

УДК 622.236.3:621.791.947.037

Волошин О.І., чл.-кор. НАН України,

д-р техн. наук, професор

Потапчук І.Ю., магістр,

Жевжик О.В., канд. техн. наук, ст. наук. співр.

(ІГТМ НАН України)

**ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕРМОІНСТРУМЕНТА
З ДУГОВИМ ЕЛЕКТРИЧНИМ РОЗРЯДОМ В ПРОЦЕСІ РУЙНУВАННЯ
ГІРСЬКИХ ПОРІД**

Волошин А.И., чл.-кор. НАН Украины,

д-р техн. наук, профессор,

Потапчук И.Ю., магистр,

Жевжик А.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

(ИГТМ НАН Украины)

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОИНСТРУМЕНТА
С ДУГОВЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ В ПРОЦЕССЕ
РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД**

Voloshyn O.I., Cor. Member NASU,

D. Sc. (Tech.), Professor,

Potapchuk I.Yu., M.S. (Tech.),

Zhevzhyk O.V., Ph. D. (Tech.), Senior Researcher

(IGTM NAS of Ukraine)

**PROSPECTS OF THERMAL TOOL WITH ARC ELECTRIC DISCHARGE
USAGE IN PROCESS OF THE ROCK BREAKING**

Анотація. Метою роботи є аналіз перспективи та обґрунтування доцільності використання термоінструментів з дуговим електричним розрядом в процесах термічного розширення свердловин. Для цього на основі аналізу літературних джерел виконано порівняльний аналіз застосування різних термоінструментів для руйнування гірських порід, виявлено їхні переваги та недоліки. Визначено, що в порівнянні з іншими способами термічного руйнування гірських порід, руйнування породи за допомогою струмینی низькотемпературної плазми відрізняється розповсюдженням тріщин в породі на значну глибину, високими значеннями коефіцієнта тепловіддачі та питомого теплового потоку, компактністю устаткування. Виконано аналіз існуючих розв'язків інженерного моделювання термічного руйнування гірських порід. Визначено основні напрями удосконалення існуючих термоінструментів з дуговим електричним розрядом та технології термічного розширення свердловин. Отримані результати можуть бути використані для аналізу ефективності застосування термоінструментів з дуговим електричним розрядом в інших технологіях термічної обробки та руйнування матеріалів.

Ключові слова: термічне розширення, свердловина, термоінструмент, гірська порода, плазмотрон.

Вступ. Суттєвого зменшення міцності гірських порід при руйнуванні, зокрема, можна досягти завдяки нагріванню або охолодженню породи.

З огляду на продуктивність та витрати на здійснення різноманітних способів буріння та розширення свердловин, найбільше зацікавлення викликають термічні методи руйнування гірських порід.

Актуальність застосування термічних методів руйнування обумовлена широким спектром засобів для реалізації операції нагрівання або охолодження. Авторами визначних робіт в області термічного руйнування є М.С. Поляков, О.М. Москальов, М.М. Зеленський, О.В. Долгополов, Б.Д. Алимов, П.Р. Синдеев, Б.Б. Кудряшов, О.П. Дмитрієв, А.В. Бричкин, М.М. Попов, Л.І. Ваганов, В.І. Козлов, В.І. Жолнач та ін.

У випадках застосування термічних способів руйнування гірських порід продукти руйнування відокремлюються від масиву породи під впливом зсувних та розтягувальних термічних напруг.

Відомо, що границя міцності гірських порід на зсув та розтягування приблизно в 7...10 разів є меншою за границю міцності на стискування. Тому термічний спосіб руйнування гірських порід є найменш енерговитратним способом руйнування.

При підвищенні температури в зоні нагрівання поряд зі зниженням міцності та агрегатної твердості відбувається зниження крихкості породи, що дозволяє ефективно використовувати термічні методи руйнування гірських порід не тільки в процесах буріння, але й в процесах розширення (розбурювання) свердловин.

