

УДК 622.24.05

**Р.С. Яким, професор, д-р техн. наук,**

*Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка,  
вул. І.Франка, 24, Україна, 82100, м. Дрогобич,  
Jakyt.r@online.ua*

**Ю.Д. Петрина, професор, д-р техн. наук,**

**І.С. Яким, аспірант**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
вул. Карпатська, 15, Україна, 76019, м. Івано-Франківськ,  
mtf@iung.edu.ua*

## ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ МЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ОПОРНИХ ПОВЕРХОНЬ ШАРОШОК ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

*Аналізується якість, точність та сталість в часі механічного токарного оброблення в кінцевій розмір опорних поверхонь шарошок тришарошкових бурових доліт.*

**Ключові слова:** *точіння, точність, стійкість, опора, шарошка.*

Елементи опор тришарошкових бурових доліт працюють в широких межах контактних навантажень тертя кочення і ковзання при високих контактних температурах тощо. Відтак значна кількість таких доліт виходить з ладу через заклинювання опор. Тому до опорних елементів бурових доліт висуваються жорсткі вимоги щодо забезпечення їх якісних показників. Вирішення цієї задачі здійснюється комплексно на усіх етапах створення доліт. Оскільки найбільш вагомими в технології виготовлення доліт є операції механічного оброблення деталей доліт, то вивчення шляхів забезпечення якості на таких операціях є актуальним і має важливе практичне значення для вітчизняного долотобудування.

У практиці долотобудування добре себе зарекомендував процесний підхід, що дозволяє реалізовувати повну автоматизацію процесів комп'ютеризованого проектування і конструювання та виготовлення деталей доліт у єдиному інформаційному середовищі, а також забезпеченням комп'ютеризованої підтримки процесів життєвого циклу деталей і доліт в цілому [1]. Тим не менше питання забезпечення якості конструкторських параметрів елементів опор механічним обробленням потребують докладних досліджень. Зокрема, поряд з достатньо вивченими умовами забезпечення якості бігових доріжок цапф лап доліт [2] відчувається брак такої інформації для забезпечення якості елементів опор шарошок.

Для усунення цього було поставлено задачу встановити можливості забезпечення точності та стабільності отримання заданих конструкторських показників бігових доріжок шарошок доліт у єдиному процесі автоматизованого точіння в цехових умовах на ТОВ „УніБурТех” (м. Дрогобич). З цією метою використано розроблені рекомендації, описані в [3]. Оброблення шарошок здійснювали на вертикальному одношпиндельному токарному центрі VSC виробництва фірми „EMAG” що обладнаний системою ЧПК SIMENS 840D (рисунок 1).



а)



б)

Рисунок 1 – Загальний вигляд токарного центру VSC-500 фірми „EMAG”, налагодженого для оброблення елементів опори шарошок бурових доліт (а) та загальний вигляд оброблених поверхонь шарошки бурового долота типорозміру  $\varnothing 444,5$  мм (б)

Ці верстати, дозволяють забезпечувати високу продуктивність та гнучкість виробництва, автоматизацію технологічних процесів.

Точність оброблення даного верстату забезпечується автоматизованим фіксуванням і позиціонуванням заготовки шарошки в патроні, що складає 0,05 мм. Контроль геометричних параметрів оброблених поверхонь здійснюється спеціалізованим вимірним щупом „Magros”. Застосовано спеціальні різці зі змінними пластинами з твердого матеріалу на основі кубічного нітриду бору. Такі різці добре обробляють загартовані долотні сталі твердістю до HRC65 та дозволяють застосовувати режим високошвидкісного оброблення (HSM – High Speed Machining), який на сьогодні є прогресивною технологією механічного оброблення матеріалів. Оцінювання шорсткості оброблених поверхонь здійснювали за допомогою профіломіра HOMVEL TESTER T1000.

