

- layers of powdered wires of the Fe-Cr-B-C system for impact loads]. *Problemy trybolohii – Problems of Tribology*, 4 (78), 105–113 [in English].
4. Pokhmurskaia H. V., Student M. M., Voitovych A. A., Student A. Z., Dziubyk A. R. (2016) Vliyaniye vysokochastotnykh mekhanicheskikh kolebaniy yzdelyia na strukturu y uznosostoikost naplavlennoho metalla Kh10R3H2S [The effect of high-frequency mechanical vibrations of the product on the structure and wear resistance of the deposited metal X10B3Mn2Si]. *Avtomatycheskaia svarka – Automatic welding*, 10, 22–27 [in English].
 5. Pokhmurska H. V., Student M. M., Dziubyk A. R., Voitovych A. A., Khlopyk O. P. (2016) Koroziiina tryvkist vibronaplavlennoho metalu z poroshkovykh drotiv bazovoi systemy Fe-Cr-B [Corrosion resistance of vibrofluidic metal from core wires of Fe-Cr-B base system]. *Fiz.-khim. mekhanika materialiv – Physico-Chemical Mechanics of Materials*, 5 (52), 83–87 [in English].

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-148-157

О. М. Давиденко, д-р техн. наук, **А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук

*Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького,
19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: davidenko.a.n@ntu.one*

МЕХАНІКА ЕФЕКТИВНОГО РУЙНУВАННЯ ГІРСЬКИХ ПОРІД ШАРОШКОВО-ЛАНЦЮГОВИМИ ДОЛОТАМИ

Лабораторними і аналітичними прийомами досліджень встановлено та обґрунтовано основоположні принципи конструювання високопродуктивних комбінованих доліт, а також розглянуто ключові аспекти механіки елементарного акту руйнування гірської породи з максимальним урахуванням її механічних властивостей та оцінкою впливу середовища руйнування.

Розроблено конструкцію комбінованого ланцюгового дискового долота з можливістю саморегулювання його робочого органу та забезпеченням значної ефективності механізму руйнування різних за твердістю гірських порід. Аналітично та практично доведено, що під дією робочого органу комбінованого долота в гірській породі виникає напруга зсуву, яка призводить до генерування пружних хвиль руйнування, у міру поширення яких частина енергії витрачається на здійснення роботи руйнування, а інша її частина, змінюючи напрям руху, розсіюється в масиві. Показано, що до параметрів хвилі, які визначають процес руйнування, слід віднести напругу, інтенсивність, тривалість і спектральний склад. Встановлено та формалізовано наявність механізму поширення пружної хвилі в гірській породі і його супроводження безперервним поглинанням енергії середовищем і явищем дисперсії. Доведена достатня технологічність комбінованих доліт, особливо за умов зменшення коефіцієнта поглинання, зменшення непродуктивних втрат, що переводять енергію хвилі в тепло, збільшення відведення енергії з інструменту в породу.

Механізм поглинання енергії породою значною мірою визначає характер процесу руйнування; за умов значного поглинання, навіть при короткочасних навантаженнях, процес може вважатися квазістатичним, якщо ж поглинання енергії мале – порівняно тривалі навантаження призводять до динамічного режиму руйнування.

Отримані результати лабораторних і аналітичних досліджень є базовими для проектування конструктивних характеристик окремих вузлів комбінованих доліт. Дані з механіки руйнування гірських порід є основою подальших дослідницьких робіт з розробки

технологічних заходів експлуатації доліт за умов варіювання властивостей масиву та самого робочого середовища.

Ключові слова: комбіноване долото, механізм руйнування, гірська порода, напруга, енергія, пружна хвиля.

Успішний розвиток економіки України неможливий без потужної мінерально-сировинної бази, для створення якої потрібне збільшення об'ємів і продуктивності основного виду геологорозвідувальних робіт – буріння свердловин.

Виробничий цикл буріння свердловин різного призначення складається з великої кількості трудомістких, енергоємних, складних і дорогих процесів: руйнування гірської породи на забої; видалення зруйнованої породи з-під торця породоруйнівного інструменту і транспортування її на поверхню; підтримка стінок свердловини в стійкому стані; спуску і підйому бурового інструменту. Останній названий вид операцій виробничого циклу спорудження свердловин є найтривалішим за часом, а крім того, достатньою мірою трудомістким. [1].

