

Наука — виробництву

УДК 622.24.051.051.55

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ПАРИ ТЕРТЯ „УПОРНИЙ ТОРЕЦЬ БУРТА ЛАПИ – УПОРНИЙ ТОРЕЦЬ ШАРОШКИ” В ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛОТАХ ДЛЯ ВИСОКООБЕРТОВОГО БУРІННЯ

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

Установлено, что работоспособность пары трения „упорный торец бурта лапы – упорный торец шарошки” зависит не только от качественных физико-механических показателей наплавленного стеллита, а также от стойкости к износу и контактного разрушения других конструктивных элементов опоры. Также на работоспособность пары влияют конструктивное исполнение наплавленного слоя и элементов охлаждения в паре „пятяподпятник”. Установлено, что на интенсивность износа цементированного торца шарошки существенно влияют повышение значений зазоров в опоре и величина биения (особенно торцевого) шарошки.

At is determined that the efficiency of the friction pair „arm flange thrust end and thrust backface of cone” depends not only on the high-quality physico-mechanical indices of the fused stellite, but also on wear stability and contact destruction of other constructive elements of the bearing. Constructive fulfillment of fused layer and cooling elements in the pair „abutment and thrust button” also influences on the pair efficiency. At is fixed that the increase of clearance values in the bearing and the cone bearing and the cone beating value considerably influence on the wear intensity of cone cemented backface.

Одним з головних шляхів підвищення працездатності тришарошкових бурових доліт для високообертового буріння, поряд з підвищенням зносостійкості озброєння і вдосконаленням системи промивки та охолодження, є підвищення стійкості опор шарошок. Практика відпрацювання доліт свідчить, що значна частина доліт піднімається з вибоєм передчасно через руйнування поверхонь цапфи, шарошки і тіл кочення та заклинювання шарошок. Однією з найбільш імовірних причин зазначених руйнувань є низькі показники працездатності пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки”. Тому актуальним є вивчення можливостей підвищення працездатності даної трибологічної пари.

логічна пара працює в широкому діапазоні швидкостей ковзання, частот коливань і температур, в умовах динамічних контактних впливів і фретгінг-корозії при недостатньому мащенні, а також при потраплянні в зону тертя твердих абразивних частинок. Такі умови роботи пари приводять до інтенсивного контактного руйнування поверхонь тертя, утворення задирів, перенесення металу, адгезії і збільшення зазору. Збільшення зазору внаслідок зносу пари спричинює значне підвищення напружень у цілому вузлі опори.

Для сприйняття осьових зусиль, що зсувають шарошки під час буріння вздовж осей цапф, на торцях останніх виконуються підшипники ковзання. На торці цапфи, як правило, встановлюють твердосплавну п'яту, яка працює в парі з підп'ятником, запресованим в шарошку. На торці бурта кулькового замкового підшипника передбачено упорний підшипник ковзання, поверхню якого наплавляють шаром твердого зносостійкого сплаву. Дана трибо-

Сьогодні практично всі провідні фірми для виконання підшипників ковзання в опорах доліт використовують матеріали, що містять срібло чи наносять спеціальне покриття [1]. Наприклад, фірма „Hughes Christensen” здійснює напилювання срібла на упорному торці бурта кулькового замкового підшипника [2].

Фірма „Smith” для наплавлення робочих поверхонь підшипників ковзання розробила матеріал „Спінодал”: сплав міді-нікелю-олова [3]. В сучасних долотах серії FH цієї фірмою підшипники ковзання виконуються наплавленням на цапфу „Спінодалу”, а на поверхні шарошки напилюванням срібла [4].

Виробники бурових доліт для високооборотного буріння в Україні та СНД для наплавлення упорного торця лапи використовують сплав типу стеліт, аналогами якого є марки 3В16К, 3В14К-Б [5, 6], а упорний торець шарошки піддається цементації. Таке конструкторсько-технологічне рішення дає змогу суттєво знизити собівартість долота і в деяких випадках досягнути конкурентноздатних напрацювань долота. Проте існує невирішена проблема вибору матеріалів та ефективного й стабільного отримання фізико-механічних і експлуатаційних показників наплавлених шарів матеріалу та цементованої спряженої поверхні тертя. Відомо, що для закритих опор бурових доліт можна досягнути значних поступів у підвищенні довговічності шляхом підвищення герметизації і підбору мастил [7], а також реалізації ефекту вибіркового перенесення [8]. Що ж стосується вирішення цієї проблеми для відкритих опор, то вона ще вимагає детальних досліджень.

Вирішення даної проблеми присвячено роботи [7, 9-12] та ін. У відповідності до критеріїв працездатності підшипників ковзання долота, автори по-різному обирають шляхи підвищення їх довговічності.