Передумови використання термоінструмента з дуговим електричним розрядом в процесі руйнування гірських порід. Найбільш ефективними в процесах розширення свердловин є термічні способи, зокрема, із застосуванням газоструминного нагрівання породи та використання для її нагрівання дугового електричного розряду, оскільки ефективність цих процесів майже не залежить від фізико-механічних властивостей гірських порід.

Дослідженню термічного способу руйнування гірських порід присвячена низка робіт [1-4].

Відомо, що питома об'ємна продуктивність плазмових пальників вища, ніж у пальників, що працюють на викопному паливі.

Зокрема, плазмові пальники мають наступні переваги:

- ширший діапазон регулювання теплових параметрів та концентрації потужності струмини;
- зменшений об'єм викидів шкідливих газів;
- спрощену систему автоматизації та організації обслуговування пальників.

Завдяки високій швидкості переміщення факела в свердловині, яка знаходиться в діапазоні 1,5...2,0 м/с, забезпечується середня швидкість зміни його температури в межах 3000...5000 °С/с. Такий тепловий вплив на поверхню гірської породи значно підвищує ефективність її термічного руйнування.

Практика вогневого буріння засвідчує, що більшість гірських порід в початковий момент впливу на них руйнуються шляхом лущення завдяки значному температурному градієнту, який є необхідним для крихкого

руйнування.

Процес крихкого руйнування забезпечується порівняно невеликими $(4...10) \cdot 10^3$ кВт/м², проте достатньо скупченими, з великим градієнтом по радіусу, питомими тепловими потоками.

Швидкість розширення свердловини залежить виключно від питомого теплового потоку і має функціональну залежність від нього в експоненціальному вигляді.

Розширення свердловин середньобуримих та важкобуримих порід за допомогою високотемпературної газової струмینی супроводжується крихким характером руйнування. Ефективність термічного крихкого руйнування гірських порід збільшується з підвищенням міцності породи, а витрати на реалізацію цього процесу зменшуються. Найбільша ефективність термічного способу руйнування гірських порід досягається в процесі розширення свердловин добре буримих порід в достатньо монолітному масиві.

Аналіз застосування різних термоінструментів для руйнування гірських порід. Існують способи детонаційного спалювання палива в пальниках.

Конструкція пальників дозволяє використовувати для механічного впливу на породу як прямі, так і відбиті детонаційні хвилі. Тепловий вплив струмینی збільшується за рахунок підвищення температури в зоні детонації до 3000К та швидкості підведення її до поверхні породи, що руйнується. Частота імпульсів струмینی продуктів згоряння палива знаходиться в діапазоні 50...5000Гц. Імпульсний вплив детонаційних хвиль та факела на поверхню породи спричиняє виникнення в середовищі породи знакозмінних навантажень, що сприяє більш ефективному руйнуванню породи.

Одним з основних недоліків даного способу є необхідність застосування приладу для створення імпульсів палива. Розташування такого приладу в безпосередній близькості від пальника значно ускладнює процес його переміщення в свердловині. Разом з тим пальник зазнає значного теплового впливу від продуктів згоряння палива. В свою чергу, розташування приладу для створення імпульсів палива на значній відстані від пальника призводить до дисипації енергії потоків палива та окисника, наслідком чого є зменшення ефективності імпульсного ефекту.

Відома специфічність розподілу поля термопружних напруг при нагріванні породи факелом пальника, яке полягає у значному збільшенні бічного сколення та, в меншому ступені, збільшення глибини зруйнованого шару. Параметри роботи пальника наступні: витрати гасу 77...133кг/год; кисню - 1050...1860 м³/год.

Суттєвим недоліком даного способу термічного розширення свердловин є використання кисню в якості окисника палива. Вартість стисненого кисню значно перевищує вартість повітря, що призводить до збільшення витрат на реалізацію способу та підвищення ризику виникнення пожежі.