Аналіз досвіду буріння свердловин різного призначення показав, що високі техніко-економічні показники окремих процесів і усього циклу в цілому можуть бути досягнуті, зокрема, при використанні породоруйнівного інструменту високої стійкості, який має значний ресурс роботи на забої.

Конструктивні і інші особливості породоруйнівного інструменту багато в чому визначаються глибиною свердловини і її призначенням. З усієї номенклатури породоруйнівного інструменту для проходки свердловин різного призначення шарошкові долота можна вважати, мабуть, найголовнішими і найбільш поширеними. Шарошкові долота, як за конструкцією, так і за технологією виготовлення, є найскладнішими з усього інструменту для буріння свердловин [2].

У машинобудуванні важко знайти аналогічний інструмент, умови роботи якого були б такими ж складними і практично неконтрольованими, як у бурових шарошкових доліт. Значна енергоємність руйнування гірських порід спричиняє високу міру енергетичної навантаженості елементів конструкції доліт, особливо опор шарошок.

Тому однією з основних причин виходу доліт з ладу є руйнування опорних підшипників. З метою усунення вказаного недоліку був початий випуск шарошкових дискових доліт.

На відміну від звичайних шарошкових доліт, дискові дозволяють при одному і тому ж діаметрі долота розмістити потужніші опори. Крім того, диски доліт обертаються навколо своєї осі з числом обертів, значно меншим за число обертів шарошок звичайних доліт, що позитивно позначається на стійкості їх опор і дозволяє збільшити їх працездатність.

Посилення опорного вузла відкрило шлях до подальшого вдосконалення дискових шарошкових доліт у напрямі збільшення їх робочої площі. Це було реалізовано в конструкції дискового ланцюгового долота [3], яка характеризується наступним. У лапах такого долота закріплено дві осі – верхня і нижня, на яких розміщені зірочки і зубчасті диски відповідно. Зубчастий ланцюг, що сполучає в єдину кінематичну систему зірочки і диски, є основним породоруйнівним елементом, роль допоміжного грають зуби дисків. Технічно і конструктивно виправдана довжина ланцюга дозволяє істотно збільшити ресурс роботи долота на забої. В той же час, сфера застосування дискових ланцюгових доліт обмежена м'якими і середніми породами, де їх основна перевага – значний ресурс роботи – проявляється найяскравіше. При переході в твердіші породи запропоноване технічне рішення конструкції ланцюгового долота багато в чому неприйнятне. Аналіз механізму руйнування різних за твердістю порід і кінематики роботи доліт дозволив дійти висновку, що доцільною є розробка двох типів ланцюгових доліт – для проходки виключно твердих порід і розбурювання розрізів м'яких порід з твердими пропластками.

Мета статті – розгляд конструктивних параметрів комбінованого шарошково-ланцюгового дискового долота і особливостей механіки його роботи на забої свердловини.

При проведенні досліджень використовувалась комплексна аналітико-експериментальна методика, яка дозволяє отримувати цілком об'єктивні дані щодо взаємодії окремих конструктивних елементів шарошково-ланцюгових доліт. Вплив промивних рідин на процеси при бурінні свердловин обумовлений, в основному, адсорбцією, що може носити фізичний або хімічний характер. Для вивчення явищ, які протікають на границі розподілу «гірська порода – промивна рідина», було застосовано метод ІЧ-спектроскопії, в основі якого лежить принцип залежності утворення хімічних сполук від зв'язку між адсорбційним поведінням і електронною будовою адсорбенту й адсорбату.

Узагальнення вітчизняного і зарубіжного досвіду проходки свердловин в породах, що чергуються за твердістю, дозволило виділити два основні прийоми. Перший полягає в застосуванні різних типів доліт, відповідних породам, що руйнуються. Другий – у використанні доліт з комбінованим озброєнням. Перший варіант характеризується значним збільшенням часу, необхідного на спускопідймальні операції, що зрештою негативно позначається на техніко-економічних показниках будівництва свердловини. Застосування доліт з шарошками, оснащеними комбінованим озброєнням, призводить до зниження механічної швидкості буріння, порівняно з її показниками, досягнутими використанням однотипних доліт у відповідних породах.

Із сказаного можна зробити висновок – конструкція долота повинна передбачати почергове включення в роботу тих або інших породоруйнівних елементів, відповідно до механічних характеристик руйнованих порід, що дозволить звести до мінімуму недоліки існуючих методів проходки.

