

Техніка і технології

УДК 622.24.051.55

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БУРІННЯ ТРИШАРОШКОВИМИ БУРОВИМИ ДОЛОТАМИ З ВІДКРИТОЮ ОПОРОЮ

Є.І.Крижанівський, Р.С.Яким, Л.Є.Шмандровський, Ю.Д.Петрина

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Запропоновано спосіб підвищення ефективності буріння тришарошковими буровими долотами з відкритою опорою шляхом вдосконалення конструкції захисту долота від спрацювання по діаметру. Експериментально встановлено, що вдосконалена конструкція армування козирка спинки лапи забезпечує ресурс його роботи рівним ресурсу роботи всіх інших елементів захисту від спрацювання по діаметру долота. Експериментальні випробовування показали підвищення проходки доліт з новою конструкцією захисту козирка в 2,15 рази, що дозволило підвищити ефективність буріння.

Ключові слова: буріння, шарошка, долото, опора, козирок спинки лапи

Предложено способ повышения эффективности бурения трехшарошечными буровыми долотами с открытой опорой путем усовершенствования конструкции защиты долота от срабатывания по диаметру. Экспериментально установлено, что усовершенствованная конструкция армирования козырька спинки лапы обеспечивает ресурс его работы равным ресурсу работы всех других элементов защиты от срабатывания по диаметру долота. Экспериментальные испытания показали повышение проходки долот с новой конструкцией защиты козырька в 2,15 раза, что позволило повысить эффективность бурения.

Ключевые слова: бурение, шарошка, долото, опора, козырек спинки лапы

It's offered the method of efficiency increase of boring with opened bearing three-cone rock bits by improving the construction of rock bit defence from the wearing in diameter. At's experimentally determined that improved construction by reinforcement of arm shirrtail provides as work efficiency as the rest of components of defence from the wearing in diameter. Experimental test showed that the number of drivings of rock bits with the new defence construction of shirrtail increased at least 2.15 times. At allowed to increase boring efficiency.

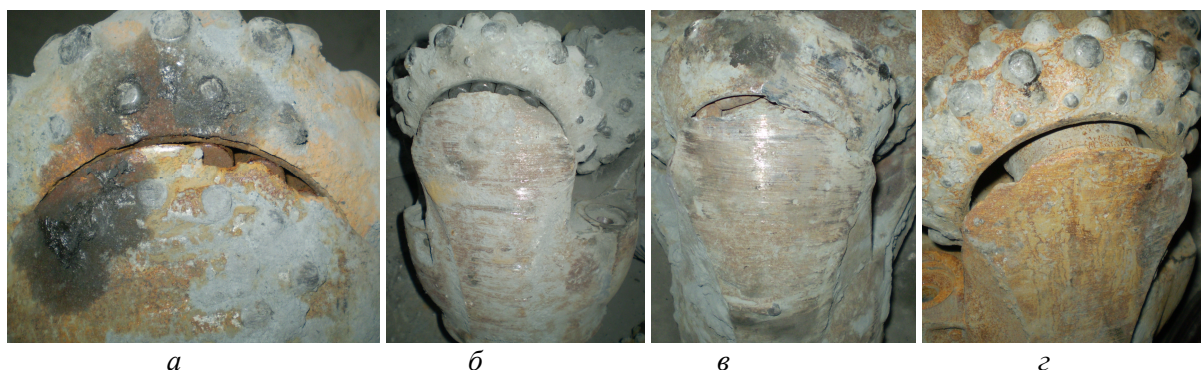
Keywords: boring, cone, rock bit, bearing, arm shirrtail

У більшості випадків ефективність буріння тришарошковими долотами суттєво залежить від їх експлуатаційних показників доліт. Аналіз відробки цих доліт виявив низьку стійкість до руйнування спинок лап, що призводить до швидкої втрати початкових значень діаметра долота. Часто долото виходить з ладу через руйнування спинок лап при цілком працездатній опорі і породоруйнуючому оснащенні шарошок. Інколи руйнування нижньої частини спинки лапи і її козирка призводить до оголення роликів периферійного підшипника, заклинювання опори, випадання роликів на вибій, що є причиною аварійних ситуацій у процесі бурінні (рис. 1). Тому актуальним є пошук способів захисту шарошкових доліт від спрацювання по діаметру та вдосконалення конструкції армування спинки і козирка лапи.

Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є забезпечення стійкості долота від викрив-

лення на вибої. Для цього спинки лап долота мають циліндричну форму і вздовж діаметра армовані зносостійкими поясками, розміщеними по спіралі з перекриттям на кожній лапі, причому ріжучий армуючий елемент виконаний у вигляді пластини, яка жорстко закріплена в заглибленні лапи [1]. Хоча в процесі буріння таке долото матиме високі стабілізуючі параметри, проте воно не буде захищене від випадання і сколювання армуючих елементів, надмірного нагрівання і структурних перетворень в металі внаслідок постійної взаємодії значних контактуючих поверхонь долота і стінок свердловини.

Другим, найбільш поширеним і апробованим способом є наплавлення або армування вставками з твердого сплаву. Для підсилення ефективності захисту спинки лапи використовують також поєднання наплавлення та використання твердосплавних вставок. Наприклад, у сучасних тришарошкових долотах фірми



а – локальні оголення декількох роликів; *б* – оголення до половини діаметра роликів; *в* – випадання з опори та розвертання і заклинювання роликів; *г* – повне випадання роликів з опори

Рисунок 1 – Стадії втрати працездатності бурових шарошкових доліт 250,8 К-ПВ-Д181 через зношування козирка спинки лапи

„Х’юз” може бути виконане наплавлення з твердого сплаву, який наноситься на тильну поверхню лапи з продовженням вздовж ведучої кромки лапи. Альтернативно в тильну поверхню лапи чи її ведучу кромку можуть бути закріплені карбідовольфрамові вставки [2]. Необхідно зауважити, що такі ж конструкції, що забезпечують захист шарошкового долота від спрацювання по діаметру, використовують: фірма „Сміт” [3], ВАТ «ВБМ-група» [4], ВАТ „ДДЗ” [5] та інші виробники шарошкових доліт. Наплавлення спеціального крупнозернистого твердого сплаву на зовнішню поверхню низу спинки кожної лапи шарошкового долота у його поєднанні з вставними твердосплавними зубками забезпечує досить високі експлуатаційні характеристики долота. Проте, в процесі буріння недостатня адгезія наплавленого твердосплавного шару і основного металу лап призводить до появи поверхневих напружень, тріщин та передчасного руйнування наплавленого твердого сплаву. Також внаслідок комплексної дії вібрацій, ударних навантажень і абразивного спрацювання, спостерігається руйнування вставок, їх випадання.

Відомий також спосіб захисту долота від спрацювання по діаметру, який реалізується наплавленням крупнозернистого твердого сплаву на зовнішні поверхні низу спинки кожної лапи долота у поєднанні із встановленням твердосплавних зубків. Також вздовж радіусу низу зовнішньої поверхні кожної лапи долота перед нанесенням наплавленого твердого сплаву додатково просвердлюють круглі отвори [6]. Проте, дана конструкція не забезпечує повною мірою захист козирка спинки лапи, що призводить до частих випадків його руйнування. Особливо небезпечним є руйнування козирка спинки лапи для доліт з відкритими опорами. Тут відбувається швидке зашламовування опори, випадіння роликів, заклинювання опори, що призводить до раптової відмови долота.

Виходячи з вище викладеного, була поставлена задача підвищити ефективність буріння тришарошковими долотами шляхом вдосконалення конструкції захисту козирків спинок лап доліт з відкритою опорою.

