

Код МРНТИ 55.33.35

\*А.З. Букаева<sup>1</sup>, В.В. Поветкин<sup>2</sup><sup>1</sup>Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан),<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ОГНЕСТРУЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД

**Аннотация.** В работе рассмотрены особенности и параметры термической обработки горных пород, применяемой при производстве изделий из камня. Описан принцип действия механизированных установок с перемещением терминирующего инструмента со скоростью 0,1–0,2 м/с и углом наклона горелки 50–58°. Отмечена высокая производительность (до 30 м<sup>2</sup>/ч) при расходе топлива 10–14 кг/ч. Приведены примеры отечественных и зарубежных технологий, включая бучарды, дисковые пилы и комбинированные методы. Рассмотрены модели теплового воздействия, параметры нагрева, расчет скорости разрушения и тепловой эффективности. Особое внимание уделено влиянию зернистости и минерального состава породы на результаты термического воздействия. Представленные данные имеют практическую значимость для проектирования и оптимизации оборудования термического действия.

**Ключевые слова:** терминирующий инструмент, огнеструйное разрушение, горная порода, производительность, эффективность, термическая обработка.

### Тау жыныстарын бұзу үшін от ағыны технологиясын қолданудың теориялық негіздері

**Аннотация.** Жұмыста тастан жасалған бұйымдарды өндіру кезінде қолданылатын тау жыныстарын термиялық өңдеудің ерекшеліктері мен параметрлері қаралды. 0,1–0,2 м/с жылдамдықпен және жанарғының көбеу бұрышы 50–58° жылу аспабының орнын ауыстырумен механикаландырылған қондырғылардың жұмыс істеу принципі сипатталған. Отын шығыны 10–14 кг/сағ болған кезде жоғары өнімділік (30 м<sup>2</sup>/сағ дейін) белгіленді. Отандық және шетелдік технологиялардың мысалдары, соның ішінде бучардтар, дискілі аралар және аралас әдістер келтірілген. Жылу әсерінің модельдері, қыздыру параметрлері, бұзылу жылдамдығы мен жылу тиімділігінің есебі қаралды. Жыныстың түйіршіктілігі мен минералдық құрамының термиялық әсер ету нәтижелеріне әсеріне ерекше көңіл бөлінеді. Ұсынылған деректердің термиялық әсер ететін жабдықты жобалау және оңтайландыру үшін практикалық маңызы бар.

**Түйінді сөздер:** жылу құралы, от ағынымен бұзу, тау жынысы, өнімділік, тиімділік, термиялық өңдеу.

### Theoretical bases of application of fire-jet technology for rock destruction

**Abstract.** The paper considers the features and parameters of thermal treatment of rocks used in the manufacture of stone products. The principle of operation of mechanized units with the movement of the thermal tool at a speed of 0.1–0.2 m/s and the angle of inclination of the burner 50–58° is described. High productivity (up to 30 m<sup>2</sup>/h) with fuel consumption of 10–14 kg/h is noted. Examples of domestic and foreign technologies are given, including bouchards, circular saws and combined methods. Models of thermal influence, heating parameters, calculation of fracture rate and thermal efficiency are considered. Special attention is paid to the influence of grain size and mineral composition of the rock on the results of thermal action. The presented data have practical significance for designing and optimization of thermal action equipment.

**Key words:** thermal tool, fire-jet destruction, rock, productivity, efficiency, heat treatment.

### Введение

Разработка и внедрение эффективных методов обработки горных пород остаются актуальными задачами в современной горнодобывающей и камнеобрабатывающей промышленности. С увеличением требований к качеству, производительности и экономичности технологических процессов возрастает интерес к термическим способам разрушения твердых материалов.

Одним из перспективных направлений является использование терминирующих инструментов и горелок, позволяющих осуществлять разрушение и выравнивание поверхности горных пород с высокой точностью и минимальными затратами энергии.

