

# НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВЕ ОБЛАДНАННЯ

УДК 622.24.051.55

## КРИТЕРІЇ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ З ОПОРАМИ ТИПУ ВУ

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@nimg.edu.ua

Встановлено критерії підвищення довговічності бурових тришарошкових доліт з опорою ВУ і фрезерованим сталевим породоруйнуючим оснащенням. Для забезпечення довговічності фрезерованих і армованих релітом сталевих зубків необхідно, щоб сталь шарошки забезпечувала необхідний запас міцності за критерієм тріщиностійкості, відтак серцевина зуба повинна володіти високою в'язкістю і пружністю, отриманими для конкретних плавок сталі. Підвищення довговічності осьового підшипника ковзання „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” при форсованих режимах буріння можливе шляхом створення умов мащення, інтенсивного відведення тепла з зони контакту і ефекту вибіркового перенесення за рахунок використання ефективних антифрикційних матеріалів та оптимізації спряжених поверхонь.

Ключові слова: довговічність, тришарошкове бурове долото, опора ВУ, тріщиностійкість, знос, підшипник ковзання

Установлены критерии повышения долговечности буровых трехшарошечных долот с опорой ВУ и фрезерованным стальным породоразрушающим вооружением. Для обеспечения долговечности фрезерованных и армированных релитом стальных зубков необходимо, чтобы сталь шарошки обеспечивала необходимый запас прочности по критерию трещиностойкости, то есть сердечник зуба должен владеть высокой вязкостью и упругостью, полученными для конкретных плавок стали. Повышение долговечности осевого подшипника скольжения „упорный торец цапфы лапы – упорный торец шарошки” при форсированных режимах бурения возможно путем создания условий смазки, интенсивного отвода тепла из зоны контакта и эффекта избирательного переноса за счет использования эффективных антифрикционных материалов, а также оптимизации сопряженных поверхностей.

Ключевые слова: долговечность, трехшарошечное буровое долото, опора ВУ, трещиностойкость, износ, подшипник скольжения

Criteria of durability increase of three-cone rock bits with VU bearing and milled steel rock-destroying equipment are determined. For guarantee of durability of milled and reinforced steel teeth it's necessary that the cone steel must provide the certain margin of strength according to the crack-resisting criterion and the tooth heart must have the high tenacity and elasticity which have been got for concrete steel melting. Durability increase of the plain bearing „thrust flange of arm pilot pin-cone thrust flange” under forced boring regimes is possible by providing the conditions of lubrication, intensive removing of heat from contact area and providing effect of selected transfer by using the effective antifrication materials and optimization of coupled surfaces.

Keywords: durability, three-cone rock bit, VU bearing, crack – resisting, wear-and-tear, plain bearing

На сьогодні для буріння свердловин об'ємно-гідролічними вибійними двигунами і ротором широко застосовуються середньообертові (до 300 об/хв) долота з герметизованою опорою (опора ВУ). Опори цих доліт виконуються за схемою „ролик – кулька – упорний підшипник ковзання – ролик” і наповнені мастилом та герметизовані радіальними термооливорезистивними ущільнюючими манжетами. Аналіз відпрацювання доліт цієї конструкції виявив часті заклинювання опори при працездатному

породоруйнуючому оснащенні шарошки. Іншим прикладом є руйнування породоруйнуючого фрезерованого оснащення. В обох випадках долота не допрацьовують на вибої, і їхній потенціал використовується не повністю. Тому виявлення причин відмов доліт і встановлення критеріїв у пошуку резервів підвищення довговічності цих доліт є актуальним і має важливе практичне значення.

Вирішення окресленої проблеми здійснюється комплексним підходом до підвищення

надійності системи мащення і герметизації опори, вдосконаленням конструкції опор, породоруйнуючого оснащення [1-10] та ін. Зокрема, розроблено і апробовано технологію напилення зносостійкого покриття на внутрішню і зовнішню поверхні шарошки за допомогою плазми [1]. В [2] запропоновано спосіб і матеріал для осадження композиційних гальванічних покриттів на деталі шарошкових бурових доліт. Однак ці розробки не знайшли широкого застосування в долотобудуванні.

Світовим лідером з конструювання і виготовлення доліт для високошвидкісного буріння є фірма „Hughes Christensen”. Ця фірма розробила долота продуктової лінії „Tricone” типу МАХ з фрезерованим сталевим і вставним твердосплавним породоруйнуючим оснащенням для буріння вибійними двигунами та роторами [3, 4]. Опори цих доліт виконуються з високошвидкісним металевим ущільненням на антифрикційних роликівих підшипниках кочення. Бігова доріжка кочення великого роликівого підшипника виконується у вигляді паза в порожнині шарошки, що дозволило зменшити діаметр ущільнень, знизити швидкість відносного переміщення поверхонь ущільнення і зменшити руйнівний вплив тепла. Для підвищення зносостійкості поверхні цапфи лапи порожнина шарошки виконується з срібним шаром, що наноситься електрохімічним способом. Відведення тепла і покращення умов тертя здійснюється за рахунок виконання антифрикційних вставок на опорному торці шарошки. Опорні поверхні доліт фірм „Smith Tool” і „Reed Tool” також містять срібне покриття [5, 6].