Відомо, що композиційні матеріали з макрорегетерогенною структурою, яка включає тверді частинки і матричний матеріал, що має якості твердого мастила, володіє високою зносостійкістю. З огляду на це в [9] встановлено перспективність використовувати для підшипників опори композиційний матеріал на основі сплаву срібла (припій ПСр40) і зерен реліту. На основі аналізу теплового режиму роботи трибоспряжень опори в [10] запропоновано використання карбідонітрування. Маючи на меті підвищити стабільність отримання фізико-механічних властивостей наплавленого шару стеліту 3В-16К в [11] пропонується наносити стеліт не газополум'яним методом, а фрикційним способом. Однак у виробництві доліт дані методи не отримали належного застосування.

Слід зауважити, що до сьогодні газотермічний метод використовується для наплавлення стелітів на опорі і тільки за останні роки отримав значного застосування спосіб плазмового наплавлення порошковим стелітом.

Виявлено [12], що коефіцієнт тертя ковзання та несуча здатність в парі тертя стеліт-сталь не має чіткої залежності від твердості стелітного покриття. Однак темп лінійного зносу цементованої поверхні був найменшим в парах тертя, де стелітне покриття мало високу твердість. Встановлено, що використання стелітних покриттів 3В16К з високою поверхневою твердістю (49-52 HRC) призводить до зниження лінійного зносу цементованої поверхні в 3 рази.

Виявлені протиріччя в напрямках підвищення довговічності підшипників ковзання опори пояснюються обмеженістю можливостей розрахунково-аналітичних методів [13]. Умовність класів зносостійкості також не дає змоги з необхідною достовірністю прогнозувати ресурс важко навантажених трибоспряжень в пе-

ршу чергу тому, що практично всі конструкційні антифрикційні матеріали не перевірені за параметром допустимої інтенсивності зношення в експлуатаційних умовах. Практика свідчить [14], що на лабораторному обладнанні неможливо дати оцінку допустимої несучої здатності матеріалу і для даного випадку можна лише попередньо ранжувати конструкційні і тверді мастильні матеріали.

З метою підвищення працездатності підшипника ковзання „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” було поставлено задачу здійснити аналіз можливості покращення експлуатаційних властивостей трибологічних поверхонь, виконаних з наплавленням стелітом (торець цапфи) і цементацією (торець шарошки).

Гіпотезою дослідження є твердження, що працездатність пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” залежить не тільки від якісних фізико-механічних показників наплавленого стеліту, а й від стійкості інших конструктивних елементів опори. На працездатність пари можуть здійснювати вплив конструктивного виконання наплавленого шару та елементів охолодження в парі „п'ята-підп'ятник”, а також зазори в опорі та биття шарошки.

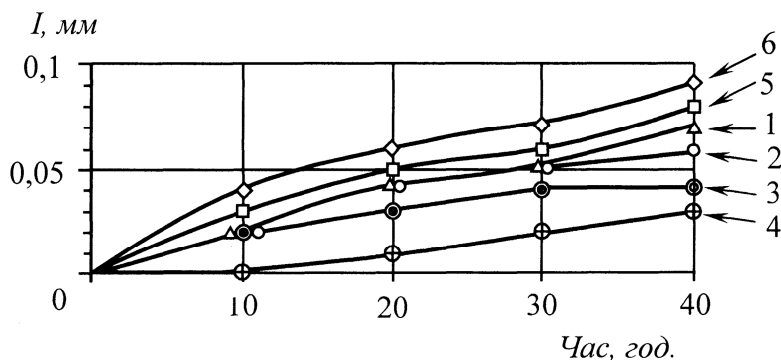
Для перевірки висунутої гіпотези і виконання поставленої задачі дослідження на ВАТ „Дрогобицький долотний завод” (ВАТ „ДДЗ”) було виготовлено експериментальні партії секцій бурових доліт з відкритою опорою для високооборотного буріння 244,5 ОК-ПГВ Д26У.

Шарошки виготовляли із сталі 14ХН3МА-В, лапи із сталі 19ХГНМА-В. Хіміко-термічна обробка шарошок здійснювалася згідно серійної типової технології на ВАТ „ДДЗ”. Цементацію в ендотермічному середовищі проводили в печі Ipsen – Carb-o-Prof – III, що забезпечує комп'ютеризований контроль і керування технологічним процесом.

У всіх випадках наплавлення здійснювали за однакових режимів відповідно до діючих вимог на ВАТ „ДДЗ” для плазмового наплавлення стелітом „Stellite 190 W”, використовуючи устаткування ПМ-300Д. Дане устаткування призначене для автоматизованого плазмового порошкового наплавлення опорних поверхонь лап бурових доліт і забезпечує необхідну якість та стабільність процесу.