Використання надзвукових струмін продуктів згоряння палива для розбурювання свердловин має суттєвий недолік, який стосується вибору

оптимальних геометричних та газодинамічних характеристик сопла для забезпечення ефективної передачі теплоти від надзвукових струмин до поверхні породи.

Відомі способи застосування в якості генераторів теплоти концентрованих пучків променевої енергії, яка утворюється високотемпературними печами або лазерами. Концентрація енергії, що генерується в таких пристроях, досягає $10^4 \dots 10^{12}$ Вт/см². Верхня межа температури нагрівання поверхні породи - 8000К.

Серед недоліків, притаманних лазерній техніці, можна відмітити її достатньо низький к.к.д.

Основними недоліками електронно-променевого способу нагрівання гірських порід є висока вартість устаткування та складність технічної реалізації процесу.

При застосуванні водяної пари в якості теплоносія для нагрівання поверхні свердловини, значний вплив на процес теплообміну спричиняють час теплового впливу, відстань від зрізу сопла до поверхні свердловини та кут нахилу сопла. Існуючі технічні засоби дозволяють організувати процес нагрівання поверхні лише за 0,5...1,0с. В межах вказаного проміжку часу теплового впливу, відстані від зрізу сопла до поверхні свердловини 4мм та куту нахилу сопла 60°, температура поверхні свердловини сягає 200...250°С при температурі водяної пари 300°С та її витраті 5,4...7,2кг/год. Час конденсації водяної пари на поверхні свердловини знаходиться в межах 0,2...0,3с.

Застосування термоінструментів з дуговим електричним розрядом для руйнування гірських порід. Для прорізування шпарин в породі відомо про використання плазмового пальника з наступними теплофізичними характеристиками факела: ефективна температура – 4000...7000°С; максимальний питомий тепловий потік – $1,2 \cdot 10^7$ Вт/м²; коефіцієнт тепловіддачі – до 14МВт/м² · К.

Наслідками використання плазмового пальника в процесі термомеханічного буріння було утворення тріщин до 0,1мм, які розповсюджувались на значну відстань (1...2см та більше) від каналу буріння.

Існує спосіб використання плазмотрона для термічного розширення свердловини з наступними параметрами: потужність – 20...60кВт, витрата повітря – 0,002...0,005кг/с, сила струму – 50...300А. Теплофізичні характеристики плазмотрона варіювались в наступних діапазонах: коефіцієнт тепловіддачі знаходився в межах 1,16...11,6МВт/(м² · К), питомий тепловий потік – в межах 1,16...58МВт/м².

Застосування в якості плазмоутворюючого газу повітряно-водяної суміші підвищує к.к.д. плазмотрона на 5...10% у порівнянні з к.к.д. плазмотронів, в яких використовується повітряна стабілізація дуги. Окрім цього, підвищуються теплофізичні параметри струмини, оскільки при додаванні води до повітря

відбувається її нагрівання та дисоціація. Під час охолодження газу поблизу поверхні, що нагрівається, спостерігається рекомбінація продуктів дисоціації з виділенням теплової енергії. Збільшення вмісту води підвищує ентальпію плазмової струмینی. Таким чином, використання водяної пари в якості плазмоутворюючого газу підвищить ефективність нагрівання породи.

Кут нахилу струмینی суттєво впливає на теплофізичні характеристики струмینی. Зростання кута нахилу струмینی до поверхні, що нагрівається, призводить до зменшення питомого теплового потоку. Нахил струмینی відносно поверхні, що нагрівається, на $20...25^\circ$ суттєво не зменшує тепловий потік до поверхні. Наслідком подальшого збільшення кута нахилу є значне зменшення теплового потоку.

Загальною рисою наведених варіантів технічних рішень щодо застосування термоінструментів з дуговим електричним розрядом для руйнування гірських порід є застосування струмін низькотемпературної плазми, які витікають з одного чи декількох сопел паралельно або під кутом до осі свердловини.