Відомі також різні підходи до вирішення проблеми стійкості сталевого породоруйнуючого оснащення. Зокрема, долота першої лінії фірми „Varel” мають ковані зубки [7]. Структура кованого зубка суттєво відрізняється від структури фрезерованого зубка: волокна відповідають зовнішній формі зубка, що забезпечує високу стійкість до ударних навантажень. В долотах фірми „Reed” фрезероване сталеве породоруйнуюче оснащення може зміцнюватися високоефективним наплавленням композиційним твердосплавним матеріалом Armor Clad, що володіє виключно низькою пористістю і малими дефектами [8]. Цей композиційний матеріал наноситься за допомогою електроду з тонкою оболонкою, в якій міститься багатофазна присадка з карбиду вольфраму і порошкової сталі. Також фірма „Reed Tool Co” для виготовлення відповідальних шарошкових доліт застосовує технологію „Powder Metal Cutter”, згідно з якою шарошки виготовляються методами порошкової металургії з одночасним армуванням робочих поверхонь зубків твердим сплавом [1]. Сьогодні на вітчизняних долотних підприємствах застосовується технологія відцентрового армування породоруйнуючого оснащення бурових доліт для шарошок великих діаметрів доліт. Також апробовано відцентрове армування шарошок доліт 215,9МЗ-ГВ, 490С-ЦВР1, 490С-ЦВР-1М та ін. [9] Але породоруйнуюче оснащення відцентрово-армованих шарошок

схильне до крихкого руйнування, що накладає особливі вимоги до жорсткого контролю технологічних процесів формоутворення зубків і їх фізико-механічних властивостей. Відома також технологія накатування зубків на заготовках шарошок [10]. Однак зазначені шляхи не тільки вимагають докорінного змінення існуючих технологічних процесів виготовлення доліт, а й суттєво збільшують їх собівартість. Тому стоїть питання пошуку критеріїв, за допомогою яких можна підійти до вдосконалення існуючих технологій виготовлення доліт і їх конструкцій з найменшими капіталовкладеннями.

Для вирішення поставленої задачі було здійснено аналіз працездатності імпортованих доліт на прикладі тришарошкових доліт 15 ½ VU-11 R325. Ці долота в умовах жорсткого дотримання технологічних режимів буріння і відповідності розбурюваним породам мають стабільні експлуатаційні показники. Для аналізу було взято долото, що мало середнє значення показників з трьох відпрацьованих у однакових умовах доліт. Також на ВАТ „ДДЗ” для порівняння зносостійкості опори і породоруйнівного оснащення з серійними долотами 393,7 М-ГВУ D34 було виготовлено партію (10 шт) експериментальних доліт. Долота відпрацьовали в однакових геологічних умовах при бурінні ротором (число обертів ротора – 60-200об/хв) свердловини глибиною 5850м. Буровий розчин мав густину 1,18...1,23г/см<sup>3</sup> і в'язкість 90...115Ст і подавався у вибій під тиском до 25МПа. Навантаження на долото складало 14-18тон.

Отже, долото 15 ½ VU-11 R325 (рис. 1), показавши прохід 469,8м при механічній швидкості 3,62м/год (стійкість долота склала 129,8год), вийшло з ладу через втрату працездатності породоруйнуючого оснащення (злам 2 зубків периферійного ряду на шарошці № 2 та загальне притуплення і самозагострення зубків), а також через зростання крутного моменту на долоті у результаті загального зносу в опорі. Долото не допрацьовало через розгерметизацію опори секції №1 і витікання мастила, причому ущільнююча манжета та сталеве кільце



Рисунок 1 – Загальний вигляд елементів опори відпрацьованого бурового тришарошкового долота фірми „Hughes” 15 ½ VU-11 R325 (аналог 393,7 М-ГВУ-D34)

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості сталей деталей доліт 15 ½ VU-11 R325

Деталь	Фізико-механічні властивості				
	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	$KCU, \frac{Дж}{см^2}$
шарошка	1397-1400	1192-1214	13-15	47-52	11,2
лапа	785-827	570-600	17	58-63	13,5

були в працездатному стані. Знос в цапфах опор склав: малий роликівий підшипник (МРП) – 0,1мм, замковий кульковий підшипник (ЗКП) – 0,1мм, великий роликівий підшипник (ВРП) 0,2-0,3мм, упорний торець шарошки – 1,5-3мм, упорний торець цапфи лапи – 1,5мм. Аналіз стану поверхонь опор кочення і підшипника „упорний торець шарошки-упорний торець цапфи лапи” дав підстави констатувати, що опори є працездатними. Тут зношені поверхні гладкі, що свідчить про добрі умови мащення опри.