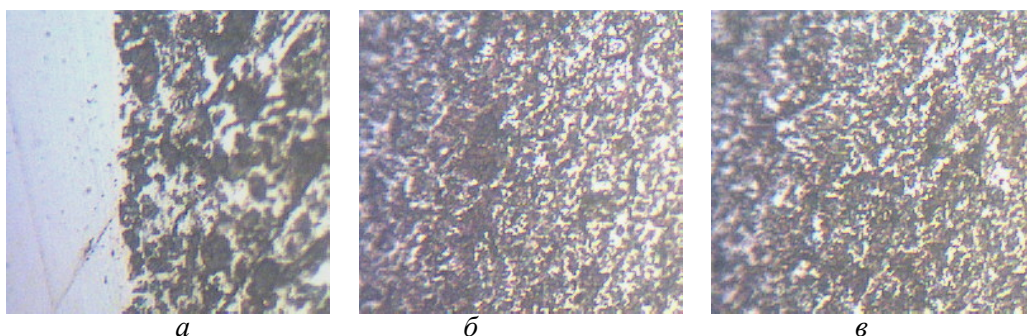
Фізико-механічні властивості сталі визначали на зразках-свідках згідно стандартних методик. За глибину цементованого шару приймали заевтектоїдну, евтектичну і половину перехідної зони „цементований шар – серцевина”. Твердість вимірювали за стандартною методикою на темплетях з досліджуваних опор за допомогою ПМТ-3.

Дослідження мікроструктури проводили згідно стандартної методики [15] за допомогою мікроскопу ММ-2Р з використанням цифрової камери КЦ-13. Оцінку карбідів в структурі цементованого шару здійснювали згідно рекомендацій [16]. Виявлення мікроструктури наплавлених стелітом шарів здійснювалось травленням поверхні шліфа розчином Мураками.



1 – упорний торець бурта наплавлений по всій ширині робочої поверхні (комплект №1);
 2 – упорний торець бурта не захищений від цементації і змінена система охолодження в парі п'ята-під'ятник, (комплект №2); 3 – упорний торець бурта наплавлений по всій ширині робочої поверхні без канавки для наплавлення стеліту (комплект №3); 4 – наплавлення на торець лапи з підвищеними вимогами до хімічного складу та до термообробки (комплект №4);
 5, 6 – наплавлення на серійні лапи (комплекти відповідно №5 і 6)

Рисунок 1 — Характер зносу упорного торця бурта лапи наплавленого стелітом „Stellite 190 W”



а – перехідна зона сталь-стеліт; б – серцевина; в – на глибині до 1,5 мм

Рисунок 2 – Мікроструктура наплавленого шару з стеліту „Stellite 190 W” на торці бурта лапи, яка виготовлена з сталі 19ХГНМА-В (×500)

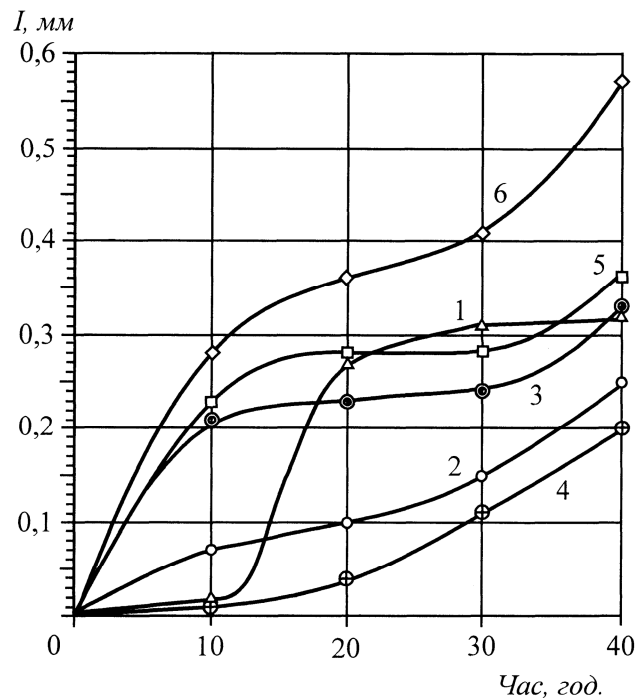
Випробовування доліт проводили на стенді випробовування доліт (СВД) ВАТ „ДДЗ”. Механізм обертання долота в контакт з металевим вибоєм здійснювали за частоти обертання долота 100 об/хв, осьовому навантаженні на долото 70-80 кН. Навантаження поступово збільшували: 1год – 10 кН, 1год – 30 кН, і поступово протягом 20 хв виходили на режим 80 кН. Для встановлення впливу биття на знос випробовування доліт здійснювали за осьового навантаженні на долото 170-180 кН.

