граниттерді) қашау тәжін пайдаланған кезде соғушылардың әртүрлі түрлерімен бұзу кезіндегі меншікті энергия сыйымдылығының өзгеруінің тәуелділіктері: *а – соққы жылдамдығы 5 м/с; b – соққының жылдамдығы 7 м/с.*
Figure 2. Dependencies of the change in specific energy capacity during the destruction of rocks (granite) by different types of strikers when using a chisel crown: *a – striker speed 5 m/s; b – striker speed 7 m/s.*

При объяснении зависимости удельной энергоемкости разрушения гранита и других горных пород от типа бойков (С1–С4), углов поворота инструмента (20°, 30°, 40°) и использования долотчатой коронки необходимо учитывать следующие факторы:

- тип бойков (С1–С4). Различия в геометрии и массе бойков определяют их влияние на силу контакта с гранитом и, соответственно, на удельную энергоемкость разрушения;

- углы поворота инструмента. Изменение угла поворота (20°, 30°, 40°) влияет на характер контакта инструмента с материалом, распределение усилий и глубину воздействия, что отражается на энергоемкости;

- использование долотчатой коронки. Коронка отличается от бойков своей формой и принципом разрушения материала, что оказывает значительное влияние на удельную энергоемкость.

Данные параметры являются важными составляющими при создании полной картины зависимости, позволяющей выявить наиболее энергоэффективные условия разрушения гранита.

На рис. 2 показаны зависимости изменения удельной энергоемкости разрушения гранита различными бойками (С1–С4) при углах поворота, равных 20°, 30° и 40°, долотчатая коронка.

Для бойков и долотчатой коронки выстроена зависимость удельной энергоемкости разрушения гранита от угла поворота инструмента. Данные ниже отображают изменения удельной энергоемкости при углах поворота инструмента 20°, 30° и 40° (таблица 2).

Для представления зависимости изменения удельной энергоемкости разрушения гранита при эксплуатации бойков, а также при применении крестовой коронки, необходимо учитывать несколько факторов, включая особенности инструмента, угол его поворота и метод воздействия на гранит (рис. 3).

Таблица 2

Величины удельной энергоёмкости разрушения гранита в зависимости от угла поворота инструмента и его типа

Кесте 2

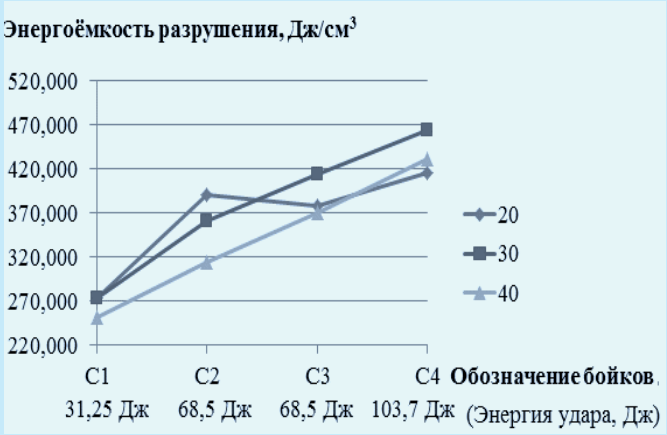
Құралдың айналу бұрышына және оның түріне байланысты гранитті жоюдың меншікті энергия сыйымдылығының мәндері

Table 2

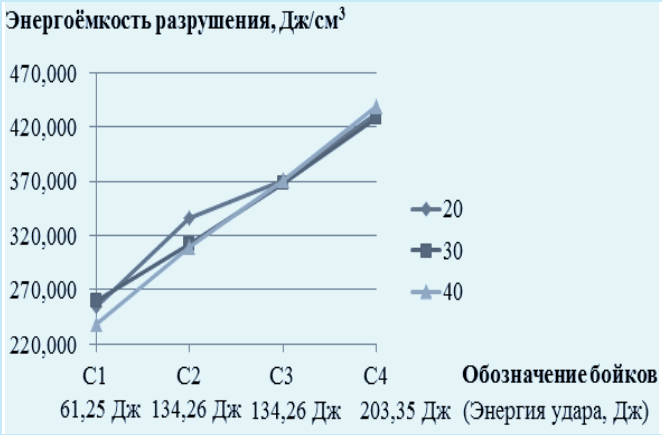
Values of specific energy intensity of granite destruction depending on the angle of rotation of the tool and its type

Тип инструмента	Угол поворота 20°	Угол поворота 30°	Угол поворота 40°
Бойки С1	8000 Дж/м³	10000 Дж/м³	12000 Дж/м³
Бойки С2	8500 Дж/м³	10500 Дж/м³	12500 Дж/м³
Бойки С3	9000 Дж/м³	11000 Дж/м³	13000 Дж/м³
Бойки С4	9500 Дж/м³	11500 Дж/м³	13500 Дж/м³
Долотчатая коронка	10000 Дж/м³	12000 Дж/м³	14000 Дж/м³

Для крестовой коронки выстроена зависимость изменения удельной энергоемкости разрушения гранита от угла поворота, представленная в таблице 3. Можно подчеркнуть, что с увеличением угла поворота удельная энергоемкость разрушения также возрастает.