Оскільки найбільші проблеми у забезпеченні точності як правило виникають на великих типорозмірах шарошок доліт то дослідження проводили на шарошках долота  $\varnothing 444,5$  мм. Також зважаючи на те, що велика бігова доріжка шарошки має найбільший розмір, що може позначитися на її точності, а до її геометрії висувають високі вимоги, тому вона була піддана вивченню на предмет виникнення похибок при її точінні.

Статистичне оцінювання отриманих результатів експерименту здійснено методом малих вибірок, оскільки він дозволяє відслідкувати динаміку зміни точності процесу оброблення і його настроєності в часі. При плануванні експерименту об'єм вибірки становив  $n=5$  шт, кількість вибірок  $m=20$ . Математична обробка статистичних даних вимірювань розмірів проводилась за допомогою програмного пакету MathCAD фірми MathSoft.

Отже, в процесі обмірювань дослідної партії шарошок після досліджуваного точіння в кінцевий розмір великої роликової бігової доріжки  $\varnothing 154,49^{+0,1}$  мм встановлені відхилення подані на рисунку 2.

Застосовуючи відомі формули [4] для кожної вибірки обчислено: середнє арифметичне  $\bar{X}_i$ , дисперсія  $s_i^2$ , середнє квадратичне відхилення  $s_i$ . Для вирішення питання про сталість розсіювання відхилень порівнювали по черзі кожні дві суміжні вибірки і оцінювали їх розходження за допомогою критерію  $T_n$ , наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$T_n = \frac{s_3^2}{s_2^2}.$$

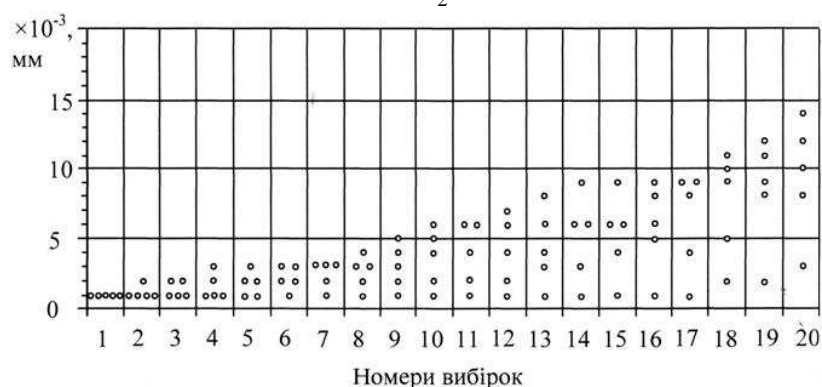


Рисунок 2 – Точкова діаграма розсіювання відхилень діаметрів великої роликової бігової доріжки шарошки після досліджуваного кінцевого точіння в розмір  $\varnothing 154,49^{+0,1}$  мм

Згідно [4] при  $k_1 = k_2 = n - 1 = 4$  табличне значення критерію  $T = 6,39$ . Якщо при порівнянні справджується умова  $T_n > T$ , то це означає, що вибірки не належать одній і тій самій сукупності. У даному випадку розсіювання відхилень вибірок та дисперсії вибірок не мають різко відмінних значень. Зауважимо, що у всіх випадках відхилення зафіксовані у вибірках має випадковий характер, оскільки порівняння дисперсій суміжних вибірок дає менші значення за табличне значення критерію  $T = 6,39$ .

Для встановлення сумарної точності процесу точіння обчислювали спочатку оцінку точності  $\sigma_0$  всієї сукупності, з якої брались вибірки згідно [4]:

$$\sigma_0 = \frac{\bar{s}}{H_n} = \frac{1}{H_n m},$$

де  $H_n$  – коефіцієнт, що вибирається відповідно до об'єму вибірки [4],  $\bar{s}$  – середнє квадратичне

відхилення вибірок, дисперсії яких пройшли перевірку згідно критерію  $T_m$ ,  $m$  – число вибірок, які пройшли перевірку згідно критерію  $T_n$ .