Шарошка виготовлена зі сталі типу 17Н3МА з підвищеним вмістом молібдену і марганцю (0,21%С; 0,80%Мn; 0,29%Si; 0,26%Cr; 3,55%Ni; 0,52%Mo). Структура цементованого шару – дрібногolkовий мартенсит 1б, залишковий аустеніт балу 1а, карбіди 1-2к. Структура серцевини – тростосорбіт. Шарошка має цементований шар товщиною 1,0-1,6мм, в слабко зношених ділянках товщина цементованого шару – 1,5-1,8мм. Твердість цементованого шару шарошки – 56-59 HRC, а серцевини – 34-40 HRC. Твердість серцевини фрезерованих зубків є в межах 36-40 HRC. Зубки наплавлені з двох сторін твердим сплавом типу сферичного реліту (найбільший діаметр зерна в перерізі 0,5-0,6мм) товщиною 1,0-1,5мм. Наплавлений шар відрізняється значно нижчою пористістю від шарів, які наносяться згідно серійної вітчизняної технології. Також в порожнині шарошки виявлено шар срібла товщиною приблизно 0,35мм.

Лапа виготовлена зі сталі типу 22ХГНМА з підвищеним вмістом молібдену і марганцю (0,23%С; 0,89%Мn; 0,26% Si; 0,75%Cr; 0,52%Ni; 0,48%Mo). Твердість цементованого шару цапфи лапи складає 58,5-60 HRC, а серцевини – 26-36 HRC. Цементований шар ВБД містив на глибині 0,0-0,1мм – 1,01%С; 0,1-0,3мм – 0,85%С; 0,3-0,5мм – 0,71%С; 0,5-0,7мм – 0,62%С; 0,7-0,9мм – 0,51%С. Структура цементованого шару – дрібногolkовий мартенсит 1 б, залишковий аустеніт балу 1а, карбіди 2к. Структура серцевини – сорбітоподібний перліт. Твердість наплавленого стелітом упорного торця в межах 58-59HRC.

Проведений аналіз також дав змогу встановити фізико-механічні показники для сталей лапи і шарошки аналізованих імпортих доліт (табл. 1). Сталі та їх фізико-механічні властивості в основному відповідають існуючій вітчизняній технології виготовлення бурових доліт. Однак слід зауважити, що сталі для вітчизняних серійних доліт є більш схильними до утворення неоднорідної структури як серцевини,

так і цементованого шару за карбідними та неметалевими включеннями. Це у поєднанні з негативним технологічним спадком суттєво знижує опір сталей шарошки і лапи до тріщиноутворення. Зокрема, у випадку наскрізного прогартування фрезерованих зубків низька тріщиностійкість сталі призводить до їх інтенсивного сколювання.

Оскільки нанесення на поверхні опор доліт срібного покриття суттєво підвищує їх собівартість, то на вітчизняних долотних заводах для забезпечення зносостійкості і довговічності серійних опор ВУ використовується наплавлення стелітом упорного торця цапфи лапи. Однак, як свідчать результати аналізу працездатності осьових підшипників ковзання „упорний торець шарошки – упорний торець лапи” серійних доліт, трибопара „стеліт-сталь” має низьку зносостійкість, яка не може задовольняти сучасні експлуатаційні вимоги, що ставляться до доліт. Зокрема, у порівнянні з долотами аналогічної конструкції 15 ½ VU-11 R325 експлуатаційні показники серійних доліт 393,7 М-ГВУ D34 є значно нижчими (табл. 2). Так, значення проходки є меншим у 6,21 разів, стійкості – в 3,78 разів і механічній швидкості буріння меншій у 1,32 разів. Це спричинене випадками виходу з ладу системи герметизації і мащення та відмови опори (рис. 2), а також катастрофічним руйнуванням фрезерованого породоруйнуючого оснащення шарошок (рис. 3).

Відмова опори долота часто була спричинена руйнуванням великого роликівого підшипника і потраплянням породи в порожнину шарошки (рис. 2, а). Тут зафіксовано руйнування роликів, їх розвертання і заклинювання в постелі бігової доріжки. Однією з причин розгерметизації опори може бути руйнування манжети (рис. 2, б). Поряд з задовільним станом опорних поверхонь кочення цапфи лапи (рис. 2, в) в опорі погано працював цементований торець шарошки у парі з наплавленим стелітом упорним торцем бурта цапфи лапи (рис. 2, г, д). У окремих випадках зафіксовано викривування фрагментів наплавленого шару стеліту, який, в основному, мав тріщини і незначний знос. Значно більшого зносу зазнавав цементований торець шарошки, де утворювалася значна шорсткість і задири та тріщини.