Для вирішення поставленої задачі було попередньо проаналізовано зовнішній вигляд доліт 244,5 ОК-ПГВ-Д26 і 250,8 ТКЗ-ПГВ-Д27 як в процесі роботи, так і повністю відпрацьованих у реальних умовах гірничозбагачувального комбінату (ГЗК). В результаті аналізу долота, маючи працездатне оснащення шарошок, недопрацьовують через передчасне руйнування і зношування захисного калібруючого оснащення на козирках спинок лап. Тому було прийнято рішення підсилити армування козирка спинки лапи додатковим наплавленням реліту в спеціально виготовлені отвори у козирку. При цьому повинно забезпечуватися не тільки підвищення товщини наплавленого зносостійкого шару, а й краще його зчеплення з сталлю спинки лапи.

Отже, на ВАТ „ДДЗ” було виготовлено партію доліт 244,5 ОК-ПГВ-Д26У в кількості 10 шт. з розробленою експериментальною конструкцією захисту козирка спинки лапи долота, який включає наплавлення крупнозернистого твердого сплаву на зовнішню поверхню низу спинки кожної лапи долота у поєднанні із вставними твердосплавними зубками. Вздовж радіуса низу зовнішньої поверхні кожної лапи долота перед нанесенням наплавленого твердого сплаву додатково просвердлюють отвори, при цьому на ободі козирка спинки лапи виконуються отвори під наплавлення. Для забезпечення високої якості армування в отвори на козирку і спинці лапи закладали реліт з наступним його оплавленням і надійним сплавленням з основою. Далі проводили суцільне наплавлення поверхні козирка.

Експлуатаційні випробовування шарошкових доліт проводили відповідно до загальної прийнятої методики [7].

Долота відпрацьовували у таких режимах: навантаження на долото становило 220-250 кН, долото оберталося з швидкістю 80-90 об/хв., продуктивність компресора складала 32,25 м³/хв.

Статистичний аналіз відпрацювання доліт дав змогу встановити середнє значення проходки для серійних (123,4 п/м) і експериментальних доліт (265,15 п/м). При цьому середнє квадратичне відхилення вибірки для серійних до-

Таблиця 1 – Дані відпрацювання доліт 244,5 ОК-ПГВ-Д26 з базовою конструкцією армування козирка спинки лапи

№ дол.	Міцність порід, по Протод.	Буріння, м	Пробурено всього, м	Короткий опис стану долота
1	16	56	56	Люфт 1,5 мм
	17	42	98	Люфт 2,0 мм
	18-19	33	131	Оголення роликів периферійного підшипника
	18-19	40	171	Заклинювання опори при працездатному оснащенні
2	14-15	34	34	Загальне незначне зношування
	14-15	57	91	Люфт 2,0 мм
	14-15	58	149	Люфт 2,5 мм, злам 2 вставних зубків III-ї шарошки
	17-18	63	212	Люфт 3 мм, оголення роликів периферійного підшипника
	18-19	43	255	Випадіння роликів периферійного підшипника при працездатному оснащенні шарошок
3	14	50	50	Загальне незначне зношування
	18	32	82	Зношування наплавленого шару козирка спинки лапи
	18	41	123	Оголення роликів периферійного підшипника
	18-19	24	147	Випадіння роликів периферійного підшипника при працездатному оснащенні шарошок
4	17-18	24	24	Загальне незначне зношування
	18-19	28	52	Люфт 2,0 мм, оголення роликів периферійного підшипника
	18-19	8	60	Випадіння роликів периферійного підшипника при працездатному оснащенні шарошок
5	17	35	35	Загальне незначне зношування
	18	26	61	Люфт 1,5 мм
	18-19	30	91	Люфт 2,5 мм, оголення роликів периферійного підшипника
	19	15	106	Заклинювання опори при працездатному оснащенні
6	15	48	48	Загальне незначне зношування
	15-16	40	88	Люфт 1,5 мм
	18-19	25	113	Оголення роликів периферійного підшипника
	18-19	7	120	Заклинювання опори при працездатному оснащенні
7	15-16	44	44	Загальне незначне зношування
	16	30	74	Люфт 1,5 мм
	17-18	45	119	Зношування наплавленого шару козирка спинки лапи
	18-19	11	130	Випадіння роликів периферійного підшипника і заклинювання опори при працездатному оснащенні шарошок
8	16	20	20	Загальне незначне зношування
	18	26	46	Зношування наплавленого шару козирка спинки лапи
	19	5	51	Люфт 2,5 мм, сколювання козирка, оголення роликів периферійного підшипника, підклинювання опори
9	15	70	70	Люфт 1,5 мм, оголення роликів периферійного підшипника
	18-19	17	87	Випадіння роликів периферійного підшипника і заклинювання опори при працездатному оснащенні шарошок
10	17	65	65	Зношування наплавленого шару козирка спинки лапи
	18	30	95	Люфт 2,5 мм, оголення роликів периферійного підшипника, злам 2 вставних зубків III-ї шарошки
	18-19	12	107	Випадіння роликів периферійного підшипника і заклинювання опори при працездатному оснащенні шарошок