Таблиця 1 – Результати статистичних обчислень для оцінки відхилення діаметрів великих роликів бігових доріжок шарошки після точіння в кінцевий розмір

№ вибірки	$\bar{X}_i$	$s_i^2$	$s_i$
1	$1,0 \times 10^{-3}$	–	–
2	$1,2 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-7}$	$4,472 \times 10^{-4}$
3	$1,4 \times 10^{-3}$	$3,0 \times 10^{-7}$	$5,477 \times 10^{-4}$
4	$1,6 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-7}$	$8,944 \times 10^{-4}$
5	$1,8 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^{-7}$	$8,367 \times 10^{-4}$
6	$2,2 \times 10^{-3}$	$7,0 \times 10^{-7}$	$8,367 \times 10^{-4}$
7	$2,4 \times 10^{-3}$	$8,0 \times 10^{-7}$	$8,944 \times 10^{-4}$
8	$2,6 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-6}$	$1,42 \times 10^{-3}$
9	$3,0 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-6}$	$1,581 \times 10^{-3}$
10	$3,6 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-6}$	$2,074 \times 10^{-3}$
11	$3,8 \times 10^{-3}$	$5,2 \times 10^{-6}$	$2,28 \times 10^{-3}$
12	$4,0 \times 10^{-3}$	$6,5 \times 10^{-6}$	$2,55 \times 10^{-3}$
13	$4,4 \times 10^{-3}$	$7,3 \times 10^{-6}$	$2,702 \times 10^{-3}$
14	$4,8 \times 10^{-3}$	$7,7 \times 10^{-6}$	$2,775 \times 10^{-3}$
15	$5,2 \times 10^{-3}$	$8,7 \times 10^{-6}$	$2,95 \times 10^{-3}$
16	$5,8 \times 10^{-3}$	$9,7 \times 10^{-6}$	$3,114 \times 10^{-3}$
17	$6,2 \times 10^{-3}$	$12,7 \times 10^{-6}$	$3,564 \times 10^{-3}$
18	$7,4 \times 10^{-3}$	$14,3 \times 10^{-6}$	$3,782 \times 10^{-3}$
19	$8,4 \times 10^{-3}$	$15,3 \times 10^{-6}$	$3,912 \times 10^{-3}$
20	$9,4 \times 10^{-3}$	$17,8 \times 10^{-6}$	$4,219 \times 10^{-3}$

Отже для оцінки точності точіння досліджуваної бігової доріжки матимемо  $\sigma_0 = \frac{0,041}{0,96 \times 20} = 2,135 \times 10^{-3}$ .

Для оцінки сталості налаштування процесу оброблення порівнювали два суміжних середніх значення вибірок, наприклад для вибірок № 2 і № 3:

$$t_{1_i} = \frac{|\bar{X}_2 - \bar{X}_3|}{\sqrt{n_2 s_2^2 + n_3 s_3^2}} \sqrt{\frac{n_2 n_3 (n_2 + n_3 - 2)}{n_2 + n_3}}$$

Аналогічно обчисливши для всіх суміжних середніх значень вибірок і згідно таблиці ймовірностей розподілу Стьюдента  $P(t_{1_i} \geq t_{1_i})$  при  $k = n_i + n_{i+1} - 2 = 8$  для кожного значення  $t_{1_i}$  знаходили табличне значення  $t$  з [4] (таблиця 2).

Оцінка дисперсій у вибіркових середніх показує (таблиця 2), що поміж середніми значеннями вибірок немає різко відмінних дисперсій та розсіювання. Тобто, у даному випадку всі середні значення вибірок повинні братися для оцінки центру розподілу всієї сукупності даних вибірок.

Таким чином, центр розподілу всієї сукупності вибірок може бути встановлений згідно відомої формули [4]:

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum \bar{X}_i}{m}$$

$$\text{Центр розподілу всієї сукупності вибірок є } \bar{X}_0 = \frac{0,08}{20} = 4,0 \times 10^{-3}.$$

Сумарна точність процесу точіння та точність налаштування  $\mu = \frac{6\sigma_0}{\delta}$ , де  $\delta$  – допуск на відхилення діаметру бігової доріжки згідно креслення.

