

УДК 622.271.9

С. П. Мінець, д.т.н., проф., ORCID 0000-0003-1056-3352**В. Є. Антончик**, гол. конст. проект., ORCID 0000-0002-4161-9112*Інститут геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України***В. Ф. Ганкевич**, к.т.н., доц., ORCID 0000-0002-8535-6318*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».***О. В. Лівак**, ст. викл., ORCID 0000-0002-5552-6531*Український державний хіміко-технологічний університет ГВУЗ УГХТУ***В. Я. Кіба**, ст. викл., ORCID 0000-0003-2014-3140**О. В. Куц**, студент, ORCID 0000-0002-7827-5114**Д. Р. Захарова**, студент, ORCID 0000-0003-2558-0032*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка».*

ПОШУК МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН У МІЦНИХ ГІРСЬКИХ ПОРОДАХ

Анотація. Метою роботи є винайдення способу та розробка інструменту ефективного буріння міцних та особливо міцних порід з найменшими витратами як енергії так і коштів на буровий інструмент. У даний час, у гірських породах найбільш трудомістким та дорогим є буріння свердловин у міцних та особливо міцних породах. Попри багаточисленні спроби вирішити проблему буріння міцних гірських порід, ефективного рішення цієї проблеми поки що не знайдено. Проблема полягає в тому, що для введення бурового інструменту в ці породи потрібне значне зусилля та робота з руйнування цих порід. Для цього необхідна висока міцність та зносостійкість бурового інструменту, що обмежено властивостями відомих матеріалів, що застосовують. Рішенням даної проблеми може бути розміщення міцних та буріння свердловин в особливо міцних гірських породах, шляхом переведення їх у напружений стан або створення в них сітки тріщин, що значно зменшить зусилля та роботу із введення інструменту в породу, а також його абразивний знос. У даній статті запропоновано новий спосіб та пристрій для створення тріщин на поверхні забою у міцних гірських породах для подальшого їх буріння способом різання. Наведено короткий опис нового способу ударно ріжучого буріння міцних гірських порід. Надано ескізні кресленняки невідомого раніше пристрою ударно ріжучого буріння міцних гірських порід та наведено опис його роботи. Вказано переваги даного способу та пристрою – у рішенні проблеми буріння міцних гірських порід.

Ключові слова: долово ударно-ріжуче, зубці, буріння свердловин, гірські породи, сітка тріщин.

Посилання для цитування: Пошук методів підвищення продуктивності буріння свердловин у міцних гірських породах / С. П. Мінець, В. Є. Антончик,

В. Ф. Ганкевич, О. В. Лівак, В. Я. Кіба, О. В. Куц, Д. Р. Захарова // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2022. Вип. 36. С. 499-506. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-499-506.

Вступ. У даний час, у гірських породах найбільш трудомістким та дорогим є буріння свердловин у міцних та особливо міцних породах. Попри багаточисленні спроби вирішити проблему буріння міцних гірських порід, ефективного рішення цієї проблеми поки що не знайдено. Проблема полягає в тому, що для введення бурового інструменту в ці породи потрібне значне зусилля та робота з руйнування цих порід. Для цього необхідно висока міцність та зносостійкість бурового інструменту, що обмежено властивостями матеріалів, що застосовують, котрі порівняно швидко зношуються. Швидкий абразивний знос бурового інструменту призводить до його затуплення, що потребує ще більших зусиль та роботи з його введення у породу та її руйнування. Рішення даної проблеми може бути у розміщенні міцних та особливо міцних гірських порід, шляхом переведення їх у напружений стан або створення у них сітки тріщин, що дозволить значно зменшити енергоємність їх руйнування та відповідно зменшити знос інструменту.

Аналіз відомих досліджень. Одним з перших способів буріння міцних твердих порід було термічне буріння, [1] суть якого полягала в тому, що поверхня забою нагрівалася до високих температур за короткий проміжок часу. Це призводило до розширення верхнього шару породи, виникненню в ньому напруги і відколюванню нагрітого шару породи. Недоліки цього методу полягають в тому, що не всі породи руйнуються при поверхневому нагріванні: деякі просто починають плавитися, крім того, із загальної кількості тепла, яке використовується для нагріву породи, в неї надходить тільки 5 - 10%. Зі збільшенням вартості енергоносіїв (нафтових похідних: бензину, газу) такий спосіб буріння став економічно не вигідним навіть в порівнянні з механічним бурінням. У даний час, термічне буріння використовується тільки для створення порожнини в свердловинах, що складно зробити механічним інструментом.