Відпрацювання серійних доліт супроводжувалося випадками різкого зниження механічної швидкості проходки до нуля і до припинення заглиблення свердловини, не зважаючи на обертання бурової колони під навантаженням, що може бути пояснене катастрофічним руйнуванням фрезерованого породоруйнуючого

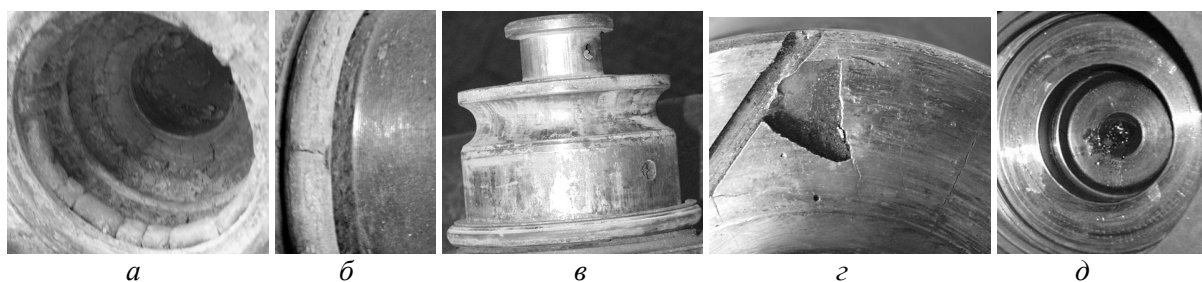
Таблиця 2 – Дані відпрацювання серійних доліт 393,7 М-ГВУ-D34

№	Прохідка, м	Стійкість, год	Механічна швидкість, м/год	Руйнування, що спричинили відмову долота
1	41,5	25,75	1,61	На шарошках зубки зруйновані на 70% (зламано під основу зубки периферійного ряду на шарошці № 1 – 8 шт, № 2, 3 – 6шт).
2	131	31,1	4,21	На шарошках зубки зруйновані на 60%. Розгерметизація опори № 1, руйнування і розворот роликів великого підшипника кочення, заклинювання опори, в опорі наявна порода.
3	91,5	38,5	2,38	Зламано під основу зубки периферійного ряду на шарошці № 1 – 4шт, № 2 – 8шт, № 3 – 4шт. Зниження плавності обертання шарошок на опорах через руйнування цементованого упорного торця шарошок.
4	129	38,64	3,34	Мастильний вузол в секції № 2 розгерметизований. На шарошці № 1, № 2, зубки зруйновані на 70%; № 3 на 50%; руйнування цементованого упорного торця в шарошках.
5	85,4	22,88	3,73	Злам під основу 6 периферійних зубків на шарошці № 1, підклинювання шарошки № 2 і № 3 через руйнування цементованого упорного торця шарошки
6	23	30	0,77	Зламано під основу зубки периферійного ряду на шарошці № 1 – 4шт, № 2 – 3шт; зниження плавності руху шарошок на опорах. Знос бігових доріжок 1-2мм, упорного торця шарошки – 3мм з утворенням грубої поверхні з тріщинами.
7	103,33	26,92	3,84	Розгерметизація і заклинювання опори секції № 1, руйнування ущільнюючої манжети, в опорі порода.
8	29	26,2	1,12	Злам під основу всіх периферійних зубків на шарошці № 2, на шарошці № 1 зламано під основу 4 зубки, на шарошці № 3 зламано 2 зубки і вершини на 3 зубках.
9	158,7	51,94	3,06	На шарошках № 1, № 2, № 3 зубки зруйновані на 60%. Розгерметизація опори секції № 2, заклинювання опори, руйнування цементованого упорного торця шарошки і наплавленого торця цапфи лапи.
10	94,8	28,95	3,27	Шарошка №2 заклінила, ролики розвернуті і розколені навпіл та затиснені між буртами бігової доріжки шарошки, значні руйнування цапфи, в опорі порода.
	75,623	34,313	2,733	

го оснащення. Знос, руйнування наплавленого на фрезеровані зубки релігу, а також утворення і розвиток втомних тріщин збільшували інтенсивність повної втрати працездатності долота. У перший момент породоруйнуюче оснащення зазнавало незначного абразивного зносу (рис. 3, а), а домінуючим було втомне руйнування, що характеризувалося викришуванням і сколюванням як фрагментів, так і зубків під основу (рис. 3, з, д). Відомо, що викришування і сколювання зубків відбувається в результаті втоми матеріалу поверхневих шарів, а також, як наслідок, нерівномірного наплавлення твердого сплаву, неоднорідної структури наплавленого чи цементованого шару [11]. Полумка зубків в основі відбувається (здебільшого в початковий період роботи, коли зуби мають найбільшу висоту) від перенапружень, що виникають в тілі зубків при взаємодії їх з поверхнею вибою.