а



б

Рис. 3. Данные для крестовой коронки: *а – скорость бойка 5 м/с; б – скорость бойка 7 м/с.*
Сурет 3. Кросс битке арналған деректер: *а – соққыштың жылдамдығы 5 м/с; b – соққының жылдамдығы 7 м/с.*
Figure 3. Data for a cross-shaped crown: *a – striker speed 5 m/s; b – striker speed 7 m/s.*

Таблица 3
Удельная энергоемкость для крестовой коронки
Кесте 3
Айқас тәж үшін ерекше энергия мазмұны
Table 3
Specific energy consumption for a cross-shaped crown

Тип инструмента	Угол поворота 20° (Дж/м³)	Угол поворота 30° (Дж/м³)	Угол поворота 40° (Дж/м³)
Крестовая коронка	10000	12000	14000

Полученные результаты при изучении разрушения гранита в рамках данного исследования показывают, что тот же объем разрушенной породы разнится для различных типов бойков, а также углов поворота инструментов. Из данных выше можно сделать вывод, что в основном наименьшей удельной энергоемкостью разрушения обладает боек С1, который имеет наименьшие массу и размер, а оптимальный угол поворота – 20°. Более детальный разбор результатов выполнен в разделе заключения ниже.

Заключение

Линейная зависимость изменения удельной энергоемкости разрушения гранита различными типами бойков при углах поворота 20°, 30° и 40°, а также долотчатой коронкой можно построить с помощью экспериментальных данных, показывающих, что:

- *при увеличении угла поворота энергоемкость разрушения увеличивается;*
- *различные типы бойков оказывают разное влияние на энергоемкость в зависимости от их геометрии, строения и взаимодействия с материалом.*

При постоянной массе и предударной скорости боек с наибольшей длиной (С3) дает более продолжительный по переднему фронту силовой импульс, но наименьшей силы [9].

Что касается штыревой коронки, то согласно результатам статистической обработки полученных экспериментальных данных время длительности переднего фронта силового импульса не влияет на энергоемкость разрушения гранита, что нельзя сказать относительно крестовой и долотчатой. Зарождается предположение, что длина ударника 700 мм является чрезмерной по аналогии с экспериментами.

Данная картина приводит к увеличению доли отраженной энергии удара, при неиспользованной хвостовой части силового импульса и, соответственно, к повышению энергоемкости разрушения горной породы.

Наглядно видно, что проявление данных закономерностей обусловлено различными условиями скалывания. Для крестовой коронки практически для всех бойков, при угле поворота 40° соответствует наименьшее значение энергоемкости разрушения. Что касается долотчатой коронки, то при малой энергии удара самым эффективным является угол поворота после удара в 20°. Обычно увеличение энергии удара приводит к увеличению эффективного угла поворота после удара. Для штыревой коронки результат воздействия данного параметра установить не удалось.

Полученные значения энергоемкости разрушения гранита коррелируют с данными других авторов [10].

Воздействие фактора предударной скорости бойка 5 и 7 м/с дает в эксперименте практически одинаковый результат.

Результаты, показанные на рис. 1, позволяют утверждать, что тенденция уменьшения энергоемкости разрушения гранита при увеличении энергии единичного удара сохраняется. Для каждого бойка (от С1 – самого легкого до С4 – самого тяжелого) крестовой коронке соответствует большее значение энергоемкости разрушения, в то время как долотчатой коронке – меньшее. Однако можно заметить, что параметры бойков и формируемых ими силовых импульсов вносят в эту закономерность свои коррективы.