### Материалы и методы

При изготовлении массивных изделий из крепких горных пород широкое применение нашел термический способ обработки. Сущность термического разрушения заключается в том, что при интенсивном нагреве поверхности горной породы, верхний ее слой из-за плохой теплопроводности приобретает высокую температуру и стремится увеличить свой объем. Это приводит к возникновению сложноплавленного состояния и потере устойчивости слоя. Порода разрушается, отделяясь в виде твердых частиц. В отличие от плавления, он характеризуется высокой скоростью и небольшими энергозатратами [1, 2]. Принцип механизированной термической обработки камня заключается в том, что факел горелки равномерно перемещают вдоль заготовки. При этом выступы породы разрушаются быстрее впадин, и происходит выравнивание поверхности изделия.

В таблице 1 приведены основные характеристики способов разрушения крепких горных пород, применяемых для изготовления каменных изделий.

Установки для механизированной обработки изделий с помощью терминирующих инструментов созданы итальянской фирмой Castelli Mariono, испанской Ramilo, эксплуатируются во Франции и др. странах. Для этой цели применяются горелки, работающие на кислороде и пропанбутане или ацетилене.

На установках СМ для термической фактурной обработки пиленых плит перемещение инструмента осуществляется со скоростью 0,1–0,2 м/с. Угол наклона оси горелки к обрабатываемой поверхности устанавливается в пределах от 50° до 58°. Расход пропанбутана составляет (10÷14) кг/ч. Производительность установки при фактурной обработке в зависимости от типа горных пород составляет от 12 до 30 м<sup>2</sup>/ч. Подобные установки отечественной промышленности отсутствуют.

На ряде пород термическая обработка не дает требуемой чистоты поверхности, в этих случаях проводят дополнительную доработку механическими средствами разрушения. Так, фирма «Карл Майер» на своих установках использует для этой цели бучарды [3]. Технология изготовления бортового камня, внедренная в Томском камнеобрабатывающем цехе, предполагает использование терминирующих инструментов для выравнивания поверхностей, а дисковых пил – для окантовки ребер изделий.

Хорошие результаты показывает сочетание различных способов разрушения горных пород. Процесс обработки – это непрерывное снижение высоты неровностей по-

Характеристики способов обработки горных пород

Таблица 1

Тау жыныстарын оңдеу әдістерінің сипаттамалары

Кесте 1

Characteristics of rock processing methods

Table 1

Характеристики	Распиливание штрипсами	Теска пневмо-бучардами	Распиливание дисковыми пилами	Теска воздушными горелками	Теска кислородными горелками
Производительность, м <sup>2</sup> /ч	0,05–0,4	0,4–0,9	0,6–1,2	1,5–2	3–4
Удельн. энергозатр., ×10 <sup>8</sup> Дж/м <sup>2</sup>	3–10	0,5–1	1–1,5	4–5	2–3
Коэффициент крепости породы	5–18	8–18	1–18	12–20	12–20
Масса машины, кг	500–1000	9–12	500–1000	3–4	2–3
Уровень излучаемого шума, дБ (до)	95	80	70	116	126
Удельные капитальные вложения, тг/м <sup>2</sup>	80	5	80	5	20

верхности заготовки до требуемой величины, в течений которого растет энергоемкость разрушения и падает производительность. Каждый из способов разрушения имеет ограниченные пределы изменения, как по величине неровностей, остающихся после обработки, так и по производительности процесса. Поэтому по мере выполаживания поверхности производят смену способов с постепенным снижением скорости процесса.

Известны устройства для обработки изделий из камня горелкой реактивного типа, управляемой с помощью датчика, выполненного в виде поворотного-подвешенного щупа, взаимодействующего с контактом, установленным с возможностью перемещения вдоль его продольной оси и электрически связанным с входом блока задержки, управляющими подачей горючего [4].

Недостатками данных устройств являются то, что управление датчиком дает возможность регулировать только подачу горючего, не применяя полностью все возможности рабочего органа, т.е. ограничено движение рабочего органа; во-вторых, определение уровня и установка рабочего органа на каждый слой требует участие оператора, что не отвечает требованиям автоматизации процесса обработки; в-третьих, при послойной обработке увеличивается рабочий ход горелки, что приводит к увеличению времени и расхода компонентов горения и снижает ее производительность; в-четвертых, из-за трения о шероховатую поверхность соприкасающаяся часть тактильного датчика следящего устройства быстро изнашивается, что приводит к частым переналадкам

Установка устройства в боксе из прозрачного материала не обеспечивает полноценный контроль за работой горелки, так как продукты разрушения и парогазовая смесь ухудшает видимость и не позволяет применить установки с визуальными дистанционными управлениями.