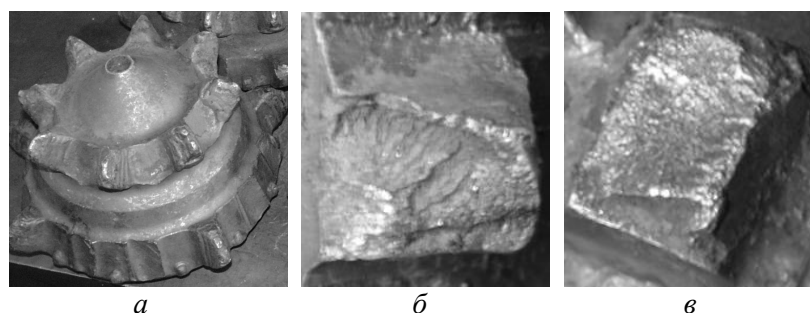
Аналіз руйнування серійних доліт показав, що всі вони передчасно вийшли з ладу. Вияв-

лено не тільки ряд проблем, пов'язаних з фізико-механічними та експлуатаційними показниками матеріалів шарошки і цапфи лапи, але й слабкі місця в конструкції опори. А саме, поверхні осьового підшипника ковзання не забезпечують стійкість опори до виникнення перекосів між осями цапфи лапи і шарошки. Хоч великий роликівий підшипник кочення в даній конструкції має бурти в шарошці, цього виявляється недостатньо для попередження розвертання і руйнування роликів в умовах зростаючих люфтів в опорі і „розгойдування” шарошки відносно цапфи лапи. Збільшення зазорів в опорі також спричинює до передчасного виходу з ладу вузла герметизації. Оскільки час до розгерметизації опори складає близько 65% роботи долота [12], то забезпечення стійкості системи герметизації опор доліт є одним з основних резервів підвищення їх продуктивності, так як зі збільшенням часу роботи опори в маслі підвищується не тільки загальна стійкість опори, але



*а – наявність в опорі породи, затискання і заклинювання між буртами бігової доріжки, розколенних та розвернутих роликів периферійного підшипника; б – тріщина в ущільнюючій манжеті; в – пінтинги і викришування на бігових доріжках підшипників кочення; г – руйнування наплавленого шару упорного торця; д – знос, задирки і тріщини на цементованому упорному торці*

**Рисунок 2 – Типові руйнування опор серійних бурових тришарошкових доліт 393,7 М-ГВУ-D34**



*а – загальний вигляд шарошки №3 з переважаним сколюванням під основу зубків периферійного ряду шарошки; б – крихке руйнування наплавленої вершини зубка; в – крихке руйнування посередині зубка*

**Рисунок 3 – Руйнування фрезерованого породоруйнуючого оснащення шарошок серійних бурових доліт 393,7 М-ГВУ-D34**

й оснащення. Також можна констатувати, що фрезеровані зубки не володіють достатнім запасом міцності за критерієм тріщиностійкості сталі шарошки. Тому при виготовленні експериментальної партії доліт з метою підвищення тріщиностійкості шарошок і лап застосовано критерії, розроблені в [13]. Для цього до сталі шарошки були висунуті підвищені вимоги щодо якості хімічного складу та показників пластичності в стані поставки. Метою цих заходів було отримання під час термообробки високих показників пластичності і в'язкості цементованого шару та серцевини при одночасному забезпеченні їх показників за критеріями тріщиностійкості. Також у відповідності до розроблених рекомендацій [14] згідно вдосконаленого технологічного процесу заготовки деталей доліт пройшли високотемпературне термомеханічне оброблення (ВТМО).

Оскільки зносостійкість зубків, наплавлених ацетилено-кисневим полум'ям порівняно з наплавленням за допомогою нагрівання СВЧ забезпечує вищу якість і міцність зчеплення наплавленого реліту з сталлю шарошки (реліт на зубки експериментальних шарошок наносили ацетилено-кисневим полум'ям).

Виходячи з позиції критерію накопичення пошкоджень в трибологічній парі „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки”, процес зношування цементованого шару буде завжди прискорюватися і різко інтенсифі-

куватися у міру зменшення товщини мастильного матеріалу та зростання моменту тертя на цапфі. Крім цього, зношування поверхневих цементованих шарів та значне підвищення температури в зоні контакту трибопари „стеліт-сталь” різко змінює характер тертя. Виникають явища схоплення та відшарування фрагментів контактуючої пари, особливо упорного торця шарошки. При цьому в підшипнику зростає зазор, що суттєво змінює параметри спряження контактуючих поверхонь опори в цілому. Тому для підвищення стабільності роботи опори в осьовому напрямку, попередження передчасного виникнення люфтів в опорі, за аналогією до конструкцій [3-6] у цементованому упорному торці шарошки експериментальних доліт виконували циліндричні мідні вставки.