Аналіз існуючих розв'язків інженерного моделювання термічного руйнування гірських порід. Математичний опис аналітичних методів термічного руйнування та визначення оптимальних параметрів впливу на породу має низку специфічних особливостей, які необхідно враховувати при послідовному розв'язанні наступних задач аналітичної теорії термомеханічного руйнування:

- визначення поля температур, що наводиться генератором теплоти, зокрема, плазмотроном, в гірській породі під час її нагрівання;
- визначення поля термопружних напруг по визначеному полю температур;
- визначення сумарного поля термічних та механічних напруг з урахуванням впливу бічної поверхні свердловини;
- визначення поверхні руйнування та обсягу зруйнованої породи внаслідок термічного впливу на неї;
- вибір оптимальних параметрів генератора теплоти, умов теплообміну та режимів роботи термічного інструмента загалом.

Серед основних недоліків аналітичних розв'язків задачі термомеханічного руйнування гірських порід варто зазначити наступні:

- для відшукування розв'язків застосовується лінійна теорія пружності;
- поля термопружності та механічних напруг в гірських породах є лише моментальним станом перед руйнуванням;
- не враховуються прояви реологічних нелінійно-пружних, пружно-пластичних, пружно-крихких властивостей гірських порід;
- не враховується передача теплової енергії від термічного інструмента до суцільного масиву гірської породи крізь диспергований зруйнований матеріал породи, внаслідок чого виникає необхідність застосування в аналітичних моделях термічного руйнування низки положень, пов'язаних з динамікою сипкого середовища.

Таким чином, можливості аналітичного визначення оптимальних параметрів термомічного впливу на гірські породи обмежуються розв'язанням рівнянь

термопружності та контактних задач теорії міцності. Така постановка задачі є неприйнятною внаслідок складності врахування суттєвої зміни фізичних та теплофізичних властивостей гірських порід в процесах їх нагрівання та механічного навантаження.

Зокрема, в математичній моделі [5] лінійна швидкість крихкого термічного руйнування визначається за формулою:

$$v_p = \frac{dr}{d\tau} = \frac{\alpha(r) \cdot a_n}{\lambda_n} \cdot \left(\frac{t_{cpm}}{T_p} - 1 \right)$$

де r - поточний радіус свердловини; a_n - коефіцієнт теплопровідності гірської породи; t_{cpm} - середня температура теплоносія; T_p - температура поверхні породи в момент її руйнування.

Температура поверхні гірської породи в момент її руйнування залежить від властивостей породи і визначається наступним чином:

$$T_p = \frac{2 \cdot \sigma_c \cdot (1 - \nu)}{\beta \cdot E}$$

де σ_c - границя міцності гірської породи на одноосьове стискування; ν - коефіцієнт Пуассона гірської породи; β - коефіцієнт теплового розширення гірської породи; E - модуль пружності гірської породи.

Коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до поверхні свердловини визначається з критеріального рівняння:

$$Nu = 0,017 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr_m^{0,4} \cdot \left(\frac{Pr_m}{Pr_{cm}} \right)^{0,25} \cdot \left(\frac{d}{d_{in}} \right)^{0,18}$$

де Re - число подоби Рейнольдса; Pr_t , Pr_{ct} - число подоби Прандтля при визначальній температурі теплоносія та поверхні свердловини (стілки); d - поточний діаметр свердловини, що розширюється; d_{in} - діаметр терморозширювача.

Температура теплоносія у вихідному отворі терморозширювача перебувала в діапазоні 900...1400 °С, тиск теплоносія між терморозширювачем та поверхнею свердловини знаходився в межах 0,1...0,15 МПа. Початковий діаметр свердловини дорівнював 0,114 м.

Згідно з роботою [6] втрата стійкості прогрітого поверхневого шару гірських порід відбувається при досягненні температури поверхні породи:

$$T_p = \left[\frac{2 \cdot K_y \cdot (1 - \nu)}{\beta \cdot E} \right] + T_0$$

де K_y - умовна границя міцності гірської породи; T_0 - початкова температура породи.