Для встановлення чинників, що впливають на знос досліджуваної пари було проведено стендові дослідження над 6 комплектами секцій доліт.

Після попереднього шліфування наплавлених поверхонь отримували поверхневу твердість HRC 58-60. На кожному наплавленому шарі виявлено 2-3 радіальні тріщини, що відповідає діючим на виробництві вимогам. Пошаровий аналіз наплавленого шару дає змогу отримати розподіл твердості по глибині: на глибині 0,5 мм – HRC 57-58, на глибині 1,0 мм – HRC 57-58, на глибині 1,5 мм – HRC 52-55.

В результаті стендових експериментів встановлено вплив конструкторських особливостей виконання опори та вимог до матеріалів опори на характер зносу наплавленого шару упорного торця бурта (рис. 1). З отриманих даних випливає, що у всіх випадках знос наплавленого шару не перевищує 0,1 мм. Комплекти № 1, 2, 3 до 10 годин відпрацювання зношуються однаково, після цього комплект № 3 зношується з помітно меншою інтенсивністю, що може бути пояснене більшою площею тертя та однаковою товщиною наплавленого шару. Найгірші показники зносостійкості в серійних комплектах № 5 і 6. Найкраща зносостійкість виявилася в комплекті № 4 з підвищеними вимогами до хімічного складу лапи та до її термообробки.

Аналіз мікроструктури наплавлених шарів виявив типову для сплаву на кобальтовій основі дендритну структуру (рис. 2). При цьому доля твердого розчину вольфраму і хрому в кобальті (світлі дендритні ділянки) є дещо більшою в зоні сплавлення сталь-стеліт і в поверхневих шарах. Причому в зоні сплавлення спостерігається найбільш чітка дендритна будова, що характеризує добре сплавлення без перегріву і плавлення сталі-основи. Отже, на відстані від зони сплавлення 0,1 – 0,4 мм мікроструктура



1 – упорний торець комплекту №1, де упорний торець бурта лапи наплавлений по всій ширині робочої поверхні; 2 – упорний торець комплекту №2, де упорний торець бурта лапи не захищений від цементації і змінена система охолодження в парі п'ята-підп'ятник; 3 – упорний торець комплекту №3, де упорний торець бурта лапи наплавлений по всій ширині робочої поверхні без канавки для наплавлення стеліту; 4 – упорний торець комплекту №4 з підвищеними вимогами до хімічного складу та до термообробки шарошки і лапи; 5, 6 – упорні торці комплектів №5 і 6, які виготовлені за серійною технологією

Рисунок – 3 Характер зносу хіміко-термічно зміцненого упорного торця шарошки зі сталі 14ХНЗМА-В

доевтектної (рис. 2, а) з плавним переходом в евтектичну (рис. 2, б). Доевтектична структура характеризується наявністю дендритів твердого розчину і карбідної евтектики. Поверхневі наплавлені шари мають типову заевтектійну структуру (рис. 2, в). Проведений аналіз свідчить, що наплавлення було проведено якісно і забезпечує необхідні експлуатаційні властивості зміцнених поверхонь.

Аналіз отриманих даних відпрацювання досліджуваних комплектів дає змогу твердити, що виконання наплавлення по всій поверхні упорного бурта є більш ефективним, ніж зміна системи охолодження в парі п'ята-підп'ятник і відсутність захисту від цементації упорного бурта. Разом з тим, найбільший вплив на стійкість наплавлених шарів здійснили заходи направлені на підвищення якостей хімічного складу лапи (вибір оптимальної плавки) та до її хіміко-термічної обробки.