Згідно з поставленими умовами, на кафедрі техніки розвідки РКК (НТУ «Дніпровська політехніка») розроблена конструкція комбінованого ланцюгового дискового долота. При цьому враховувалася необхідність виконання наступних вимог: можливість саморегулювання робочого органу, ефективний механізм руйнування різних за твердістю гірських порід, тривалий термін роботи долота на забої [4].

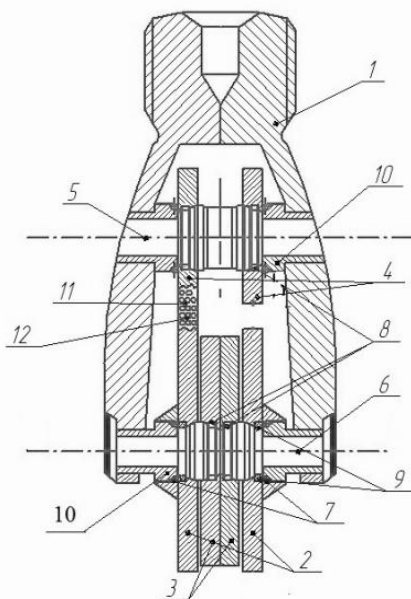


Рис. 1. Загальна схема шарошково-ланцюгового долота

На рис. 1 представлена загальна конструктивна схема долота, де 1 – лапи, 2 – диски, 3 – шарошки, 4 – зірочки, 5 – допоміжна вісь, 6 – ексцентрична вісь, 7 – підшипники кочення, 8 – підшипники ковзання, 9 – спеціальні вкладиші, 10 – замкові втулки, 11 – ланцюги, 12 – зубки, 13 – ізольовані порожнини вкладишів.

Долото працює таким чином: при його вторгненні в м'які гірські породи ланцюги, на зовнішній поверхні яких розміщені зубки, здійснюють руйнування забою свердловини. Ланцюги кінематично пов'язані з породоруйнівними дисками і зірочками, які розміщені на верхній допоміжній осі за допомогою підшипників кочення. Зовнішня поверхня дисків виконана зубчастою. З одного боку, зубки дисків є сполучною ланкою між ними самими і ланцюгом, що виключає

прослизання в системі «диск – ланцюг», а з іншого боку, зубки дисків – це додаткові породоруйнівні елементи долота. Самі ланцюги є зубчастими пластинками, шарнірно сполученими між собою. Породоруйнівні диски, шарошки і зірочки вільно обертаються на осях.

Принцип саморегулювання долота був реалізований у вузлі компонування породоруйнівних дисків з ексцентричною віссю.

Диски посаджені на нижню вісь за допомогою спеціальної конструкції підшипника ковзання, яка є двома ободами – зовнішнім і внутрішнім, між якими вставлений вкладиш.

Для пояснення механізму саморегулювання, особливості конструктивного виконання підшипника ковзання слід розглянути детальніше. Вкладиш вказаного підшипника виконаний порожнистим із спеціальної механічно міцної гуми. В процесі зборки підшипника його порожнисті камери заповнюються спеціальним середовищем через канали високого тиску, сформовані у вкладиші. Положення вкладиша відносно самих дисків і осі долота має бути строго витримане при компонуванні конструкції. Це є необхідною умовою роботи механізму саморегулювання.

Стисливість середовища, що заповнює порожнини вкладиша, може бути забезпечена за рахунок насичення відповідних технічних масел інертними газами, наявність яких потрібна для запобігання фізико-механічним перетворенням в робочому середовищі.

З схеми долота видно, що диски з ланцюгами мають певний виліт за контактну поверхню шарошок – це необхідно для забезпечення їх роботи виключно в м'яких породах. При переході в твердіші породи здійснюється вертикальне переміщення дисків з ланцюгами, тобто їх відхід за робочу поверхню шарошок. Цей процес здійснюється за рахунок наявності в опорах дисків вкладишів, і проходить він за наступною схемою. Вертикальне переміщення дисків вгору викликає певне скорочення об'ємів нижньої порожнини і збільшення верхньої. Відповідно до вказаного, в нижній порожнині газу в середовищі розчиняються, а у верхній – виділяються, що сприяє безперешкодному переміщенню дисків з ланцюгами вгору. Коефіцієнт стискування середовища, що заповнює порожнини вкладишів підшипників ковзання, повинен в обов'язковому порядку корелювати з механічними характеристиками – твердістю або категорією за буримістю порід. Вказані характеристики можуть бути визначені за ДСТУ 12288 або методом ЦНДІГРІ. Процеси, що відбуваються в порожнинах вкладишів, є оборотними.

