

УДК 622.236.3

**ВОЗМОЖНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОГО ОСЛАБЛЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В АЛМАЗНЫХ БУРОВЫХ КОРОНКАХ С УПРУГОЙ КОНСОЛЬЮ****<sup>1</sup>Ганкевич В.Ф., <sup>1</sup>Москалева Т.В., <sup>2</sup>Ливак О.В., <sup>2</sup>Кравец В.И.**<sup>1</sup>Национальный технический университет «Днепропетровская политехника», <sup>2</sup>Украинский государственный химико-технологический университет**МОЖЛИВА РЕАЛІЗАЦІЯ ТЕРМОЦИКЛІЧНОГО ОСЛАБЛЕННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД В АЛМАЗНИХ БУРОВИХ КОРОНКАХ З ПРУЖНОЮ КОНСОЛЛЮ****<sup>1</sup>Ганкевич В.Ф., <sup>1</sup>Москальова Т.В., <sup>2</sup>Лівак О.В., <sup>2</sup>Кравець В.І.**<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», <sup>2</sup>Український державний хіміко-технологічний університет**IMPLEMENTATION OF THE ROCK THERMAL CYCLIC WEAKENING IN THE DIAMOND DRILL BITS WITH AN ELASTIC CONSOLE****<sup>1</sup>Gankevich V., <sup>1</sup>Moskalova T., <sup>2</sup>Lyvak O., <sup>2</sup>Kravets V.**<sup>1</sup>National Technical University «Dnipro Polytechnic», <sup>2</sup>Ukrainian State University of Chemical Technology

**Аннотация.** В статье рассмотрена возможность использования термоциклического разупрочнения горных пород в буровых инструментах. Приведены краткие результаты теоретических и экспериментальных исследований по изучению процесса термоциклического воздействия на горные породы и модели из стекла. Полученные аналитические зависимости позволяют определять средний размер ячейки сотовой трещиноватости в зависимости от режимных параметров термоудара, свойств горной породы и оценивать эффективность использования знакопеременных тепловых способов разупрочнения или вписываемость их по времени в конкретный технологический процесс. Показано, что при бурении в фазе нагрева, с применением соответствующих фрикционных нагревательных элементов можно добиваться температур свыше 600 °С. Установлено, что фазой охлаждения разогретого участка горной породы можно добиться гарантированного растрескивания горной породы для последующего механического разрушения.

Приведены усовершенствованные конструктивные решения алмазных буровых коронок с упругой консолью, армированной термостойким фрикционным материалом. Целью предложенных изобретений является устранение недостатков работы известной конструкции алмазной буровой коронки, в процессе работы которой плотность контакта фрикционного покрытия уменьшается и, следовательно, снижается эффективность нагрева породы в целом под консолью. Поставленная цель достигается путем выполнения консоли (в первой предложенной конструкции термомеханического инструмента) по всей высоте многослойной – термометаллической и выполнения консоли (во второй предложенной конструкции термомеханического инструмента), выгнутой над корпусом коронки. Конструкции инструментов защищены патентами Украины.

В результате исследований влияния термоциклического воздействия на горные породы и стекло сделан вывод о снижении энергоемкости процесса их разрушения и появлении сетки трещин сотовой структуры.

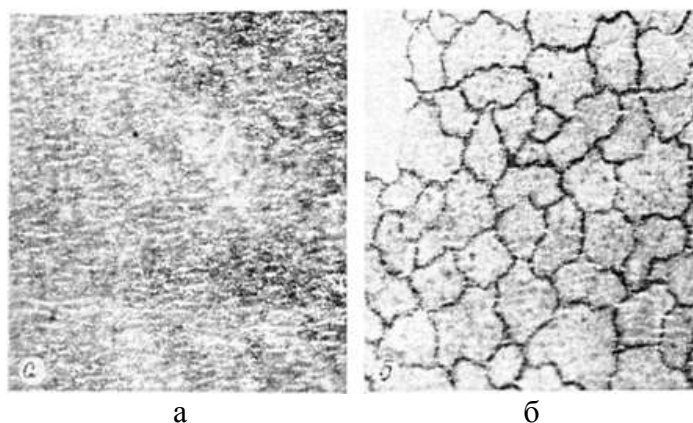
**Ключевые слова:** горная порода, термическое разрушение, бурение, трение, нагрев, охлаждение, алмазная коронка, разупрочнение, фрикционные элементы.