Таблиця 2 – Результати порівняння вибірових дисперсій у вибірових середніх

№ порівнюваних вибірок	для малої роликової бігової доріжки		
	$T_n$	$t$	$P(t_{1_i} \geq t_{1_i})$
1 – 2	0	–	–
2 – 3	1,225	0,566	0,57
3 – 4	1,633	0,381	0,70
4 – 5	0,935	0,327	0,77
5 – 6	1,0	0,676	0,45
6 – 7	1,069	0,327	0,77
7 – 8	1,275	0,276	0,70
8 – 9	1,387	0,410	0,63
9 – 10	1,312	0,460	0,92
10 – 11	1,099	0,130	0,92
11 – 12	1,118	0,117	0,85
12 – 13	1,060	0,215	0,84
13 – 14	1,027	0,207	0,84
14 – 15	1,063	0,198	0,84
15 – 16	1,056	0,280	0,77
16 – 17	1,145	0,169	0,84
17 – 18	1,061	0,462	0,63
18 – 19	1,034	0,368	0,70
19 – 20	1,078	0,348	0,77

Тоді для досліджуваної роликової бігової доріжки матимемо

$$\mu = \frac{6 \times 2,135 \times 10^{-3}}{0,1} = 0,128.$$

Позначивши через  $\bar{D}$  – середнє арифметичне значення діаметру бігової доріжки в партії шарошок, а через  $D_c$  середній розмір діаметру згідно креслення, отримали:

$$\bar{D} = 154,55 - 4,0 \times 10^{-3} = 154,546 \text{ мм},$$

$$D_c = \frac{154,49 + 154,59}{2} = 154,54 \text{ мм}.$$

Відповідно обчислили коефіцієнт точності налаштування процесу точіння:

$$e = \frac{\bar{D} - D_c}{\delta} = 0,06.$$

Оскільки  $\mu < 1$ , то точність процесів є досить високою, при цьому забезпечується також необхідна точність процесу оброблення. Процес точіння є стійким у часі, як по розсіюванню, так і по налаштуванню.

Оцінка шорсткості на оброблених поверхнях бігових доріжок шарошок оброблених в автоматизованому режимі (рисунок 2) засвідчила, що вибрана технологія механічного оброблення забезпечує задану високу якість конструкторських параметрів. Тут не помічено відхилень по циліндричності та круглості.

Для оцінки експлуатаційних показників оброблених точінням в кінцевий розмір поверхонь згідно стандартної методики виготовили темплети шарошок, які піддали вимірюванню твердості. Отже, твердість поверхні бігових доріжок становила HRC63-64, на глибині 0,12 мм (цементований шар на сталі 14ХНЗМА) від поверхні твердість складала HRC61-62, на глибині 0,25 мм – HRC59-60, а на половині глибини цементованого шару – HRC56-57. Отримані значення цілком відповідають існуючим технічним вимогам до розподілу твердості цементованих деталей доліт.

Оцінка поверхневих шарів на предмет розподілу концентрації вуглецю, згідно стандартної методики, також показала плавність її зміни. Так, на поверхневих шарах концентрація вуглецю дорівнювала 0,98-0,99 % С, на глибині 0,12 мм від поверхні концентрація була в межах 0,97-0,98 % С, на глибині 0,25 мм – 0,95-0,96 % С, а на половині глибини цементованого шару – 0,70-0,71 % С. Згідно проведених раніше досліджень [1], можна твердити, що бігові доріжки будуть забезпечувати належну контактну витривалість.