Експериментальні долота, що відпрацювали в таких самих умовах, як і аналізована партія доліт базової конструкції 393,7 М-ГВУ D34, виходили з ладу в основному через спрацювання породоруйнуючого фрезерованого оснащення та заклинювання опори (табл. 3, рис. 4, 5). Ці долота показали вищу стійкість до крихкого руйнування та вищу зносостійкість наплавленого фрезерованого оснащення шарошок у порівнянні з серійними. Так, в експериментальній партії доліт не зафіксовано випадків передчасного руйнування фрезерованого оснащення чи заклинювання опор, на відміну від серійних доліт, де ці явища мали місце. Експеримен-

Таблиця 3 – Дані відпрацювання експериментальних доліт

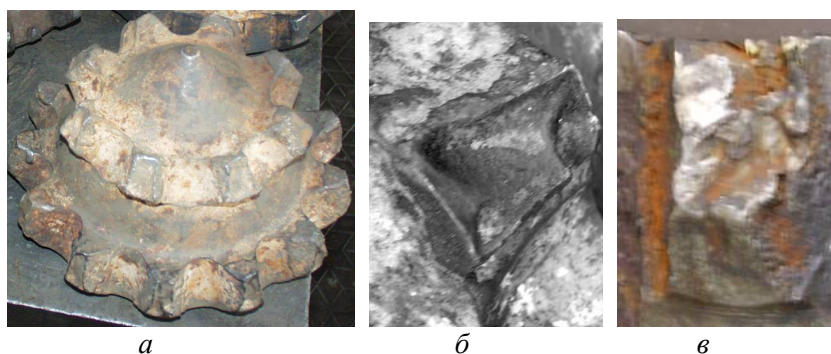
№	Проходка, м	Стійкість, год	Механічна швидкість, м/год	Руйнування, що спричинили відмову долота
1	181,71	43,52	4,18	Загальне зношування породоруйнуючого оснащення шарошок на 60%.
2	237,83	46,32	5,13	Руйнування і затуплення периферійних і середніх зубків на шарошках до 70%. Зношування опор по упорних торцях шарошки до 3мм
3	109,83	32,57	3,37	Загальне зношування шарошок на 40% Розгерметизація і заклинювання опори секції № 2, в опорі порода.
4	346,64	54	6,42	Повне зношування породоруйнуючого оснащення шарошок. Зношування опор по упорних торцях шарошки до 2мм
5	232	81	2,86	Загальне зношування породоруйнуючого оснащення шарошок на 80%
6	249	58	4,29	Повне спрацювання середніх зубків, загальне зношування оснащення шарошок на 50% в секції № 1 у маслокишені відсутнє мастило
7	128,33	31,58	4,06	Повне спрацювання наплавлених вершин периферійних і середніх зубків, пластична деформація і притуплення зубів. Відсутність мастила в маслокишені секції № 2, заклинювання опори.
8	177,25	51,65	3,43	Заклинювання опори через руйнування ущільнюючого кільця секції № 2, в опорі порода.
9	320,5	66	4,8	Повне спрацювання периферійних і середніх зубків, загальне зношування оснащення шарошок. Зношування опор по упорних торцях шарошки 2,5-3мм
10	224	78	2,87	Повне спрацювання периферійних і середніх зубків, загальне зношування породоруйнуючого оснащення шарошок
	220,709	54,264	4,141	

тальні долота у порівнянні з серійною партією доліт мали приблизно в 2,9 разів більшу проходку, в 1,58 разів більшу довговічність при зростанні в 1,52 рази механічної швидкості буріння. У порівнянні з імпортними долотами 15 ½ VU-11 R325 експериментальні долота виявили приблизно в 2,13 разів меншу проходку, в 2,39 разів меншу довговічність при більшій в 1,14 разів механічної швидкості буріння. Необхідно зауважити, що осьові навантаження на експериментальні долота були більшими приблизно в 1,5 разів у порівнянні з навантаженням на імпортні. Співставлення ціни доліт і їх експлуатаційних показників показує на реальну конкурентоздатність експериментальної конструкції долота.