В процессе добычи и переработки полезных ископаемых на процессы связанные с разрушением горных пород приходится от 70 до 90% всех трудозатрат. Поэтому повышение эффективности разрушения горных пород является актуальнейшей задачей.

Известен исключительно эффективный способ воздействия на горные породы, основанный на резком охлаждении предварительно нагретых горных пород, речь идет о термоциклическом воздействии. В основе его лежит тот факт, что при резком охлаждении пород, в поверхностном слое развиваются

растягивающие напряжения, и фактом является то, что сопротивляемость горных пород разрыву (растяжению) в 10-60 раз ниже, чем сжатию. Поэтому, при определённых условиях порода просто рвёт трещинами. Разрывные напряжения будут тем выше, чем больше  $\Delta T$  – разность между температурами нагрева и охлаждения, чем выше интенсивность охлаждения (как правило, охлаждение водой), и чем дольше процесс воздействия охладителем.

Продолжая ранее известные нам исследования поведения горных пород в условиях резкого охлаждения [1], мы убедились, что поверхность горных пород при резком охлаждении покрывается сеткой макротрещин сотовой структуры. Плотность сетки (размер ячейки) зависит от условий охлаждения и свойств горной породы (рис.1).



а – поверхность до охлаждения; б – поверхность после охлаждения

Рисунок 1 - Сетка трещин в шокшинском кварците при поверхностном охлаждении

Нами проведены экспериментальные исследования по изучению характера образования сетки трещин на моделях из стекла. Если на нагретой поверхности выдерживать определенный режим охлаждения, то сетка трещин тем плотнее, чем выше разность температур между нагретой породой и охлаждающей средой. В результате решения соответствующей задачи нам удалось получить зависимость для определения среднего размера ячейки сотовой трещиноватости (1) в зависимости от режимных параметров термоудара и свойств горной породы

$$g = \frac{0,45K^2\sigma_c^2}{\pi^2\sigma_*^2\sigma_p^2} \quad (1)$$

где  $K$  - модуль сцепления материала;  $\sigma_c$  - предел прочности материала на сжатие;  $\sigma_*$  - максимальные растягивающие напряжения, возникающие в поверхностном слое;  $\sigma_p$  – предел прочности материала на растяжение.

Далее было установлено совпадение теоретических значений  $g$  и экспериментальных. Сравнение проводили на стекле, так как физико-механические характеристики стекла точно приведены в справочной литературе [Панасюк, В.В., 1968].

Сравнение значений  $g$  полученных экспериментально и теоретически как

для горных пород, так и для стекла показывает их достаточную сходимость. Например, для моделей из стекла сравнение экспериментальных и теоретических значений приведено на рис. 2.

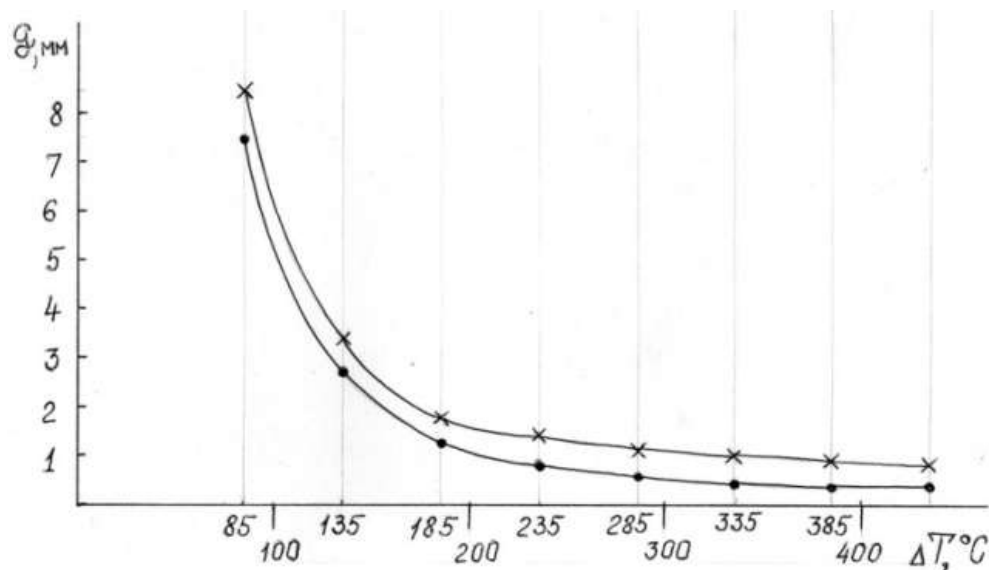


Рисунок 2 - Сравнение экспериментальных (\*) и теоретических (●) значений параметров сетки трещин в силикатном стекле при резком охлаждении.