Таким образом, результаты данного исследования позволяют установить и рекомендовать оптимальные параметры для эффективного разрушения горных пород в зависимости от их характеристик и вида используемого инструмента. Такие данные могут быть использованы для улучшения технологических процессов в горной, строительной, а также в других отраслях, что может привести к снижению энергетических затрат и повышению производительности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Sun F., Zhang X., Guo J., Liu X. (15 октября 2024). Экспериментальное и имитационное исследование характеристик разрушения гранита с учетом влияния промежуточных главных напряжений. https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue (на английском языке)*
2. *Xu Z., Zhong X., Zhang S., Wang Y., Liu K., Liu X., Meng Y., Hou X., Chen C. (ноябрь 2024). Экспериментальное исследование механических повреждений и характеристик ползучести гранита Гунхэ в условиях высокой температуры в реальном времени. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650524001871?via%3Dihub (на английском языке)*
3. *Li B.-L., Sun T., Zhang J.-Z., Liu Q.-Y., Long Y. (октябрь 2024). Механические и разрушающие характеристики гранита с дефектами после высокотемпературного цикла: экспериментальное исследование с использованием двухосного сжатия. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167844224003513?via%3Dihub (на английском языке)*
4. *Wang H., Liao H., Niu W., Xu J., Liu Y., He Y. (сентябрь 2023). Повышение эффективности бурения горных пород: оценка эффективности технологии прорезания отверстий струей воды сверхвысокого давления при бурении гранита. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949891023006620?via%3Dihub (на английском языке)*
5. *Гибридные методы разрушения горных пород / Петров В.М. [и др.]. М.: Наука, 2019. С. 50–55 (на русском языке)*
6. *Анализ современных методов нанесения защитных покрытий / Поветкин В.В. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2021. № 7. С. 31–35 (на русском языке)*
7. *Газовоздушные горелки при производстве блоков из твердой породы / Поветкин В.В. [и др.] // Горный журнал Казахстана. 2021. № 8. С. 29–35 (на русском языке)*
8. *Lundberg B., Okrouhlik M. Эффективность процесса ударного бурения горных пород с учетом излучения волновой энергии в горную породу // International Journal of Impact Engineering. 2016. № 32. С. 1573–1583 (на английском языке)*
9. *Шадрина А.В., Саруев Л.А. Исследование возможностей вращательно ударного способа бурения для разведочных скважин малого диаметра из подземных горных выработок // Известия вузов. Геология и разведка. 2012. № 5. С. 62–66 (на русском языке)*
10. *Шадрина А.В., Кабанова Т.В. Исследование разрушения твердой горной породы энергией удара // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2014. № 6. С. 381–385 (на русском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Sun F., Zhang X., Guo J., Liu X. (2024 жылғы 15 қазан). Аралық негізгі кернеулердің әсерін ескере отырып, граниттің бұзылу сипаттамасын эксперименттік және имитациялық зерттеу. https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue (ағылшын тілінде)*
2. *Xu Z., Zhong X., Zhang S., Wang Y., Liu K., Liu X., Meng Y., Hou X., Chen C. (2024 жылдың қарашасы). Нақты уақыттағы жоғары температура кезінде Гонгхе гранитінің механикалық зақымдануы мен сусымалы сипаттамаларын эксперименттік зерттеу. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650524001871?via%3Dihub (ағылшын тілінде)*
3. *Li B.-L., Sun T., Zhang J.-Z., Liu Q.-Y., Long Y. (2024 жылдың қазаны). Жоғары температура циклінен кейінгі ақаулы граниттің механикалық және бұзылу сипаттамалары: екі осьтік қысуды қолданатын эксперименталды зерттеу. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167844224003513?via%3Dihub (ағылшын тілінде)*
4. *Wang H., Liao H., Niu W., Xu J., Liu Y., He Y. (2023 жылдың қыркүйек). Тау жыныстарын бұрғылаудың тиімділігін арттыру: гранитті бұрғылаудағы ультра жоғары қысымды су ағынымен саңылау технологиясының тиімділігін бағалау. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949891023006620?via%3Dihub (ағылшын тілінде)*
5. *Гибридті тау жыныстарын жою әдістері / Петров В.М. [және т.б.]. М.:. Ғылым, 2019. Б. 50–55 (орыс тілінде)*
6. *Қорғаныс жабындарын жағудың заманауи әдістерін талдау / Поветкин В.В. [және т.б.] // Қазақстанның тау-кен ісі журналы. 2021. № 7. Б. 31–35 (орыс тілінде)*
7. *Бензин – қатты жыныс блоктарын өндірудегі ауа қыздырғыштары / Поветкин В.В. [және т.б.] // Қазақстанның тау-кен ісі журналы. 2021. № 8. Б. 29–35 (орыс тілінде)*
8. *Lundberg B., Okrouhlik M. Тау жынысына толқындық сәулеленуді ескере отырып, соқпалы тау жыныстарын бұрғылау процесінің тиімділігі // International Journal of Impact Engineering. 2016. № 32. Б. 1573–1583 (ағылшын тілінде)*
9. *Шадрина А.В., Саруев Л.А. Жерасты кен қазбаларынан кіші диаметрлі барлау ұңғымалары үшін айналмалы соқпалы бұрғылау мүмкіндіктерін зерттеу // Университеттер жаңалықтары. Геология және барлау. 2012. № 5. Б. 62–66 (орыс тілінде)*
10. *Шадрина А.В., Кабанова Т.В. Соққы энергиясы арқылы қатты тау жыныстарының бұзылуын зерттеу // Тау-кен ақпараты және аналитикалық бюллетень. 2014. № 6. Б. 381–385 (орыс тілінде)*