Такий механізм саморегулювання дозволяє розбурювати тверді пропластки шарошками, оснащеними необхідним озброєнням.

При виборі робочого середовища необхідно враховувати: його в'язкість, діапазон робочих температур і тисків, допустиму тривалість експлуатації, вартість робочого середовища. Підбір інертних газів повинен відбуватися в строгій відповідності до їх коефіцієнта розчинності в цьому робочому середовищі.

Реалізований в конструкції долота принцип саморегулювання дозволяє без зміни типу доліт проходити як м'які і середні породи, так і тверді пропластки. Досягається рівномірний розподіл роботи руйнування м'яких і твердих порід між дисками з ланцюгами і шарошками відповідно. Крім того, долото може бути використане багаторазово за рахунок оперативної заміни його основних робочих органів – ланцюгів, навіть в польових умовах.

Тепер перейдемо до питань механіки руйнування гірських порід проєктованим долотом. У найзагальнішому випадку руйнування забою свердловини відбувається за рахунок багатократної силової дії інструменту, внаслідок чого в породі розвивається система тріщин, тому твердість її знижується, і періодично виникають умови для об'ємного руйнування. Більшість гірських порід можна віднести до розряду неоднорідних тріщинуватих крихких тіл, руйнування яких починається поблизу включень і тріщин внаслідок локальної концентрації напруги. На практиці значні зрушення і руйнування виникають внаслідок розвитку поверхонь ковзання (тобто тріщин). У механіці утворення і розвитку тріщин

розглядають три їх типи: відриву, зрушення і зрізу [5]. При руйнуванні гірських порід в процесі буріння свердловин мають місце усі типи тріщиноутворення, проте переважають тріщини відриву і зрушення. Були проведені експерименти з дослідження впливу середовища на процес зародження і розвитку тріщин відриву і зрушення.

Як критерій для оцінки впливу середовища на процес тріщиноутворення використовували критичне значення коефіцієнта інтенсивності напруги при вершині тріщини (K_{Ic}), залежного від міцності і пружних характеристик матеріалу, початкових розмірів тріщин, і на величину якого чинить вплив середовище. В'язкість руйнування для тріщин відриву в нескінченних пластинах визначається виразом

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a}, \quad (1)$$

де σ_c – руйнівна нормальна напруга; a – лінійний розмір тріщини.

Для пластин кінцевих розмірів

$$K_{Ic} = \sigma_c \sqrt{\pi a} \cdot f\left(\frac{a}{W}\right), \quad (2)$$

де W – ширина пластини.

У основу експерименту покладений відомий спосіб визначення в'язкості руйнування при триточковому вигині.

Для такої схеми навантаження коефіцієнт K_{Ic} визначається виразом

$$K_{Ic} = \frac{P_c S}{BW^{3/2}} \left[2,9 \left(\frac{a}{W}\right)^{1/2} - 4,6 \left(\frac{a}{W}\right)^{3/2} + 21,8 \left(\frac{a}{W}\right)^{5/2} - 37,6 \left(\frac{a}{W}\right)^{7/2} \right], \quad (3)$$

де P_c – руйнівне зусилля; B – висота зразка; S – довжина ділянки навантаження.

При $a \ll W$ членами полінома (3) вищих мір можна нехтувати

$$K_{Ic} = 2,9 \frac{P_c S}{BW} \sqrt{a}, \quad (4)$$

Якщо величина K_{Ic} є мірою тріщиностійкості матеріалу, то величина $\psi(a) = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{a}}$ може служити характеристикою тріщиностійкості конкретного зразка з цього матеріалу

$$\psi(a) = \frac{K_{Ic}}{\sqrt{a}} = 2,9 \frac{P_c S}{BW} = \alpha P_c, \quad (5)$$

де $\alpha = 2,9 \frac{S}{BW^2}$ – коефіцієнт, що характеризує геометричні розміри зразка.