Якщо в якості джерела теплоти використовуються високотемпературні газові струмини, що генеруються плазмотроном, проміжок часу від початку нагрівання поверхні гірської породи до моменту її руйнування внаслідок втрати стійкості визначається за формулою [6]:

$$\tau_p = \frac{\lambda_n^2}{a_n \cdot \alpha_{cp}^2} \cdot \left[\frac{0,78 \cdot \frac{T_p - T_0}{T_{cpm} - T_0} - 0,0143}{1,0081 - \frac{T_p - T_0}{T_{cpm} - T_0}} \right]$$

де λ_n - коефіцієнт теплопровідності гірської породи; a_n - коефіцієнт температуропровідності гірської породи; α_{cp} - усереднений по площі нагрівання коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до поверхні гірської породи; T_{cpm} - усереднена по площі нагрівання температура теплоносія.

У випадку термічного розширення свердловин в якості моделі масиву гірської породи приймається необмежене тіло, що нагрівається через поверхню циліндричної порожнини.

Проміжок часу від початку нагрівання поверхні гірської породи до моменту її руйнування внаслідок втрати стійкості визначається з рівняння [6]:

$$\frac{\tau_p}{\left(1 + \frac{1,6 \cdot a_n \cdot \sqrt{\tau_p}}{r_0} \right)} = \tau_{pcm}$$

де r_0 - початковий радіус свердловини, тобто радіус свердловини то її термічного розширення; τ_{pcm} - проміжок часу від початку нагрівання поверхні гірської породи до моменту її руйнування у випадку представлення поверхні свердловини в якості пласкої стінки.

В роботі [7] температуру поверхні породи в момент її руйнування пропонується розраховувати наступним чином:

$$t_p = \frac{t_{cpm}}{\frac{v_{in} \cdot c_{mpn}}{\alpha_{cp}} + 1} \quad (1)$$

де C_{mpn}^I - середня ізобарна об'ємна теплоємність гірської породи в діапазоні температур $t_0 \dots t_p$; α_{cp} - усереднений по площі крихкого термічного руйнування приведений коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до поверхні гірської породи; v_{in} - швидкість руху термічного інструмента вздовж осі свердловини.

Теплофізичні та геометричні параметри експериментальних досліджень були наступними:

- початковий діаметр свердловини та діаметр свердловини після термічного розширення знаходились в діапазонах $d_0 = 0,13 \dots 0,159 \text{ м}$ та $d_{роз} = 0,17 \dots 0,59 \text{ м}$ відповідно;

- швидкість руху термічного інструмента вздовж осі свердловини знаходилась в межах $v_{in} = 4 \dots 14 \text{ м/год}$;

- усереднений по площі крихкого термічного руйнування приведений коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до поверхні гірської породи сягав $\alpha_{cp} = 1370 \dots 11412 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Потрібно зазначити, що в формулі (1) значення середньої температури теплоносія $t_{ср\ m}$ та об'ємної швидкості крихкого руйнування (міститься у формулі (1) в неявному вигляді) приймаються сталими, що призводить до значної похибки при розрахунку температури поверхні породи в момент її руйнування.

Аналіз літературних джерел засвідчує, що у відомих пристроях з дуговим електричним розрядом для руйнування гірських порід діапазони експлуатаційних характеристик термоінструмента, ефективних режимів нагрівання, механічного навантаження та крихкого руйнування порід визначались, здебільшого, експериментальним шляхом.

За такого підходу до розв'язання задачі термічного розширення свердловин відсутнє теоретичне обґрунтування:

- плазмодинамічних характеристик струмینی при її взаємодії з поверхнею гірської породи;

- впливу швидкості пересування, плазмодинамічних і геометричних характеристик струмینی та свердловини на параметри крихкого термічного руйнування гірських порід;

- закономірностей взаємозв'язку між механічними та термічними напругами в гірських породах в процесі термічного розширення свердловин;

- механічних та теплофізичних властивостей гірських порід в процесах їх нагрівання та механічного навантаження;

- значень локальних та осереднених коефіцієнтів тепловіддачі від теплоносія, тобто струмینی плазми до поверхні свердловини.