літ становить $S_1 = 170,628$, а для експериментальних $S_2 = 152,598$

Оцінка отриманих результатів відробок здійснювалась у відповідності до рекомендацій [8, 9].

Перевірка мінімальних і максимальних значень кожної вибірки на аномальність свідчить, що всі результати відробок вкладаються в границі статистичного розсіювання і є наслід-

ками експлуатаційних властивостей доліт. Так, у серійній партії було виявлено, що більша частина доліт недопрацювала і вийшла з ладу через випадання роликів периферійного підшипника (табл. 1). Для експериментальної партії характерне недопрацювання доліт через зношування і заклинювання опори (табл. 2).

Отже, істинне значення проходки, як випадкової величини, у відповідності до вибраної

Таблиця 2 – Дані відпрацювання доліт 244,5 ОК-ПГВ-Д26 з експериментальною конструкцією армування козирка спинки лапи

№ дол.	Міцність порід, по Протод.	Буріння, м	Пробурено всього, м	Короткий опис стану долота
1	17 18-19 18-19 18-19	34 66 63 43	34 100 163 206	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 2,0 мм Зношування підшипників опори при працездатному оснащенні
2	17 14-15 14-15 18-19 18-19	34 76 58 36 52	34 110 168 204 260	Люфт 2,5 мм Люфт 2,5 мм Люфт 2,5 мм Люфт 3 мм Заклинювання опори, злам 2 твердосплавних зубків III-ї шарошки.
3	17 17 18-19 18-19	59 63 51 94	59 122 173 267	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Злам 2 твердосплавних зубків III-ї шарошки Заклинювання опори.
4	15-16 15-16 16-17 18-19 18-19	60 60 51 71 77	60 120 171 242 319	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 1,5 мм Люфт 2,0 мм Оголення роликів периферійного підшипника
5	17 17 17 18-19 18-19	40 52 50 59 60	40 92 142 201 261	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 2,5 мм Заклинювання опори при працездатному оснащенні шарошок
6	15-16 15-16 18-19 18-19	60 67 50 48	60 127 177 225	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 1,5 мм Люфт 2,5 мм
7	15-16 15-16 18-19 18-19	55 50 65 79	55 105 170 249	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 1,5 мм Знос підшипників опори при працездатному оснащенні
8	15-16 15-16 16-17 18-19	57 57 60 80,5	57 114 174 254,5	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 1,5 мм Знос підшипників опори при працездатному оснащенні
9	17 17 18-19 18-19	60 80 39 39	60 140 179 218	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 2,5 мм Заклинювання опори.
10	15-16 15-16 15-16 15-16 15-16 19-20	60 60 60 60 78 74	60 120 180 240 318 392	Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Загальне незначне зношування Люфт 1,5 мм Зношування підшипників опори при працездатному оснащенні