Характер руйнування фрезерованого породоруйнуючого оснащення шарошок експериментальних доліт вказує на першочергове і найінтенсивніше зношування вершини зміцненого релітом зубка, що призводить до оголення основного матеріалу шарошки. Відтак за рахунок різної зносостійкості найбільший абразивний знос прогресує в напрямку від вершини до основи зубів шарошки, в той час як армовані поверхні зубка сколюються. Однак висока в'язкість сталі серцевини шарошки і фрезерованих зубків зумовлює домінуюче руйнування пластичною деформацією, що сприяє своєрідному самозаточуванню зубків (рис. 4 а, б). Навіть повністю зруйновані до основи зубки (рис. 4, в),

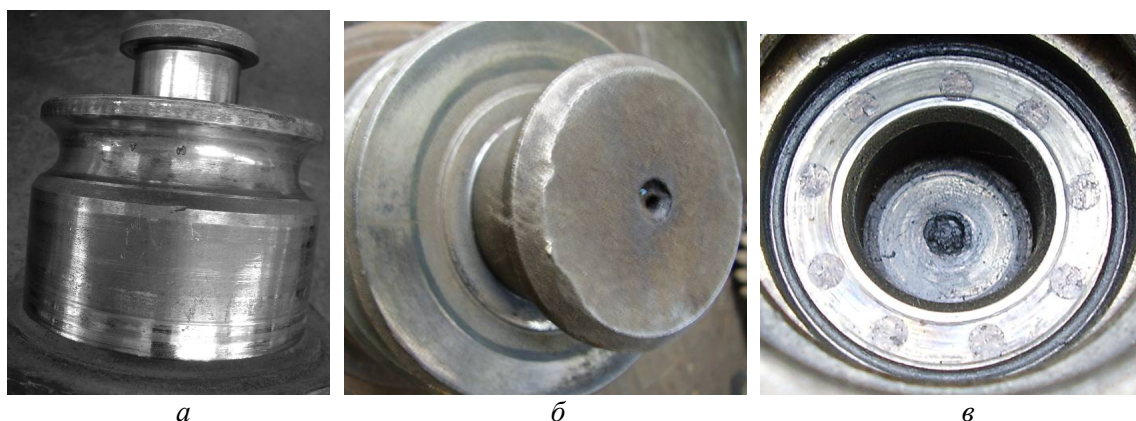
на відміну від відколених зубків базових доліт (рис. 3, а), мають поверхню, яка не допускає проковзування шарошки поверхнею вибою.

Опори експериментальних доліт виявили вищу зносостійкість підшипника „упорний торець шарошки – упорний торець цапфи лапи”. На відміну від серійної конструкції тут зафіксовано сліди кращих умов тертя. Зокрема поверхня упорного торця є гладкою, притертою (рис. 5). Водночас конструкція повною мірою не задовольняє сучасним вимогам, оскільки знос у цій парі спричинює різкий перерозподіл навантаження на опорі, від чого значні напруження виникають у замковому кульковому і великому роликівому підшипниках кочення, на що вказують пітінги на бігових доріжках з навантаженого боку цапфи лапи (рис. 5, а). Вища зносостійкість упорного торця шарошки забезпечувала вищу довговічність не тільки підшипників кочення, а й ущільнення опори. Необхідно зауважити, що основною причиною виходу з ладу шарошкових бурових доліт, як серійних, так і експериментальних, є низька зносостійкість опор при форсованих режимах буріння. Також виявлено у обох партіях типові проблеми з системою герметизації, що призводило до витікання мастила з системи мащення опори, що потребує подальшого вдосконалення даної конструкції доліт. В цілому експериментальна конструкція є працездатною і перспективною. Проте вона потребує подальшого вдоскона-



*а – загальний вигляд шарошки №3 з переважанням руйнування наплавлених вершин зубків і їх пластичною деформацією; б – сколювання вершини і абразивний знос та пластична деформація зубка; в – сколювання і пластична деформація під основу зубка*

**Рисунок 4 – Руйнування фрезерованого породоруйнуючого оснащення шарошок експериментальних доліт 393,7 М-ГВУ-D34**



*а – загальний знос опори і піттинги на біговій доріжці замкового кулькового підшипника кочення; б – загальний знос та тріщини на наплавленій поверхні упорного торця цапфи лапи; в – утворення на упорному торці шарошки притертої канавки, що відповідає поверхні торця лапи*

**Рисунок 5 – Загальний вигляд елементів експериментальної конструкції опори відпрацьованого бурового тришарошкового долота 393,7 М-ГВУ-D34**

лення в напрямку підвищення зносостійкості і контактної витривалості підшипників кочення і ковзання та надійності системи герметизації і мащення опори долота.

Отже, для підвищення довговічності бурових тришарошкових доліт з опорою ВУ і фрезерованим сталевим породоруйнуючим оснащенням слід керуватись такими критеріями. Для забезпечення довговічності фрезерованих і армованих релітом сталевих зубків необхідно, щоб сталь шарошки у стані поставки володіла не тільки якісними показниками по чистоті хімічного складу, а ще й добрими показниками пластичності. Також в процесі виготовлення заготовки шарошок повинні проходити обов'язкове високотемпературне термомеханічне оброблення для отримання сприятливого технологічного спаду. Термічні обробки шарошки і наплавлення на зубки реліту повинні забезпечувати необхідний запас міцності за критерієм тріщиностійкості сталі шарошки. Для цього слід жорстко контролювати прогартованість сталі шарошки по перерізу профілю зубів, міцність зчеплення і якість структури наплавленого реліту. Серцевина зубка повинна володіти високою в'язкістю і пружністю. Для конкрет-