Из анализа литературных источников [5, 6] следует, что основными факторами, зависящими от параметров термоинструментов и влияющими на эффективность процесса разрушения при обработке и резке горных пород струйным способом, являются:

- мощность термоинструмента;
- угол наклона к поверхности;
- тип окислителя и его соотношение с горючим в топливной смеси;
- расстояние от среза сопла до поверхности;
- скорость движения термоинструмента.

А.П. Дмитриев, С.А. Гончаров [5] и др. приходят к выводу, что разрушающими являются сжимающие напряжения, которые на поверхности тела равны некоторому условному пределу прочности  $k_{сж}$ . Экспериментальным путем найдено:

$$k_{сж} = 0,8\sigma_{сж}, \tag{1}$$

где  $\sigma_{сж}$  – предел прочности горных пород при одноосном сжатии, Па.

Линейная скорость разрушения вглубь массива породы равна:

$$V = \frac{z_p}{t_p}, \tag{2}$$

где  $z_p$  – толщина отделившейся частицы, м;

$t_p$  – время между элементарными отделениями частиц, с.

В.С. Бобович и Б.В. Федоров рассматривают случай, когда факел равномерно передвигается по поверхности. Распределение теплового потока  $q$  факела они аппроксимируют нормальным законом:

$$q = q_m \exp(-kr^2), \tag{3}$$

где  $q_m$  – удельный тепловой поток в центре нормально-кругового источника тепла, Вт/м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент сосредоточенности источника тепла, характеризующий форму кривой нормального распределения, м<sup>-2</sup>;

$r$  – текущий радиус, м.

Линейная скорость разрушения пропорциональна удельному тепловому потоку:

$$V = C_n q_m, \quad (4)$$

где  $C_n$  – коэффициент, зависящий от свойств горных пород, м<sup>3</sup>/Дж.

Авторами рассмотрены процесс обработки горных пород при воздействии полосового источника тепла [7, 8]. Такая модель принимается для рассмотрения схемы обработки факелом с границей, параллельной заданной поверхности изделия. Производительность процесса описывается выражением:

$$W = \frac{C_n q_m^n \sqrt{\pi L_u}}{\sqrt{k^n}}, \quad (5)$$

где  $q_m^n$  – удельный тепловой поток на оси полосового источника с нормальным распределением в поперечном сечении, Вт/м<sup>2</sup>;

$L_u$  – длина полосового источника, м;

$k^n$  – коэффициент сосредоточенности поперечного сечения полосового источника, м<sup>-2</sup>.

Между тем, в подавляющем большинстве случаев обработка и резка производится подвижным факелом, с осью, расположенной под углом к поверхности. В работе [6] доказано, что обработка и резка наклонным факелом наиболее производительна.

Еще одним фактором, влияющим на производительность и качество термической обработки, является величина неровностей, образующихся на поверхностях горных пород. Б.Г. Березовским получены эмпирические зависимости параметров неровностей профиля обрабатываемой поверхности от угла наклона факела.

А также подмечено, что шероховатость поверхности, обработанной термическим способом, увеличивается с ростом размеров минеральных зерен гранита. Это связано с тем, что скорость разрушения зерна зависит от его минерального состава. В работе [6] указано на зависимость характера протекания термического разрушения от размера и состава минеральных зерен и других факторов, обуславливающих неоднородность горной породы.

При использовании ручных термоинструментов грубый сбой породы, т. е. операция, при которой важно достижение максимальной скорости разрушения, производится при  $\gamma = 45^\circ \div 60^\circ$ .

В работе [9] установлено, что с увеличением угла наклона оси факела к поверхности скорость разрушения горных пород возрастает, достигая максимума при  $50^\circ \div 60^\circ$ .

### Результаты исследования

Горелку ориентируют под углом  $15^\circ \div 45^\circ$  при чистовом сбое, когда важно достижение максимальной производительности обработки поверхности заготовок. При таких же углах наклона производится механизированная обработка широких плоскостей изделий. Факелом, параллельным заданной поверхности изделия, производят механизированную обработку узких плоскостей заготовок, а также осуществляют обработку углов изделий при ручной обработке. В этом случае угол между осью факела и поверхностью заготовки составляет  $0^\circ \div 15^\circ$ .