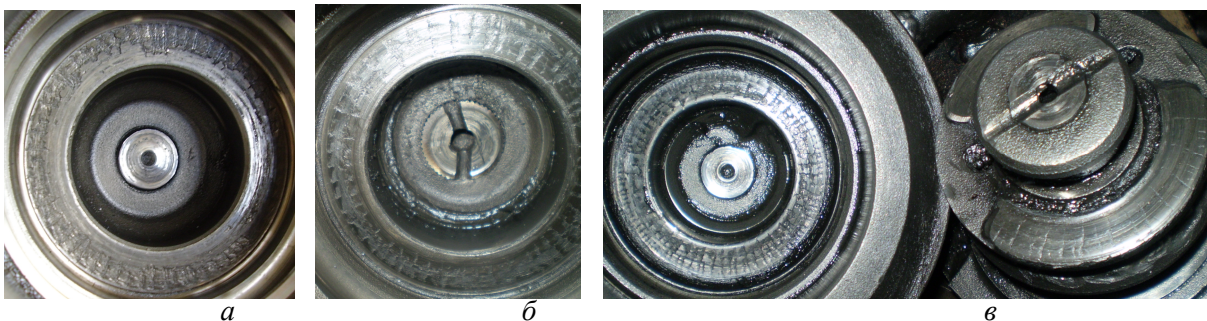
Аналіз динаміки зносу цементованого упорного торця шарошки (рис. 3) виявив, що комплекти № 6, 5, 3 мають подібну динаміку зносу. При цьому найменша інтенсивність зношення спостерігалася в комплекті № 3. Очевидно рівномірний по висоті наплавлений шар забезпечує кращі експлуатаційні властивості за рахунок більш однорідних фізико-механічних властивостей структури шару після шліфування. Комплектами № 2 і 4 виявлено найвищу стій-

кість цементованого упорного торця. Високу зносостійкість протягом перших 10 годин виявив комплект № 1, але до 20 години упорний торець інтенсивно спрацьовувався, випередивши на 30 год. комплекти № 3 і 5 і потім стабілізувався, показавши в результаті співмірні показники по зносостійкості з комплектом № 3 та кращі за комплекти № 5 і 6. Отже, на інтенсивність зносу упорного торця шарошки суттєвий вплив здійснює стійкість лапи, забезпечена якісними показниками плавки сталі та отриманими хіміко-термічною обробкою експлуатаційними властивостями (табл. 1). Також зміна охолодження в парі „п'ята-підп'ятник” шляхом виконання на підп'ятнику каналів для охолоджуючого агента і встановлення оберненої п'яти позитивно вплинули на стійкість опори (рис. 4). Тут постійна зміна струменю промивної води з ходом обертання шарошки забезпечувала кращі умови тертя в парі.

Високі показники твердості цементованого шару і його значна глибина (більша 2,1 мм) чи її коливання, а також значний перепад твердості між цементованим шаром і серцевиною спричиняють до інтенсивного глибинного викришування шару бігових доріжок. Також необхідно зазначити, що високі показники вмісту карбідних включень в цементованому шарі спричиняють до інтенсивного утворення піттингів і тріщин, що інтенсифікує процес зносу.

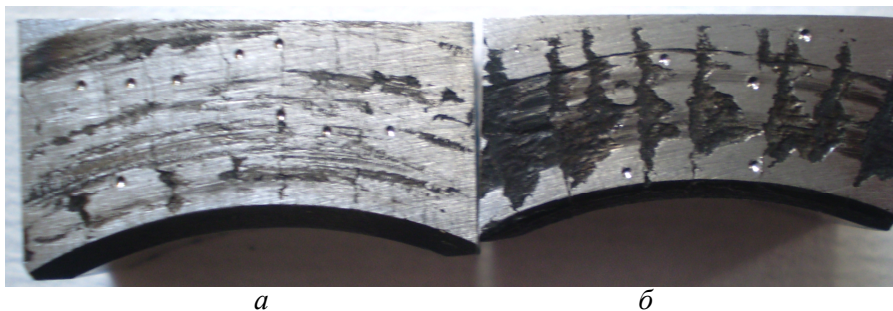
Таблиця 1 – Параметри цементованого шару досліджуваних опор

№ комп.	Деталь	Товщина цементованого шару, мм	Поверхнева твердість, HRC	Твердість серцевини, HRC	Карбіди в цементованому шарі, бали	Твердість зношеного упорного торця, HRC
1	шарошка	2,1	59	36	1-2	46-48
	лапа	2,2	63	24	4	
2	шарошка	1,6	61	37	1	48-49
	лапа	2,1	62	33	1-2	
3	шарошка	2,1	59	35	1-2	43-46
	лапа	2,1-2,2	63	30	1-2, місцями 4	
4	шарошка	1,6	61	37	1	54-59
	лапа	2,1	61	27	1-2	
5	шарошка	1,8	60	34	3	38-44
	лапа	2,4	63	25	3-4	
6	шарошка	1,65-1,3	60-62	40,5	1-3	38-44
	лапа	1,1-2,1	62	23	3, місцями 5	



а – шарошка комплекту № 1, у якій упорний торець бурта наплавлений по всій ширині робочій поверхні після 40 годин відпрацювання; б – шарошка комплекту № 2 із зміненою системою охолодження в парі п’ята-підп’ятник після 40 годин відпрацювання; в – серійний комплект № 6 після 30 годин відпрацювання