Наступний спосіб буріння міцних і особливо міцних порід був термомеханічний [2, 3], який полягає в тому, що порода нагрівається до температури близько 3000 - 5000^oC (нижчої в порівнянні з тепловим методом) для створення в ній теплового розширення та напруженого стану і після чого буріння проводиться механічним буровим інструментом, зазвичай як правило, шарошковими долотами. Термомеханічний спосіб буріння дозволив збільшити швидкість буріння свердловини в 1,8 - 2,5 рази. Але цей спосіб буріння міцних та особливо міцних порід також має суттєві недоліки. Деякі з недоліків цього методу ті ж, що і у термічного буріння, тобто із загальної кількості тепла, яке витрачається на нагрівання породи, в неї надходить тільки 15 - 20%, що при збільшенні вартості

енергоносіїв значно збільшує витрати на буріння. Другим та найважливішим недоліком термомеханічного способу буріння є високий ступінь зносу механічного буріння, оскільки, поверхню забою нагрівають високотемпературним струменем газу й інструмент працює в зоні високої температури, що погіршує як властивості твердосплавних штирів озброєння шарошкових доліт, так і роботу підшипника долота. Все це призводить до швидкого зносу механічного бурового інструменту, його частоті заміни і значного збільшення вартості бурових робіт, які стають більше, ніж звичайне механічне буріння.

Наступний спосіб термомеханічного буріння – кріогенне буріння [4, 5], який полягає в швидкому охолодженні поверхні забою гірської породи, що призводить до її стиснення, появи в ній розтягуючих напружень та утворення сітки тріщин на поверхні забою. Подальше буріння відомими механічними інструментами призводить до більш легкого руйнування породи і збільшення швидкості буріння за менших енерговитрат. Недоліком такого способу буріння є те, що охолодження поверхні здійснюється низькотемпературними рідинами, зокрема рідким азотом, в результаті чого буровий інструмент і його тверді сплави працюють в зоні низьких температур, що значно знижує його міцність та призводить до швидкого зносу, або поломки. Крім того, витрати енергії та інших коштів на отримання рідкого азоту, який використовується для охолодження породи, дуже значні, що робить такий спосіб буріння економічно не вигідним.

У даний час, для буріння міцних і особливо міцних порід використовуються механічні бурові інструменти трьох видів ріжучого та двох видів ударно-обертальної дії, до яких відносяться бурові долота для пневмоударників і шарошкові бурові долота. Ударно-обертальний спосіб буріння [6-8], передбачає створення в породі заглиблень (лунок), які повинні перекриватися, за рахунок цього знімається певний шар породи та відбувається буріння. Для створення заглиблень (лунок) в міцних і особливо міцних породах необхідний сильний удар бурового інструменту по породі, що вимагає значних енергетичних витрат і достатньої міцності інструменту. Енергія удару використовується дуже не раціонально, оскільки, в результаті створення лунки більша частина енергії витрачається на надмірне подрібнення породи об'єму лунки до стану порошка. До недоліків буріння пневмоударниками можна віднести високу витрату стисненого повітря на створення потужного удару, енергія якого в сучасних пневмоударниках використовується на 20 - 25%, що значно збільшує вартість свердління. Окрім цього, тертя об поверхню забою долотчастої коронки притиснутої до нього приводить до швидкого її затуплення та зносу.

Свердління шарошковими долотами [6-8], вимагає значно менше стиснутого повітря (тільки для видалення продуктів руйнування), але саме шарошкове долото має відносно невеликий термін використання, через знос підшипників та зубків озброєння і вимагає регулярної заміни, в той

час як його вартість досить висока.

Відомо, що найбільш ефективно буріння гірських порід здійснюється ріжучими долотами [9], яке передбачає спочатку вдавлювання різців в породу, а потім їх обертання і відколювання породи, при цьому процес вдавлювання різців в породу повинен відбуватися постійно, але у випадку буріння міцних та надміцних порід буріння різанням не ефективно через значні зусилля на заглиблення різців в породу, що зумовлює напруження в них близькі до межі міцності їхнього матеріалу. Різання міцних та надміцних порід з таким зусиллям притискання до забою, разом з обертанням, призводить до швидкого абразивного зносу різців.