Скорость термической обработки породы возрастает с увеличением угла наклона оси факела к обрабатываемой поверхности [10]:

$$V_i = \frac{[0,06(k \lg P_k)]n}{\delta_i}, \quad (6)$$

где  $P_k$  – внутрикамерное давление (МПа);

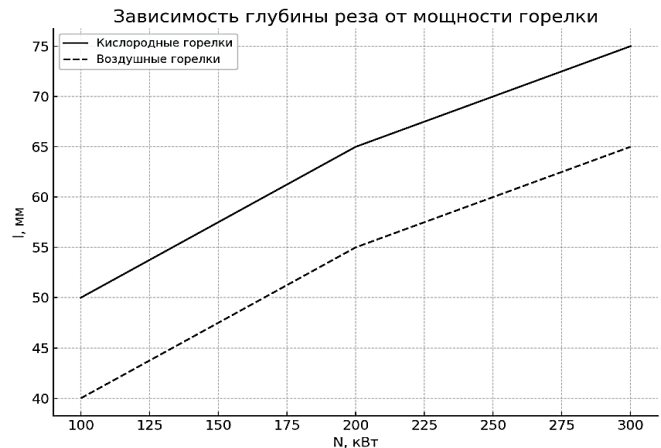
$k, n$  – коэффициенты, зависящие от крупности зерен, слагающих породу;

$c_n$  – удельная теплоемкость (м<sup>3</sup>/кДж).

Оптимальное расстояние от среза сопла до поверхности породы  $l_i$  в зависимости от потребляемой мощности термоинструмента, соответственно, для кислородной и воздушной горелок:

$$\begin{aligned} l_i^k &= 45,3 + 9 \cdot 10^{-5} N_i \\ l_i^b &= 29,1 + 9 \cdot 10^{-5} N_i. \end{aligned} \quad (7)$$

На рис. 1 приведен график зависимости оптимального расстояния от среза сопла горелки до поверхности породы от типа окислителя топливной смеси и потребляемой мощности термоинструмента. На нем видно, что при одинаковой мощности кислородные горелки обеспечивают большую глубину проплавления по сравнению с воздушными. Это подтверждает эффективность кислородных горелок при увеличении производительности плавки.



**Рис. 1. Зависимость оптимального расстояния от среза сопла горелки до поверхности породы от типа окислителя топливной смеси и потребляемой мощности термоинструмента.**

**Сурет 1. Термоқұралдың саптамасының кесіндісінен жыныс бетіне дейінгі оңтайлы қашықтықтың тотықтырғыш түріне отын қоспасына және жылу құралының қуат тұтынуына тәуелділігі.**

**Figure 1. Dependence of the optimum distance from the burner nozzle cutoff to the rock surface on the type of fuel mixture oxidizer and power consumption of the thermal tool.**

Однозначное значение оптимального расстояния от среза сопла до обрабатываемого изделия определить труд-

нее, так как оно меняется в зависимости от расходных характеристик факела и конструкции горелки.

Расстояние от среза сопла термоинструмента до обрабатываемой поверхности  $l$  также влияет на  $Q$  и  $N$ .

$Q_i$  – тепловая эффективность газовой струи:

$$Q_i = \frac{5\beta E l n[2\delta_i / (\delta_i - \varepsilon)]}{V_i \pi c \sigma_{сж} (1 - \mu) \delta_i}, \quad (8)$$

где  $N_i$  – потребляемая мощность:

$$N_i = \frac{Q_i}{\eta}, \quad (9)$$

где  $\beta = 1,35 \cdot 10^{-5}$  – коэффициент линейного термического расширения ( $1/^\circ\text{C}$ );

$E = 3,4 \cdot 10^4$  – модуль упругости (Па);

$C = 2,55$  – объемная теплоемкость ( $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ );

$\sigma_{сж} = 180$  – предел прочности на сжатие (МПа);

$\mu = 0,22$  – коэффициент Пуассона;

$\eta$  – коэффициент полезное действие источника тепла.