Рисунок 4 – Вигляд відпрацьованих елементів комплектів



а – темплет з шарошки комплекту № 4, знос цементованого шару 0,2 мм, б – темплет з шарошки комплекту № 3, знос цементованого шару до 0,32 мм

Рисунок 5 – Темплети внутрішнього упору з шарошок випробуваних комплектів доліт

Високі показники твердості на темплетях зношених упорних торців комплектів № 2 і 4 у порівнянні з іншими комплектами можуть пояснювати високу їх стійкість. Слід звернути увагу на високі експлуатаційні показники комплектів № 1 і 3. Типовий знос цементованого шару упорних торців представлено на рис. 4, 5. На зношеній поверхні утворюються тріщини перпендикулярні до напрямку тертя і сліди викришування цементованого шару, що свідчить про вкрай важкі умови роботи трибологічної пари. Високий вміст карбідів в цементованих шарах

упорних торців шарошки та на бігових доріжках лап комплектів № 5 і 6 спричинював найнижчу зносостійкість пари. Тут зафіксовано найвищий ступінь утворення тріщин контактного руйнування і відшарування цементованого шару.

В ході стендових випробовувань також виявлено, що у випадку коли упорний бурт починає працювати скоріше, ніж пара „п’ята-підп’ятник”, відбувається інтенсивне спрацювання тіла шарошки на упорному бурті. У випадку, коли інтенсивно починають руйнуватися

Таблиця 2 – Вплив зазорів в опорі на знос досліджуваних поверхонь

№ компл.	Зазор, мм		Знос, мм	
	по парі „п’ята – підп’ятник”	по парі „упорний торець бурта – упорний торець шарошки”	упорного торця шарошки (цементований)	упорного торця бурта лапи (наплавлений)
1	0	0,04	0,32	0,07
2	0,06	0,09	0,25	0,06
3	0,07	0,02	0,33	0,04
4	0,05	0,08	0,20	0,03
5	0,08	0,07	0,36	0,08
6	0	0,07	0,48	0,09

опорні поверхні підшипникових рядів також зафіксовано пришвидшення зносу досліджуваної пари. Розбирання і огляд комплектів під час випробувань виявив наступне. В комплекті №1 починаючи з 10 год. почала інтенсивно зношуватись пара „п’ята-підп’ятник”, з 20 год. прогресувало і стабілізувалось втомне контактне руйнування кулькової (КБД) та великої бігової доріжки (ВБД) на опорі. В комплекті №2 зафіксовано стабільний знос в парі „п’ята-підп’ятник”, плавне прогресування втомного контактного руйнування КБД і ВБД на опорі. В комплекті №3 до 10 год. зауважено інтенсивний знос в парі „п’ята-підп’ятник”, плавне зростання втомного контактного руйнування КБД і ВБД на опорі. В комплекті №4 зафіксовано рівномірний знос в парі „п’ята-підп’ятник”, плавне і повільне прогресування втомного контактного руйнування КБД і ВБД на опорі. В комплекті №5 спостерігали картину зносу елементів опори аналогічну до комплекту №3. В комплекті №6 до 10 год. спостерігали інтенсивний знос в парі „п’ята-підп’ятник” та плавне зростання значного втомного контактного руйнування КБД і ВБД на опорі.

Отже, на зносостійкість пари також впливають зазори в опорі по поверхнях тертя пар „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” і „п’ята-підп’ятник”. Оцінка отриманих даних вимірювань (табл. 2) свідчить, що не дивлячись на сприятливі зазори, які забезпечують розвантаження в початковий момент роботи досліджуваної пари комплекту № 6, тут спостерігали максимальний знос. Зазори в комплектах № 3 і 5 спричинювали до інтенсивного припрацювання пари, яка вступала в роботу швидше пари „п’ята-підп’ятник”. Причому в комплекті № 3 цей чинник був інтенсивніший. Для комплектів № 2, 4 зазори є однаковими, співмірний до них зазор в опорі комплекту №1. Очевидно значення цих зазорів дають змогу забезпечувати нормальний режим роботи, коли пара „п’ята-підп’ятник” вже припрацювалась.

Як відомо, зазори в опорі суттєво впливають на биття шарошки. З метою встановлення впливу биття на експлуатаційні показники досліджуваної пари було випробувано вибрані три однакові серійні комплекти, у яких були заміряні значення радіального і торцевого биття шарошки. Після відпрацювання комплектів на стенді протягом 20 год. було заміряно ліній-

ний знос на цементованому упорному торці шарошки. Оцінка працездатності досліджуваної пари на основі зносу цементованого упорного торця шарошки обґрунтовується отриманим однаковим значенням зносу наплавленого шару – 0,01 мм. В результаті отримали середні значення радіального (0,433 мм), торцевого (0,5 мм) биття та зносу упорного торця (0,423 мм).