них плавок сталі шарошки повинні призначатися необхідні режими хіміко-термічної обробки (температура підстуджування при цементації та температури другого гартування і відпусків). У процесі вдосконалення конструкції осьового підшипника ковзання „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки” слід виходити з вимог створення умов мащення, інтенсивного відведення тепла з зони контакту і ефекту вибіркового перенесення за рахунок використання ефективних антифрикційних матеріалів та оптимізації спряжених поверхонь. Слід враховувати, що між зносостійкістю осьового підшипника ковзання і довговічністю опори існує прямий зв'язок, оскільки, як відомо, підшипники ковзання не призначені для роботи за високих частот обертання. Тому у форсованих режимах буріння ці підшипники є одними з найслабших елементів опор ВУ.

Проведені дослідження вказали на доцільність подальшого вивчення резервів підвищення довговічності шарошkových доліт з опорою ВУ шляхом вдосконалення конструкції осьового підшипника „упорний торець цапфи лапи – упорний торець шарошки”.

Література

- 1 Современные шарошечные долота, проблемы их совершенствования и повышения надежности / [Торгашов А.В., Барвинок В.А., Бикбулатов И.К. и др.]; под ред. А.В. Торгашова. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2000. – 190 с.
- 2 Закиров Н.Н. Теория и практика повышения эффективности работы, надежности и долговечности буровых шарошечных долот: дис. ... доктора техн. наук: 25.00.15, 05.02.13 / Закиров Николай Николаевич. – Тюмень, 2004. – 360 с.
- 3 Hughes MAX bits: Motor accelerated rock bits that combine a high-speed metal seal with a high-speed bearing / Hughes Tool Company. – Texas, Houston: A Baker Hughes Company, 1991. – 6 p.
- 4 Каталог буровых долот компании Hughes Christensen / [сост. Хьюз Кристенсен] – М.: Бейкер Хьюз Инкорпорейтед, 2008. – 44 с.
- 5 Буровой породоразрушающий инструмент: Международная инженерная энциклопедия. (Международный транслятор-справочник) – Т.1: Шарошечные долота / [Под науч. ред. В.Я. Кершенбаума, А.В. Торгашова, А.Г. Мессера] – М.: Нефть и газ, 2003. – 257 с. (Серия „Нефтегазовая техника и технология” т. 1).
- 6 Smith Bits: каталог продукции 2007-2008: каталог / [сост. Smith International] – U.S.A. Texas, Houston: Smith International, Inc., 2007. – 65 с.
- 7 Масленников И.К. Буровой инструмент: справочник / Масленников И.К. – М.: Недра, 1989. – 430 с.
- 8 Технология шарошечного долота / [Schlumberger] // Нефтегазовое обозрение. – № 1. – Том 7. – 2002. – С. 6-14.
- 9 Ясашин В.А. Конструкторские и технологические методы повышения эффективности работы буровых шарошечных долот большого диаметра: автореф. дис. на соиск. науч. степени доктора техн. наук: 05.02.13 „Машины, агрегаты и процессы (нефтяная и газовая промышленность)” / В.А. Ясашин. – М., 2009. – 48 с.
- 10 Крылов К.А. Повышение долговечности и эффективности буровых долот. / К.А. Крылов, О.А. Стрельцова. – М.: Недра, 1983. - 206с.
- 11 Беликов В.Г. Рациональная отработка и износостойкость шарошечных долот / В.Г. Беликов, С.П. Посташ. – М.: Недра, 1972. – 160 с.
- 12 Курочкин В.Я. Повышение показателей работы шарошечных долот на основе исследований определяющих их факторов (на примере нефтяных месторождений Прикамья): дис. ... канд. техн. наук: 05.15.10 / Курочкин Виктор Яковлевич. – Москва, 1984. – 242 с.
- 13 Яким Р.С. Запобігання крихкому руйнуванню цементованих шарошок бурових доліт / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, Ю.В. Павловський // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій: зб. наук. праць за матеріалами 4-тої Міжнародної конференції [„Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій”] (Львів, 23–27 черв.) / заг. ред. В.В. Панасюк / М-во освіти і науки України, Європейське тов. з цілісності конструкцій [та ін.]. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2009. – С. 989 – 998.
- 14 Петрина Ю.Д. Теоретичні основи технологічного забезпечення довговічності відповідальних деталей обладнання нафтогазової промисловості / Ю.Д. Петрина, Р.С. Яким, А.В. Швадчак // Машинознавство. – 2008. – № 12. – С.32 – 36.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
07.12.10  
Рекомендована до друку професором  
Я.А. Крилем*