Як видно з (5), $\psi(a)$ є лінійною функцією руйнівного навантаження P_c . При цьому для зразків з одного матеріалу з однаковими початковими розмірами концентраторів напруги (тріщин) справедлива наступна залежність

$$\psi(a_1) = \psi(a_2) = \psi(a_3) = \dots, \quad (6)$$

Лінійний характер виразу (5) дозволяє використовувати для характеристики властивостей міцності зразків значення руйнівного навантаження, а залежність (6) – порівнювати між собою зразки з різними геометричними розмірами.

Дійсно, на основі (6) ми можемо записати

$$\alpha^* P_c^* = \alpha_1 P_{c1} = \alpha_2 P_{c2} = \dots, \quad (7)$$

де α^* – деяке приведенне значення коефіцієнта, що характеризує геометричні розміри зразка; P_c^* – відповідне цим розмірам приведенне навантаження.

З (7) маємо

$$P_c^* = P_{c1} \frac{\alpha_1}{\alpha^*} = P_{c2} \frac{\alpha_2}{\alpha^*} = \dots, \quad (8)$$

або

$$P_c^* = P_{ic} K_i, \quad (9)$$

де $K_i = \frac{\alpha_i}{\alpha^*} = \frac{B^* W^{*2}}{B_i W_i^2}$ - коефіцієнт приведення; $i = 1, 2, 3 \dots n$ - номер дослідження; n - кількість досліджень в експерименті.

Якщо середовище впливає на процес зародження і розвитку тріщини, то для зразків з однаковими розмірами тріщин, що руйнуються в різних середовищах, залежність (6) виконуватися не буде, тобто

$$\psi'(a) \neq \psi''(a), \quad (10)$$

$$P_c^{*'} \neq P_c^{*''}. \quad (11)$$

Детальний аналіз механізмів руйнування порід при спорудженні свердловин дає підставу вважати, що в їх основі лежать хвилеві процеси.

Під дією робочого органу в гірській породі виникає напруга зсуву, що призводить до генерування пружних хвиль; особливо це стосується ланцюгового інструменту. У міру поширення хвилі частина енергії витрачається на здійснення роботи руйнування, а інша її частина, змінюючи напрям руху, розсіюється в масиві.

До параметрів хвилі, що визначають процес руйнування, слід віднести напругу, інтенсивність, тривалість і спектральний склад. Поширення пружної хвилі в гірській породі характеризується безперервним поглинанням енергії середовищем і явищем дисперсії.

Процес поглинання енергії хвилі складний і включає цілий ряд явищ, що призводять до перетворення енергії пружної хвилі в тепло. Спад енергії хвилі за рахунок здійснення роботи руйнування залежить від міцності породи і може бути охарактеризований як енергопоглинання або коефіцієнт поглинання, що визначає первинний стан породи.

Механізм поглинання енергії породою значною мірою визначає характер процесу руйнування. Якщо поглинання велике, то навіть при короткочасних навантаженнях процес може вважатися квазістатичним. Якщо ж поглинання енергії мале, то і порівняно тривалі навантаження призводять до динамічного режиму руйнування. Процес руйнування гірських порід дуже енергоємний; чим більше поглинається енергії на здійснення роботи руйнування, тим інтенсивніше він протікає.

Для кожної форми хвилі є оптимальна тривалість, для якої може бути знайдена ширина зони руйнування, що визначається тільки енергією хвилі і відповідає найбільшому об'єму зруйнованої породи і найбільшому коефіцієнту корисної дії.

При дії інструменту на породу остання у свою чергу впливає на інструмент, генеруючи в ньому хвилі стискування-розтягування, які призводять до накопичення втомної напруги в інструменті і виходу його з ладу. Збільшення довговічності інструменту може бути досягнуте за рахунок підвищення його питомої енергоємності руйнування, зменшення коефіцієнта поглинання, зменшення непродуктивних втрат, що переводять енергію хвилі в тепло, збільшення відведення енергії з інструменту в породу.

Процес поглинання енергії при руйнуванні гірських порід може бути описаний рівнянням

$$dI = -[\beta I + \chi(I - I_r)^n] dx, \quad (12)$$

де β - коефіцієнт розсіювання пружної хвилі.

Величина показника міри n для неоднакових порід може бути різною, так само, як і величина межі витривалості.