довірчої ймовірності $P = 0,95$ для серійних H_1 і експериментальних H_2 доліт, відповідно, шукали в межах:

$$\bar{x}_1 - t_\alpha \frac{S_1}{\sqrt{n}} \leq H_1 \leq \bar{x}_1 + t_\alpha \frac{S_1}{\sqrt{n}};$$

$$\bar{x}_2 - t_\alpha \frac{S_2}{\sqrt{n}} \leq H_2 \leq \bar{x}_2 + t_\alpha \frac{S_2}{\sqrt{n}},$$

де: \bar{x}_1, \bar{x}_2 – середні значення вибірок проходок серійних і експериментальних доліт відповідно;

S_1, S_2 – середні квадратичні відхилення вибірок проходок серійних і експериментальних доліт відповідно;



а – руйнування козирка спинки лапи у випадку зношування наплавленого шару реліто; *б* – розколювання твердосплавних вставок і значне зношування між твердосплавними вставками спинки та козирка; *в* – випадання твердосплавних вставок у результаті значного зношування спинки та козирка; *з* – рівномірне зношування наплавленого релітом козирка спинки і твердосплавних вставок в експериментальних долотах

Рисунок 2 – Деякі види руйнування в ділянці козирка спинки лапи

t_α – коефіцієнт, який враховує неточність оцінки S і відповідає квантилі розподілу Стюдента.

n – кількість проходок (доліт в партії).

У нашому випадку відповідно до довірчої ймовірності $P=0,95$ та числа ступенів вільності $f=n-1$ згідно з таблицею V [10] коефіцієнт Стюдента для випадкової величини проходки долота $t_\alpha=1,833$.

Тоді після відповідних математичних дій отримали:

$$24,494 \leq H_1 \leq 222,304 ; \\ 176,697 \leq H_2 \leq 353,603 .$$

Відносна похибка отриманих середніх значень проходок серійних і експериментальних доліт відповідно становить

$$\varepsilon_1 = \frac{t_\alpha S_1}{\bar{x}_1 \sqrt{n}} \quad 100\% = 80,149\% ; \\ \varepsilon_2 = \frac{t_\alpha S_2}{\bar{x}_2 \sqrt{n}} \quad 100\% = 33,36\% .$$

Отже, відносна похибка середніх значень проходки експериментальних доліт є приблизно в 2,4 рази меншою у порівнянні з серійними долотами.

Порівняння вибірок здійснювали за допомогою критерію Фішера, який використовується для порівняння дисперсій вибірок.

$$F = \frac{S_{\max}}{S_{\min}} = \frac{S_2}{S_1} = 1,118 .$$

Оскільки ступінь вільності у обох випадках рівний 9, табличне значення критерію Фішера (згідно табл. VI [10]) для вибраної довірчої ймовірності становить $F_T=3,18$.

Оскільки $F < F_T$, то відмінність між дисперсіями є статистично незначною.

Для порівняння розподілів значень проходок знаходили середнє квадратичне відхилення для обох вибірок

$$S_{1,2}^2 = \frac{(n-1)S_1^2 + (n-1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} ,$$

де $n_1 = n_2 = n$, та перевіряли, чи справджується умова відмінності між середнім значенням проходок доліт

$$|\bar{x}_1 - \bar{x}_2| \geq t_\alpha S_{1,2} \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} ,$$

де $t_\alpha=1,734$ – критерій, вибраний у відповідності до числа ступенів вільності $f_1 + f_2 = 18$ для вибраної довірчої ймовірності з табл. V [10].

Отримали

$$141,75 > 125,52 .$$

Оскільки умова виконується, то відмінність між середнім значенням проходки серійних та експериментальних доліт є суттєвою. Дана відмінність обґрунтовується різним характером руйнування козирка спинки лапи (рис. 2). Зносостійкість козирків лап, наплавлених релітом за серійною технологією, складає приблизно 48,4 м проходки долота в породах, що мають міцність за шкалою Протодьяконова 17-19 одиниць, після чого відбувається оголення роликів великого підшипника. Зносостійкість козирків лап, армованих згідно з експериментальною конструкцією захисту від зношування, відповідає зносостійкості зубків, що розташовані на периферійних рядах і тильних конусах шарошок, які калібрують стінку свердловини, що забезпечує підвищення ефективності буріння.