Мета роботи. Таким чином, метою роботи є знайдення способу та розробка інструменту ефективного буріння міцних та особливо міцних порід з найменшими витратами як енергії так і коштів на буровий інструмент.

Основний матеріал. Аналізуючи відомі способи та пристрої для руйнування міцних та особливо міцних гірських порід, автори статті прийшли до висновку, що правильне рішення про попереднє розміщення шару міцних гірських порід, котрий руйнується в процесі буріння, реалізується складним та дорогим способами та пристроями, у результаті чого проблема залишається не вирішеною. Як відомо, одним з найпростіших та ефективніших способів створення тріщин у міцних гірських породах є удар. Проте, як зазначалося раніше, ударне буріння потребує значних витрат енергії та призводить до швидкого зносу інструменту саме через значну енергію удару, що необхідна для створення заглиблення (лунки) та за рахунок перекриття заглиблень зняття шару породи.

Нове рішення проблеми буріння міцних гірських порід полягає у тому, щоб здійснювати зняття породи у два етапи. Спочатку ударом бурового інструменту створити на поверхні забою систему тріщин, а потім знімати шар породи звичайним ріжучим інструментом при цьому, в напрямку обертання бурового долота за ударним інструментом одразу слідує ріжучий інструмент. Особливість такого способу буріння в тому, що ударний інструмент не бурить, тобто утворює заглиблення, а лише потім створює на поверхні забою систему тріщин. Далі відбувається зрізання шару гірської породи звичайним ріжучим інструментом, при цьому і введення і подальше сколювання відбувається у тріщинуватій гірській породі, де її руйнування відбувається на вільну поверхню тріщин, що утворюються у результаті перевищення межі міцності породи від дотичних напружень, які у 5-10 разів менше нормальних напружень.

У даний час, ударно-обертове буріння міцних гірських порід відбувається загалом за рахунок подолання межі міцності від нормальних напружень стиску міцних гірських порід значення яких для даних порід дуже високі. Для реалізації даного способу буріння розроблено спеціальний пристрій – долото ударно-ріжуче, які зображено на рис. 1-3.

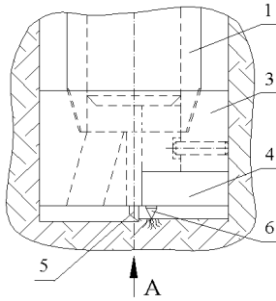


Рисунок 1 – Загальний вигляд пристрою у вигляді з боку.

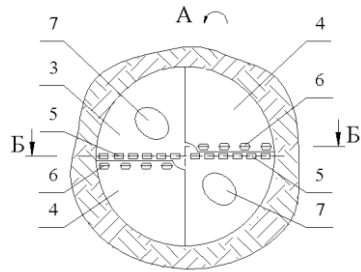


Рисунок 2 – Вигляд А пристрою на вигляді знизу.

Позначення: на рис. 1-3

- 1 – пневмоударник;
- 2 – бойок;
- 3 – корпус долота;
- 4 – коронка;
- 5 – ріжучий зубок;
- 6 – долотчатий зубок;
- 7 – отвори для продувки;
- 8 – фіксатор.

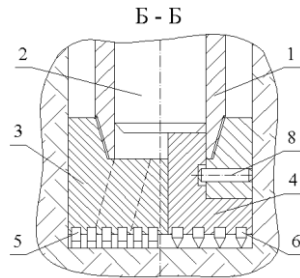


Рисунок 3 – Розріз Б-Б пристрою.

Пристрій збирається та працює наступним чином. На корпус пневмоударника 1 накручують корпус долота 3 і вставляють коронки 4, які утримуються в корпусі 3 за допомогою фіксатора 8 рис. 3. Долото притискають до поверхні забою з необхідним зусиллям і вмикають пневмоударник 1 шляхом подачі в нього стиснутого повітря. Бойок 2 починає наносити удари по коронці 4 і долотчаті зубки 6 б'ють по породі поверхні забою створюючи на ній сітку тріщин рис. 1-3. Разом з цим повітря з пневмоударника через отвори для продувки 7 попадає на поверхню забою і виносить продукти руйнування гірських порід. Після цього вмикають обертання бурового ставу, а разом з ним пневмоударника 1 і ударно ріжучого долота. Буріння здійснюється ріжучими зубками 5 по тріщинуватій породі поверхні забою, що значно зменшує витрати енергії на буріння, знос ріжучих зубків 5 та збільшує швидкість буріння рис. 1-3. Частота ударів пневмоударника узгоджується з швидкістю обертання долота так, щоб на поверхні забою створювалась суцільно сітка тріщин.