Інтенсивність хвилі може спадати за рахунок дисипативних втрат, розсіяння енергії і роботи руйнування, що дає підставу прийняти допущення, що перший член рівняння (12) пропорційний непродуктивним втратам, а другий характеризує роботу руйнування

$$dI_2 = \chi(I - I_2)^n. \quad (13)$$

Проте якщо дисипативні втрати входять і в другий член, то і вони можуть бути враховані виразом

$$\chi_{\text{полн}} = \chi + \theta, \quad (14)$$

де θ – робота руйнування.

Для визначення роботи руйнування (θ) необхідно вирішити диференціальне рівняння

$$I' + \alpha I + \chi(I + I_2)^n = 0 \quad (15)$$

Зробимо заміну змінних

$$I_1 = I - I_2, \quad (16)$$

де I_2 – порогове значення інтенсивності.

Тоді

$$I_1' + \alpha I_1 + \chi I_1^n = 0. \quad (17)$$

Помітимо що α , χ і I_2 не залежать від x . При $n = 1$ рівняння (17) є рівнянням із змінними, що розділяються

$$\frac{dI_1}{(\alpha + \chi)I_1 + \alpha I_2} = -dx, \quad (18)$$

При $n = 2$ рівняння (17) є не лише рівнянням Риккати, але і рівнянням із змінними, що розділяються

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^2 + \alpha I_r} = -dx, \quad (19)$$

при $n = 3$

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^3 + \alpha I_r} = -dx, \quad (20)$$

при $n = 4$

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^4 + \alpha I_r} = -dx. \quad (21)$$

У загальному випадку

$$\frac{dI_1}{I_1 + \chi I_1^n + \alpha I_r} = -dx. \quad (22)$$

У випадках $n = 3$, $n = 4$ можливо вичерпне аналітичне дослідження.

В цілому гірський масив можна представити ізотропним тілом, пружні модулі якого λ і μ залежать від однієї координати x , і в цьому випадку рівняння руху зводиться до виду

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial}{\partial x} \ln(\lambda + 2\mu) = \frac{\rho(x)}{\lambda(x) + 2\mu(x)} \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}, \quad (23)$$

де U – переміщення, за умови, що масові сили відсутні.

Якщо плоска хвиля виникає від миттєвої нормальної напруги інтенсивності $f(t)$ до поверхні $x = 0$ пружної напівплощини, то завдання про поширення плоскої хвилі в неоднорідному середовищі зводиться до рішення диференціального рівняння (23). Вкажемо на те, що диференціальне рівняння (23) допускає безліч точних рішень.

Таким чином, проведеними дослідженнями доведено значущість впливу фізико-хімічних властивостей середовища, в якому відбувається акт руйнування гірської породи, на процес тріщиноутворення, що також залежить від міцності і пружних характеристик матеріалу та початкових розмірів тріщин. На прикладі розгляду елементарного акту руйнування гірської породи визначені засадничі принципи теорії взаємодії в системі «долото – гірська порода».

Висновки

Розроблено конструкцію комбінованого ланцюгового дискового долота з можливістю саморегулювання його робочого органу та забезпеченням значної ефективності механізму руйнування різних за твердістю гірських порід.

Аналітично та практично доведено, що під дією робочого органу комбінованого долота в гірській породі виникає напруга зсуву, яка призводить до генерування пружних хвиль руйнування, у міру поширення яких частина енергії витрачається на здійснення роботи руйнування, а інша її частина, змінюючи напрям руху, розсіюється в масиві.

Показано, що до параметрів хвилі, які визначають процес руйнування, слід віднести напругу, інтенсивність, тривалість і спектральний склад.

Експериментально-теоретичні дослідження комбінованих доліт повинні продовжуватися у напрямках: пошуку ефективних умов зменшення коефіцієнта поглинання, зменшення непродуктивних втрат, що переводять енергію хвилі в тепло, збільшення відведення енергії з інструменту в породу.

O. M. Davydenko, A. O. Ihnatov

Dnipro University of Technology, Ukraine

MECHANICS OF EFFECTIVE DESTRUCTION OF ROCKS BY CHAIN-DRILLING BITS ROLLINGCUTTER

Laboratory and analytical methods of research have established and substantiated the fundamental principles for designing high-performance combined chisels, and also considered key aspects of the mechanics of an elementary act of rock destruction with maximum consideration for its mechanical properties and assessment of the impact of the destruction environment.