REFERENCES

1. *Sun F., Zhang X., Guo J., Liu X. (October 15, 2024). Experimental and simulation investigation on failure characteristic of granite considering the effect of intermediate principal stresses. https://www.cell.com/*

heliyon/fulltext/S2405-8440(24)14784-6?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844024147846%3Fshowall%3Dtrue (in English)
2. Xu Z., Zhong X., Zhang S., Wang Y., Liu K., Liu X., Meng Y., Hou X., Chen C. (November 2024). Experimental study on mechanical damage and creep characteristics of Gonghe granite under real-time high temperature. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375650524001871?via%3Dihub (in English)
3. Li B.-L., Sun T., Zhang J.-Z., Liu Q.-Y., Long Y. (October 2024). Mechanical and failure characteristics of flawed granite after high-temperature cycling: An experimental study using biaxial compression. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167844224003513?via%3Dihub (in English)
4. Wang H., Liao H., Niu W., Xu J., Liu Y., He Y. (September 2023). Enhancing rock drilling efficiency: Evaluating the effectiveness of ultra-high-pressure water jet slotting technology in granite drilling. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2949891023006620?via%3Dihub (in English)
5. Gibridnye metody razrusheniya gornykh porod [Hybrid methods of rock destruction], Petrov V. [et al.]. Moscow: Nauka, 2019. 50–55 pp. (in Russian)
6. Analiz sovremennykh metodov naneseniya zashchitnykh pokrytii [Analysis of modern methods of applying protective coatings], Povetkin V. [et al.], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2021. No. 7. 31–35 pp. (in Russian)
7. Gazovozdushnye gorelki pri proizvodstve blokov iz tverdoi porody [Gas-air burners in the production of solid rock blocks], Povetkin V. [et al.], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2021. No. 8. 29–35 pp. (in Russian)
8. Lundberg B., Okrouhlik M. Efficiency of a percussive rock drilling process with consideration of wave energy radiation into the rock // International Journal of Impact Engineering. 2016. No. 32. 1573–1583 pp. (in English)
9. Shadrina A., Saruev L. Issledovanie vozmozhnostei vrashchatel'no udarnogo sposoba bureniya dlya razvedochnykh skvazhin malogo diametra iz podzemnykh gornykh vyrabotok [Study of the possibilities of rotary percussion drilling method for small diameter exploratory wells from underground mine workings], Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka [News of universities. Geology and exploration]. 2012. No. 5. 62–66 pp. (in Russian)
10. Shadrina A., Kabanova T. Issledovanie razrusheniya tverdoi gornoi porody energiei udara [Study of destruction of solid rock by impact energy], Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten' [Mining information and analytical bulletin]. 2014. No. 6. 381–385 pp. (in Russian)

Сведения об авторах:
Татыбаев М.К., кандидат педагогических наук, ассоциированный профессор института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), *m.tatybayev@satbayev.university;* https://orcid.org/0000-0001-9980-1040
Дуйсенбекова О.О., кандидат сельскохозяйственных наук, ассоциированный профессор института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), *o.duisenbekova@satbayev.university;* https://orcid.org/0009-0006-6039-5173
Поветкин В.В., доктор технических наук, профессор института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), *vv1940_povetkin@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0002-3872-3488
Кенбай А.А., магистр естественных наук, преподаватель, института Энергетики и Машиностроения имени А. Буркитбаева, «КазНИТУ имени К.И. Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), *a.kenbay@satbayev.university;* https://orcid.org/0000-0001-6803-5873

Авторлар туралы мәліметтер:
Татыбаев М.К., педагогикалық ғылымдарының кандидаты, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының қауымдастырылған профессоры, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Казақстан)
Дуйсенбекова О.О., ауыл-шаруашылық ғылымдарының кандидаты, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының қауымдастырылған профессоры, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Казақстан)
Поветкин В.В., техникалық ғылымдарының докторы, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының профессоры, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Казақстан)
Кенбай А.А., жаратылыстану ғылымдарының магистрі, Ә. Бүркітбаев атындағы Энергетика және Машина жасау Институтының оқытушысы, «Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТЗУ» (Алматы қ., Казақстан)

Information about the authors:
Tatybayev M., candidate of pedagogical sciences, associate professor of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)
Duisenbekova O., candidate of agricultural sciences, associate professor of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)
Povetkin V., doctor of technical sciences, professor of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)
Kenbay A., master of natural sciences, lecturer of Institute of Energy and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, «Satbayev University» (Almaty, Kazakhstan)