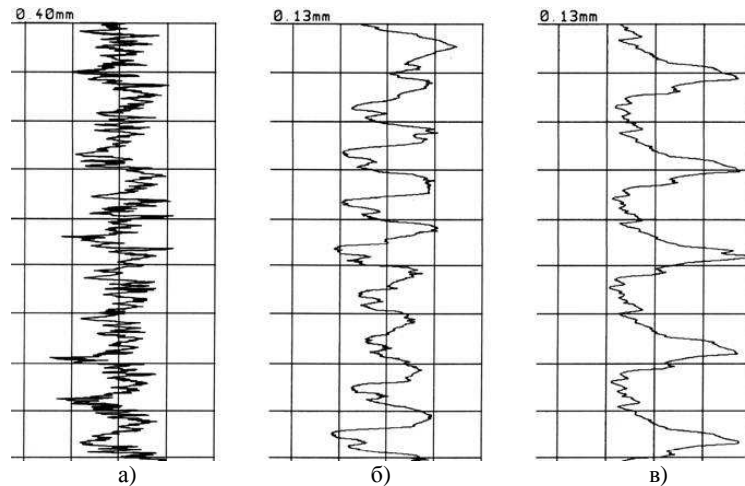


Рисунок 2 – Профілограми шорсткості бігових доріжок шарошок бурових доліт оброблених на вертикальному одношпиндельному токарному центрі VSC виробництва фірми „EMAG”:

- а) мала роликівна бігова доріжка підшипника кочення –  $R_a 0,328$  мкм, б) кулькова бігова доріжка замкового підшипника кочення –  $R_a 0,516$  мкм, в) велика роликівна бігова доріжка периферійного підшипника кочення –  $R_a 1,249$  мкм

Таким чином експериментальними дослідженнями встановлено, що у єдиному процесі автоматизованого точіння на VSC фірми „EMAG” повністю забезпечується точність та сталість отримання заданих конструкторських параметрів опорних поверхонь шарошок, навіть таких великих типорозмірів як  $\varnothing 444,5$  мм. Тут весь процес завантаження, позиціювання і оброблення з остаточним відвантаженою обробленою шарошки здійснюється в автоматизованому режимі. А механічне оброблення всіх елементів опори проводиться в одному установі. Якість отриманих поверхонь дає можливість виконувати тонке точіння в розмір, при цьому викінчувальні операції шліфування повністю виключаються з технологічного процесу виготовлення шарошок.

Повна автоматизація процесу отримання керуючої програми механічного оброблення шарошок довільної конструкції та типорозмірів в єдиному комп'ютеризованому середовищі, а також мобільне налагодження, переналагодження безпосередньо в цеху створює сприятливі умови для виготовлення конкурентоспроможної продукції ТОВ „УніБурТех”.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Яким Р.С. Научно-прикладные основы повышения долговечности тришарошковых буровых долот: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Роман Степанович. — Ивано-Франківськ, 2012. — 293 с.
2. Яким Р.С. Технологічне забезпечення якості механічного оброблення цапф лап тришарошкових бурових доліт / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, І.С. Яким // Вісник СевНТУ. Сер. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. — Севастополь: СевНТУ, 2012. — Вип. 129. — С. 278–283.
3. Яким Р.С. Научно-практические основы технологии изготовления тришарошковых буровых долот и повышения их качества и эффективности: монография / Р.С. Яким, Ю.Д. Петрина, І.С. Яким. — Ивано-Франківськ: Видання ІФНТУНГ, 2011. — 384 с.
4. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения. / И.С. Солонин. — М.: Машиностроение, 1972 — 215 с.

*Поступила в редакцию 23.03.2013 г.*

#### **Яким Р.С., Петрина Ю.Д., Яким І.С. Технологическое обеспечение качества механической обработки опорных поверхностей трехшарошечных буровых долот**

Анализируется качество, точность и стабильность во времени механической токарной обработки в конечный размер опорных поверхностей шарошек трехшарошечных буровых долот.

**Ключевые слова:** точение, точность, устойчивость, опора, шарошка.

#### **Yakym R.S., Petryna Y.D., Yakym I.S. Technological guarantee of quality of three-cone rock bits bearing surfaces mechanical treatment**

The quality, accuracy and stability during the mechanical turning of three-cone rock bits bearing surfaces into the final size are analyzed.

**Keywords:** turning, accuracy, stability, bearing, cone.