Висновки. Серед відомих пристроїв термічного руйнування гірських порід вигідно виділяються термоінструменти з дуговим електричним розрядом, а саме плазмотрони. В порівнянні з іншими способами термічного руйнування

гірських порід руйнування породи за допомогою струмини низькотемпературної плазми відрізняється розповсюдженням тріщин в породі на значну глибину, високими значеннями коефіцієнта тепловіддачі та питомого теплового потоку, спрощеною системою автоматизації та дистанційного управління, компактністю термоінструмента.

Узагальнення конструктивних та технологічних недоліків відомих способів та пристроїв термічного руйнування гірських порід за допомогою термоінструментів з дуговим електричним розрядом дозволяє сформулювати основні вимоги до поліпшення показників їхньої роботи:

- запобігання взаємодії струмини плазми, при її витіканні, з плазмотроном з метою уникнення деформації вихідного отвору та зміни конфігурації струмини плазми;

- надійна робота термоінструмента при зміні фізичних та теплофізичних характеристик гірської породи в процесі її термічного руйнування;

- наявність системи управління процесом термічного руйнування гірських порід;

- підвищення ефективності використання енергії струмини плазми, тобто зниження параметрів (витрати та тиску) плазмоутворюючого газу;

- виконання термоінструментом функцій, спрямованих на зменшення витрат часу, необхідного для реалізації процесу термічного руйнування гірської породи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ищенко, К.С. Исследование механизма разрушения и структурные изменения в горных породах при их термическом нагружении / К.С. Ищенко, В.Я. Осенний // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов./ ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012.- Вып. 107.- С. 115-130.

2. Осенний, В.Я. Кинетические параметры физико-химических процессов термических превращений в горных породах при плазменном котлообразовании / В.Я. Осенний, Н.В. Осенняя // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов. / ИГТМ НАН Украины – Днепропетровск, 2012.- Вып. 97.- С. 125-134.

3. Ключник, В.Г. Исследование переходных характеристик плазменного оборудования в шахтных электрических системах / В.Г. Ключник, В.Я. Осенний // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов.- Днепропетровск, 2014.- Вып. 119.- С. 34-41.

4. Осенний, В.Я. Об одной модели создания котловой полости плазменным генератором тепла / В.Я. Осенний // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. трудов. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2012.- Вып. 98 - С. 254-262.

5. Дугарцыренов, А.В. Закономерности термического расширения взрывных скважин на карьерах / А.В. Дугарцыренов, А.А. Фурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2004.- №1.- С. 61-69.

6. Янченко, Г.А. К расчету времени единичного цикла поверхностного хрупкого термического разрушения горных пород / А.Г. Янченко, Г.Н. Степанчук, Е.С. Булычева // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2002.- № 10.- С. 1-3.

7. Янченко, Г.А. О параметрах термического разбуривания взрывных скважин в железистых кварцитах Костомукшского ГОКа при использовании эмульсионных взрывчатых веществ типа “Сибирит-1200” / Г.А. Янченко, А.В. Жаровкин, Е.С. Булычева // Горный информационно-аналитический бюллетень.- 2003.- № 9.- С. 1-5.

REFERENCES

1. Ishchenko, K.S., and Osenniy, V.Ya. (2012), “Investigation of the mechanism of destruction and structural changes in rocks at their thermal loading”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 107, pp. 115-130.

2. Osenniy, V.Ya. and Osennyaya, N.V. (2012), “Kinetic parameters of physical and chemical processes

of thermal transformations in rocks at a plasma chamber formation”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 97, pp. 125-134.

3. Klyushnik, V.G. and Osenniy, V.Ya. (2014), “Research of transitional characteristics of the plasma equipment in mine electric systems”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 119, pp. 34-41.