The design of the combined roller-chain disc chisel with the possibility of self-regulation of its working body and ensuring the significant effectiveness of the mechanism of destruction of rocks of different hardness was developed. It is analytically and practically proved that under the action of the working body of the combined chisels in the rock, shear stress occurs, which leads to the generation of elastic waves of destruction, as they propagate, some of the energy is spent on the work of destruction, and its other part, changing the direction of motion, dissipates in array. It is shown that the parameters of the wave, which determine the process of destruction, should include voltage, intensity, duration and spectral composition. The existence of a mechanism for the propagation of an elastic wave in a rock and its accompaniment by continuous energy absorption by the medium and the phenomenon of dispersion has been established and formalized. It was proved sufficient manufacturability of the combined chisels, especially under conditions of reducing the absorption coefficient, reducing unproductive losses, which transforms wave energy into heat and increases of energy transfer from the tool to the rock.

The mechanism of rock energy absorption largely determines the nature of the destruction process; under conditions of significant absorption, even under short-term loads, the process can be considered quasi-static, but if energy absorption is low, relatively long-term loads lead to a dynamic mode of destruction.

The obtained results of laboratory and analytical studies are basic for the design of the design characteristics of individual nodes of the combined chisels. Data on the mechanics of destruction of rocks are the basis for further research on the development of technological measures for the operation of chisels under the conditions of variation of the properties of the rock formation and the working environment itself.

Key words: *combined chisel, failure mechanism, rock, stress, energy, elastic wave.*

Лабораторными и аналитическими приемами исследований установлены и обоснованы основополагающие принципы конструирования высокопроизводительных комбинированных долот, а

также рассмотрены ключевые аспекты механики элементарного акта разрушения горной породы с максимальным учетом ее механических свойств и оценкой влияния среды разрушения.

Разработана конструкция комбинированного цепного дискового долота с возможностью саморегулирования его рабочего органа и обеспечением значительной эффективности механизма разрушения разных по твердости горных пород. Аналитически и практически доказано, что под действием рабочего органа комбинированного долота в горной породе возникает напряжение сдвига, которое приводит к генерированию упругих волн разрушения, по мере распространения которых часть энергии тратится на осуществление работы разрушения, а другая ее часть, изменяя направление движения, рассеивается в массиве. Показано, что к параметрам волны, которые определяют процесс разрушения, следует отнести напряжение, интенсивность, длительность и спектральный состав. Установлено и формализовано наличие механизма распространения упругой волны в горной породе и его сопровождения непрерывным поглощением энергии средой и явлением дисперсии. Доказана достаточная технологичность комбинированных долот, особенно при условиях уменьшения коэффициента поглощения, уменьшения непродуктивных потерь, которые переводят энергию волны в тепло, увеличение отведения энергии из инструмента в породу.

Механизм поглощения энергии породой в значительной степени определяет характер процесса разрушения; при условиях значительного поглощения, даже при кратковременных нагрузках, процесс может считаться квазистатическим, если же поглощение энергии малое – сравнительно длительные нагрузки приводят к динамическому режиму разрушения.

Полученные результаты лабораторных и аналитических исследований являются базовыми для проектирования конструктивных характеристик отдельных узлов комбинированных долот. Данные по механике разрушения горных пород являются основой дальнейших исследовательских работ по разработке технологических мероприятий эксплуатации долот при условиях варьирования свойств массива и самой рабочей среды.

Ключевые слова: комбинированное долото, механизм разрушения, горная порода, напряжение, энергия, упругая волна.

Література

1. Калинин А. Г. Разведочное бурение / А. Г. Калинин, О. В. Ошкордин, В. М. Питерский и др. – М.: Недра–Бизнесцентр, 2000. – 748 с.
2. Давиденко А. Н. Абразивно-механическое ударное бурение скважин / А. Н. Давиденко, А. А. Игнатов – Дніпропетровськ: Держ. вищ. навч. закл. «Нац. гірн. ун-т», 2013. – 110 с.
3. Патент на винахід № 95202 Україна МПК Е21В 10/46 (2006.01). Бурове долото / А. О. Ігнатов, С. Ю. Андрусенко. – Опубл. 11.07.2011, Бюл. № 13.
4. Патент на винахід № 102284 Україна МПК Е21В 10/46 (2006.01). Бурове долото / А. О. Ігнатов, М. В. Герасименко. – Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
5. Петров Л. Н., Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов / Л. Н. Петров, Н. Г. Супрунюк – К.: Наукова думка, 1991. – 216 с.