Согласно [10] скорость разрушения имеет наибольшее значение при скорости перемещения факела относительно поверхности равной  $0,005 \div 0,015$  м/с.

В практике использования ручных термоинструментов применяют технологию двухслойной обработки, при которой сначала снимают толстый слой породы (грубый сбой), а затем тонкий (чистовой сбой). Установлено, что при чистовом сбое заготовок предельное значение скорости перемещения горелки равно  $0,05$  м/с, при угле наклона  $\gamma = 50^\circ$ . Однако, при таком расположении горелки наблюдается резкое ухудшение качества ребер заготовок. Радиус их закругления составляют ( $50 \div 80$ ) мм, что приводит к увеличению потерь сырья до 40%. Меньшие значения радиусов закругления углов ( $R = 1 \div 20$  мм) наблюдается при  $\gamma = 5^\circ \div 30^\circ$ . Рекомендуемая, при пользовании механизированных установок термического действия, ориентация термоинструмента под углом  $30^\circ$ .

Обработку и резку горных пород поверхности пород механизированными установками позволяет применять горелки большей мощности, однако, при возрастании величин тепловых потоков, вводимых в породу, наблюдается раскалывание заготовок под действием термических напряжений.

### Обсуждение

Термический способ разрушения горных пород является эффективным методом для обработки и резки прочных каменных материалов, обеспечивая высокую производительность при умеренных энергозатратах и возможности

автоматизации процесса. Основным механизмом разрушения заключается в возникновении интенсивных температурных градиентов на поверхности породы, вызывающих внутренние напряжения и отделение частиц без необходимости контакта с инструментом.

Термическая обработка основана на резком локальном нагреве поверхности материала, что вызывает образование внутренних напряжений и приводит к отделению частиц без необходимости физического контакта с инструментом. Преимуществами такого метода являются его высокая скорость, возможность механизации и автоматизации процесса, а также снижение износа рабочих органов оборудования.

В данной работе были рассмотрены теоретические основы и экспериментальные данные, связанные с термоструйной обработкой горных пород, включая влияние различных факторов – угла наклона факела, теплового потока, типа горелки и минерального состава материала – на эффективность разрушения. Исследование направлено на определение оптимальных параметров процесса, что позволит повысить производительность и качество обработки изделий из камня.

### Заключение

На эффективность термообработки существенное влияние оказывают параметры термоинструмента, включая мощность, угол наклона факела, расстояние от среза сопла до поверхности, тип горючей смеси и скорость перемещения. Оптимальные значения этих параметров позволяют достичь наилучших результатов при минимальных потерях материала. Применение комбинированных методов – термического и механического разрушения – особенно целесообразно при обработке пород с неоднородной структурой или повышенными требованиями к чистоте поверхности.

Для повышения эффективности термообработки рекомендуется использовать механизированные установки с ориентацией горелки под углом  $30^\circ$  и мощностью до 300-400 кВт – эти параметры обеспечивают оптимальное сочетание производительности и качества обработки.

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании термоинструментов и разработке технологических режимов обработки горных пород, особенно в условиях серийного и крупномасштабного производства.

### Благодарность

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета Науки Министерства науки и высшего образования РК (грант № AP25796181).*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Genadiy Pivnyak, Volodymyr Bondarenko, Iryna Kovalevska. Новые разработки в горном машиностроении. Теоретические и практические решения по минеральным ресурсам // Книга майнинга: Пресса CRC, 2015. 616 с. (на английском языке)
2. Truong Dang Quang MSc. Текущая ситуация с добычей камня для строительных материалов в провинции Гуанг // Американский журнал инженерных исследований (AJER). 2022. Т. 11 (06). С. 80–85 (на английском языке)