4. Osenniy, V.Ya. (2012), “About one model of creation of a chamber cavity by the plasma generator of heat”, *Geo-Technical Mechanics*, no. 98, pp. 254-262.

5. Dugartsyrenov, A.V. and Fursov, A.A. (2004), “Regularities of thermal expansion of explosive wells on open-pits”, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no. 1, pp. 61-69.

6. Yanchenko, G.A., Stepanchuk, G.N. and Bulycheva, E.S. (2002), “To the calculation of time of a single cycle of superficial fragile thermal destruction of rock”, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no. 10, pp. 1-3.

7. Yanchenko, G.A., Zharovkin, E.S. and Bulycheva, E.S. (2003), “About parameters of thermal drilling of explosive wells in ferriferous quartzites of Kostomukshsky GOK when using emulsion explosives like “Sibirit-1200””, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no. 9, pp. 1-5.

Про авторів

Волошин Олексій Іванович, чл.-кор. Національної академії наук України, доктор технічних наук, професор, заступник директора інституту, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, worldlab.eg@gmail.com

Потарчук Ірина Юрївна, магістр, молодший науковий співробітник у відділі вібропневмотранспортних систем і комплексів, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, potapchuk@ua.fm

Жевжик Олександр Владиславович, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник у Відділі вібропневмотранспортних систем і комплексів, Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (ІГТМ НАН України), Дніпро, Україна, teploenergopro@gmail.com

About the authors

Voloshyn Oleksii Ivanovych, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Deputy Director, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, worldlab.eg@gmail.com

Potapchuk Iryna Yuriivna, Master of Science, Junior Researcher in the Department of Vibropneumatic Transport Systems and Complexes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnipro, Ukraine, potapchuk@ua.fm

Zhevzyk Oleksandr Vladyslavovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Associate Professor, Senior Researcher in Department of Department of Vibropneumatic Transport Systems and Complexes, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, teploenergopro@gmail.com

Аннотация. Целью работы является анализ перспектив и обоснование целесообразности использования термоинструментов с дуговым электрическим разрядом в процессах термического расширения скважин. Для этого на основании анализа литературных источников выполнен сравнительный анализ применения различных термоинструментов для разрушения горных пород, определены их преимущества и недостатки. Определено, что по сравнению с другими способами термического разрушения горных пород, разрушение породы с помощью струи низкотемпературной плазмы отличается распространением трещин в породе на значительную глубину, большими значениями коэффициента теплоотдачи и удельного теплового потока, компактностью оборудования. Выполнен анализ известных решений инженерного моделирования термического разрушения горных пород. Определены основные направления усовершенствования существующих термоинструментов с дуговым электрическим разрядом и технологии термического расширения скважин. Полученные результаты могут быть использованы для анализа эффективности применения термоинструментов с дуговым электрическим разрядом в других технологиях термической обработки и разрушения материалов.

Ключевые слова: термическое расширение, скважина, термоинструмент, горная порода, плазмотрон.

Abstract. Objective of this study was to analyze prospects and expediency of using thermal tools with the arc electric discharge in processes of thermal reaming of boreholes. To this effect, and on the basis of analyzed literature, various thermal tools used for the rock breaking, their advantages and drawbacks were compared. It is determined, that, if to compare with other methods of rock thermal breaking, rock breaking by the jet of low-temperature plasma differs by fractures propagation into significant depth, greater values of convective heat transfer coefficient and specific heat flow, and compactness of the equipment. The known engineering models of the rock thermal breaking were analyzed. The key trends of improving the existing thermal tools with arc electric discharge and technologies of thermal reaming of boreholes are described. The obtained results can be used for analyzing efficiency of application of thermal tools with the arc electric discharge in other technologies of thermal treatment and destruction of materials.

Keywords: thermal expansion, hole, thermal tool, rock, plasma generator.

Статья поступила в редакцию 10.12. 2016

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук В.П. Надутым