Встановлення характеру впливу радіального і торцевого биття шарошки на інтенсивність зносу пари шукали за допомогою моделі, побудованої на основі вектора з координатами (X, Y, Z) , де прийняли: X – радіальне, Y – торцеве биття шарошки та Z – знос упорного цементованого торця шарошки.

Отже, при заданих X і Y умовне математичне очікування Z є лінійна функція:

$$E\left(\frac{Z}{X}, Y\right) = A + BX + CY, \quad (1)$$

де A, B, C – коефіцієнти рівняння регресії.

Прийнявши результати замірів радіального x_r й торцевого y_r биття шарошки та лінійний знос упорного цементованого торця шарошки z_r , а також похибку вимірювань Δ_r і її дисперсію σ^2 запишемо:

$$E\left(\frac{Z}{x_r}, y_r\right) = A + Bx_r + Cy_r, \quad (2)$$

$$z_r = \Delta_r + E\left(\frac{Z}{x_r}, y_r\right).$$

Звідси отримаємо:

$$z_r - \Delta_r = A + Bx_r + Cy_r, \quad (3)$$

$$(r = 1, 2, 3, \dots, n).$$

Вважаючи, що похибка вимірювань (Δ_r) є незначна і її дисперсією (σ^2) можна знехтувати, задача встановлення впливу биття на знос цементованого торця – I_T зводиться до точної оцінки лінійної форми з заданими значеннями радіального ξ і торцевого η биття шарошки

$$I_T = A + B\xi + C\eta. \quad (4)$$

Використовуючи метод найменших квадратів та, викладених в [17], залежностей, отримали наступне.

Власні коефіцієнти кореляції:

$$r_{xy} = 0,404; r_{xz} = 0,300; r_{yz} = 0,335.$$

Відповідні оцінки коефіцієнтів:

$$s_x^2 = 0,109; s_y^2 = 0,127; s_z^2 = 0,056.$$

Знайшовши коефіцієнти регресійної моделі згідно залежностей:

$$A = \bar{Z} - \bar{X} \frac{s_z}{s_x} \left(\frac{r_{xz} - r_{xy} r_{yz}}{1 - r_{xy}^2} \right) - \bar{Y} \frac{s_z}{s_y} \left(\frac{r_{yz} - r_{xy} r_{xz}}{1 - r_{xy}^2} \right); \quad (5)$$

$$B = \frac{s_z}{s_x} \left(\frac{r_{xz} - r_{xy} r_{yz}}{1 - r_{xy}^2} \right); \quad (6)$$

$$C = \frac{s_z}{s_y} \left(\frac{r_{yz} - r_{xy} r_{xz}}{1 - r_{xy}^2} \right); \quad (7)$$

отримали лінійне рівняння регресії, що дає можливість оцінити вплив радіального ξ і торцевого η биття шарошки на знос цементованого торця – I_T :

$$I_T = 0,276 + 0,141\xi + 0,17\eta \text{ [мм]}. \quad (8)$$

З отриманого рівняння випливає, що за відсутності биття шарошки знос є мінімальним і, очевидно, залежить від конструктивного виконання упорного підшипника ковзання „п’ята-підп’ятник” та узгодженої роботи всіх підшипникових рядів опори. Разом з тим видно, що торцеве биття в досліджуваних межах має сильніший вплив, ніж радіальне приблизно на 20,6%. Це може бути пояснено тим, що за відпрацювання долота з високими значеннями торцевого биття зростають ударні навантаження. В результаті інтенсифікується процес руйнування відповідальних поверхонь опори. Отримані дані добре узгоджуються з відомими результатами досліджень впливу точності складання опори на її напрацювання [7, 18].

Отже, для забезпечення високих показників працездатності пари тертя „упорний торець бурта лапи – упорний торець шарошки” можна виділити наступні перспективні шляхи:

1) відмовитись від використання сталей вакуумно-дугового переплаву, які не забезпечують стабільність як хімічного складу, так і фізико-механічних властивостей контактних поверхонь опори, що спричинює низьку працездатність вузла. Можна також здійснювати жорсткий вибір плавок сталі за аналогом провідних зарубіжних фірм – виробників доліт.

2) хімічний склад та хіміко-термічна обробка сталі для виготовлення шарошок повинні забезпечувати високу стійкість до утворення тріщин та відшарування цементованого шару.