Размер  $g$ , а следовательно и плотность сетки трещин на разрушаемой породе для различных горных пород существенно различаются при одних и тех же условиях термоудара охлаждением. Поэтому, для оценки разрушаемости горных пород при термоударе охлаждением нами выведен соответствующий критерий  $H$  (2).

$$H = 2,39 \frac{1}{a} \left( \frac{\gamma}{E} \right)^2 \left( \frac{1-\mu}{\beta} \right)^4 \quad (2)$$

Для различных горных пород значение  $H$  приведено в табл. 1.

Таблица 1. Значение параметра  $H$  в зависимости от физико-механических свойств горных пород

Горная порода	Параметр $H, \text{с} \cdot \text{K}^4$
Песчаник	$2,0 \cdot 10^{11}$
Диорит	$7,6 \cdot 10^9$
Оленегорский железистый кварцит	$1,1 \cdot 10^9$
Лебединский амфиломагниевого кварцит	$6,48 \cdot 10^8$
Гранит мелкозернистый	$2,59 \cdot 10^8$
Стекло	$7,94 \cdot 10^6$

Чем меньше значение  $H$  в таблице, тем выше плотность трещин в породе, тем больше, следовательно ослабление породы после термоудара.

Также установлено, что при резком охлаждении развиваются не только макротрещины, но и микротрещины подрастая в длину и ширину, т.е. процесс захватывает и мелкие структуры [Очертенко И.А., 1976].

Далее мы изучали, как же влияет термоудар охлаждением на механическую прочность пород при статических и динамических испытаниях, для оценки возможности встраивания термоудара в реальные технологические процессы разрушения горных пород. Испытывались образцы гранита и стекла. Изучалась прочность на сжатие и ударная вязкость (энергия разрушения).

Если речь идет о буровых технологиях, то в самом буровом инструменте в процессе его работы сконцентрирована большая энергия благодаря осевому усилию на инструмент и крутящему моменту. Большая часть этой энергии расходуется на выделение тепла в зоне резания, а меньшая часть идет непосредственно на сам процесс разрушения. Тепло перераспределяется между инструментом и породой, а затем нейтрализуется промывочной жидкостью или воздухом (если бурение выполняется с продувкой). Иными словами в буровом инструменте есть все для реализации термоциклического воздействия – тепло от трения инструмента о забой и охлаждение промывочной жидкостью.

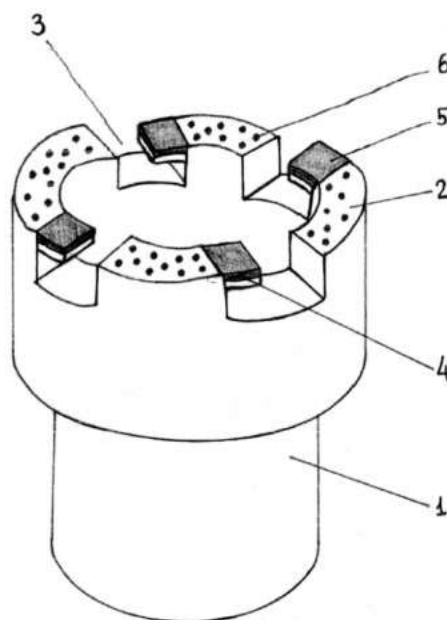
Следовательно, рабочий инструмент необходимо конструктивно выполнять таким образом, чтобы часть энергии использовалась на нагрев участка породы до высоких температур, затем этот участок должен резко охлаждаться промывочной жидкостью с растрескиванием породы и затем разрушаться механическими породоразрушающими элементами.

Нагревать участок породы можно трением, встроив в инструмент элементы трения. При этом, чем больше диаметр бурения, тем легче реализовать термоциклическое разупрочнение. Например, в алмазных коронках под режущими секторами развивается высокая температура в зоне резания. В любой алмазной коронке в той или иной степени реализуется термоциклическое разупрочнение. При прохождении сектора коронки над участком забоя он нагревается, затем, при прохождении промывочного окна этот участок резко охлаждается. Другой вопрос в том, что температура нагрева по соображениям стойкости алмазов должна быть как можно ниже. Режимы бурения и промывки подбираются таким образом, чтобы температура под сектором коронки не превышала  $600^{\circ}\text{C}$ , иначе наступает катастрофический износ режущих алмазов и выход из строя инструмента. Если часть сбегавшей части сектора выполнить в виде подпружиненной консоли и армировать её термостойким фрикционным материалом, то нагревать участок породы можно до любых температур без ущерба для инструмента.