Отже, експериментальні долота показали суттєве збільшення проходки (в 2,15 рази) у порівнянні з серійними. При цьому усунута проблема передчасного оголення роликів периферійного підшипника і випадання роликів з опори. Відносна похибка проходки в експериментальних долотах є приблизно в 2,4 рази меншою, що підтверджує більшу стабільність відпрацювання експериментальних доліт та їх вищу ефективність буріння.

Таким чином, запропоновано спосіб підвищення ефективності буріння тришарошкови-ми буровими долотами з відкритою опорою шляхом вдосконалення конструкції захисту долота від спрацювання по діаметру. Експериментально встановлено, що вдосконалена конструкція армування козирка спинки лапи забез-

печує ресурс його роботи рівним ресурсу роботи всіх інших елементів захисту від спрацювання по діаметру долота. Експериментальні випробування показали підвищення проходки доліт з новою конструкцією захисту козирка в 2,15 рази, що дало змогу підвищити ефективність буріння. Дана конструкція рекомендована до впровадження у виробництво.

Надалі перспективним є дослідження резервів підвищення довговічності контактних поверхонь опор тришарошкових доліт з метою усунення випадків її заклинювання в процесі буріння.

Література

1 А.с. 130529. СССР, МКИ Е21В10/30. Бутовое шарошечное долото / Н.А.Жидовцев, И.К.Бикбулатов, Г.И.Матвеев, Э.С.Гинзбург, Т.А.Ильк, У.Н.Якимчук, В.Н.Матвиевский (СССР). – № 3859305 / 22 – 03; Заявлено 28.02.85; Оpubл. 23.04.87, Бюл. № 25.

2 Каталог буровых долот компании Hughes Christensen / [сост. Хьюз Кристенсен] – М.: Бейкер Хьюз Инкорпорейтед, 2008. – 44 с.

3 Smith Bits: каталог продукции 2007-2008: каталог / [сост. Smith International] – U.S.A.: Smith International, Inc., 2007. – 65 с.

4 Каталог горнорудных шарошечных долот: каталог-руководство по эксплуатации / [сост. ОАО «ВБМ-групп»] – М.: ОАО «ВБМ-групп», 2008. – 46 с.

5 Каталог продукції для нафтової та газової промисловості: каталог / [авт.: ВАТ „Дрогобицький долотний завод”] – Дрогобич: ДДЗ, 2008. – 57 с.

6 Пат. 65138. Україна. МПК² Е 21 В 10/00, Е 21 В 10/30. Спосіб захисту шарошкового долота від спрацювання по діаметру / В.Б.Марик, Є.І.Крижанівський, В.Є.Довжок, Р.Й.Гук, В.П.Соколовський, М.П.Спірідонов, С.В.Неженцев І.М.Лаврешин. – № 2003065240; Заявлено 06.06.2003; Оpubл. 15.03.2004, Бюл. № 3.

7 Инструкция по эксплуатации шарошечных долот при бурении взрывных и других скважин в горнорудной и смежных отраслях промышленности. Руководящий документ: РД 39-0148052-548-88. – [введен с 1988-06-01] – М.: Миннефтепром, 1988. – 45 с. (руководящий документ Министерства нефтяной промышленности ВНИИБТ. Инструкция.)

8 Эйгелес Р. М. Расчет и оптимизация процессов бурения скважин. / Р. М. Эйгелес, Р. В. Стрекалова. – М.: Недра, 1977. – 200 с.

9 Игнатов В. И. Организация и проведение эксперимента в бурении / В. И. Игнатов. – М.: Недра, 1978. – 94 с.

10 Смирнов Н. В. Курс вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В.Смирнов, И.В.Дунин-Барковский. – М.: Наука, главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 511 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
11.02.10*

*Рекомендована до друку професором
Крилем Я.А.*