Висновки

Розроблені спосіб та пристрій дозволяють успішно вирішити проблему буріння свердловин у міцних та особливо міцних гірських породах та мають наступні переваги:

– розміщення породи відбувається найменш енерговитратним способом – ударами коронки з долотчатими зубками невеликої енергії, але достатньої на створення сітки тріщин у породі на потрібну глибину, при цьому значно знижується знос коронки та її обладнання – долотчатих зубців;

– буріння, тобто зняття шару породи, також відбувається найменш енерговитратним способом – різанням тріщинуватої породи, шляхом її відколювання на вільну поверхню, при цьому суттєво знижується знос ріжучих зубців;

– ударно-ріжуче долото є достатньо простим пристроєм, що складається з відомих, перевірених у роботі елементів – пневмоударника з коронкою і долота з ріжучими зубцями, поєднання яких, в одному пристрої, не має технічних складнощів.

Трудомісткість виготовлення ударно-ріжучого долота та його вартість не перевищує вартість існуючих ударно-оберткових та ріжучих долот, проте дане долото споживає значно менше стиснутого повітря та електроенергії для своєї роботи і має суттєво менший знос обладнання, тобто долотчатих та ріжучих зубців. Нове технічне рішення способу та пристрою буріння свердловин у міцних та особливо міцних породах дозволяє збільшити швидкість буріння та суттєво знизити його вартість.

Перелік посилань

1. Основы механизма термического разрушения горных пород. Новые физические методы разрушения минеральных сред. Недра, Ленинградское отделение: Ленинград, 1970. С. 36-39.
2. А. с. СССР № 473814 Е 21 С 21/10. Устройство для термомеханического бурения скважин А. А. Галяс, Н. М. Трегубов, Н. М. Сторожук. Опубл. 18.09.75 БИ № 22.
3. Галяс А. А., Полуянский С. А. Основы термомеханического разрушения горных пород. Наукова думка : Киев, 1972. С. 18-22.
4. О предельных разрывных напряжениях как критерии разрушения горных пород при резком охлаждении / Д. Л. Васильев, О. В. Ливак, В. И. Кравец, В. Ф. Ганкевич, А. В. Куц // Геотехнічна механіка. 2020. Вип. 150. С. 127-135.
5. Патент 131521 Україна, МПК E21B 10/46, E21B 7/14. № u201804859 Термомеханічний породоруйнуючий інструмент. Заявл. 03.05.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2. 3 с.
6. Патент RU № 2391483 E21B 10/08. Буровое шарошечное долото / Смирнов В. Г., Смирнов И. В., Панин Н. М. Опубл. 10.06.2010, Бюл. № 12.
7. АС. СССР № 969883 E21B 10/02 Буровое долото / Кагарманов Н. Ф., Веселков П. С., Хамзин Ш. Х., Матвеев Г. И. Опубл. 30.10.82, Бюл. №40.
8. АС. СССР № 802502 E21B 10/16. Буровое шарошечное долото / Ахтырский В. В., Гарин Е. Н., Юдин А. С. Опубл. 07.02.81, Бюл. № 5.
9. Крапивин М. Г. Резцы для сверления шпуров. Горные инструменты, Москва : Недра 1979. С 58-60.

References

1. Brichkin A.V., Genbach A.N., Perevertun V.V., Rosliakov T.V. Osnovy mekhanizma termicheskogo razrusheniia gornykh porod. Novye fizicheskie metody razrksheniia