Определенный интерес могут представлять алмазные коронки в которых сбегавшая часть сектора выполнена в виде упругой консоли, армированной термостойким фрикционным материалом в части, прилегающей к забою [2]. Такая консоль выполняет роль перегревателя породы перед попаданием на неё промывочного окна. По участку породы сначала проходит рабочая часть сектора коронки, армированная алмазами, срезает слой породы и разогревает обнаженную часть массива до определенной температуры (нагрев не должен превышать  $600^{\circ}\text{C}$ , по условию стойкости режущих алмазов). Затем по этому же участку скользит упругая консоль, армированная термостойким фрикционным материалом и разогревает слой породы еще больше

(температура может быть любой и ограничивается только лишь стойкостью фрикционного материала). Затем, над участком проходит промывочное окно, резко охлаждает и разупрочняет породу.

Предлагаемое первое конструктивное решение алмазной буровой коронки, защищенное патентом [3], обеспечивает усиление эффекта термомеханического воздействия на разрушаемую породу и достижение увеличения скорости бурения (рис. 3).

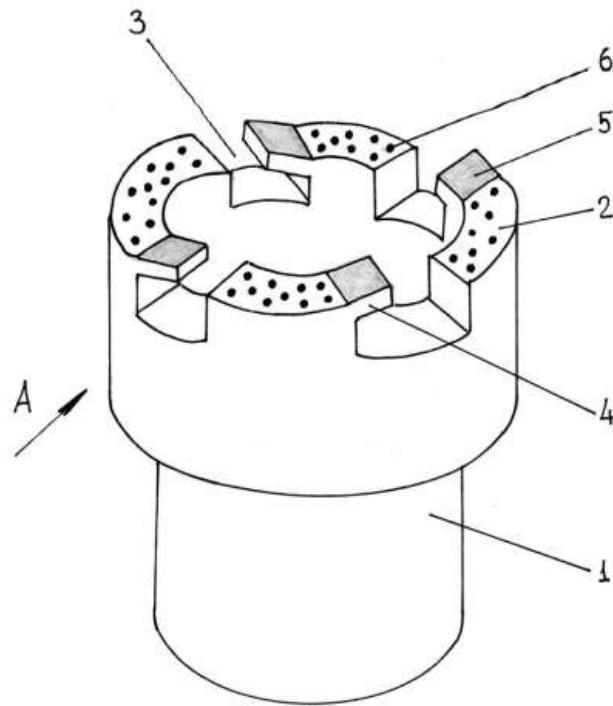


1 – корпус, 2 – алмазосодержащая матрица, 3-промывочные окна, 4- упругая консоль, выполненная из термобиметалла, 5 – фрикционное термостойкое покрытие, 6 –режущие алмазы

Рисунок 3 - Общий вид термомеханической алмазной буровой коронки с упругой консолью, выполненной из термобиметалла

Для предотвращения возможных негативных последствий температурных деформаций консоли, последняя выполняется по всей высоте многослойной – термобиметаллической, состоящей из слоев с заметно отличающимися коэффициентами теплового расширения. *Термобиметалл* — это материал, состоящий из двух или нескольких слоев металла или сплава с различными коэффициентами теплового расширения. Слой металла или сплава с большим коэффициентом теплового расширения называют активным, с меньшим — пассивным. Получение оптимальных свойств термобиметалла достигается подбором его активного и пассивного компонентов. Термобиметаллы технологичны: хорошо выдерживают штамповку, гибку, клепку, сварку.

Предлагаемое, второе конструктивное решение алмазной буровой коронки, защищенное патентом [4], гарантирует надежное прижатие фрикционной консоли к забою на протяжении всего периода работы коронки; создает перераспределение загрузки на забой в сторону консоли, что повышает эффективность нагрева участка породы под консолью (рис.4, 5). Чем сильнее консоль прижимается к забою, тем эффективнее работает инструмент.



1 – корпус, 2 – алмазосодержащая матрица, 3 – промывочное окно, 4- упругая консоль, 5 – фрикционное термостойкое покрытие, 6 –режущие алмазы

Рисунок 4 - Общий вид термомеханической алмазной буровой коронки с выгнутой консолью.