Надійшла 05.07.19

References

1. Kalinin, A. G., Oshkordin, O. V., Piteriskij V. M. et al. (2000). *Razvedochnoe burenie [Prospecting boring drilling]*. Moscow: Nedra–Businesscentr [in Russian].
2. Davidenko, A. N., & Ihnatov, A. A. (2013). *Abrazivno-mekhanicheskoe udarnoe burenie skvazhin [Abrasive-mechanical blowing well-drilling]*. Dnipropetrovsk: NMU [in Russian].
3. Ihnatov, A. O., & Andrusenko, S. Yu. (2011). Patent of Ukraine 95202.
4. Ihnatov, A. O., & Herasymenko, M. V. (2013). Patent of Ukraine 102284.

5. Petrov, L. N., & Suprunyuk N. G. (1991). Korrozionno-mehanicheskoe razrushenie metallov i splavov [*Corrosive-mechanical destruction of metals and alloys*]. Kiev: Naukova dumka [in Russian].

УДК 622.24

DOI: 10.33839/2223-3938-2019-22-1-157-163

О. М. Давиденко, д-р техн. наук, **А. О. Ігнатов**, канд. техн. наук, **М. О. Науменко**

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», пр. Дмитра Яворницького, 19, 49027, м. Дніпро, Україна, e-mail: davidenko.a.n@ntu.one

ОЦІНКА ВЛАСТИВОСТЕЙ АКТИВОВАНИХ ПРОМИВАЛЬНИХ РІДИН

Лабораторними і аналітичними прийомами досліджень встановлені засадничі принципи теорії і практики електрохімічної обробки промивальних рідин і їх компонентної взаємодії з руйнованими гірськими породами при бурінні свердловин.

В результаті проведення лабораторних і аналітичних досліджень процесу електрохімічної обробки промивальних рідин встановлені аспекти їх внутрішньої компонентної взаємодії. Дослідженнями впливу основних видів домішок при проведенні електрохімічної обробки промивальних рідин виявлені закономірності механізму зміни значень поверхневого натягнення рідин залежно від рівня рН і встановлена спрямованість процесу зміни електропровідності. Доведено, що вирішальним чинником в управлінні процесом руйнування гірських порід (особливо механічним способом) є ефект впливу середовища, а саме його вид і компонентний склад, який, в більшості випадків, не піддається прямому коригуванню і визначається об'єктивними причинами. На прикладі розгляду елементарного акту руйнування гірської породи (кварцу) визначені засадничі принципи теорії взаємодії в системі «активованій очисний агент – гірська порода». Доведена необхідність здійснення електрохімічної обробки промивальних рідин при проведенні бурових робіт.

Фізико-хімічні властивості середовища, в якому відбувається руйнування гірських порід, активним чином впливають на хід і спрямованість забійних процесів, причому основними з них є адсорбційні, які повністю залежать від хімічного і іонного складу, а також визначаються електрофізичними і кристалохімічними особливостями руйнованих порід.

Отримані результати лабораторних і аналітичних досліджень є базовими для проектування режимних параметрів процесу електрохімічної обробки промивальних рідин з метою досягнення прийнятних техніко-економічних показників при поглибленні свердловин. Дані по вивченню впливу різних типів домішок на показники процесу електрохімічної обробки промивальних рідин є основою подальших дослідницьких робіт з розробки прогресивних рецептур очисних агентів.

Ключові слова: промивальна рідина, електрохімічна обробка, домішки, поверхневе натягнення, електропровідність, адсорбція.

Для надання промивальній рідині необхідних властивостей, які, з одного боку, забезпечать підвищення ефективності руйнування гірських порід на забої, а з іншого, створять сприятливі умови для стабільного винесення шламу на поверхню і підтримку стінок свердловини в стійкому стані, її піддають обробці різними методами. Найбільш відомими є такі види обробки промивальної рідини: хімічна, магнітна, термічна і електрохімічна в її різних варіаціях [1].

Електрохімічна обробка як технологія – це отримання і наступне використання активованої за допомогою електрохімічних полів води, або в процесах її очищення від небажаних компонентів, або в різних технологічних процесах як реагент або реакційне середовище. Вказана операція здійснюється з метою управління складними фізико-хімічними реакціями, економії енергії, часу і матеріалів, підвищення якості кінцевого продукту, зменшення утворення відходів. Досить великий інтерес такий вид дії на