- mineralnykh sred.* Nedra, Leningradskoe otdelenie: Leningrad, 1970. P. 36-39.
2. A. s. USSR No. 473814 E 21 C 21/10. *Ustroistvo dlia termomekhanicheskogo bureniia skvazhin* / A. A. Galias, N. M. Tregubov, N. M. Storozhuk. Opubl. 18.09.75 BI No. 22.
 3. Galias A. A., Poluianskii S. A. *Osnovy termomekhanicheskogo razrusheniia gornykh porod.* Naukova dumka: Kiev, 1972. P. 18-22.
 4. O predelnykh razryvnykh napriazheniakh kak kriterii razrusheniia gornykh porod pri rezkom okhlazhdenii / D. L. Vasilev, O. V. Livak, V. I. Kravets, V. F. Gankevich, A. V. Kutc // *Geo-technical Mechanics*, 2020. No. 150. P. 127-135.
 5. Patent 131521 Ukraine, MPK E21B 10/46, E21B 7/14. № u201804859 *Termomekhanichnii porodoruiniuchii instrument.* Zaiavl. 03.05.2018; opubl. 25.01.2019, Biul. No. 2. 3 p.
 6. Patent RU № 2391483 E21B 10/08. *Burovoe sharoshechnoe doloto* / Smirnov V. G., Smirnov I. V., Panin N. M. Opubl. 10.06.2010, Biul. No. 12.
 7. AS. USSR № 969883 E21B 10/02. *Burovoe doloto* / Kagarmenov N. F., Veselkov P. S., Khamzin Sh. Kh., Matveev G. I. Opubl. 30.10.82, Biul. No. 40.
 8. AS. USSR № 802502 E21B 10/16. *Burovoe sharoshechnoe doloto* / Akhtyrskii V. V., Garin E. N., Iudin A. S. Opubl. 07.02.81, Biul. No. 5.
 9. Krapivin M. G. *Reztcy dlia sverleniia shpurov.* *Gornye instrumenty*/ Moskva: Nedra 1979. P. 58-60.

S. P. Mineev, D. Sc. (Tech.), Professor, ORCID 0000-0003-1056-3352

V. E. Antonchik, Chief Designer of the Project, ORCID 0000-0002-4161-9112

*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov
of National Academy of Sciences of Ukraine*

V. F. Hankevych, Ph. D. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0002-8535-6318

National Technical University "Dnipro Polytechnic"

O. V. Livak, Senior Lecturer, ORCID 0000-0002-5552-6531

Ukrainian State University of Chemical Technology

V. Y. Kiba, Senior Lecturer, ORCID 0000-0003-2014-3140

O. V. Kuts, Student, ORCID 0000-0002-7827-5114

D. R. Zakharova, Student, ORCID 0000-0003-2558-0032

National Technical University "Dnipro Polytechnic"

FINDING WAYS TO IMPROVE PRODUCTIVITY DRILLING WELLS IN STRONG ROCKS

Summary. The purpose of the work is to invent a method and develop a tool for effective drilling of strong and especially strong rocks with the least expenditure of both energy and money for the drilling tool. Currently, in rocks, the most time-consuming and expensive is drilling wells in strong and especially strong rocks. Despite numerous attempts to solve the problem of drilling strong rocks, an effective solution to this problem has not yet been found. The problem is that the introduction of drilling tools into these

*"Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії". 2022. Випуск 36
"Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy". 2022. Collection 36*

rocks requires considerable effort and work to destroy these rocks. This requires high strength and durability of the drilling tool, which is limited by the properties of known materials used. The solution to this problem may be to strengthen strong and drill wells in particularly strong rocks by transferring them to a stressed state or creating a grid of cracks in them, which will significantly reduce the effort and work to introduce the tool into the rock, as well as its abrasive wearout. This article proposes a new method and device for creating cracks on the mine face surface in durable rocks for their further drilling by cutting. A brief description of the new method of impact-cutting drilling of strong rocks is given. Sketch drawings of a previously unknown device for impact-cutting drilling of strong rocks are provided and a description of its work is given. The advantages of this method and the device are indicated – in solving the problem of drilling strong rocks.

Key words: shock-cutting bit, teeth, drilling wells, rocks, mesh cracks.

For citation: Poshuk metodiv pidvyshchennia produktyvnosti burinnia sverdlovin u mitsnykh hirskykh porodakh [Finding ways to improve productivity drilling wells in strong rocks] / S. P. Mineev, V. E. Antonchik, V. F. Hankevych, O. V. Livak, V. Y. Kiba, O. V. Kuts, D. R. Zakharova // *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*. 2022. Collection 36. P. 499-506. [In Ukrainian]. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-499-506.

Стаття надійшла до редакції збірника 01.11.2022 р.

Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 5 від 20.12.2022 р.)