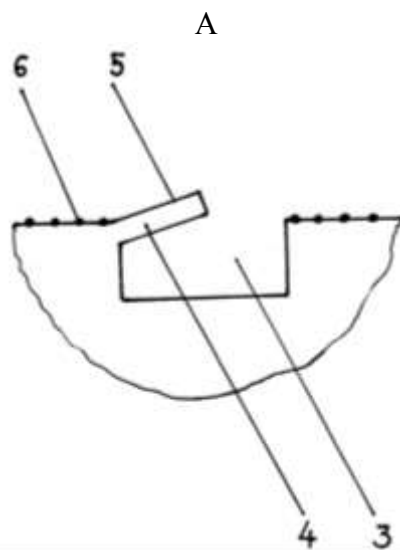


Рисунок 5 – Вид сбоку А на выгнутую консоль

Исследования [4] показали, что при нагреве крепких горных пород трением до температур  $600^{\circ}\text{C}$  и выше с последующим охлаждением водой при  $20^{\circ}\text{C}$ , микротвердость пород многократно снижается. Причем, тенденция падения микротвердости растет при увеличении разности температур между нагревом и охлаждением.

Для создания рабочих органов и технологий, основанных на термоциклическом ослаблении необходимы дальнейшие исследования

## поведення горних порід при різком охладженні.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кожевников А.А., Крисан В.В., Вахалин Ю.Н. [и др.] Разрушение горных пород при резком охлаждении. – Днепропетровск: ООО Лизунов Пресс, 2011. – 152с.
2. Пат. №125672 Україна, МПК E21B 10/46, E21B 7/14. Термомеханічний породоруйнуючий інструмент / Кожевников А.О., Кравець В.І., Вахалин Ю.М., Лівак О.В. - ДВНЗ УДХТУ – № u2017094275; Заявл. 26.09.2017; Опубл. 25.05.2018, бюл. № 10. - 3с.
3. Пат. № 131521 Україна, МПК E21B 10/46, E21B 7/14. Термомеханічний породоруйнуючий інструмент / Ганкевич В.Ф., Вахалин Ю.М., Лівак О.В. НТУ "Дніпровська політехніка" - № u201804859; Заявл. 03.05.2018; Опубл. 25.01.2019, бюл. № 2. – 3с.
4. Ермаков С.А., Федоров Л.Н., Ващенко Д.С., Скрыбин Р.М. Экспериментальные исследования разупрочнения крепких горных пород при нагреве трением фрикционных элементов термомеханической коронки // Горный, информационно – аналитический бюллетень (научно – технический журнал), 2010, № 7, с. 44 – 49.

## REFERENCES

1. Kozhevnikov A., Krisan V. and Vakhalin Yu. (2011), *Razrusheniye gornyykh porod pri rezkom okhlazhdenii* [The destruction of rocks with a sharp cooling], ALR Lizunov Press, Dnepropetrovsk, Ukraine.
2. Kozhevnikov A., Kravets V., Vakhalin Yu. and Livak O., Ukrainian State University of Chemical Technology (2018), *Termomekhanichny porodorozruyniyuchy instrument* [Thermomechanical tool for rock destruction]. Ukraine. Pat. 125672.
3. Gankevich V., Vakhalin Yu. and Livak O. National Technical University Dnipro Polytechnic (2019), *Termomekhanichny porodorozruyniyuchy instrument* [Thermomechanical tool for rock destruction], Ukraine. Pat. 131521.
4. Ermakov S., Fedorov L., Vaschenko D. and Skryabin R.M. (2010), „Experimental studies of the softening of strong rocks during friction heating of the friction elements of the thermomechanical crown», *Mining informational and analytical bulletin*, no. 7, pp. 44 – 49

## Об авторах

**Ганкевич Валентин Феоодсьевич**, кандидат технических наук, доцент, кафедра горных машин, НТУ «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, [gankevich@i.ua](mailto:gankevich@i.ua)

**Москалева Татьяна Витальевна**, кандидат технических наук, доцент, кафедра горных машин, НТУ «Днепропетровская политехника», Днепр, Украина, [moskalova@ua.fm](mailto:moskalova@ua.fm)

**Ливак Оксана Викторовна**, магистр, кафедра прикладной механики, Украинский государственный химико-технологический университет, Днепр, Украина, [Roxiki@i.ua](mailto:Roxiki@i.ua)