3. De Silva R.V., Pathegama Gatage R., Anne Perera M.S. Альтернатива традиционным методам дробления пород с использованием SCDA: обзор // Энергии. 2016. Т. 9 (11). С. 958 (на английском языке)
4. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Нурымов Е.К., Букаева А.З. Современное состояние добычи блочного строительного камня из крепких горных пород // Сб. тр. XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. С. 90–95 (на русском языке)
5. Дмитриев А.П., Гончаров С.А., Германович Л.Н. Термическое разрушение горных пород: М.: Недра, 1990. 255 с. (на русском языке)
6. Поляков А.В. Разработка метода расчета эффективности процесса резания горных пород струями воды сверхвысокого давления и обоснование параметров устройства для их получения применительно к проходческим комбайнам: автореф. ... канд. техн. наук. 05.05.06: Тула, 2006. 20 с. (на русском языке)
7. Совершенствование огнеструйного способа резки горных пород при добыче блочного камня из гранитов / Поветкин В.В. [и др.] // Журнал «Поиск». 2017. № 1 (1). С. 176–182 (на русском языке)
8. Изучение термических камнерезных инструментов / Yerlik Nurutov [и др.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 8. С. 22–27 (на английском языке)
9. Инструменты для высокоскоростного термического напыления, используемые в технологических процессах и производствах / Amina Vukaeva [и др.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 10. С. 474–479 (на английском языке)
10. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Применение сверхзвуковых термоинструментов при ремонте трубопроводов // Сб. тр. XXIII международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века», Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. С. 84–89 (на русском языке)

#### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Genadiy Pivnyak, Volodymyr Bondarenko, Iryna Kovalevska. Тау-кен машиналарын жасаудағы жаңа әзірлемелер. Минералдық ресурстар бойынша теориялық және практикалық шешімдер // Майнинг кітабы: CRC Пресса, 2015. 616 б. (ағылшын тілінде)
2. Triuong Dang Quang MSc. Гуанг провинциясында құрылыс материалдары үшін тас өндірудің ағымдағы жағдайы // Американдық инженерлік зерттеулер журналы (AJER). 2022. Т. 11 (06). Б. 80–85 (ағылшын тілінде)
3. De Silva R.V., Pathegama Gatage R., Anne Perera M.S. SCDA пайдалану арқылы жыныстарды ұсақтаудың дәстүрлі әдістеріне балама: шолу // Энергия. 2016. Т. 9 (11). Б. 958 (ағылшын тілінде)
4. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Нурымов Е.К., Букаева А.З. Қатты тау жыныстарынан блокты құрылыс тасын өндірудің қазіргі жағдайы // «XXI ғасырдағы Машина жасау және техносфера XXIII халықаралық ғылыми-техникалық конференциясының еңбектер жинағы», Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. Б. 90–95 (орыс тілінде)
5. Дмитриев А.П., Гончаров С.А., Германович Л.Н. Тау жыныстарының термиялық бұзылуы: М.: Недра, 1990. 255 б. (орыс тілінде)
6. Поляков А.В. Аса жоғары қысымды су ағындарымен тау жыныстарын кесу процесінің тиімділігін есептеу әдісін әзірлеу және оларды алу үшін құрылғының параметрлерін ұңғымалық комбайндарға қатысты негіздеу: реферат. ... канд. техник. ғылымдар. 05.05.06: Тула, 2006. 20 б. (орыс тілінде)
7. Граниттен блокты тасты өндіру кезінде тау жыныстарын кесудің отты жару тәсілін жетілдіру / Поветкин В.В. [және т. б.] // «Поиск» журналы. 2017. № 1 (1). Б. 176–182 (орыс тілінде)
8. Термиялық тас кесетін құралдарды зерттеу / Yerlik Nurutov [және т. б.] // Journal Of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 8. Б. 22–27 (ағылшын тілінде)
9. Технологиялық процестер мен өндірістерде қолданылатын жоғары жылдамдықты термиялық бұрқу құралдары / Amina Vukaeva [және т. б.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. Т. 10. Б. 474–479 (ағылшын тілінде)
10. Поветкин В.В., Керимжанова М.Ф., Букаева А.З. Құбырларды жөндеу кезінде дыбыстан жоғары термоқаптарды қолдану // «XXI ғасырдағы Машина жасау және техносфера» XXIII халықаралық