3) зниження коефіцієнту тертя між наплавленою і цементованою поверхнею шляхом нанесення на цементовану поверхню антифрикційного матеріалу або встановлення альтернативного матеріалу до існуючого стеліту для наплавлення.

4) наплавлення упорного торця бурта лапи здійснювати по всій ширині робочої поверхні без канавки для наплавлення стеліту, при цьому забезпечувати рівну висоту наплавленого шару.

5) зміна охолодження в парі „п’ята-підп’ятник” шляхом встановлення на підп’ятнику каналів для охолоджуючого агента і встановлення п’яти без охолоджуючих каналів.

6) здійснювати жорсткий контроль зазорів і не допускати биття шарошок.

7) конструкторськими методами забезпечувати оптимальний розподіл навантаження в опорі. Слід уникати випадків, коли основне навантаження опори припадає на якийсь один чи декілька елементів.

На далі актуальним питанням є дослідження впливу деформацій і поводок на працездатність опори, а також встановлення конструкторських, технологічних і металургійних чинників, які суттєво впливають на працездатність підшипників опори.

Література

- 1 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).
- 2 Каталог буровых долот компании Hughes Christensen / [сост. Хьюз Кристенсен] – М.: Бейкер Хьюз Инкорпорейтед, 2008. – 44 с.
- 3 Smith Tool. Передовая технология оптимального проведения буровых работ: каталог / [сост. Smith International] – М.: Смит Интернэшнл, ИНК, 1998. – 23 с.
- 4 Smith Bits: каталог продукции 2007-2008: каталог / [сост. Smith International] – U.S.A.: Smith International, Inc., 2007. – 65 с.
- 5 Каталог горнорудных шарошечных долот: каталог-руководство по эксплуатации / [сост. ОАО «ВБМ-групп»] – М.: ОАО «ВБМ-групп», 2008. – 46 с.
- 6 Каталог продукції для нафтової та газової промисловості: каталог / [авт.: ВАТ „Дрогобицький долотний завод”] – Дрогобич: ДДЗ, 2008. – 57 с.
- 7 Долговечность шарошечных долот / [Н.А.Жидовцев, В.Я.Кершенбаум, Э.С.Гинзбург и др.] – М.: Недра, 1992. – 272 с.
- 8 Мелень Б.В. Повышение износостойкости герметизированных опор шарошечных долот путем реализации эффекта избирательного переноса: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.04 „Трение и износ в машинах” / Б.В.Мелень. – М., 1983. – 24 с.
- 9 Губарев А.С. Исследование работоспособности опор долот с подшипниками скольжения: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.04.07 „Машины и агрегаты нефтяной и газовой промышленности” / С.С.Губарев. – М., 1976. – 28 с.

10 Дрогомирецький Я.М. Підвищення довговічності шарошкових доліт для низькооборотного буріння: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.05.12 „Машини нафтової і газової промисловості” / Я.М.Дрогомирецький. – М., 1999. – 36 с.

11 Черемисинов Е.М. Исследования в области повышения износостойкости опоры скольжения шарошечных бурильных головок: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.04 „Трение и износ в машинах” / Е.М.Черемисинов. – М., 1975. – 27 с.

12 Богомолов Р.М. Методы повышения эффективности разрушения горных пород при бурении скважин шарошечными долотами: автореф. дис. на соискание ученой степени докт. техн. наук: спец. 25.00.15 „Технология бурения и освоения скважин” / Р.М.Богомолов. – М., 2001. – 61 с.

13 Brendel H. Wissensspeicher Tribotechnik / H. Brendel – Leipzig: VEB FACHBUCHVERLAG, 1978. – 344 s.

14 Дякин С.И. Некоторые концепции применения материалов в тяжело нагруженных трибосопряжениях / С.И. Дякин, Т.П.Филатова // Долговечность трущихся деталей машин: сб. научн. ст. – Вып. 2 / Под общ. ред. Д.Н.Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1987. – С. 19–31.

15 Структурний аналіз металів. Металографія. Фрактографія. / [Бялік О.М., Кондратюк С.Є., Кіндрачук М.В., Черненко В.С.]. – К.: ВПІ ВПК „Політехніка”, 2006. – 328 с.

16 Контроль качества термической обработки стальных полуфабрикатов и деталей: справочник / [А.Л.Белинский, В.А.Булгаков, В.В.Горюшин и др.; общ. ред. В.Д.Кальнер.] – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.

17 Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. / Ю.В.Линник – [2-е изд. дополн. и исправл.] – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 352 с.

18 Посташ С.А. Повышение надежности и работоспособности шарошечных долот / С.А.Посташ – М.: Недра, 1982. – 120 с. – (Межиздательская серия „Надежность и качество”).