**Кравец Василий Иванович**, кандидат технических наук, доцент, кафедра прикладной механики, Украинский государственный химико-технологический университет, Днепр, Украина, [kravets@ua.fm](mailto:kravets@ua.fm)

## About the authors

**Gankevich Valentin Feodosevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Department of Mining Machines, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, [gankevich@i.ua](mailto:gankevich@i.ua)

**Moskalyova Tatiana Vitaliyevna**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Department of Mining Machines, National Technical University «Dnipro Polytechnic», Dnipro, Ukraine, [moskalova@ua.fm](mailto:moskalova@ua.fm)

**Livak Oksana Viiktorovna**, M.S (Tech.), Department of Applied Mechanics, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, [Roxiki@i.ua](mailto:Roxiki@i.ua)

**Kravets Vasilii Ivanovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Department of Applied Mechanics, Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnipro, Ukraine, [kravets@ua.fm](mailto:kravets@ua.fm)

**Анотація.** У статті розглянуто можливість використання термоциклічного зменшення міцності гірничих порід в бурових інструментах. Наведено короткі результати теоретичних і експериментальних досліджень з вивчення процесу термоциклічного впливу на гірничі породи і моделі зі скла. Отримані аналітичні залежності дозволяють визначати середній розмір осередку сотової тріщинності в залежності від режимних параметрів термоудару, властивостей гірничих порід та оцінювати ефективність використання знакозмінних теплових способів знеміцнення або вписуємості їх за часом до конкретного технологічного процесу.

Показано, що при бурінні у фазі нагрівання, із застосуванням відповідних фрикційних нагрівальних елементів, можна домогтися температур понад 600°C. Встановлено, що фазою охолодження розігрітої ділянки гірничої породи можна добитися гарантованого розтріскування гірничої породи для подальшого механічного руйнування.

Наведено удосконалені конструктивні рішення алмазних бурових коронок з пружною консоллю, армованої термостійким фрикційним матеріалом. Метою запропонованих винаходів є усунення недоліків роботи відомої конструкції алмазної бурової коронки, в процесі роботи якої щільність контакту фрикційного покриття зменшується і, отже, знижується ефективність нагріву породи в цілому під консоллю. Поставлена мета досягається шляхом виконання консолі (у першій запропонованій конструкції термомеханічного інструменту) по

всій висоті багатшарової - термобіметалевою і виконання консолі (у другій запропонованій конструкції термомеханічного інструменту), вигнутою над корпусом коронки. Конструкції інструментів захищено патентами України.

У результаті досліджень впливу термоциклічної дії на гірничі породи і скло зроблено висновок щодо зниження енергоємності процесу їх руйнування і появи сітки тріщин сотової структури.

**Ключові слова:** гірничі породи, термічне руйнування, буріння, тертя, нагрівання, охолодження, алмазна коронка, знеміцнення, фрикційні елементи.

**Annotation.** In the article, it is considered the possibility of using thermal cyclic rock weakening in drilling tools. Results of the theoretical and experimental studies of the process of thermal cycling effect on the rocks and glass models are briefly described. The obtained analytical dependences make it possible to determine average cell size of cellular fracture depending on operating parameters of thermal shock and rock properties. They also help to evaluate effectiveness of thermal methods used for the rock loosening with alternating-sign or fitting them over time to a specific process. It is shown that at drilling during the heating phase, temperature above 600° C can be achieved with the help of appropriate friction heating elements. It is also established that cooling phase of the heated section of the rocks can lead to rock cracking and further mechanical destruction.

The improved design solutions for diamond drill bits with an elastic console reinforced by the heat-resistant friction material are presented. Target of the proposed inventions is to eliminate drawbacks of the known diamond drilling bit design, working process of which is characterized by decreased density of friction coating contact and, consequently, followed by degradation of efficiency of the rock heating under the console. This target can be achieved by arranging a multilayer thermo-bimetallic console along the entire height (in the first proposed design of the thermo-mechanical tool) and console curved over the drilling bit body (in the second proposed design of the thermo-mechanical tool). These designs of the tools are protected by Ukrainian patents.

As a result of the study it is concluded that due to the thermal cycling effect on the rocks and glass, energy intensity of destruction is reduced and honeycomb-type grid of cracks is appeared.

**Key words:** rock, thermal destruction, drilling, friction, heating, cooling, diamond drilling bit, weakening, friction elements

*Стаття надійшла до редакції 25.04. 2018*

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук В.П. Надутим*