ғылыми-техникалық конференциясының еңбектер жинағы, Донецк: МСМ, 2016. Т. 2. Б. 84–89 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Genadiy Pivnyak, Volodymyr Bondarenko, Iryna Kovalevska. *New Developments in Mining Engineering 2015. Theoretical and Practical Solutions of Mineral Resources // Mining Book: CRC Press, 2015. 616 p. (на in English)*
2. Truong Dang Quang MSc. *Current Situation of Stone Mining for Construction Materials in an Giang Province // American Journal of Engineering Research (AJER). 2022. V. 11 (06). 80–85 pp. (на in English)*
3. De Silva R.V., Pathegama Gamage R., Anne Perera M.S. *An alternative to conventional rock fragmentation methods using SCDA: a review // Energies. 2016. V. 9 (11). 958 p. (на in English)*
4. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Nurymov E.K., Bukaeva A.Z. *Sovremennoe sostoyanie dobychi blochnogo stroitel'nogo kamnya iz krepkiykh gornykh porod [Current state of extraction of block building stone from hard rocks], Sbornik trudov XXIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka» [Coll. proc. XXIII international scientific and technical conference «Mechanical engineering and technosphere of the XXI century»], Donetsk: MSM, 2016. V. 2. 90–95 pp. (in Russian)*
5. Dmitriev A.P., Goncharov S.A., Germanovich L.N. *Termicheskoe razrushenie gornykh porod [Thermal destruction of rocks], Moscow: Nedra, 1990. 255 p. (in Russian)*
6. Polyakov A.V. *Razrabotka metoda rascheta effektivnosti protsessa rezaniya gornykh porod struyami vody sverkhvysokogo davleniya i obosnovanie parametrov ustroystva dlya ikh polucheniya primenitel'no k prokhodcheskim kombainam: avtoref. ... kand. tekhn. nauk. 05.05.06 [Development of a method for calculating the efficiency of the process of cutting rock with ultra-high pressure water jets and substantiation of the parameters of the device for obtaining them as applied to tunneling machines: author's abstract ... Cand. tech. sciences. 05.05.06], Tula, 2006. 20 p. (in Russian)*
7. Povetkin V.V., Nurymov E.K., Bukaeva A.Z., Sermenov A.I. *Sovershenstvovanie ognestruinogo sposoba rezki gornykh porod pri dobyche blochnogo kamnya iz granitov [Improving the fire-jet method of cutting rocks during the extraction of block stone from granites], Zhurnal «Poisk» [Poisk Magazine]. 2017. No. 1 (1). 176–182 pp. (in Russian)*
8. *Study of thermal stonecutting tools / Yerlik Nurymov [et al.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. V. 8. 22–27 pp. (in English)*
9. *High velocity thermal spraying tools used in technological processes and productions / Amina Bukayeva [et al.] // Journal of Vibroengineering Procedia. 2016. V. 10. 474–479 pp. (на in English)*
10. Povetkin V.V., Kerimzhanova M.F., Bukaeva A.Z. *Primenenie sverkhzvukovykh termoinstrumentov pri remonte truboprovodov [Application of supersonic thermal tools in pipeline repair], Sbornik trudov XXIII mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii «Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka» [Coll. proc. XXIII international scientific and technical conference «Mechanical engineering and technosphere of the XXI century»], Donetsk: MCM, 2016. V. 2. 84–89 pp. (in Russian)*

Сведения об авторах:

**Букеева А.З.**, доктор Ph.D, ассоциированный профессор кафедры «Машиностроение и транспорт», Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова (г. Актау, Казахстан), [amina\\_bukaeva@mail.ru](mailto:amina_bukaeva@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0956-1552>

**Поветкин В.В.**, д.т.н., профессор кафедры «Машиностроение», Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан), [vv1940\\_povetkin@mail.ru](mailto:vv1940_povetkin@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-3872-3488>

Авторлар туралы мәліметтер:

**Букеева А.З.**, «Машина жасау және көлік» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, доктор Ph.D, Ш. Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті (Актау қ., Қазақстан)

**Поветкин В.В.**, «Машина жасау» кафедрасының т.ғ.д., профессоры, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

**Bukayeva A.Z.**, Ph.D, associate professor, department of Mechanical engineering and transport, Caspian university of technology and engineering named after Sh. Yessenov (Aktau, Kazakhstan)

**Povetkin V.V.**, doctor of technical sciences, professor, department of Mechanical engineering, Kazakh national technical university named after K.I. Satpayev (Almaty, Kazakhstan)